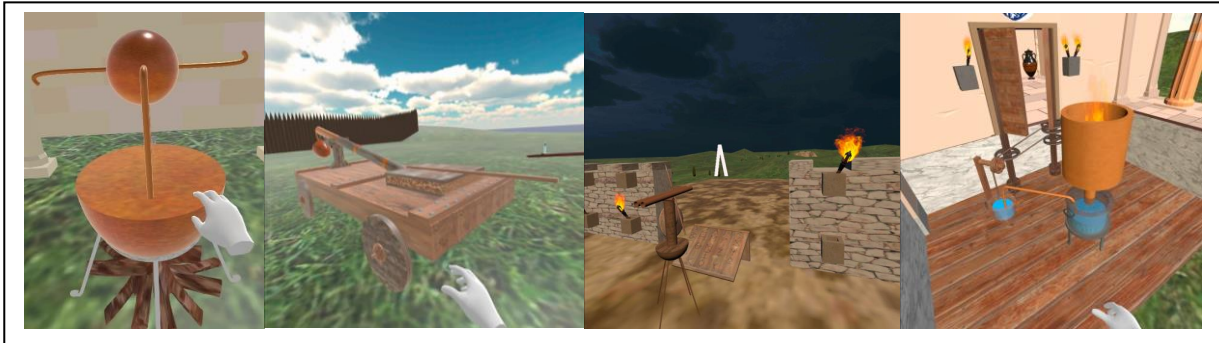




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Διδακτορική Διατριβή με τίτλο:

**«ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΛΗΡΩΣ
ΕΜΒΥΘΙΣΤΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ
ΜΟΥΣΕΙΑΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»**



Του Παναγιώτη Δ. Αντωνόπουλου

Ρόδος, Φεβρουάριος 2024

Μέλη τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής

1. Εμμανουήλ Φωκίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Επιβλέπων.
2. Εμμανουήλ Στεφανάκης, Καθηγητής, Τμήμα Μεσογειακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
3. Γεώργιος Κουτρομάνος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Μέλη επταμελούς εξεταστικής επιτροπής

1. Εμμανουήλ Φωκίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Επιβλέπων.
2. Εμμανουήλ Στεφανάκης, Καθηγητής, Τμήμα Μεσογειακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
3. Γεώργιος Κουτρομάνος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
4. Θαρρενός Μπράτισης, Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
5. Γεώργιος Φεσάκης, Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Προσχολικής Αγωγής και του Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
6. Βλάσιος Καπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
7. Απόστολος Κώστας, Επίκουρος Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	12
ABSTRACT	19
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ-KEYWORDS	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
1.1. Τεχνολογική ανάπτυξη.....	24
1.2. Τεχνολογική ανάπτυξη και εκπαίδευση.....	24
1.3. Η Εικονική Πραγματικότητα	25
1.4. Η Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα.....	25
1.5. Βασική υπόθεση.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΡΧΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	28
2.1. Εισαγωγή.....	28
2.2. Η τεχνολογία κατά τους Προϊστορικούς χρόνους.....	28
2.2.2. Εποχή του Χαλκού	35
2.3. Η τεχνολογία κατά τους Ιστορικούς χρόνους	43
2.3.1. Εισαγωγή	43
2.3.2. «Ησιόδειο» άροτρο.....	43
2.3.3. Ανυψωτικοί μηχανισμοί	44
2.3.4. Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων	46
2.3.5. Ο Καταπέλτης.....	47
2.3.6. Η Τριήρης.....	50
2.3.7. Εφευρέσεις του Αρχιμήδη	50
2.3.8. Αυτόματοι μηχανισμοί	51
2.3.9. Μηχανισμοί άντλησης υδάτων	54
2.4 Βυζαντινοί χρόνοι	55
2.4.1. Εισαγωγή	55
2.4.2. Υγρόν πυρ.....	55
2.5. Συμπεράσματα	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	57
3.1. Η Εικονική Πραγματικότητα ως τεχνολογικό μέσο	57
3.1.1. Εισαγωγή	57
3.1.2. Ορισμοί.....	57

3.1.3. Ιστορική αναδρομή.....	59
3.1.4. Ταξινόμια συστημάτων ΕΠ.....	62
3.1.5. Λογισμικό συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας.....	63
3.1.6. Υλικό.....	66
3.2. Η Εικονική Πραγματικότητα ως εκπαιδευτικό μέσο.....	69
3.2.1. Εισαγωγή.....	69
3.2.2. Μαθηματικά.....	69
3.2.3. Στρατιωτικές εφαρμογές.....	71
3.2.4. Προσομοίωση διαστημοπλοίων.....	72
3.2.5. Προσομοιωτές χειρισμού οχημάτων.....	73
3.2.6. Μηχανική.....	74
3.2.7. Επιστήμες υγείας.....	77
3.2.8. Ασφάλεια.....	78
3.2.9. Χωρικός προσανατολισμός.....	79
3.2.10. Φυσικές Επιστήμες.....	79
3.2.11. Ειδική αγωγή.....	81
3.2.12. Ξένες γλώσσες.....	81
3.2.13. Συμπεράσματα.....	82
3.3. Βασικοί παράγοντες Εικονικής Πραγματικότητας.....	83
3.3.1. Εισαγωγή.....	83
3.3.2. Η εμπειρία του χρήστη (UX, User Experience).....	83
3.3.3. Εμβύθιση.....	84
3.3.4. Παρουσία.....	86
3.3.5. Αλληλεπίδραση.....	88
3.3.6. Κίνητρα (Motivation).....	89
3.3.7. Γνωστικό φορτίο (Cognitive load).....	90
3.3.8. Simulator Sickness (Ζάλη από τη χρήση της ΠΕΕΠ).....	94
3.3.9. Αισθητική (Aesthetics/appeal).....	95
3.3.10. Καθοδήγηση/Ανατροφοδότηση (Guidance/Feedback).....	96
3.3.11. Ευκολία χρήσης (Ease of use/Usability).....	96
3.3.12. Συμπεράσματα.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΥΣΕΙΑΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ & ΕΠ.....	98
4.1. Εισαγωγή.....	98
4.2. Άτυπη εκπαίδευση.....	98
4.3. Όροι και ανάπτυξη της μουσειακής εκπαίδευσης.....	100

4.4. Προγράμματα μουσειακής εκπαίδευσης.....	101
4.5. Έρευνες σε προγράμματα μουσειακής εκπαίδευσης	103
4.6. Μουσειακή εκπαίδευση στην αρχαία Ελληνική τεχνολογία.....	105
4.7. Μουσειακή εκπαίδευση με χρήση ΤΠΕ.....	108
4.8. Λογισμικά μουσειακής εκπαίδευσης ΠΕΕΠ.....	113
4.9. Έρευνες σε λογισμικά ΠΕΕΠ μουσειακής εκπαίδευσης	114
4.10. Λογισμικά μουσειακής εκπαίδευσης ΠΕΕΠ με θέμα την αρχαία Ελληνική τεχνολογία	125
4.11. Συμπεράσματα	125
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ 6DOF ΗΜDS ΣΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΓΙΑ ΜΟΥΣΕΙΑΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΟΝ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟ.....	127
5.1. Εισαγωγή.....	127
5.2. Είδη ανασκοπήσεων.....	127
5.3. Η παρούσα ανασκόπηση	128
5.3.1. Επιλογή είδους ανασκόπησης: Ανασκόπηση πεδίου (scoping review)	128
5.3.2. Αναζήτηση σε αποθετήρια	129
5.3.3. Το διάγραμμα ροής PRISMA.....	131
5.4. Ανάλυση των δεδομένων	132
5.4.1. Ανάλυση των γενικών στοιχείων των άρθρων	133
5.4.2. Ανάλυση σκοπού των άρθρων.....	136
5.4.3. Ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	142
5.5. Αξιόπιστα άρθρα.....	143
5.6. Παρουσίαση των αξιόπιστων ερευνητικών εργασιών	145
5.7. Συζήτηση.....	148
5.8. Σχολιασμός των αποτελεσμάτων των αξιόπιστων άρθρων	151
5.9. Περιορισμοί της παρούσας ανασκόπησης	152
5.10. Συμπεράσματα	153
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ/ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑΣ.....	154
6.1. Εισαγωγή.....	154
6.2. Δημιουργία λογισμικού ΠΕΕΠ	154
6.2.1. Εξοικείωση με τα λογισμικά παραγωγής των εφαρμογών ΕΠ.....	154
6.2.2. Δημιουργία της πρώτης εφαρμογής για την αιολόσφαιρα	162
6.2.3. Η δημιουργία του φλογοβόλου των Βοιωτών	171
6.2.4. Η δημιουργία των φρυκτωριών	184

6.2.5. Επαναδημιουργία της αιολόσφαιρας.....	201
6.2.6. Δημιουργία ενός ενιαίου λογισμικού	207
6.3. Δημιουργία του λογισμικού ΕπΕΠ.....	218
6.3.1. Αρχικός προσανατολισμός	218
6.3.2. Η αιωρούμενη σφαίρα	219
6.3.3. Το ατμοηλεκτρόλιο του Αρχιμήδη	222
6.3.4. Ο υδραυλικός τηλεγράφος του Αινεία	225
6.3.5. Δημιουργία του αυτόματου σπονδείου με κερματοδέκτη	228
6.3.6. Εισαγωγή πληροφοριακών στοιχείων στο λογισμικό ΕπΕΠ.....	231
6.3.6. Προσθήκη μηχανικών μερών στο λογισμικό ΕπΕΠ.....	232
6.3.7. Δημιουργία τηλεμεταφοράς του χρήστη	232
6.3.8. Τελικό αποτέλεσμα-σύνοψη της ποιότητας και των δυνατοτήτων του λογισμικού ΕπΕΠ	232
6.3.9. Σύνοψη της διαδικασίας παραγωγής των δύο λογισμικών.....	233
6.4. Δημιουργία ιστοσελίδων για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία	234
6.5. Εφαρμογή της δυνατότητας χειρισμού του λογισμικού χωρίς τα Oculus Touch	236
6.6. Συμπεράσματα	237
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΘΟΔΟΣ	238
7.1. Εισαγωγή.....	238
7.2. Ερευνητικά ερωτήματα	238
7.3. Πιλοτική φάση	238
7.3.1. Δείγμα.....	238
7.3.2. Εργαλεία πιλοτικών ερευνών	238
7.3.3. Διαδικασία πιλοτικών ερευνών	239
7.3.4. Ενέργειες ως αποτέλεσμα των πιλοτικών ερευνών	240
7.4. Κυρίως φάση	241
7.4.1. Δείγμα.....	241
7.4.2. Υλικό	242
7.4.3. Εργαλεία	243
7.5. Ερευνητική διαδικασία.....	246
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	250
8.1. Εισαγωγή.....	250
8.2.2. Ποιοτικός και χρηστικός έλεγχος των εφαρμογών που παρουσιάστηκαν με ΕπΕΠ	254
8.3. Ανάλυση δεδομένων κυρίως έρευνας	256

8.3.1. Έλεγχος εσωτερικής συνοχής των ερωτηματολογίων.....	256
8.3.2. Γενικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία	257
8.3.3. Στατιστική ανάλυση διασποράς μίας κατεύθυνσης εξαρτημένων δειγμάτων.....	259
8.3.4. Post-hoc συγκρίσεις.....	263
8.3.5. Επιπλέον ανάλυση	265
8.3.6. Συμπεράσματα της ανάλυσης, επιβεβαίωση ή μη των ερευνητικών υποθέσεων.	268
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΖΗΤΗΣΗ	273
9.1. Εισαγωγή.....	273
9.2. Συζήτηση για τα μαθησιακά αποτελέσματα	273
9.3. Παράγοντες ΕΠ.....	276
9.3.1. Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα	276
9.3.2. Γνωστικό φορτίο.....	276
9.3.3. Ευκολία χρήσης/Έλεγχος	277
9.3.4. Εμβύθιση	278
9.3.5. Παρουσία.....	279
9.3.6. Ανατροφοδότηση.....	280
9.3.7. Αλληλεπίδραση	280
9.3.8. Κίνητρα χρήσης.....	281
9.3.9. Υποκειμενική αποτελεσματικότητα	281
9.3.10. Simulator sickness	282
9.3.11. Θετικά συναισθήματα.....	283
9.3.12. Αρνητικά συναισθήματα	283
9.3.13. Σύνοψη της επίδρασης των παραγόντων.....	284
9.3.14. Σχέση των παραγόντων εμπειρίας με τη μουσειακή εκπαίδευση.....	284
9.4. Επίδραση παραγόντων στα μαθησιακά αποτελέσματα.....	285
9.5. Περιορισμοί και μελλοντικές έρευνες.....	287
9.6. Επιδράσεις στην επιστήμη και την εκπαίδευση	288
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	289
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	292
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ TESTS ΕΡΕΥΝΑΣ	331
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ SPSS	362
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΣΤΙΜΙΟΤΥΠΑ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ	455
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	488
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΛΟΓΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΑΡΘΡΩΝ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	495

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: ΑΔΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΑΡΧΑΙΑΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΟΤΣΑΝΑ	502
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: ΑΦΗΓΗΣΕΙΣ	504

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1. Χειροπέλεκυς Κατώτερης Παλαιολιθικής.....	30
Εικόνα 2.2. Σχεδιάγραμμα χειροπελέκεων	31
Εικόνα 2.3. Πιθανός τρόπος χρήσης λεπίδας.....	31
Εικόνα 2.4. Φυλλόσχημη αιχμή.....	31
Εικόνα 2.5. Οστέινα αγκίστρια.....	33
Εικόνα 2.6. Δρεπάνι.....	35
Εικόνα 2.7. Βραχογραφίες που απεικονίζουν τη μορφή των πλοίων	35
Εικόνα 2.8. Χρονολόγηση διαφορετικών πολιτισμών της Πρώιμης Εποχής του Χαλκού.....	36
Εικόνα 2.9. Απεικονίσεις πλοίων σε Κυκλαδίτικα τηγανόσχημα σκευή	38
Εικόνα 2.10. Τοξοκίνητο τρυπάνι (αρις)(αριστερά), χειροκίνητο περιστροφικό (δεξιά).....	39
Εικόνα 2.11. Ο κάθετος αργαλειός	40
Εικόνα 2.12. Σχηματική αποτύπωση κεραμικού τροχού.....	41
Εικόνα 2.13. Το ελαφρύ άρμα	43
Εικόνα 2.14. Το Ησιόδειο άροτρο	44
Εικόνα 2.15. Διάφορες ανυψωτικές μέθοδοι	45
Εικόνα 2.16. Ο καρκίνος.....	45
Εικόνα 2.17. Ο λύκος.....	46
Εικόνα 2.18. Σχηματική παράσταση του μηχανισμού σε τομή, όπου φαίνεται το σύστημα γραναζιών, βαρών και αντίβαρων.....	47
Εικόνα 2.19. Ο Γαστραφέτης.....	48
Εικόνα 2.20. Αναπαράσταση Γαστραφέτη	48
Εικόνα 2.21. Ο όξυβελής καταπέλτης	49
Εικόνα 2.22. Το μπροστινό τμήμα του λιθοβόλου καταπέλτη	50
Εικόνα 2.23. Κινητός μηχανισμός	52
Εικόνα 2.24. Σταθερός μηχανισμός	52
Εικόνα 3.1. Το Oculus Quest	68
Εικόνα 6.1. Το interface του Blender	155
Εικόνα 6.2. Δημιουργία απλών στερεών στο Blender	155
Εικόνα 6.3. Αρχικό μοντέλο της αιολόσφαιρας του Ήρωνα στο Blender.....	156
Εικόνα 6.4. Το περιβάλλον για δημιουργία animation στο Blender.....	157
Εικόνα 6.5. Particle animation της αιολόσφαιρας του Ήρωνα στο Blender	158
Εικόνα 6.6. Το τελικό μοντέλο που εισήχθη στο Unity	159
Εικόνα 6.7. Εφαρμογή ΠΕΕΠ.....	161
Εικόνα 6.8. Δεύτερη εφαρμογή ΠΕΕΠ με αντικείμενο από το Blender και particle system	162
Εικόνα 6.9. Το εργαλείο Animator	163
Εικόνα 6.10. Πειραματική εφαρμογή ΠΕΕΠ με την αιολόσφαιρα του Ήρωνα	165
Εικόνα 6.11. Πέρασμα υφών στο Blender	166
Εικόνα 6.12. Η βελτιωμένη έκδοση της πειραματικής εφαρμογής ΠΕΕΠ.....	167

Εικόνα 6.13. Ανακατασκευή του φλογοβόλου.....	173
Εικόνα 6.14. Αρχική σχεδίαση του φλογοβόλου στο Blender	173
Εικόνα 6.15. Το φλογοβόλο των Βοιωτών μετά το 3D modeling και texturing	174
Εικόνα 6.16. Δέρμα του φουσητήρα.....	176
Εικόνα 6.17. Εφαρμογή rigging στο φλογοβόλο.....	178
Εικόνα 6.18. Το Animator	179
Εικόνα 6.20. Η ανακατασκευή των φρυκτωριών	185
Εικόνα 6.21. Σχεδίαση των φρυκτωριών στο Blender	186
Εικόνα 6.22. Η διόπτρα στο Blender	186
Εικόνα 6.23. Φρυκτωρίες.....	189
Εικόνα 6.24. Ο αυτοματισμός των θυρών του ναού.....	192
Εικόνα 6.25. Μέρη του αυτοματισμού στο Blender.....	193
Εικόνα 6.26. Συγχρονισμός animation	197
Εικόνα 6.27. Τελική εφαρμογή αυτοματισμού των θυρών	200
Εικόνα 6.28. Η λειτουργική ανακατασκευή της αιολόσφαιρας.....	202
Εικόνα 6.29. Η αιολόσφαιρα στο Blender	203
Εικόνα 6.30. Εισαγωγή ήχων στο animation	205
Εικόνα 6.31. Στιγμιότυπα του τελικού αποτελέσματος της αιολόσφαιρας	206
Εικόνα 6.32. Το εργαλείο Polybrush	210
Εικόνα 6.33. Ο πάγκος με τα μηχανικά μέρη της αιολόσφαιρας	212
Εικόνα 6.35. Η τελική εφαρμογή ΠΕΕΠ	218
Εικόνα 6.36. Ανακατασκευή της αιωρούμενης σφαίρας.....	219
Εικόνα 6.37. Η αιωρούμενη σφαίρα στο Blender.....	220
Εικόνα 6.38. Η αιωρούμενη σφαίρα σε λειτουργία.....	222
Εικόνα 6.39. Ανακατασκευή του ατμοτηλεβόλου.....	223
Εικόνα 6.40. Το μοντέλο του ατμοτηλεβόλου στο Blender	223
Εικόνα 6.42. Ανακατασκευή του υδραυλικού τηλεγράφου.....	225
Εικόνα 6.44. Ο υδραυλικός τηλεγράφος στο Unity.....	228
Εικόνα 6.45. Λειτουργική ανακατασκευή του αυτόματου σπονδείου	229
Εικόνα 6.47. Το αυτόματο σπονδείο στο Unity.....	231
Εικόνα 6.48. Δείγμα περιβαλλόντων και πληροφοριακών στοιχείων του ΕπΕΠ λογισμικού	233
Εικόνα 6.49. Στιγμιότυπα από τις ιστοσελίδες	235
Εικόνα 6.50. Η λειτουργία hand tracking στην αιολόσφαιρα.....	237
Εικόνα 7.1. Στιγμιότυπα έρευνας.....	249

Οι εικόνες από τη συλλογή και το αρχείο του μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά χρησιμοποιούνται με άδεια (βλ. Παράρτημα 6).

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ο χρονολογικός διαχωρισμός της Νεολιθικής εποχής στον ελλαδικό χώρο.	33
Πίνακας 2. Διαφορές άτυπης, μη τυπικής και τυπικής εκπαίδευσης.....	99
Πίνακας 3. Λέξεις-κλειδιά ανά επιστημονικό πεδίο.....	130
Πίνακας 4. Ανάλυση των δεδομένων σε άξονες.....	133
Πίνακας 5. Τα 29 επιλεγθέντα άρθρα σε αλφαβητική σειρά.....	133
Πίνακας 6. Πλήθος άρθρων ανά έτος.....	135
Πίνακας 7. Πλήθος άρθρων ανά είδος δημοσίευσης.....	135
Πίνακας 8. Πλήθος δημοσιευμένων άρθρων, ανά χώρα.....	136
Πίνακας 9. Συνδυασμοί ομάδων στόχου.....	137
Πίνακας 10. Αναλυτικός πίνακας ομάδων στόχου.....	137
Πίνακας 11. Ποσοτικές έρευνες.....	138
Πίνακας 12. Ποιοτικές έρευνες.....	138
Πίνακας 13. Μικτές έρευνες.....	138
Πίνακας 14. Μέγεθος δείγματος.....	139
Πίνακας 15. Διάρκεια παρεμβάσεων.....	140
Πίνακας 16. Τα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε παρέμβαση.....	140
Πίνακας 17. Κατηγορίες ερευνητικών ερωτημάτων.....	141
Πίνακας 18. Αποτελέσματα άρθρων.....	142
Πίνακας 19. Τα τελικά επιλεγθέντα αξιόπιστα άρθρα.....	144
Πίνακας 20. Γνωστικό αντικείμενο, σκοπός και ομάδα-στόχος των επιλεγθέντων ερευνών.....	144
Πίνακας 21. Τα ερευνητικά ερωτήματα των αξιόπιστων άρθρων.....	144
Πίνακας 22. Αποτελέσματα αξιόπιστων άρθρων.....	145
Πίνακας 23. Συγκεντρωτικός πίνακας εφευρέσεων.....	236
Πίνακας 24. Περιγραφικά στοιχεία για τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου SUS.....	251
Πίνακας 25. Περιγραφικά στοιχεία για τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου για την Επιτραπέζια ΕΠ.....	254
Πίνακας 26. Έλεγχος εσωτερικής συνοχής των ερωτηματολογίων.....	256
Πίνακας 27. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τους συμμετέχοντες.....	257
Πίνακας 28. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις υπόλοιπες μεταβλητές της μελέτης.....	258
Πίνακας 29. Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας της κατανομής.....	259
Πίνακας 30. Αποτελέσματα Mauchly's test of sphericity.....	261
Πίνακας 31. Αποτελέσματα των Friedman's two-way analysis of variance by ranks τεστ για τις μεταβλητές της μελέτης.....	262
Πίνακας 32. Αποτελέσματα post-hoc συγκρίσεων με το Wilcoxon's Signed Ranks Test.....	263
Πίνακας 33. Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δύο βημάτων για τις εφαρμογές ΠΕΕΠ.....	265
Πίνακας 34. Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης 2 βημάτων για τις εφαρμογές ΕΠΕΠ.....	266
Πίνακας 35. Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης 2 βημάτων για τις ιστοσελίδες.....	267

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον Εμμανουήλ Φωκίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, δεχόμενος από την πρώτη στιγμή να επιβλέψει τη διατριβή. Η πολυδιάστατη καθοδήγησή του αποτέλεσε το εφαλτήριο ανάπτυξης των δυνατοτήτων μου, στο μέγιστο δυνατό. Κατά τη διάρκεια της δημιουργίας των λογισμικών, της συγγραφής και της έρευνας, παρείχε υψηλού επιπέδου συμβουλές και ανατροφοδότηση σε πολλά διαφορετικά και ετερόκλητα γνωστικά αντικείμενα. Όμως, περισσότερο από τις γνώσεις και τις δεξιότητες του, με βοήθησε το παράδειγμά του: το όραμα, ο ζήλος και ο ενθουσιασμός του για αυθεντική καινοτομία.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, τον Εμμανουήλ Στεφανάκη και τον Γεώργιο Κουτρομάνο για την καθοδήγηση και τις διορθώσεις τους.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γιώργο Κατσαδώρο, για τις συμβουλές του και την ακαδημαϊκή του καθοδήγηση. Έπαιξε σημαντικό ρόλο, στο να καταφέρω να αρχίσω τη διατριβή.

Ακόμα, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου, που ήταν πάντοτε εκεί, να με στηρίζουν. Χωρίς τη στήριξή τους δεν θα ήταν δυνατό τίποτε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τη σύζυγό μου Νομική και τον γιό μου Δημήτρη, για τη μεγάλη υπομονή και κατανόηση που επέδειξαν, καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ρηξικέλευθες τεχνολογικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα σήμερα, επηρεάζουν σχεδόν κάθε έκφανση της κοινωνικής και ατομικής ζωής. Έχουν μετασχηματίσει ριζικά την κοινωνία και πολλά γνωστικά πεδία. Μια από τις τεχνολογίες αιχμής, είναι και η Εικονική Πραγματικότητα (ΕΠ). Η ΕΠ είναι ένα σύνολο τεχνολογιών υλικού και λογισμικού που σκοπό έχουν την εμπύθιση του χρήστη στο Εικονικό Περιβάλλον.

Ταυτόχρονα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Το ενδιαφέρον αυτό φαίνεται από την ίδρυση αντίστοιχων θεματικών μουσείων, την ανάπτυξη λογισμικών ΕΠ και την έκδοση βιβλίων.

Η παρούσα διατριβή έχει ως σκοπό τη δημιουργία ενός λογισμικού Πλήρως Εμβυθιστικής Εικονικής Πραγματικότητας (ΠΕΕΠ) και την αξιολόγησή του, με βάση την μαθησιακή του απόδοση και την απόδοση του σε παράγοντες εμπειρίας χρήσης. Η ΠΕΕΠ είναι το είδος της ΕΠ, που χρησιμοποιεί μέσα διάδρασης υψηλής εμπύθισης: Head Mounted Devices (HMD).

Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκε ένα λογισμικό ΠΕΕΠ, το οποίο περιλάμβανε οκτώ αρχαίες Ελληνικές εφευρέσεις. Εκτός από το λογισμικό ΠΕΕΠ, δημιουργήθηκε και ένα λογισμικό Επιτραπέζιας Εικονικής Πραγματικότητας (ΕπΕΠ), έτσι ώστε η αξιολόγηση του λογισμικού ΠΕΕΠ να γίνει και σε σύγκριση με το λογισμικό ΕπΕΠ. Η ΕπΕΠ είναι το είδος της ΕΠ που χρησιμοποιεί συμβατικά μέσα διεπαφής (ποντίκι, πληκτρολόγιο, οθόνη). Για τον ίδιο λόγο δημιουργήθηκαν και ιστοσελίδες, έτσι ώστε να γίνει σύγκριση των επιδράσεων και με τρίτο μέσο.

Η δημιουργία των μέσων προϋπέθετε αρχικά τη μελέτη της αρχαίας τεχνολογίας. Έτσι λοιπόν μελετήθηκε η τεχνολογία από τους προϊστορικούς χρόνους στον Αιγιακό χώρο, έως και τους Βυζαντινούς χρόνους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν -μεταξύ άλλων εφευρέσεων- ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, οι εφευρέσεις του Αρχιμήδη, οι αυτόματοι μηχανισμοί και οι μηχανισμοί άντλησης υδάτων.

Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν αναπτύξει έναν αξιοθαύμαστο τεχνικό πολιτισμό. Ιδιαίτερα στον χώρο της μηχανικής, έχουν να επιδείξουν μερικές από τις τελειότερες και συνθετότερες εφευρέσεις της αρχαίας εποχής. Μέσα από τη μελέτη των αρχαίων εφευρέσεων εξάγεται το συμπέρασμα ότι η αρχαία Ελληνική τεχνολογία βασίστηκε και σε τεχνολογίες προηγούμενων πολιτισμών, έχει όμως να επιδείξει εξαιρετικά προηγμένες και πολύπλοκες εφευρέσεις. Οι εφευρέσεις των αρχαίων Ελλήνων αποτελούν βασικά στοιχεία της μετέπειτα τεχνολογικής

ανάπτυξης και μάλιστα εφαρμόζονται ακόμα στις μέρες μας, ως δομικά στοιχεία μηχανικών εφευρέσεων.

Για τη δημιουργία των λογισμικών χρησιμοποιήθηκαν ειδικά λογισμικά. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Blender για τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων των εφευρέσεων. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το Unity, ένα λογισμικό κατασκευής ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Για τη λειτουργία του Unity απαιτείται συγγραφή script σε γλώσσα C#. Το λογισμικό στο οποίο συγγράφηκαν τα script, ήταν το Visual Studio Code. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του ΠΕΕΠ λογισμικού ήταν το σύστημα Oculus Quest.

Η ΕΠ εκτός των εφαρμογών της στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών παιχνιδιών και στη βιομηχανία του κινηματογράφου (ειδικά εφέ), βρίσκει εφαρμογή και σαν εκπαιδευτικό μέσο. Τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί μια πληθώρα λογισμικών για πολλά γνωστικά αντικείμενα όπως: Μαθηματικά, στρατιωτικές εφαρμογές, προσομοίωση διαστημοπλοίων, προσομοίωση χειρισμού οχημάτων, μηχανική, επιστήμες υγείας, ασφάλεια, χωρικός προσανατολισμός, φυσικές επιστήμες, ειδική αγωγή, ξένες γλώσσες.

Η χρήση της ΕΠ είναι ευεργετική, γιατί σε αντίθεση με την εκπαίδευση στον φυσικό κόσμο, παρέχει τη δυνατότητα των διαδοχικών δοκιμών και λαθών, χωρίς να υπάρχουν δυσάρεστες συνέπειες είτε στα τεχνολογικά μέσα, είτε στον εκπαιδευόμενο. Επίσης, πολλά λογισμικά, εκτός της ασφάλειας που παρέχουν, παρέχουν εποπτικές δυνατότητες, οι οποίες πολλές φορές υπερβαίνουν τις συνηθισμένες εποπτικές δυνατότητες που παρέχονται στον φυσικό κόσμο. Μέσω της ΕΠ, ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει φαινόμενα, πέρα από τις φυσικές του δυνατότητες, όπως σωματίδια, ροή αέρα ή εσωτερικά τμήματα ενός μηχανισμού. Τα τελευταία έτη αναπτύσσεται ιδιαίτερη ερευνητική δραστηριότητα αναφορικά με την ΠΕΕΠ, καρπό της οποίας αποτελούν εκτός από τα λογισμικά και η ευρεία εκπαιδευτική έρευνα, η οποία περιστρέφεται γύρω από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες. Ενδεικτικά κάποιιοι από τους συχνότερα απαντώμενους παράγοντες είναι: η εμπύθιση, η παρουσία, η αλληλεπίδραση, τα κίνητρα, το γνωστικό φορτίο, το simulator sickness (ζάλη από τη χρήση της ΠΕΕΠ), η αισθητική, η καθοδήγηση/ανατροφοδότηση, η ευκολία χρήσης κ.α. Οι παράγοντες που ερευνώνται στο χώρο της ΕΠ, επηρεάζουν το τι θα μάθει ή το τι θα νοιώσει ένας χρήστης. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι οι παράγοντες αυτοί αποτελούν ψηφίδες, που συγκροτούν τη συνολική εμπειρία του χρήστη.

Τα τελευταία έτη, με την ευρεία εφαρμογή των ψηφιακών τεχνολογιών, πολλοί μουσειακοί χώροι έχουν μετασχηματιστεί και εκτός από την απλή έκθεση συλλογών, προσφέρουν πλέον πλούσιες μαθησιακές εμπειρίες, οι οποίες είναι διαμορφωμένες με επίκεντρο τον επισκέπτη. Σε αρκετές χώρες του εξωτερικού έχουν εφαρμοστεί εδώ και χρόνια,

προγράμματα μουσειακής εκπαίδευσης, τα οποία απευθύνονται σε μαθητές της τυπικής εκπαίδευσης και σκοπό έχουν να στηρίζουν, να συμπληρώσουν αλλά και να παρέχουν καινοτόμες δράσεις. Αυτός ο ποιοτικός μετασχηματισμός της επίσκεψης στον μουσειακό χώρο, εκτός από το εξωτερικό παρατηρείται και στην Ελλάδα, με αρκετά μουσεία να καταρτίζουν ειδικά προγράμματα μουσειακής εκπαίδευσης, είτε μόνα τους, είτε σε συνεργασία με εκπαιδευτικά ιδρύματα τυπικής εκπαίδευσης, είτε σε συνεργασία με εκπαιδευτικά ιδρύματα μη τυπικής εκπαίδευσης.

Στον χώρο της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας, σημαντικούς σταθμούς αποτελούν: το μουσείο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας Κοτσανά και το μουσείο Ηρακλειδών, στα οποία απαντώνται ανακατασκευές των αρχαίων Ελληνικών εφευρέσεων. Οι ανακατασκευές βασίστηκαν σε πηγές από την αρχαία γραμματεία και παραστάσεις.

Αναφορικά με τη δημιουργία εκπαιδευτικών λογισμικών, εντοπίστηκαν μόνο δύο λογισμικά ΠΕΕΠ για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία και χρησιμοποιούν ως πλατφόρμα εκτέλεσης το σύστημα Oculus Rift. Πρόκειται για δύο εντυπωσιακά λογισμικά που είναι έργα ομάδας επιστημόνων Πληροφορικής. Το πρώτο αφορά εικονικό μουσείο των θραυσμάτων του μηχανισμού των Αντικυθήρων. Το δεύτερο λογισμικό είναι το «Palace of Agai». Το λογισμικό έχει ως σκοπό την αλληλεπίδραση με το ανάκτορο του αρχαίου Μακεδόνα βασιλέα Φιλίππου του δεύτερου, πατέρα του Μεγάλου Αλεξάνδρου.

Γενικά, οι αναπτυσσόμενες τεχνολογίες ΤΠΕ, έχουν επιδράσει ποικιλοτρόπως στη μουσειακή εκπαίδευση. Καρπός αυτής της επίδρασης είναι η πληθώρα λογισμικών μουσειακής εκπαίδευσης, τα οποία καλύπτουν κάθε τομέα των ΤΠΕ: από την απλή εικονική περιήγηση σε κάποιο μουσείο μέσω video 360° και τις απλές δισδιάστατες παιγνιώδεις εφαρμογές, μέχρι προηγμένα συστήματα CAVE και ΠΕΕΠ. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί αποκαλύπτουν ευεργετική επίδραση, τόσο σε γνωστικό, όσο και σε συναισθηματικό επίπεδο, από τη χρήση ΤΠΕ στον χώρο της μουσειακής εκπαίδευσης. Οι έρευνες σε μουσειακά λογισμικά ΕΠ αποκαλύπτουν θετική επίδραση σε ένα πλήθος παραγόντων (ενδεικτικά, ευκολία χρήσης, ενδιαφέρον, άνεση, ευχαρίστηση).

Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση με βάση το διάγραμμα Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Αρχικά συγκεντρώθηκαν 3.145 άρθρα (φάση αναγνώρισης). Μετά την αφαίρεση διπλότυπων, μη σχετικών και λοιπών αιτιολογημένα εξαιρεμένων (φάσεις καταλληλόλητας, επιλογής) διαμορφώθηκε το τελικό σώμα των 29 άρθρων της ανάλυσης. Τα επιλεγθέντα άρθρα, αναλύθηκαν με βάση τρεις βασικούς άξονες: τα γενικά τους στοιχεία, τον σκοπό τους και τα αποτελέσματά τους. Κάθε ένας από τους δύο πρώτους άξονες ανάλυσης υποδιαιρείται σε

επιμέρους υπο-άξονες ανάλυσης. Αναφορικά με τα γενικά στοιχεία των άρθρων, αυτά περιλαμβάνουν το έτος δημοσίευσης, το είδος της δημοσίευσης (ενδεικτικά, περιοδικό, συνέδριο) και τη χώρα προέλευσης. Ο άξονας του σκοπού δομείται στους εξής υπο-άξονες: ομάδα στόχο, ερευνητικός σχεδιασμός-ερευνητικά εργαλεία (ενδεικτικά, ερωτηματολόγια, συνέντευξη), μέγεθος του δείγματος, διάρκεια των παρεμβάσεων και τεχνολογικά μέσα.

Αποκαλύφθηκε ότι τα λογισμικά ΠΕΕΠ, χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για την αναπαράσταση μουσειακών χώρων και χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς. Το μέσο ΠΕΕΠ που χρησιμοποιήθηκε περισσότερο είναι το Oculus Rift και ακολουθεί το HTC Vive. Η πλειοψηφία των ερευνών δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερα σχολαστική, μιας και τα ομολογουμένως -πολλές φορές- άρτια λογισμικά δεν ερευνώνται ενδελεχώς, έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι μαθησιακές και εμπειρικές τους επιδράσεις. Φάνηκε ότι πολλές φορές η έρευνα είχε ως σκοπό απλώς την αξιολόγηση του λογισμικού. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι ενώ οι τεχνολογίες ΠΕΕΠ χρησιμοποιούνται ως εκπαιδευτικά μέσα μουσειακής εκπαίδευσης, δεν έχει πραγματοποιηθεί καμία έρευνα αναφορικά με την γνωστική και συναισθηματική τους επίδραση, στον χώρο της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας. Επίσης αποκαλύφθηκε ο περιορισμός των περισσότερων ερευνών σε δείγμα και αριθμό εκπαιδευτικών μέσων.

Από τις έρευνες που χαρακτηρίστηκαν ως αξιόπιστες ($n = 4$), αποκαλύφθηκε γενικά θετική γνωστική επίδραση της ΠΕΕΠ και επιπρόσθετα θετική επίδραση στους παράγοντες παρουσία/εμβύθιση, ευκολία χρήσης, γραφικά, ευχαρίστηση. Επιπρόσθετα ανιχνεύτηκε και επίδραση της ΠΕΕΠ στη δημιουργία simulator sickness, περισσότερο με χρήση της μεθόδου κίνησης με joystick.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η έρευνα σχετικά με τις επιδράσεις της ΠΕΕΠ στη μουσειακή εκπαίδευση, βρίσκεται σε εμβρυακό επίπεδο.

Για το ΠΕΕΠ λογισμικό δημιουργήθηκαν οι εξής εφευρέσεις: Η αιολόσφαιρα, το φλογοβόλο, οι φρυκτωρίες και ο αυτοματισμός των θυρών του ναού.

Στην αιολόσφαιρα, ο χρήστης έπιανε έναν πυρσό και έβαζε φωτιά στα ξύλα, στη βάση της μηχανής. Με την ανάπτυξη της φλόγας, άρχιζε να εξέρχεται ατμός από τις εξατμίσεις της μηχανής και άρχιζε να περιστρέφεται. Μετά την πάροδο χρονικού διαστήματος, η φωτιά άρχιζε να αδυνατίζει μέχρι που έσβηνε. Η μηχανή συνέχιζε την περιστροφή με συνεχώς μειούμενο ατμό, μέχρι να σταματήσει.

Στο φλογοβόλο των Βοιωτών, ο χρήστης μπορούσε πιάνοντας τον μοχλό, να τον κινήσει προς τα κάτω και να πυροδοτήσει το φλογοβόλο.

Στις φρυκτωρίες, ο χρήστης μπορούσε αλλάζοντας τη θέση των πυρσών στα τοιχία, να εκπέμψει διαφορετικό γράμμα, με βάση το υπόδειγμα.

Στον αυτοματισμό των θυρών του ναού, ο χρήστης έβαζε φωτιά στο θυσιαστήριο του ναού, και μέσω ενός μηχανισμού στο υπόγειο του ναού, άνοιγαν οι θύρες αυτόματα. Μόλις η φωτιά έσβηγε οι θύρες ξαναέκλειναν.

Οι παραπάνω εφευρέσεις συνοδεύονταν από πληροφοριακό κείμενο, αντίστοιχο των πινακίδων που απαντώνται σε εκθέματα μουσειακών χώρων. Επιπρόσθετα, ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να ενεργοποιήσει αφήγηση, η οποία συνοδευόταν από εικόνες. Τα πληροφοριακά στοιχεία των εφευρέσεων αφορούσαν το ιστορικό πλαίσιο, τη χρήση και την αρχή λειτουργίας κάθε εφεύρεσης. Επίσης, δημιουργήθηκαν πάγκοι με εκτεθειμένα τα μηχανικά μέρη των εφευρέσεων. Κάθε μέρος συνοδευόταν από πινακίδα με το όνομά του. Ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να πιάσει και να σηκώσει-περιεργαστεί τα εκτεθειμένα μηχανικά μέρη.

Για το λογισμικό ΕπΕΠ δημιουργήθηκαν επιπλέον τέσσερις αρχαίες Ελληνικές εφευρέσεις: η αιωρούμενη σφαίρα, το ατμοτηλεβόλο, ο υδραυλικός τηλεγράφος και το αυτόματο σπονδείο.

Στην αιωρούμενη σφαίρα, ο χρήστης κάνοντας κλικ στη μηχανή, έβλεπε να ανάβει φωτιά. Έπειτα έβγαινε ατμός και αιωρούνταν η κούφια σφαίρα. Μόλις έσβηγε η φωτιά, ο ατμός συνέχιζε να εξέρχεται για κάποιο χρονικό διάστημα μειούμενος και κατόπιν η σφαίρα επανερχόταν στην αρχική της θέση.

Στο ατμοτηλεβόλο ο χρήστης κάνοντας κλικ πάνω στο κανόνι, έβλεπε να γυρίζει η βάνα του λέβητα, γινόταν έκρηξη και εκτοξευόταν η πέτρινη σφαίρα, συμπαρασύροντας τη δοκό συγκράτησης και σπάζοντας τη σανίδα συγκράτησης.

Στον υδραυλικό τηλεγράφο, ο χρήστης κάνοντας κλικ πάνω στην εφεύρεση, έβλεπε να ανοίγει η βάνα του τηλεγράφου και να εκρέει νερό. Ταυτόχρονα, εμφανιζόταν μπροστά του και η συσκευή του δέκτη, με διαφάνειες, ώστε να φαίνεται η εσωτερική της λειτουργία. Οι πλωτήρες κατέβαιναν, μέχρι ο χρήστης να ξανακάνει κλικ και να καθορίσει το μήνυμα.

Στο αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη, ο χρήστης έκανε κλικ στο σπονδείο και έβλεπε να πέφτει μέσα στο σπονδείο νόμισμα, να εκτρέπει τον μηχανισμό ισορροπίας και να ρέει αγιασμός στο κύπελλο.

Και στην ΕπΕΠ αναπτύχθηκαν τα ίδια πληροφοριακά στοιχεία (πινακίδες και αφήγηση με εικόνες), όπως και στην ΠΕΕΠ. Στην ΕπΕΠ όμως, όπως ήταν αναμενόμενο, ο χρήστης δεν μπορούσε να πιάσει και να περιεργαστεί τα εκτεθειμένα μηχανικά μέρη.

Εκτός από τα δύο λογισμικά, αναπτύχθηκαν και ιστοσελίδες για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Οι ιστοσελίδες έγιναν με χρήση της εφαρμογής Google Sites και περιλάμβαναν τις εξής εφευρέσεις: την ιπτάμενη περιστέρα, τον πολυβόλο καταπέλτη, τον κρυπτογραφικό δίσκο και τον ηχητικό συναγερμό. Περιλάμβαναν πληροφοριακά κείμενα, εικόνες και video.

Τα ερευνητικά ερωτήματα της διατριβής είναι τα εξής:

- Η χρήση εφαρμογών ΠΕΕΠ θα επιφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα συγκριτικά με τη χρήση εφαρμογών ΕπΕΠ και ιστοσελίδων, που έχουν παρόμοιο περιεχόμενο;
- Θεωρούν οι χρήστες ότι οι εφαρμογές ΠΕΕΠ προσφέρουν καλύτερη μαθησιακή εμπειρία συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ και ιστοσελίδων, που έχουν παρόμοιο περιεχόμενο;
- Η μαθησιακή εμπειρία διαμορφώνει τα γνωστικά αποτελέσματα στις εφαρμογές ΠΕΕΠ;

Η ερευνητική διαδικασία άρχισε με τη διενέργεια τριών πιλοτικών ερευνών, με στόχο τη δοκιμή τόσο των εκπαιδευτικών μέσων, όσο και των τεστ και του ερωτηματολογίου. Το δείγμα των πιλοτικών ερευνών ήταν 40 και 41 άτομα αντίστοιχα, για το λογισμικό ΕπΕΠ και τις ιστοσελίδες. Το λογισμικό ΠΕΕΠ δοκιμάστηκε από 10 άτομα. Το δείγμα συγκροτήθηκε από φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Για την κυρίως έρευνα επιλέχθηκε η μεθοδολογία μεταξύ υποκειμένων (within subjects). Το δείγμα της κυρίως έρευνας αποτελούταν από 103 νεαρούς ενήλικες, φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου. Χρησιμοποιήθηκαν δύο εργαλεία: test αξιολόγησης γνώσεων και ερωτηματολόγιο παραγόντων Εικονικής Πραγματικότητας.

Το δείγμα ήλθε σε επαφή και με τα τρία μέσα. Η διάδραση του δείγματος με τα μέσα έγινε, με τυχαίο τρόπο σε τρία ραντεβού, ένα για το κάθε μέσο. Η διάδραση των χρηστών με τα μέσα ήταν ισοδύναμη και διάρκεσε 20 λεπτά για κάθε εφεύρεση. Μετά από τη χρησιμοποίηση του κάθε μέσου οι χρήστες συμπλήρωναν το test. Το ερωτηματολόγιο χορηγήθηκε μετά την ολοκλήρωση των συνεδριών που αφορούσαν το κάθε μέσο. Η συμπλήρωση του αξιολογικού test διαρκούσε 10 λεπτά άλλα 10 λεπτά ήταν απαραίτητα για την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου. Κάθε αξιολογικό test αποτελείτο από 10 ερωτήσεις γνώσεων, ενώ κάθε ερωτηματολόγιο διερευνούσε τους παράγοντες: αισθητική/τεχνική αρτιότητα, γνωστικό φορτίο, ευκολία χρήσης/έλεγχος, εμπύθιση, παρουσία, ανατροφοδότηση, αλληλεπίδραση, κίνητρα χρήσης, υποκειμενική αποτελεσματικότητα, simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα, simulator sickness-βαριά συμπτώματα, αρνητικά συναισθήματα, θετικά συναισθήματα.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δεδομένων, οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι οι μαθησιακές επιδράσεις των τριών μέσων, ήταν «σχετικά» ισοδύναμες. Προέκυψε μεν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση υπέρ της ΠΕΕΠ έναντι των ιστοσελίδων, όμως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως οριακή ($p = 0,04$) και με μεσαίο μέγεθος επίδρασης ($d_{Cohen} = 0,52$). Επίσης, μεταξύ της ΠΕΕΠ και της ΕπΕΠ, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p = 0,592$), όπως επίσης και μεταξύ της ΕπΕΠ και των ιστοσελίδων ($p = 0,709$).

Από το σύνολο των 13 παραγόντων, στους επτά η ΠΕΕΠ υπερισχύει και από τα δύο συγκρινόμενα μέσα (αισθητική/τεχνική αρτιότητα, εμπύθιση, παρουσία, αλληλεπίδραση, κίνητρα χρήσης, simulator sickness ελαφριά συμπτώματα, θετικά συναισθήματα), ενώ σε δύο υπερισχύει μόνο έναντι των ιστοσελίδων (ευκολία χρήσης/έλεγχος, ανατροφοδότηση). Η επίδραση του συνόλου των παραπάνω παραγόντων έχει θετική συμβολή στη συνολική εμπειρία του χρήστη, πλην του παράγοντα simulator sickness. Ακόμη, δεν ανιχνεύτηκε διαφορά των τριών μέσων στην επίδραση τεσσάρων παραγόντων (γνωστικό φορτίο, υποκειμενική αποτελεσματικότητα, simulator sickness-βαριά συμπτώματα, αρνητικά συναισθήματα).

Στατιστικά σημαντική επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα είχαν παρακάτω έξι παράγοντες: αισθητική/τεχνική αρτιότητα ($p = 0,007$), εμπύθιση ($p = 0,004$), παρουσία ($p = 0,005$), κίνητρα χρήσης ($p = 0,020$), υποκειμενική αποτελεσματικότητα ($p = 0,007$) και θετικά συναισθήματα ($p = 0,020$). Όλοι οι προαναφερόμενοι παράγοντες είχαν θετικό αντίκτυπο στα μαθησιακά αποτελέσματα. Επίσης, θετικό γεγονός αποτελεί ότι παράγοντας simulator sickness-ελαφριά συμπτώματα, δεν είχε κάποια επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα.

Συμπερασματικά, αυτό που διαφαίνεται από την παρούσα διατριβή είναι ότι η ΠΕΕΠ υπερισχύει στην εμπειρία χρήσης και έχει παρόμοια γνωστική επίδραση με τα άλλα δυο μέσα. Η διατριβή επίσης συνεισφέρει στη μουσειακή εκπαίδευση, καθώς δημιουργήθηκε εκπαιδευτικό υλικό ΕΠ για την εκμάθηση αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας.

ABSTRACT

The groundbreaking technological changes taking place today affect almost every aspect of social and individual life. One of the cutting-edge technologies is Virtual Reality (VR). VR is a set of hardware and software technologies aimed at immersing the user in the Virtual Environment.

At the same time, in recent years there has been an increasing interest in ancient Greek technology.

This thesis aims to create an Immersive Virtual Reality (IVR) software and evaluate it, based on its learning performance and its performance on user experience factors.

Thus, an IVR software was created, which included eight ancient Greek inventions. In addition to the IVR software, Desktop Virtual Reality (DVR) software was also created, so that the evaluation of the IVR software could also be done in comparison with the DVR software. DVR is the type of VR that uses conventional means of interface (mouse, keyboard, screen). For the same reason, websites were also created.

The creation of the media initially required the study of ancient technology. This is how technology was studied from prehistoric times in the Aegean area up to Byzantine times. Of particular interest are - among other inventions - the Antikythera Mechanism, the inventions of Archimedes, automatic mechanisms and water pumping mechanisms.

Special softwares were used to create the softwares. Blender software was used to create the 3D models of the inventions. Unity, a computer game development software, was also used. For Unity to work, script writing in C# language is required. The software in which the scripts were written was Visual Studio Code. The IVR software execution platform was the Oculus Quest system.

Regarding the creation of educational software, only two IVR software were identified for ancient Greek technology, and they use the Oculus Rift as an execution platform. These are two impressive softwares that are the works of a team of IT scientists. The first concerns a virtual museum of fragments of the Antikythera mechanism. The second software is «Palace of Agai».

Literature review was performed based on the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) chart. Initially, 3,145 articles were collected. After the removal of duplicates, irrelevant and other justifiably excluded the final corpus of 29 articles of the analysis was formed.

Of the studies that were characterized as reliable ($n = 4$), a generally positive cognitive effect of IVR was revealed and additionally a positive effect on the factor's presence/immersion, ease of use, graphics, enjoyment. In addition, an effect of IVR on the creation of simulator sickness was also detected, mostly using the joystick movement method.

The following inventions were created for the IVR software: The aeolosphere, the flamethrower, the frictories and the automation of the temple gates.

In the aeolosphere, the user would grab a torch and set fire to the wood at the base of the machine. As the flame developed, steam began to escape from the engine's exhausts, and it began to spin. After a period, the fire began to weaken until it went out. The engine continued to spin with ever decreasing steam until it stopped.

In the Boeotian flamethrower, the user could grab the lever, move it down and fire the flamethrower.

In the phriktries, the user could, by changing the position of the torches on the walls, emit a different letter, based on the model.

In the temple door automation, the user would set fire to the temple altar, and through a mechanism in the temple basement, the doors would open automatically. As soon as the fire was extinguished the doors were closed again.

The above inventions were accompanied by informative text, corresponding to the signs found in museum exhibits. Additionally, the user had the ability to enable narration, which was accompanied by images. The informational elements of the inventions concerned the historical context, the use, and the principle of operation of each invention. Also, benches were created with the mechanical parts of the inventions on display. Each place was accompanied by a sign with its name. The user was able to grasp and pick up the exposed mechanical parts.

Four additional ancient Greek inventions were created for the DVR software: the floating sphere, the steam cannon, the hydraulic telegraph, and the automatic fountain.

In the floating sphere, the user clicking on the machine saw a fire start. Then steam would come out and the hollow sphere would float. As soon as the fire was extinguished, the steam continued to escape for some time diminishing, and then the sphere returned to its original position.

On the steam cannon the user clicked on the cannon, saw the boiler valve turn, an explosion occurs and the stone ball was launched, dragging the retaining stick and breaking the retaining board.

In the hydraulic telegraph, the user clicking on the invention saw the valve of the telegraph open and water flow out. At the same time, the receiver device was displayed in front

of him, with transparencies so that its inner workings could be seen. The floats would lower until the user clicked again and specified the message.

In the automatic coin-operated liberator, the user clicked on the liberator and watched the coin fall into the liberator, deflect the balance mechanism, and flow sanctification into the cup.

The same information elements (signs and narrative with pictures) were developed in the DVR, as in the IVR. In the DVR, however, as expected, the user could not grasp and explore the exposed mechanical parts.

In addition to the two software, websites were also developed for ancient Greek technology. The web pages were made using the Google Sites application and included the following inventions: the flying pigeon, the catapult machine gun, the cryptographic disk, and the audible alarm. They included informative texts, images, and videos.

The research questions of the thesis are the following:

- Will the use of IVR applications lead to better learning outcomes compared to the use of DVR applications and websites, which have similar content?
- Do users find that IVR apps provide a better learning experience compared to DVR apps and websites that have similar content?
- Does learning experience shape cognitive outcomes in IVR applications?

The within subjects' methodology was chosen for the main research. The sample of the main research consisted of 103 young adults, students of the Pedagogical Department of Elementary Education of the University of the Aegean. Two tools were used: a knowledge assessment test and a questionnaire of Virtual Reality factors.

The results of the data analysis led to the general conclusion that the learning effects of the three media were «relatively» equivalent. There was a statistically significant difference in favor of IVR compared to websites, but it could be characterized as marginal ($p = 0.04$) and with a small effect size ($\eta^2 = 0.021$). Also, between IVR and DVR, no statistically significant difference emerged ($p = 0.592$), as well as between EEP and websites ($p = 0.709$).

Out of the total of 13 factors, in seven the IVR prevails in both compared means (aesthetic/technical perfection, immersion, presence, interaction, motives of use, simulator sickness mild symptoms, positive emotions), while in two it prevails only over websites (ease of use/control, feedback). The effect of all the above factors has a positive contribution to the overall user experience, except for the simulator sickness factor. Also, no difference of the three means was detected in the effect of four factors (cognitive load, subjective efficacy, simulator sickness severe symptoms, negative emotions).

The following six factors had a statistically significant effect on learning outcomes: aesthetic/technical perfection ($p = 0.007$), immersion ($p = 0.004$), presence ($p = 0.005$), motivation to use ($p = 0.020$), subjective effectiveness ($p = 0.007$) and positive emotions ($p = 0.020$). All the aforementioned factors had a positive impact on learning outcomes. Also, a positive fact is that producing simulator sickness-mild symptoms had no effect on the learning results.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ-KEYWORDS

Αρχαία Ελληνική τεχνολογία (ancient Greek technology), Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα (Immersive Virtual Reality), Επιτραπέζια Εικονική Πραγματικότητα (Desktop Virtual Reality), Ιστοσελίδες (Websites), Μουσειακή Εκπαίδευση (Museum Education)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Τεχνολογική ανάπτυξη

Ένα από τα χαρακτηριστικά στοιχεία της εποχής μας είναι η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας. Ενώ σε παλαιότερες εποχές οι ριζοσπαστικές τεχνολογικές αλλαγές γίνονταν με έναν σχετικά αργό ρυθμό και τα τεχνολογικά μέσα λίγο διέφεραν από γενιά σε γενιά, εδώ και αρκετές δεκαετίες η τεχνολογική πρόοδος έχει μετασχηματίσει ριζικά την καθημερινή ζωή, σε βαθμό που να προκύπτουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γενεών. Φαίνεται ότι η τεχνολογία καλπάζει και η πρόοδος αυτή επηρεάζει σχεδόν κάθε έκφανση της ζωής, από τις επικοινωνίες και τη βιομηχανική παραγωγή, έως την ιατρική και τη γεωργική παραγωγή.

Αυτή όμως η τεχνολογική έκρηξη δεν βασίζεται σε κάποιου είδους μεταφυσική έμπνευση ή τυχαιότητα. Όπως και σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα (ενδεικτικά, επιστήμη, φιλοσοφία), έτσι και στην τεχνολογία δεν υφίσταται γέννηση από το μηδέν. Η τεχνολογία αναπτύσσεται παράλληλα με τον άνθρωπο, σχηματίζοντας ένα ιστορικό-χρονικό συνεχές, το οποίο ως αρχή έχει τις πρωτόγονες εφευρέσεις του *Homo Neanderthalensis* (ενδεικτικά, πρωτόγονα εργαλεία και άναμμα φωτιάς), μέχρι τη σημερινή διαστημική τεχνολογία. Σε αυτό το συνεχές, ιδιαίτερα σημαντικές είναι περίοδοι και τοποθεσίες όπου, λόγω ιδιαίτερων συνθηκών, παρατηρούνται μεγάλες πρόοδοι στον τομέα της τεχνολογίας. Τέτοιες περίοδοι και τοποθεσίες -μεταξύ άλλων- είναι η αρχαία Κίνα, η αρχαία Μεσοποτάμια, η αρχαία Ελλάδα, η ισλαμική χρυσή εποχή και οι ΗΠΑ στις αρχές του 20ου αιώνα (ενδεικτικά, Festa et al., 2019· Kosmopoulos & Tzortzi, 2021· Lee, 2018· Zekai, 2016).

1.2. Τεχνολογική ανάπτυξη και εκπαίδευση

Οι ρηξικέλευθες αλλαγές που συντελούνται στις μέρες μας, φυσικά και δεν άφησαν ανεπηρέαστη την εκπαίδευση (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011). Η έκρηξη στην ανάπτυξη των ΤΠΕ που συντελείται οπλίζει τον σύγχρονο εκπαιδευτικό με πληθώρα εργαλείων και καινοτομιών από τον χώρο της εκπαιδευτικής τεχνολογίας, οι οποίες μπορούν να καταστήσουν την εκπαιδευτική διαδικασία περισσότερο αλληλεπιδραστική και να την αναβαθμίσουν από μια συμβατική διαδικασία σε «εμπειρία» (Fokides et al., 2017). Σε αυτή την προσπάθεια αναβάθμισης της εκπαιδευτικής διαδικασίας σε «εμπειρία», σημαντικό ρόλο μπορεί να παίξει η Εικονική Πραγματικότητα (ΕΠ).

1.3. Η Εικονική Πραγματικότητα

Η ΕΠ γνώρισε άνθηση κυρίως λόγω της βιομηχανίας βιντεοπαιχνιδιών και των ειδικών εφέ της βιομηχανίας του κινηματογράφου. Θα μπορούσε να λεχθεί ότι στην ΕΠ εμπίπτουν γενικά οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τρισδιάστατα γραφικά. Παρότι λοιπόν, δεν αναπτύχθηκε για εκπαιδευτικούς σκοπούς αρχικά, με την πάροδο των ετών δημιουργήθηκαν εκπαιδευτικές εφαρμογές και μελετήθηκε η επίδραση της στην εκπαίδευση. Σε μεγάλο βαθμό, οι έρευνες που αφορούν τις εκπαιδευτικές χρήσεις της ΕΠ, αποκαλύπτουν θετική μαθησιακή και συναισθηματική επίδραση (ενδεικτικά, Caro et al., 2018 · McJunkin et al., 2018· Peixoto et al. 2019· Smith et al. 2017). Επιπρόσθετα, οι τεχνολογίες της ΕΠ χρησιμοποιούνται ευρέως για τη δημιουργία λογισμικών μουσειακής εκπαίδευσης, με ενθαρρυντικά μαθησιακά και συναισθηματικά αποτελέσματα (ενδεικτικά, Andreoli et al., 2019· Argyriou et al., 2019· Battisti & Di Stefano, 2018· Caputo et al., 2019· Cecotti, 2020· Zhao et al., 2018).

Τα παραπάνω αποτέλεσαν το αρχικό έναυσμα για την παρούσα διατριβή. Έτσι, η διατριβή θα ασχοληθεί αφενός με την εκπαιδευτική χρήση της ΕΠ και αφετέρου με την αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Η επιλογή αυτή γίνεται αφενός γιατί η αρχαία Ελληνική τεχνολογία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αφετέρου γιατί υπάρχει πολύ ευκολότερη πρόσβαση σε μουσεία που αναπαριστούν αρχαίες ελληνικές εφευρέσεις. Αυτό βέβαια, δεν αποκλείει τη μελλοντική δημιουργία ανάλογων εκπαιδευτικών εφαρμογών άλλων πολιτισμών (ενδεικτικά, αρχαία Κινεζική τεχνολογία, αρχαία Ρωμαϊκή τεχνολογία και αρχαία Σουμεριακή τεχνολογία).

1.4. Η Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα

Όπως θα αναπτυχθεί στη συνέχεια, η διατριβή θα αξιοποιήσει μια συγκεκριμένη παραλλαγή της ΕΠ που ονομάζεται Πλήρως Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα (ΠΕΕΠ). Η τεχνολογία ΠΕΕΠ έχει επανέλθει τα τελευταία χρόνια δυναμικά στο προσκήνιο, λόγω της κυκλοφορίας συσκευών που είναι πλέον ταυτόχρονα αξιόλογες και οικονομικά προσιτές. Η ΠΕΕΠ, όπως φαίνεται και από τον όρο, επιτυγχάνει την πλήρη εμβύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα να του δημιουργείται αίσθηση παρουσίας στον εικονικό κόσμο. Ο χρήστης πλέον θεωρεί ότι «βίωσε» την αλληλεπίδρασή του με το εικονικό περιβάλλον και όχι ότι «έπαιξε» μια εφαρμογή (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011).

1.5. Βασική υπόθεση

Η βασική ιδέα είναι να δημιουργηθεί ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον ΠΕΕΠ, στο οποίο θα είναι δυνατή η αλληλεπίδραση του χρήστη με αρχαίες ελληνικές εφευρέσεις. Επίσης, μέσω της εφαρμογής, ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει πληροφορίες για τις αρχαίες εφευρέσεις και το πλαίσιο χρήσης τους, σαν να βρίσκεται μέσα σε μουσειακό χώρο. Όπως θα φανεί κατά τη βιβλιογραφική επισκόπηση, κάτι ανάλογο δεν έχει επιχειρηθεί μέχρι τώρα. Το βασικό ερευνητικό ερώτημα περιστρέφεται γύρω από το εάν η χρήση της ΠΕΕΠ έχει θετικές επιδράσεις στη μάθηση και στην εμπειρία χρήσης, συγκριτικά με άλλα μέσα (επιτραπέζια ΕΠ, ιστοσελίδες).

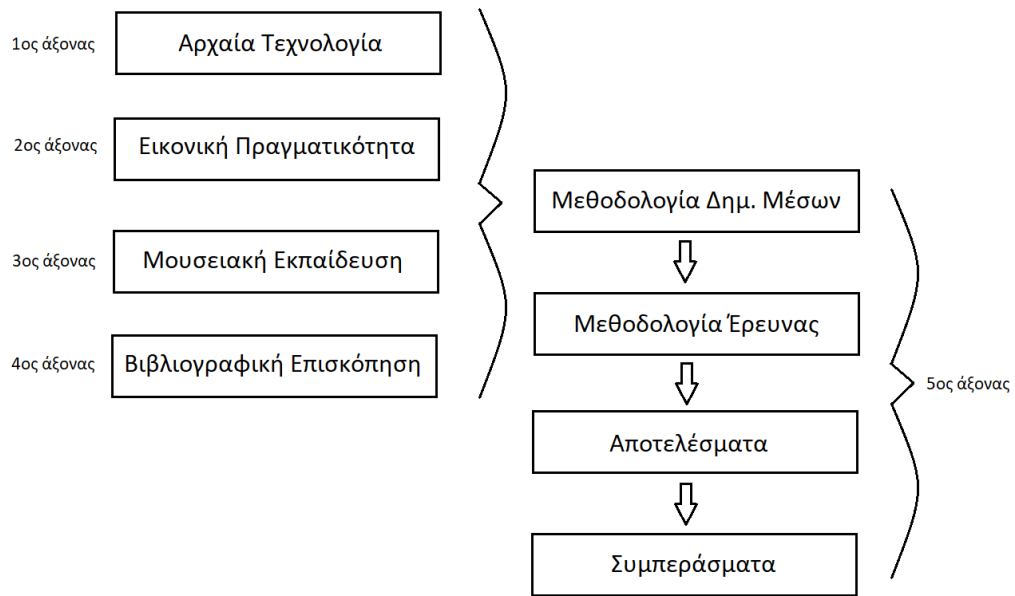
Με βάση όσα λέχθηκαν παραπάνω, η βασική υπόθεση της παρούσας εργασίας ορίζεται ως εξής:

Η χρήση της Πλήρως Εμβυθιστικής Εικονικής Πραγματικότητας για τη διδασκαλία της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα μαθησιακά και συναισθηματικά αποτελέσματα από ότι η αντίστοιχη διδασκαλία με άλλα μέσα.

Προκειμένου να ελεγχθεί η βασική υπόθεση εργασίας, για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής, δημιουργήθηκε ένα λογισμικό ΠΕΕΠ και επιπρόσθετα δημιουργήθηκαν άλλα δύο μέσα: λογισμικό Επιτραπέζιας Εικονικής Πραγματικότητας (ΕΠΕΠ) και Ιστοσελίδες.

Η εργασία αυτή είναι χωρισμένη στους ακόλουθους άξονες, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.1:

- Στον πρώτο παρουσιάζεται η εξέλιξη της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας.
- Στον δεύτερο εξετάζονται οι τεχνολογίες της Εικονικής Πραγματικότητας και προσδιορίζεται η σχέση τους με τη μαθησιακή διαδικασία.
- Στον τρίτο άξονα παρουσιάζεται η μουσειακή εκπαίδευση και αποκαλύπτεται η σχέση της με την Εικονική Πραγματικότητα.
- Στον τέταρτο πραγματοποιείται βιβλιογραφική επισκόπηση που αφορά σε έρευνες χρήσης της ΠΕΕΠ στην μουσειακή εκπαίδευση.
- Στον τελευταίο άξονα παρουσιάζεται η μεθοδολογία δημιουργίας των μέσων, η μεθοδολογία της έρευνας επιδράσεων, αναλύονται τα αποτελέσματα και γίνεται συζήτηση επί των συμπερασμάτων.



Σχήμα 1. Μεθοδολογία εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΡΧΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

2.1. Εισαγωγή

Η τεχνολογία αποτελεί μια από τις κύριες εκφάνσεις του πολιτισμού. Μάλιστα, χαρακτηρίζει σε τέτοιο βαθμό την ανάπτυξη του πολιτισμού, ώστε αρχαίοι πολιτισμοί, αλλά και χρονολογικές περιόδους να ονομάζονται με βάση το επίπεδο της τεχνολογίας (ενδεικτικά, εποχή του χαλκού). Το παρόν κεφάλαιο έχει σκοπό να παρουσιάσει συνοπτικά την τεχνολογική πορεία του ανθρώπινου πολιτισμού στον χώρο της ανατολικής μεσογείου, φτάνοντας χρονολογικά μέχρι και τους Βυζαντινούς χρόνους. Η παρουσίαση θα γίνει μέσα από τα γνωστότερα τεχνολογικά επιτεύγματα που αποτελούν ορόσημο για τον πολιτισμό. Οι πολιτισμοί που θα παρουσιαστούν είναι ενδεικτικοί, καθώς η συμπερίληψη του συνόλου των αρχαίων πολιτισμών είναι αδύνατη και δεν άπτεται των στόχων και του είδους της παρούσας διατριβής. Το κεφάλαιο παρουσιάζει εν συντομία τις περιόδους κατά την αιώτερη αρχαιότητα και ενδεικτικά και επιγραμματικά τα κατά περίπτωση προηγμένα τεχνολογικά επιτεύγματά τους. Να τονιστεί ότι μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στην Εποχή του Χαλκού στο Αιγαίο από την οποία επιλέγονται, ενδεικτικά μόνο, οι σημαντικότεροι πολιτισμοί της περιόδου και η παρουσίασή τους γίνεται μόνο για να φανεί η χρήση υψηλής τεχνολογίας από την περίοδο που προηγείται του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού. Στη συνέχεια ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων τεχνολογικών επιτευγμάτων από την αρχή του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού έως και τους Βυζαντινούς χρόνους. Σε καμία περίπτωση η παρουσίαση των παρακάτω παραδειγμάτων δεν πρέπει να θεωρηθεί εξαντλητική.

2.2. Η τεχνολογία κατά τους Προϊστορικούς χρόνους

2.2.1. Εποχή του Λίθου

Η εμφάνιση του ανθρώπου στη Γη και η αρχή του ανθρώπινου πολιτισμού ξεκινά με την Εποχή του Λίθου. Είναι μια μακροσκελής περίοδος, όπου εκτός των μεγάλων κλιματικών και γεωλογικών αλλαγών που τη συνόδευσαν, περιλαμβάνει σημαντικές μεταβολές στον ανθρώπινο διανοητικό και πολιτισμικό εξελικτισμό, σε τρεις βασικές υποπεριόδους: την Παλαιολιθική, Μεσολιθική και τη Νεολιθική. Εν ολίγοις, πρόκειται για την εποχή που ξεκινά με τη χρήση της φωτιάς, πριν περίπου από 2,6 εκατομμύρια χρόνια και καταλήγει πριν την εισαγωγή των μετάλλων στην καθημερινότητα του ανθρώπου το 3.200 π.Χ. Το όνομα της περιόδου προκύπτει, σύμφωνα με το σύστημα των Τριών Εποχών, από την πρώτη ύλη που

χρησιμοποιήθηκε κατά την κατασκευή των πρώτων τεχνέργων (Θεοδωρακοπούλου, 2023· Πουλιανός, 2005· Vermeule, 1983).

2.2.1.1. Παλαιολιθική εποχή

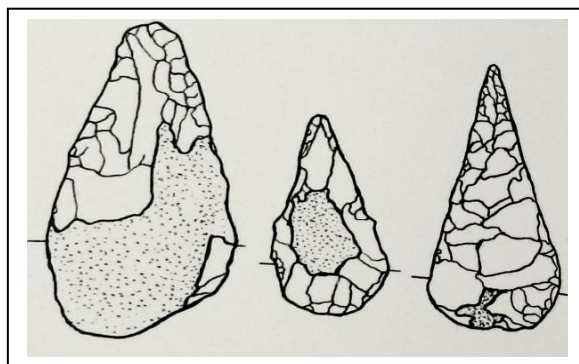
Η έναρξη της Παλαιολιθικής περιόδου τοποθετείται με την εμφάνιση των πρωιμότερων εργαλείων στην Αφρικανική ήπειρο, ενώ σύμφωνα με κάποιους ερευνητές ξεκινά πριν από περίπου 2,6 εκατομμύρια χρόνια με την εμφάνιση του *Homo habilis* και τελειώνει πριν από περίπου 10.000 χρόνια (Θεοδωρακοπούλου, 2023· Józsa, 2011). Πρόκειται για την πιο μακροπερίοδη φάση της Εποχής του Λίθου. Η Παλαιολιθική εποχή με τη σειρά της, χωρίζεται σε τρεις χρονολογικές υποκατηγορίες, την Κατώτερη, Μέση και Ανώτερη Παλαιολιθική Εποχή, οι οποίες περιλαμβάνουν επιμέρους στάδια τυπολογικής και τεχνολογικής εξέλιξης (Θεοδωρακοπούλου, 2023). Η οικονομία διαβίωσης βασιζόταν αποκλειστικά στο κυνήγι και τη τροφοσυλλογή, ενώ υπάρχουν λιγότερες ενδείξεις αλιείας (ποτάμια, λίμνες και ανοιχτή θάλασσα) που υποδηλώνουν την παρουσία κάποιων θαλάσσιων μέσων. Στην Ανώτερη Παλαιολιθική περίοδο, εντοπίζονται βραχύβιες θέσεις σε νησιά του Αιγαίου και στη Κύπρο. Αυτό προϋποθέτει την πλεύση σε ανοιχτή θάλασσα για αποστάσεις 65 έως και 100 χιλιομέτρων, αποτελώντας μια ισχυρή ένδειξη για την τεχνολογική βελτίωση της ναυσιπλοΐας. Οι ολιγομελείς (10-30 ατόμων) εγκαταστάσεις των ανθρώπων της περιόδου είχαν μόνιμο ή ημιμόνιμο χαρακτήρα. Υπήρχαν θέσεις συγκεκριμένων δραστηριοτήτων, πέρα από κατοίκηση, όπως το κυνήγι ή τη σφαγή θηραμάτων. Τέτοιες θέσεις εγκατάστασης ήταν κατά κύριο λόγο σπήλαια, βραχοσκεπές ή υπαίθριοι χώροι και η επιλογή τους γινόταν βάση των καιρικών συνθηκών και την εγγύτητα σε φυσικούς πόρους. Στις θέσεις αυτές εντοπίστηκε πληθώρα λίθινων εργαλείων με μεγάλη ποικιλία στη τυπολογία, ανάλογα με το είδος των δραστηριοτήτων που λάμβαναν χώρα. Οι πρώτες ύλες που αξιοποιούσαν ήταν η πέτρα (κυρίως σκληρά πετρώματα όπως πυριτόλιθος ή ηφαιστιογενή πετρώματα λ. χ. οψιανός και κροκάλες), το ξύλο, ζωικά οστά και δέρματα. Η περισυλλογή περιλάμβανε εκτός της τροφής και την συγκέντρωση πρώτων υλών όπως τα ορυκτά για την κατασκευή εργαλείων (λ.χ. οψιανός). Με την εμφάνιση του *Homo erectus*, παρατηρήθηκαν αλλαγές στη μέθοδο κυνηγιού με τεχνική βελτίωση των εργαλείων. Εμφανίζονται παγίδες για τα μεγαλύτερα θηράματα, χρήση οστέινων αιχμών και καμακιών. Τα προϊόντα λιθοτεχνίας αποτελούν την πρώτη και σημαντικότερη μορφή τεχνολογίας. Οι πρώτες απόπειρες εντοπίζονται στη Κένυα πριν περίπου από 3,3 εκατομμύρια χρόνια. Ο *Homo habilis* ήταν ικανός για την επιλογή ιδανικού πετρώματος προς κατεργασία και με στοχευμένα χτυπήματα υπό συγκεκριμένη γωνία κρούσης διαμόρφωνε ένα λειτουργικό εργαλείο. Πρόκειται επομένως για πελεκημένες κροκάλες. Αργότερα η Κατώτερη

Παλαιολιθική περίοδος χαρακτηρίζεται από χειροπέλεκεις (Εικόνα 2.1, 2.2). Στη Μέση Παλαιολιθική αναπτύσσεται η τυπολογία, δηλαδή συγκεκριμένη τεχνική για την κατασκευή του εκάστοτε εργαλείου, έτσι ενδεικτικά εντοπίζονται φολίδες, λεπίδες, αιχμές, ξέστρα, αξίνες, λιανιστήρες και τεμαχιστήρες (Εικόνα 2.3). Τέλος, στην Ανώτερη Παλαιολιθική προστίθενται βελτιώσεις. Τα εργαλεία γίνονται περισσότερο λεπτά και ελαφριά με πιο αιχμηρές απολήξεις, εξαιτίας του σχήματος τους όπως οι φυλλόσχημες αιχμές (Εικόνα 2.4), ενώ τα οστά εντάσσονται στην εργαλειοτεχνία. Η παραγωγή εργαλείων είναι τόσο σημαντική για την πορεία του ανθρώπινου πολιτισμού, ώστε οι διαφορετικές πολιτισμικές φάσεις που εντοπίζονται στον άξονα του χρόνου και του τόπου, διαχωρίζονται και ονοματίζονται με βάση την τεχνολογική πορεία (Θεοδωρακοπούλου, 2023· Πουλιανός, 2005· Σάμψων, 2007).

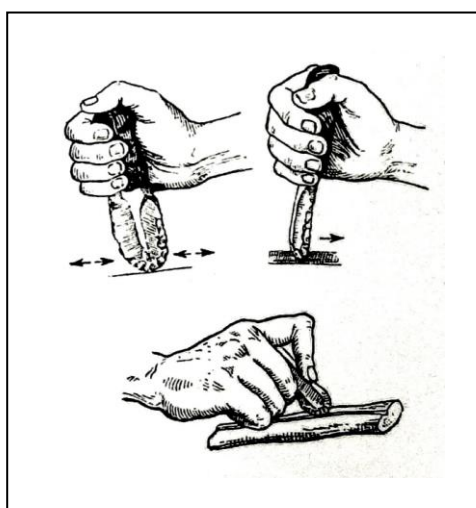
Η δημιουργία λίθινων εργαλείων, εκτός από σκοπούς επιβίωσης, επέτρεψε στον άνθρωπο της παλαιολιθικής εποχής να δημιουργεί διάφορες μορφές τέχνης, όπως κινητές μικροτεχνίες που περιλαμβάνει την πλαστική και την χαρακτηριστική τέχνη ή βραχογραφίες. Έτσι προκύπτουν οστέινα ή λίθινα ειδώλια, ανάγλυφες παραστάσεις σε λίθους ακόμα και κοσμήματα (Θεοδωρακοπούλου, 2023· Józsa, 2011).



Εικόνα 2.1. Χειροπέλεκυς Κατώτερης Παλαιολιθικής (Θεοδωρακοπούλου, 2023)



Εικόνα 2.2. Σχεδιάγραμμα χειροπελέκεων (λογχοειδείς) (Πουλιανός, 2005)



Εικόνα 2.3. Πιθανός τρόπος χρήσης λεπίδας (Πουλιανός, 2005)



Εικόνα 2.4. Φυλλόσχημη αιχμή (Πουλιανός, 2005)

2.2.1.2. Μεσολιθική εποχή

Η Μεσολιθική περίοδος διαχωρίζεται εξαιτίας μεγάλων κλιματικών αλλαγών. Το λιώσιμο των πάγων του Πλειστόκαινου και η ένταξη στην περίοδο Ολόκαινου, που χαρακτηρίζεται από άνοδο της θερμοκρασίας (για τον ελλαδικό/αιγαιακό χώρο ξεκινάει το 9.000 π.Χ. έως το 6.800 π.Χ.), προκαλεί έναν διαχωρισμό μεταξύ των κυνηγών- τροφοσυλλεκτών των δύο περιόδων. Ο όρος Μεσολιθική περίοδος απαντάται κυρίως στη Δυτική Ευρώπη και στον Ελλαδικό χώρο. Αντίθετα, η Εγγύς Ανατολή δεν εμφανίζει ίδιας κλίμακας κλιματικές και γεωλογικές μεταβολές, επομένως δεν ακολουθούν σημαντικά πολιτισμικά αποτελέσματα, ωστόσο αναγνωρίζονται οι νέες τεχνολογίες. Θεωρείται λοιπόν περισσότερο συμβατή η ονομασία της ως Επιπαλαιολιθική περίοδος (προγενέστερη χρονολογικά της Μεσολιθικής), ως συνέχεια της Παλαιολιθικής. Όπως η Παλαιολιθική εποχή, αντίστοιχα και η Μεσολιθική χαρακτηρίζεται από διάφορες πολιτισμικές φάσεις με βάση τις διάφορες γεωγραφικές θέσεις. Η περίοδος αυτή παρουσιάζει μεγάλη χρονική απόκλιση από περιοχή σε περιοχή και από μελετητή σε μελετητή (Hayes, 1964· Milisauskas, 2011). (Θεοδωρακοπούλου, 2023· Σάμψων, 2010). Η Μέση εποχή του λίθου θεωρείται ένα στάδιο μετάβασης από το κυνήγι και τη τροφοσυλλογή σε μόνιμη εγκατάσταση και παραγωγή τροφής. Οι κλιματικές μεταβολές έφεραν μια σημαντική σειρά αλλαγών στη διαβίωση του ανθρώπου. Νέες μορφές χλωρίδας και πανίδας εμφανίστηκαν ενώ εξαφανίστηκαν άλλες προσαρμοσμένες σε ψυχρότερο κλίμα. Η πορεία προς τη νεολιθικοποίηση πραγματοποιήθηκε σταδιακά. Οι άνθρωποι εξακολουθούσαν να ζουν σε ολιγομελείς ομάδες (10-30 άτομα) ενδεχομένως με συγγενικές σχέσεις, σε αντίστοιχες με την Παλαιολιθική περίοδο θέσεις, όμως με περισσότερο οργανωμένο και μόνιμο χαρακτήρα. Η οικονομία διαβίωσης δεν αλλάζει δραματικά, το κυνήγι και η περισυλλογή τροφής διατηρούνται (με αντικατάσταση διαφόρων ειδών), ενώ αναπτύσσεται ο τομέας της αλιείας με τη τεχνική βελτίωση των ήδη υπάρχοντων μέσων. Εμφανίζεται για παράδειγμα το αγκίστρι κατασκευασμένο από πέτρα ή οστά (Εικόνα 2.5), ενώ τα οργανικά κατάλοιπα, σε οικιστικό πλαίσιο, θαλάσσιων ψαριών που συναντά κανείς σε μεγάλο βάθος, υποδηλώνουν την εξέλιξη της αλιευτικής τεχνολογίας που περιλαμβάνει και τη ναυσιπλοΐα. Η βελτίωση του τομέα της ναυσιπλοΐας μπορεί να εντοπιστεί και από τη παρουσία οψιανού (πέτρωμα με κοιτάσματα στη Μήλο) στον ηπειρωτικό ελλαδικό χώρο. Όσο για την εργαλειοτεχνική παραγωγή, σημειώνεται μια σειρά κατασκευαστικών βελτιώσεων αλλά και δημιουργία νέων εξειδικευμένων εργαλείων. Γενικά παρατηρείται μια μείωση του μεγέθους με παράλληλη την λεπτομερέστερη επεξεργασία των εργαλείων. Η τυπολογία εμπλουτίζεται, εμφανίζονται, ενδεικτικά, ξέστρα, φολίδες (οψιανού ή πυριτόλιθου) και εγκοπές ενώ στη Μέση Ανατολή, όπου η τεχνολογία

βρισκόταν σε υστερότερο στάδιο ακόμα και αν η αντίστοιχη Επιπαλαιολιθική περίοδος τοποθετείται χρονολογικά αρκετά πριν τη Μέσολιθική, κάνουν την εμφάνιση τους περισσότερο σύνθετα εργαλεία με συνδυασμό υλικών (Θεοδωρακοπούλου, 2023· Πουλιανός, 2005· Σάμψων, 2007· Σάμψων, 2010).



Εικόνα 2.5. Οστέινα αγκίστρια (Θεοδωρακοπούλου, 2023)

2.2.1.3. Νεολιθική εποχή

Η Νεολιθική εποχή είναι η τελευταία περίοδος της Εποχής του Λίθου και ακολουθεί τη Μεσολιθική/Επιπαλαιολιθική εποχή. Στον ελλαδικό-αιγαιακό χώρο ξεκινά το 6.800 π.Χ. και ολοκληρώνεται το 3.200 π.Χ. Χωρίζεται σε επιμέρους περιόδους (βλ. Πίνακα 1).

Πίνακας 1. Ο χρονολογικός διαχωρισμός της Νεολιθικής εποχής στον ελλαδικό χώρο. (Θεοδωρακοπούλου, 2023)

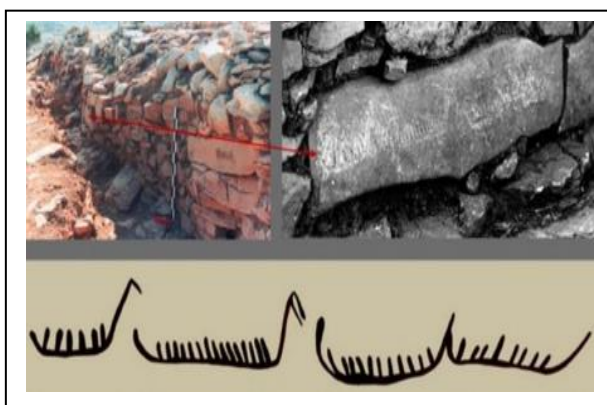
Περίοδος	Χρονολόγηση
Προκεραμική Νεολιθική	6800-6500 π.Χ.
Αρχαιότερη Νεολιθική	6500-5800 π.Χ.
Μέση Νεολιθική	5800-5300 π.Χ.
Νεότερη Νεολιθική I	5300-4800 π.Χ.
Νεότερη Νεολιθική II	4800-4500 π.Χ.
Τελική Νεολιθική-Χαλκολιθική	4500- 3200 π.Χ.

Η Νεολιθική εποχή αποτελεί σημαντικό σταθμό για την πορεία του ανθρώπινου πολιτισμού. Οι μεγάλες καινοτομίες που σημειώνονται εδώ θα διαμορφώσουν μια νέα πραγματικότητα και θα τροποποιήσουν την πορεία του ανθρώπινου γένους. Αρχικά μειώνεται

η παρουσία τροφοσυλλεκτών και ξεκινά η τροφοπαραγωγή, χωρίς ωστόσο να εξαφανίζεται η παράδοση του κυνήγιού. Η παρουσία της γεωργίας (εξημέρωση δημητριακών και οσπρίων) και της κτηνοτροφίας (εξημέρωση αιγοπροβάτων, χοίρων και βοδιών) σηματοδοτεί τη δημιουργία μόνιμης εγκατάστασης. Η νεολιθικοποίηση συνέβη σταδιακά, σε διαφορετική ταχύτητα ανά περιοχή με βάση τις περισσότερες ή λιγότερες ευνοϊκές συνθήκες για μόνιμη εγκατάσταση. Με την έναρξη της τροφικής παραγωγής, εμφανίζονται νέα εργαλεία που εξυπηρετούσαν τον τομέα της καλλιέργειας και επεξεργασίας τροφής (λ.χ. μυλόπετρες). Η λιθοτεχνία φυσικά αποτελεί ακόμα βασικό τομέα παραγωγής, ωστόσο η πέτρα πλέον λειαίνεται, δεν πελεκάται (πολλά από τα εργαλεία που προαναφέρθηκαν στην Εποχή του Λίθου διατηρούνται και βελτιώνονται όπως οι λεπίδες). Τα λίθινα εργαλεία αυτής της περιόδου διαφέρουν κατασκευαστικά. Εντοπίζονται νέοι τύποι μεγαλύτεροι που εξυπηρετούν γεωργικές εργασίες όπως το όργωμα ή το θέρισμα. Τέτοια εργαλεία είναι οι αξίνες ή τα δρεπάνια (Εικόνα 2.6). Η αλιεία συνεχίζει να υφίσταται και αποτελεί σημαντική πηγή τροφής. Πλέον κάνουμε λόγο για μεγαλύτερη ποσότητα αλιευμάτων εξαιτίας της τεχνικής βελτίωσης των δικτύων. Ο κλάδος της ναυσιπλοΐας έχει αναπτυχθεί δραματικά. Πλέον δεν αναφερόμαστε σε μεμονωμένα ταξίδια αλλά σε ένα συντονισμένο θαλάσσιο δίκτυο που συνέδεε οικισμούς με σκοπό την ανταλλαγή προϊόντων (όπως μετακίνηση σπονδύλων για κοσμηματοτεχνία, πετρώματα, αυτούσια εργαλεία όπως μυλόλιθοι και αργότερα στη Τελική Νεολιθική, μέταλλα). Αυτό οδήγησε στη δημιουργία κάποιων οικισμών με έντονο το στοιχείο της θαλάσσιας μετακίνησης και με εξειδικευμένη γνώση στην κατασκευαστική διαδικασία πλοίων (Εικόνα 2.7). Σταδιακά αναπτύσσονται και δευτερογενείς τομείς παραγωγής σε εργαστήρια όπως είναι η κεραμική, η κοσμηματοτεχνία, η υφαντική και η καλαθοπλαστική. Οι κλάδοι αυτοί είχαν συγκεκριμένη τεχνική μέθοδο για την παραγωγή τεχνέργων που βασιζόταν σε ορισμένα τεχνολογικά επιτεύγματα. Εντοπίζονται ενδεικτικά υφαντικά βάρη (*σφονδύλια*) που υποδηλώνουν την παρουσία αργαλιού και οστίνες βελόνες. Τέλος, στη Τελική Νεολιθική ανοίγει ένα σημαντικό κεφάλαιο που θα αλλάξει δραματικά τα δεδομένα του ανθρώπινου πολιτισμού, η επεξεργασία των μετάλλων. Η αξιοποίηση του μετάλλου ως πρώτη ύλη, προϋπέθετε την επίλυση διαφόρων ζητημάτων, όπως το λιώσιμό τους σε συγκεκριμένη σταθερή υψηλή θερμοκρασία και φυσικά τη δημιουργία ενός λειτουργικού τεχνέργου. Προκύπτουν επομένως σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα, όπως οι κεραμικές μήτρες χύτευσης, κεραμικές χοάνες (χωνιά) για τη τήξη του μετάλλου και κεραμικοί φυσητήρες για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Εκτός των χρυσών και ασημένιων κοσμημάτων, η μεταλλοτεχνία χρησίμευσε και στην κατασκευή εργαλείων όπως εγχειρίδια, σμίλες, σπάτουλες κ.α. (Θεοδωρακοπούλου, 2023· Θεοχάρης, 1973· Θεοχάρης, 1981· Σάμψων, 2007· Dickinson, 2003· Maran, 2012· Vermeule, 1983).



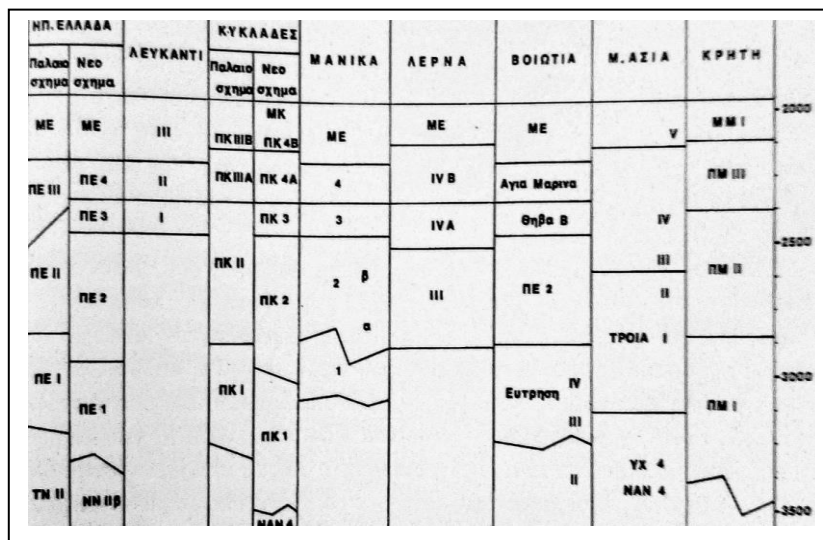
Εικόνα 2.6. Δρεπάνι (Θεοδωρακοπούλου, 2023)



Εικόνα 2.7. Βραχογραφίες που απεικονίζουν τη μορφή των πλοίων (θέση Στρόφιλας Άνδρου) (Θεοδωρακοπούλου, 2023)

2.2.2. Εποχή του Χαλκού

Στον χώρο του Αιγαίου που μας αφορά, η Εποχή του Χαλκού ξεκινά γύρω στο 3200 π.Χ. και διαρκεί μέχρι το 1100 π.Χ. περίπου (Vermeule, 1983). Διαδέχεται την Εποχή του Λίθου και χαρακτηρίζεται από τη συστηματική και διευρυμένη χρήση των μετάλλων. Κατά την περίοδο αυτή αναπτύσσονται στον χώρο του Αιγαίου μεγάλοι πολιτισμοί, ο Μινωικός, ο Κυκλαδικός και ο Μυκηναϊκός, οι οποίοι οδήγησαν στην πρώτη χιλιετία π.Χ. στην ανάδειξη του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού (Peatfield et al., 1996). Η κάθε περιοχή του Αιγαιακού χώρου παρουσιάζει διαφορετικές πολιτισμικές φάσεις που μπορούν να αποδοθούν σχηματικά στην Εικόνα 2.8. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά και επιλεκτικά κάποια χαρακτηριστικά τους. Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιείται είναι αντίστοιχα επιλεγμένη και απόλυτα ενδεικτική.



Εικόνα 2.8. Χρονολόγηση διαφορετικών πολιτισμών της Πρώιμης Εποχής του Χαλκού (Σάμψων, 2007)

Σε αυτή την εποχή ανθίζουν πολλές μορφές χειροτεχνικών δραστηριοτήτων, οι οποίες δεν περιορίζονται αποκλειστικά σε οικιστικό πλαίσιο. Υπάρχουν εξειδικευμένοι τεχνίτες και τεχνίτριες με καλή γνώση της κατασκευαστικής διαδικασίας των τεχνέργων, με επαγγελματική εξειδίκευση σε ειδικά διαμορφωμένους εργαστηριακούς χώρους. Βασικούς τομείς αποτελούσαν η μεταλλοτεχνία, η κεραμική, η λιθοτεχνία αλλά και η υφαντουργία με πολυάριθμες επιμέρους τέχνες. Οι ήδη υπάρχουσες πρώτες ύλες διατηρούνται (πέτρα, ξύλο, οστό-ελεφαντοστό), ενώ προστίθενται τα μέταλλα, οι ημιπολύτιμοι λίθοι και άλλα φυσικά και τεχνητά υλικά. Η τεχνολογική βελτίωση των ήδη γνωστών τεχνικών είναι σημαντική (Σάμψων, 2007· Dickinson, 2003· Maran, 2012).

Κατά την πρώιμη Χαλκοκρατία παρατηρούνται και τα πρώτα «αστικά» συγκροτήματα με σημαντική δημογραφική άνοδο. Συναντάμε σύνθετα πολεοδομικά συστήματα με πληθώρα κατασκευών για τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και τη διευκόλυνση στην ικανοποίηση καθημερινών αναγκών. Εντοπίζονται τεχνητά πηγάδια για ύδρευση, αλλά και κάποια μορφή αποχετευτικού συστήματος των νερών και λυμάτων του οδικού δικτύου (όπως ο οικισμός στη Μάνικα) (Σάμψων, 2007).

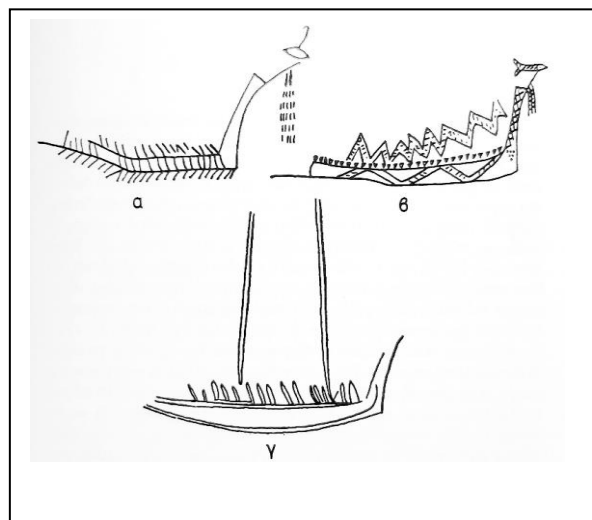
Με την εμφάνιση των Μινωικών και Μυκηναϊκών μνημειακών κτηριακών συμπλεγμάτων, στη περίπτωση της Κρήτης δομημένων γύρω από μια κεντρική αυλή, με τον συμβατικό όρο «Ανάκτορο», προκύπτει η αλληλένδετη σχέση της Αρχιτεκτονικής με τη Μηχανική.

Οι Μινωίτες είναι ιδιαίτερα γνωστοί για την αξιόλογη ανάπτυξη υδραυλικών συστημάτων. Το επίπεδο της υδραυλικής Μηχανικής τους ήταν τέτοιο, ώστε να κατασκευάζουν υδραγωγεία τα οποία τροφοδοτούσαν με νερό παλάτια, πόλεις και χωριά. Το νερό μεταφερόταν από τα υδραγωγεία μέσω κλειστών ή ανοιχτών σωλήνων και καναλιών διαφόρων διαστάσεων. Εκτός από τα υδραγωγεία και τα συστήματα συλλογής του νερού, οι Μινωίτες είχαν αναπτύξει συστήματα αποχέτευσης, όπως αυτά που απαντώνται στα μινωικά παλάτια και απορρίπτουν νερό και λύματα μέσω πέτρινων αγωγών (Angelakis et al., 2006· Angelakis et al., 2013· Angelakis & Spyridakis, 2013).

Στον μυκηναϊκό πολιτισμό συναντάμε μηχανισμούς στην κατασκευή κάθε οικοδομήματος όπως σε μνημειακούς τάφους (χαρακτηριστικό παράδειγμα μυκηναϊκής αρχιτεκτονικής και συνάμα επίτευγμα της δομικής μηχανικής, αποτελεί ο μυκηναϊκός θολωτός τάφος, βλ. Tassios, 2008), σε οχυρώσεις και αναλήμματα, στο οδικό δίκτυο που περιλαμβάνει και γέφυρες, σε υδραγωγεία και σήραγγες, στις αποχετεύσεις κ.α. Έχοντας πλέον ξεπεράσει τα δοκιμαστικά στάδια, τέτοια περίπλοκα συστήματα προϋποθέτουν βαθιά γνώση Μηχανικής. Χρησιμοποιούνταν ως επί το πλείστον μεγάλοι ογκόλιθοι (όπως στα «Κυκλώπεια τείχη») όπου η μεταφορά και η ανύψωση τους οπωσδήποτε απαιτούσε την παρουσία βοηθητικών εργαλείων και μηχανικών συστημάτων (Dickinson, 2003· Vermeule, 1983), Πρόκειται για έργα που αποδεικνύουν το υψηλό επίπεδο δομικής τεχνολογίας (Μουστάκας, 2012). Επιπρόσθετα, οι μυκηναίοι φαίνεται να κατείχαν γνώσεις μηχανικής σχετικά με συστήματα ύδρευσης, τα οποία συνέλεγαν και μετέφεραν το νερό (Tassios, 2008· Knauss, 1991). Ακόμα, κατασκεύαζαν φράγματα είτε ως μέρη αμυντικών τάφρων, είτε για δημιουργία τεχνητού καταρράκτη, είτε για προστασία από πλημμύρες. Με φράγματα κατόρθωναν να αποθηκεύσουν νερό από πλημμύρες και για άρδευση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Tassios, 2008). Αξίζει να σημειωθεί ότι πετύχαιναν την μείωση του μεγέθους λιμνών, μέσω της κατασκευής πόλντερ (polder) (περιφραγμένο τμήμα επιφάνειας εδάφους που περιέχει νερό) και έλεγχαν την άνοδο της στάθμης των υδάτων κατά τον χειμώνα, με χρήση μεγάλων αποστραγγιστικών καναλιών (Tassios, 2008· Knauss, 1991).

Η ναυσιπλοΐα επίσης παρουσιάζει σημαντικές βελτιώσεις. Πληροφορίες συγκεντρώνονται μέσω απεικονίσεων των Κυκλαδίτικων πλοίων. Πρόκειται για πλοία στενά στο πλάτος με μεγάλο μήκος (μήκος 15-20μ, βάρος 1,5-2,3 τόνοι και μέγιστη ταχύτητα 40-50χλμ/ώρα) (Μουσείο κυκλαδικής τέχνης, 2021), η πλώρη ελαφρώς ανυψωμένη, είχε εμβόλιμη μορφή για την αντιμετώπιση εχθρικών πλοίων, ενώ η πρύμνη ήταν αισθητά υψηλότερη και κατέληγε σε κάποιο έμβλημα. Τουλάχιστον για τα Κυκλαδίτικα πλοία δε φαίνεται να κινούνταν με πανιά (μια τεχνολογία που ήταν ήδη γνωστή στην Αίγυπτο), αλλά

με διπλή σειρά κουπιών ο αριθμός των οποίων κυμαίνονταν από είκοσι έως τριάντα πέντε (Εικόνα 2.9). Αντίθετα, τα υστερότερα Μυκηναϊκά πλοία ήταν περισσότερο εμπορικά. Έφεραν ιστία με πανιά, όμως διέθεταν και κωπηλάτες. Το πλάτος τους ήταν αυξημένο για την τοποθέτηση εμπορευμάτων (Vermeule, 1983). Οι Μυκηναίοι εξέλιξαν τον δημοφιλή τύπο πλοίου που κυριαρχούσε στη Μεσόγειο εξομαλύνοντας τις γωνίες του, κατασκευάζοντας σχεδόν κάθετη πλώρη, επιμηκύνοντας την καρίνα και τον κριό, ανυψώνοντας την πρύμνη, επιμηκύνοντας τα κουπιά και το μήκος του πλοίου, έτσι ώστε να κωπηλατούν 25 άνδρες σε κάθε του πλευρά. Το πλοίο αυτό ονομάστηκε πεντηκόντορος και κυριάρχησε στις μυκηναϊκές θάλασσες (Tassios, 2008). Οι Μινωίτες είχαν κατασκευάσει πολλών ειδών πλεούμενα, από βάρκες ως πολεμικά πλοία. Μάλιστα, η κατασκευή των μινωικών πολεμικών πλοίων φαίνεται να εισήγαγε τον «πολεμικό κριό» στην πλώρη του πλοίου, κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Με αυτή την κατασκευή, οι Μινωίτες ήταν σε θέση να εμβολίζουν τα εχθρικά πλοία και η κατασκευή αυτή εφαρμόζεται ακόμα και σήμερα, σε σύγχρονα πλοία (Cohen, 1938).

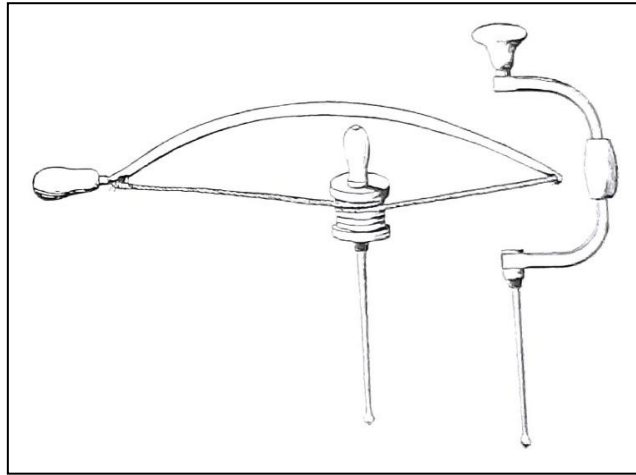


Εικόνα 2.9. Απεικονίσεις πλοίων σε Κυκλαδίτικα τηγανόσχημα σκευή (Vermeule, 1983)

Στον τομέα των μετακινήσεων, άλλη μια σημαντική καινοτομία εμφανίζεται κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού, ο τροχός και τα τροχήλατα μέσα. Το αρχικό μοντέλο ήταν μια ξύλινη κατασκευή με δύο τροχούς όπως το σημερινό καρότσι ή χειράμαξα. Αργότερα εμφανίστηκαν τα άρματα με τέσσερις τροχούς και ξύλινο σώμα τα οποία σέρνονταν από δύο ζώα, κυρίως βόδια. Τα άλογα εντάσσονται σε αυτή τη δραστηριότητα, όταν το άρμα πήρε την ελαφριά μορφή του όπως θα δούμε παρακάτω (Bondar, 2018).

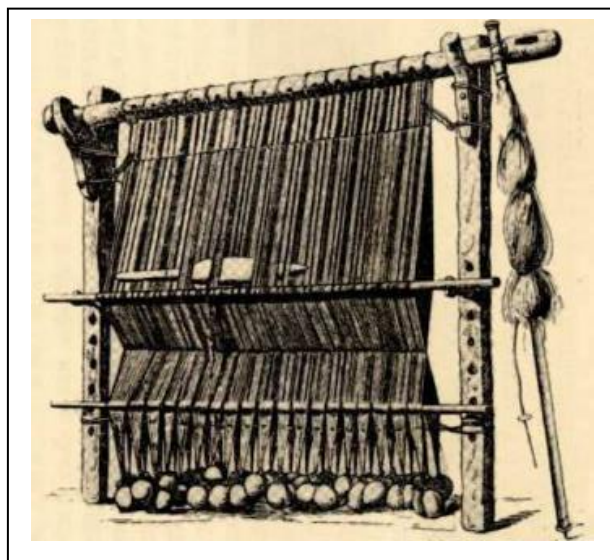
Όσον αφορά τη λιθοτεχνία, οι τεχνικές λείανσης και κατεργασίας της πέτρας όπως επίσης η χρήση τρυπανιών, πριονιών και σμιλών, επέτρεψαν τη δημιουργία περίτεχνων αντικειμένων όπως αγγεία. Αναπτύσσεται ακόμα η τέχνη της σφραγιδογλυφίας σε μικρούς

σκληρούς ημιπολύτιμους λίθους. Η επεξεργασία τους πραγματοποιούνταν με χρήση ειδικών εντυπωσιακά μικρών σκαλιστηριών, με τον τοξοκίνητο τόρνο ή με τρύπανο. Τα τρυπάνια ήταν ένα εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε σε πολλές τέχνες, όπως στην ξυλουργική και στη γλυπτική. Όπως είναι αναμενόμενο, γνώρισε πολλές παραλλαγές και προσαρμογές στις απαιτούμενες συνθήκες (Εικόνα 2.10) (Ορλάνδος, 2004· Dickinson, 2003· Vermeule, 1983).



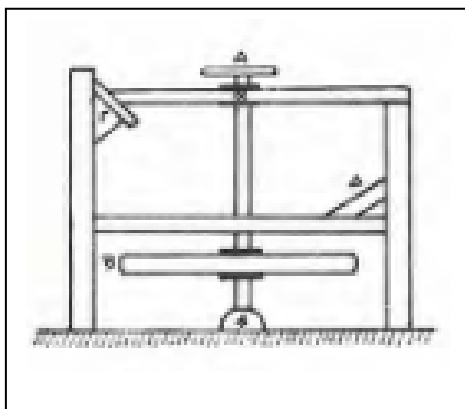
Εικόνα 2.10. Τοξοκίνητο τρυπάνι (αρίς)(αριστερά), χειροκίνητο περιστροφικό (δεξιά)
(Ορλάνδος, 2004)

Αξίζει να αναφερθούμε εν συντομία στην υφαντική τέχνη, μιας και εντοπίζονται στον χώρο του Αιγαίου οι κάθετοι αργαλειοί. Η υφαντική παραγωγή είχε διάφορα στάδια όπου χρησιμοποιούνταν διάφορα εργαλεία όπως το αδράχτι (*άτρακτος*), το κυριότερο και περισσότερο σύνθετο ωστόσο ήταν ο αργαλειός. Πρόκειται για μια κατασκευή που βρισκόταν σε συνεχή χρήση τουλάχιστον μέχρι τους Κλασικούς χρόνους. Αποτελείται από δύο κάθετες δοκούς και μια οριζόντια που τις ενώνει στην άνω απόληξή τους σχηματίζοντας Π. Στην οριζόντια δοκό δένονται τα νήματα και τεντώνονται κάθετα με τη βοήθεια υφαντικών βαρών (*αγνύθες*). Έπειτα περνούσαν τα οριζόντια νήματα και σχηματιζόταν το ύφασμα. Η τεχνική αυτή αν και χρονοβόρα, πρόσφερε μεγάλη ποικιλία σχεδίων και χρωμάτων του τελικού προϊόντος (Εικόνα 2.11) (Τζαχίλη, 2005· Grömer, 2016).



Εικόνα 2.11. Ο κάθετος αργαλειός (Τζαχίλη, 2005)

Η κεραμική τέχνη επίσης δέχεται βελτιώσεις. Από την προετοιμασία του πηλού, μέχρι τη διακόσμηση του αγγείου, ακολουθείται μια σειρά διαδικασιών που απαιτούν καλή γνώση των κατασκευαστικών μεθόδων και σωστή χρήση των υλικών. Κατά το τέλος της Πρώιμης Εποχής Χαλκού, ξεκινά η χρήση μιας εισηγμένης από την ανατολή τεχνολογίας, ο ταχύστροφος κεραμικός τροχός. Πριν φτάσει κατασκευαστικά στο βέλτιστο στάδιο του, ο κεραμικός τροχός είχε κάποιες παραλλαγές. Στη Κρήτη για παράδειγμα, γίνεται χρήση του βραδυκίνητου κεραμικού τροχού (ή αργού), ο οποίος αποτελούνταν από δύο πλάκες που συνδέονταν με ένα άξονα, ο οποίος επέτρεπε τη χειροκίνητη περιστροφή της ανώτερης πλάκας (πανωτρόχι και κατωτρόχι για την άνω και κάτω πλάκα αντίστοιχα). Ο γρήγορος τροχός ακολουθούσε την ίδια τεχνική, ωστόσο σταθεροποιήθηκε και βελτιώθηκε με αποτέλεσμα η περιστροφή της άνω πλάκας, όπου τοποθετούνταν ο πηλός, να είναι ταχύτερη και με μεγαλύτερη διάρκεια. Ο μηχανισμός λειτουργούσε από την ώθηση που έδινε ο τεχνητής με το πόδι του στην κάτω πλάκα (Εικόνα 2.12)(Δανός, 1982· Νοδάρου, 2010· Χολέβα, 2018). Έτσι εμφανίζονται σταδιακά τα πρώτα τροχήλατα αγγεία, χωρίς ωστόσο να εγκαταλείπεται η χειροποίητη κεραμική. Οι δυνατότητες που προσέφερε ο τροχός στο επίπεδο της τέχνης και της μαζικής παραγωγής, είχε ως αποτέλεσμα την ευρεία και συστηματική χρήση του στον ελλαδικό χώρο μέχρι την Ύστερη Εποχή του Χαλκού. Με τη χρήση του κεραμικού τροχού στην αγγειοπλαστική, ανοίγει ένα ξεχωριστό κεφάλαιο τυπολογίας, με ποικιλία περίτεχνης λεπτοφυούς κεραμικής, που χαρακτηρίζει και αντιπροσωπεύει την ανάπτυξη σημαντικών πολιτισμών στον Αιγαϊακό χώρο (Dickinson, 1999· Dickinson, 2003).



Εικόνα 2.12. Σχηματική αποτύπωση κεραμικού τροχού (Δανός, 1982)

Ωστόσο, τις σημαντικότερες και περισσότερο αξιοσημείωτες τεχνολογίες, τις εντοπίζουμε γύρω από την εξόρυξη και κατεργασία των μετάλλων, ενώ αναπτύσσονται περισσότερο εξελιγμένες τεχνικές, εκτός της σφυρηλάτησης και της χύτευσης. Η βασικότερη δυσκολία που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών, ανάλογων για τη τήξη του εκάστοτε μετάλλου. Αυτό το επέτρεψε η ευρεία διάδοση ειδικών κλιβάνων. Η χρήση διαφόρων σύνθετων τύπων μήτρας προσέφερε ποικιλία στην τυπολογία των κατασκευασμάτων. Η δημιουργία κραμάτων μετάλλου όπως ο μπρούτζος (χαλκός και κασσίτερος) ήταν επίσης μια απαιτητική διαδικασία, όμως γνώριζαν πως η ενίσχυση του μετάλλου με μόλυβδο ή αρσενικό δημιουργούσε περισσότερο ανθεκτικά τέχνηρα, ειδικά όταν το κράμα προορίζονταν για κατασκευή εγχειριδίων, όπλων ή άλλων εργαλείων όπως ξέστρα, ξυράφια, πριόνια ή δρεπάνια για καλλιέργεια. Η χρήση αμφικέφαλων καρφιών αποτέλεσε σημαντική τεχνική βελτίωση για τη σταθερότητα των λαβών των εγχειριδίων. Τα μέταλλα χρησιμοποιήθηκαν και στη κατασκευή περίτεχνων αγγείων, κυρίως με τη τεχνική της χύτευσης. Η μεταλλοτεχνία χρησίμευσε στην παραγωγή καθημερινών χρηστικών εργαλείων, αλλά πολύ περισσότερο στη δημιουργία μικροτεχνικών αντικειμένων κύρους (όπως κοσμήματα και είδη στολισμού) με μεγάλη ποικιλία στις τεχνικές διακόσμησης. Εντοπίζονται τεχνικές όπως η συγκόλληση, η ιχνογραφία, η εγχάραξη, η επένδυση μετάλλων με ελάσματα χρυσού, η προσθήκη επιθεμάτων διαφορετικών μετάλλων (γενικότερα υπάρχει ευρεία χρήση της ένθεσης υλικών όπως λίθοι και κοχύλια σε κεραμικά σκεύη), η χρήση συγκολλητικών ουσιών όπως το νιέλλο κ.α. (Dickinson, 1999· Dickinson, 2003).

Επιπλέον, η χρήση ενός τεχνητού υλικού, της φαγετιανής, στην Κρήτη (η τεχνική αυτή είχε αναπτυχθεί πολύ νωρίτερα στην Αίγυπτο) μαρτυρά καλή γνώση για την αξιοποίηση των πρώτων υλών, εφόσον πρόκειται για μη φυσικό υλικό. Πρόκειται για την ανάμειξη πυριτικών

αλάτων, ανθρακικού νατρίου και κάποιας χρωστικής ουσίας, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στη συνέχεια, η απόδοση σχήματος και μορφής στο τέχνηργο, πραγματοποιούνταν με χρήση μήτρας. Ανάλογη ήταν και η κατασκευή υαλόμαζας, που εξυπηρετούσε στην ένθετη διακόσμηση αλλά και στην κατασκευή μη χρηστικών αντικειμένων. Στο τομέα της γεωργίας φαίνεται να κάνει την εμφάνισή του το ξύλινο άροτρο στη Κρήτη, χωρίς όμως να επιβεβαιώνεται η χρήση του συστηματικά (Dickinson, 2003).

Πρόκειται για μια εποχή που χαρακτηρίζεται από άνθηση των τεχνών. Τα ευρήματα αυτής της περιόδου, τόσο τα αποτελέσματα των χειροτεχνιών, όσο και τα μέσα για τη δημιουργία των τεχνέργων, δηλαδή οι τεχνολογίες της εποχής, μαρτυρούν τη βαθιά γνώση μιας ευρείας ποικιλίας τεχνικών και μεθόδων για την εκμετάλλευση των διαθέσιμων πρώτων υλών (Dickinson, 2003).

Τέλος, αξίζει να εξετάσουμε και την πτυχή του πολέμου, που πλέον είναι ενεργή, μέσω των οπλικών συστημάτων. Η παρουσία όπλων σε οικιστικό πλαίσιο μπορεί να μεταφραστεί ως προστασία από άγρια ζώα ή για κυνήγι, ωστόσο, από τις απεικονίσεις φαίνεται πως η χρήση όπλων επικεντρώνεται κυρίως στον πόλεμο. Οι βασικοί τύποι είναι ήδη γνωστοί από την περίοδο εντατικού κυνηγιού. Αναπτύσσεται μεγάλη τυπολογία στα εγχειρίδια, τα ξίφη, στις λεπίδες και τα δόρατα. Εντοπίζονται ακόμα διάφορες μορφές εκηβόλων όπλων (εκτοξευόμενων), όπως το τόξο (υπάρχουν αμέτρητα παραδείγματα από αιχμές βέλων) και η σφεντόνα. Το άρμα επίσης έφτασε στον ελλαδικό χώρο, ενισχύοντας τον πολεμικό εξοπλισμό. Ενδεχομένως, για τη μεταφορά των βαριά οπλισμένων πολεμιστών και τον παράλληλο εκφοβισμό των αντιπάλων. Ένας τύπος άρματος που εντοπίζεται κυρίως σε απεικονίσεις είναι το «box chariot». Ήταν μια ξύλινη στιβαρή κατασκευή με τετράκτινες ρόδες, που αποσκοπούσε περισσότερο στην αντοχή παρά την ευελιξία. Αργότερα αυτό αντικαθίσταται από το «rail chariot» δηλαδή το ελαφρύ άρμα. Τοποθετείται μια μεταλλική λάμα μπροστά από τον αρματηλάτη, η οποία συνδέεται με τους τροχούς. Η αφαίρεση του ξύλου από τις πλευρές του άρματος χάριζε ελαφρότητα και ευκινησία. Το Μεσογειακό αυτό μοντέλο επικρατούσε στον πολεμικό εξοπλισμό και κατά τους Ιστορικούς Χρόνους. (Εικόνα 2.13) (Dickinson, 1999· Dickinson, 2000· Fields, 2006b).



Εικόνα 2.13. Το ελαφρύ άρμα (Fields, 2006b)

2.3. Η τεχνολογία κατά τους Ιστορικούς χρόνους

2.3.1. Εισαγωγή

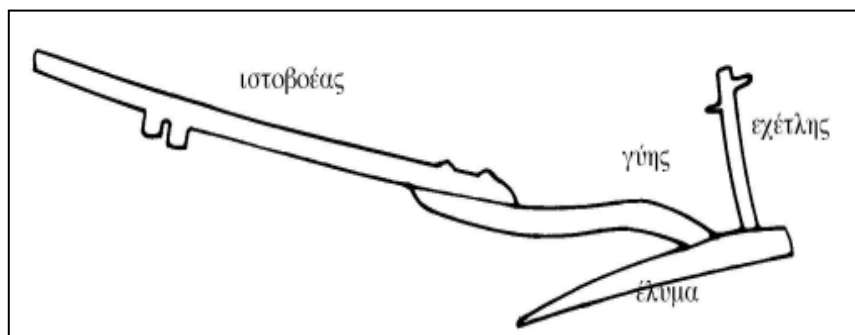
Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν ενδεικτικά και εν συντομία, κάποιοι τεχνολογικά αξιοσημείωτοι πολιτισμοί του Αιγαιακού χώρου, ώστε να φανεί εξελικτικά η πρόοδος της τεχνολογίας, μέχρι τον αρχαίο Ελληνικό πολιτισμό. Στην παρούσα ενότητα, επιχειρείται η συνοπτική και ενδεικτική παρουσίαση της τεχνολογικής πλευράς του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού. Σκοπός της δεν είναι η ιστορική έρευνα ή η παράθεση του συνόλου των αρχαίων Ελληνικών τεχνουργημάτων, καθώς κάτι τέτοιο αποκλίνει από το είδος και τους στόχους της διατριβής.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά κάποια σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα της Ελληνικής αρχαιότητας τα περισσότερα από τα οποία βρίσκονταν σε συνεχή χρήση με βελτιώσεις και προσαρμογές μέχρι και τους Βυζαντινούς χρόνους. Πρόκειται για διαχρονικές τεχνολογίες όπου η λογική και η σκοπιμότητά τους εξυπηρετούσε τον άνθρωπο στο πέρασμα των αιώνων.

2.3.2. «Ησιόδειο» άροτρο

Σύμφωνα με την αναλυτική περιγραφή του Ησιόδου στο έργο του *Έργα και Ημέραι*, το ξύλινο άροτρο διέθετε τέσσερα βασικά μέρη (βλ. Εικόνα 2.14). Το έλυμα ήταν το τμήμα που εισέρχονταν στο χώμα και όργωνε, ο γνής είναι το τμήμα που συνέδεε το έλυμα με τα βόδια. Ο Ησιόδος (*Έργα και Ημέραι*) δίνει έμφαση στη σωστή επιλογή του κατάλληλου ξύλου για

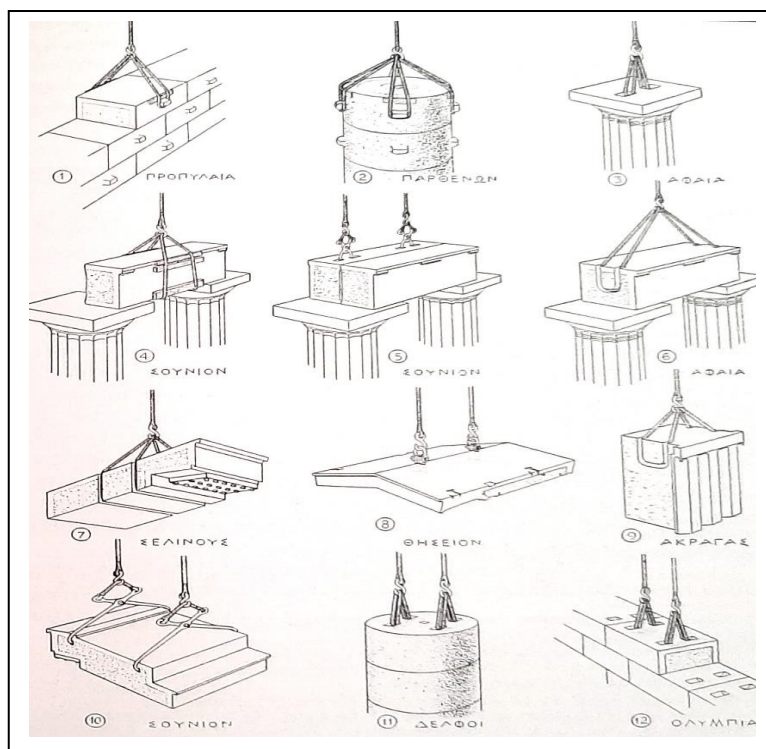
την κατασκευή αυτό του μέλους εφόσον ασκούνταν μεγάλη πίεση. Προτείνει την περινιά (ένα είδος δρυός) που φημιζόταν για την αντοχή και τη σκληρότητά της. Έπειτα ο *ιστοβοέας* ήταν το σημείο όπου δένονταν τα βόδια και είχε μήκος ανάλογο ώστε να υπάρχει ικανός χώρος μεταξύ των ζώων και του ελύματος. Τέλος, ο γεωργός μπορούσε να ελέγχει το άροτρο μέσω του *εχέτλη* (Ορφανός, 1999· Lal, 2007· Weiss, 2020).



Εικόνα 2.14. Το Ησιόδειο άροτρο (Ορφανός, 1999)

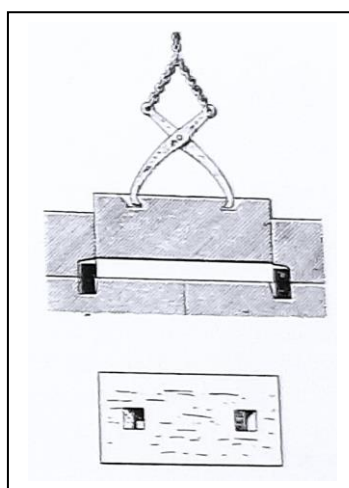
2.3.3. Ανυψωτικοί μηχανισμοί

Ένα σημαντικό πρόβλημα που έπρεπε να επιλυθεί ήταν η μετακίνηση και πόσο μάλλον η ανύψωση μεγάλων ογκόλιθων και αρχιτεκτονικών μελών, κατά την κατασκευή όλων των μνημειακών αρχιτεκτονημάτων. Από την Αρχαϊκή εποχή και ενδεχομένως ακόμα νωρίτερα είχαν εφευρεθεί διάφοροι μηχανισμοί, για την τοποθέτηση μεγάλων λίθων σε ύψος που ξεπερνούσε κατά πολύ το ύψος του ανθρώπου. Οι περισσότεροι μηχανισμοί είχαν μια κοινή φιλοσοφία. Ένας ξύλινος τρίποδας με μία επίσης ξύλινη δοκό από όπου περνούσαν σχοινιά. Τα σχοινιά ρυθμίζονταν από μια τροχαλία και κατέληγαν σε κάποιο σιδερένιο άγκιστρο, το οποίο κρατούσε το βάρος του λίθου. Αυτό που άλλαζε τις περισσότερες φορές, ήταν ο τρόπος ασφάλισης του λίθου πάνω στο άγκιστρο. Ήταν αναγκαία κάποια προσαρμοστικότητα ανάλογα με το σχήμα, το βάρος, το υλικό και τη χρηστικότητα του φορτίου. Εντοπίζονται επομένως αγκώνες (βλ. Εικόνα 2.15, παράδειγμα 1, 2), λαξεύματα τύπου U εκατέρωθεν (βλ. Εικόνα 2.15, παράδειγμα 6, 9) ή εσωτερικά του λίθου (βλ. Εικόνα 2.15, παράδειγμα 3, 11, 12) (Μπουράς, 1980· Ορλάνδος, 2004· Fields, 2006a).



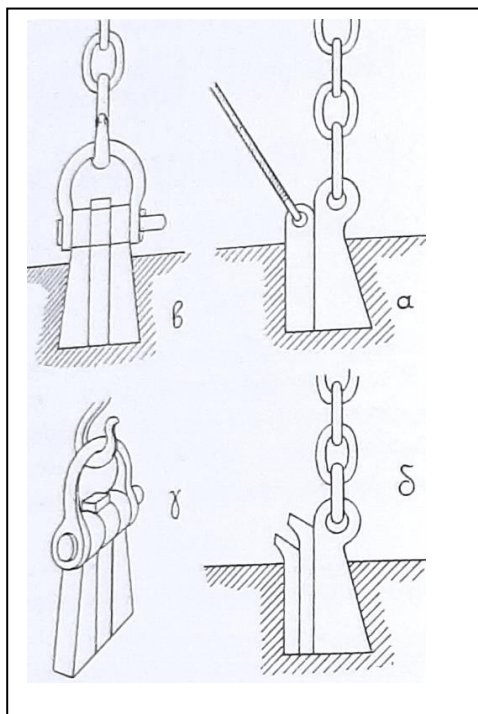
Εικόνα 2.15. Διάφορες ανυψωτικές μέθοδοι (Ορλάνδος, 2004)

Στην ίδια κατηγορία κατατάσσεται και ένας επίσης διαδεδομένος, ήδη από την αρχαϊκή εποχή, μηχανισμός, ο *καρκίνος*. Το όνομά του το παίρνει από το σχήμα του που θυμίζει τις δαγκάνες κάβουρα. (Εικόνα 2.16). Αξίζει να αναφερθούμε στον καρκίνο, καθώς το ίδιο το εξάρτημα αποτελούσε προϊόν τεχνολογίας. Η λογική του ήταν απλή, λειτουργούσε σαν ψαλίδι, αποτελούνταν από δύο καμπύλα σκέλη, τα οποία έμπαιναν σε δύο αντίστοιχες οπές στον λίθο. Από την άνω πλευρά των σκελών περνούσαν σχοινιά και μετά με το γνωστό σύστημα της τροχαλίας και του ξύλινου τρίποδα πραγματοποιούνταν η ανύψωση (Ορλάνδος, 2004).



Εικόνα 2.16. Ο καρκίνος (Ορλάνδος, 2004)

Τέλος, ένα σύστημα με εξίσου μεγάλη απήχηση έως τουλάχιστον και την ύστερη αρχαιότητα, ήταν ο *λύκος* (όπως αποδίδεται στις ρωμαϊκές πηγές). Σε αυτήν την περίπτωση, ανοίγονταν στον λίθο οπές σε τραπέζιο σχήμα, μέσα στις οποίες τοποθετούνταν μεταλλικά τεμάχια που λειτουργούσαν ως σφήνες (Εικόνα 2.17) (Ορλάνδος, 2004).

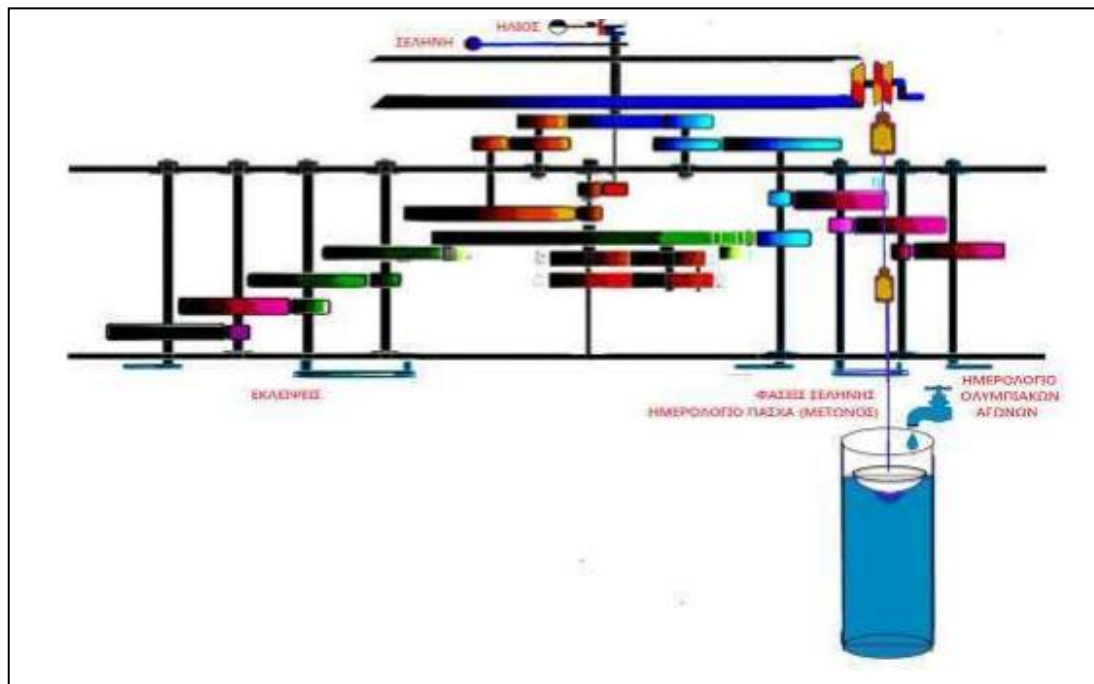


Εικόνα 2.17. Ο λύκος (Ορλάνδος, 2004)

2.3.4. Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ενδεχομένως να είναι το αρχαιότερο προηγμένο τεχνολογικό κατασκεύασμα. Η κατασκευή του χρονολογείται κατά προσέγγιση στο δεύτερο μισό του 2^{ου} αι. π.Χ. και αποτελεί το πολυπλοκότερο προϊόν αρχαίας τεχνολογίας. Με τρισδιάστατες τομογραφίες του μηχανισμού, έγινε δυνατή η κατανόηση της δομής του και των λειτουργιών του. Ο μηχανισμός διέθετε επιπλέον ένα εγχειρίδιο που περιέγραφε τις λειτουργίες και τον τρόπο χρήσης του υπολογιστικού αυτού συστήματος. Πρόκειται επομένως για ένα αυτόματο αστρονομικό ρολόι με πολλαπλές λειτουργίες. Μπορούσε να υπολογίσει με εντυπωσιακή ακρίβεια τις θέσεις και κινήσεις πλανητών με βάση τις θέσεις των αστεριών, προέβλεπε τις εκλείψεις του Ήλιου και τις Σελήνης, καθώς και τις φάσεις της τελευταίας. Επιπλέον, υπολόγιζε ημερολογιακά την περίοδο των Ολυμπιακών αγώνων και άλλων σημαντικών επερχόμενων γεγονότων. Η φιλοσοφία του μηχανισμού ήταν η μαθηματική κίνηση ενός

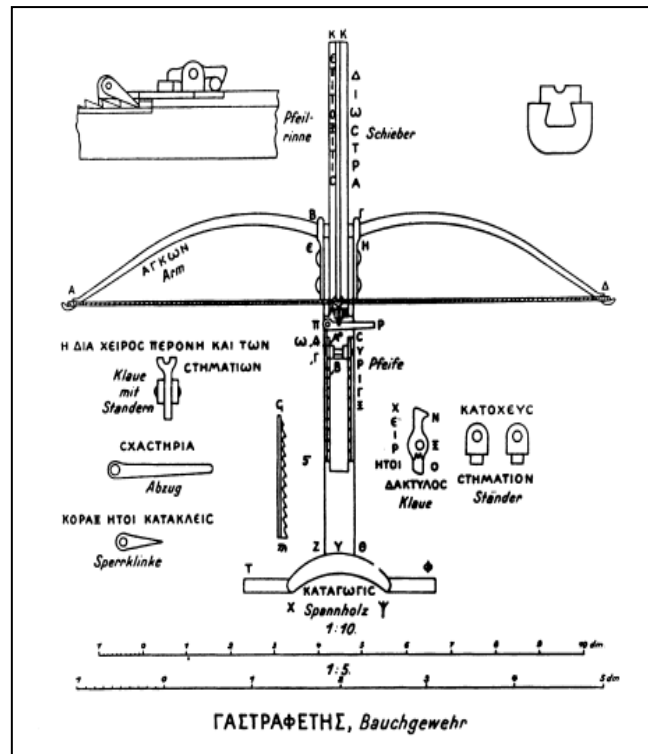
συστήματος γραναζιών και δεικτών, που αντιπροσώπευαν τα προαναφερθέντα φυσικά φαινόμενα (Εικόνα 2.18) (Μουσάς, 2017· Σειραδάκης, 2016· Vallianatos, 2012· Wright, 2005).



Εικόνα 2.18. Σχηματική παράσταση του μηχανισμού σε τομή, όπου φαίνεται το σύστημα γραναζιών, βαρών και αντίβαρων. (Μουσάς, 2017)

2.3.5. Ο Καταπέλτης

Η τεχνολογία του καταπέλτη φάνηκε πολύ χρήσιμη στον πολιορκητικό και γενικότερα στον πολεμικό μηχανισμό ως εκηβόλο όπλο. Εφαρμόστηκε σε κατασκευές διαφόρων μεγεθών ανά τους αιώνες. Αρχικά εμφανίζεται ο *γαστραφέτης* (σύμφωνα με τον Ήρωνα στα Βελοποιϊκά), ένας μηχανισμός χειρός που λειτουργούσε σαν βαλλίστρα. Συνδύαζε αυτοματισμό με τη μυϊκή δύναμη του χειριστή του (Εικόνα 2.19). Το όνομα του προκύπτει από τον τρόπο οπλισμού του μηχανήματος. Ο τοξότης στήριζε τον μηχανισμό στην κοιλία του, όπως φαίνεται από το κοίλον ξύλινο εξάρτημα, ενώ πίεζε στο έδαφος για αντίσταση προκειμένου να τραβήξει τη χορδή (Εικόνα 2.20). Κατά τον 4^ο αι. π.Χ. ο τοξοτός αυτός καταπέλτης αντικαταστάθηκε από τον καταπέλτη περιστροφής (*torsion catapult*), όπου αντί για την ελαστικότητα του τόξου χρησιμοποιούνταν περιστροφική κίνηση ενός πυκνού ιστού από μαλλί ή ζωικούς τένοντες. Ο ιστός μέσω της περιστροφής του, απέδιδε μεγαλύτερη κινητική δύναμη. Δύο εκδοχές προκύπτουν με αυτή την τεχνολογία, ο καταπέλτης βελών, *όξυβελής* ή *εὐθύτονος* και ο λιθοβόλος ή πετροβόλος καταπέλτης, *παλίντονος*. (Campbell, 2011· Hacker, 1968).



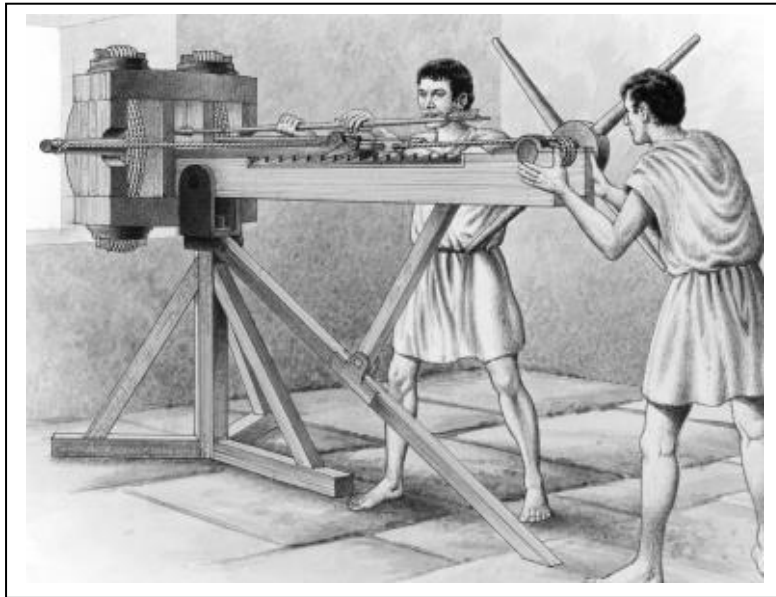
Εικόνα 2.19. Ο Γαστραφέτης (Hacker, 1968)



Εικόνα 2.20. Αναπαράσταση Γαστραφέτη (Campbell, 2011)

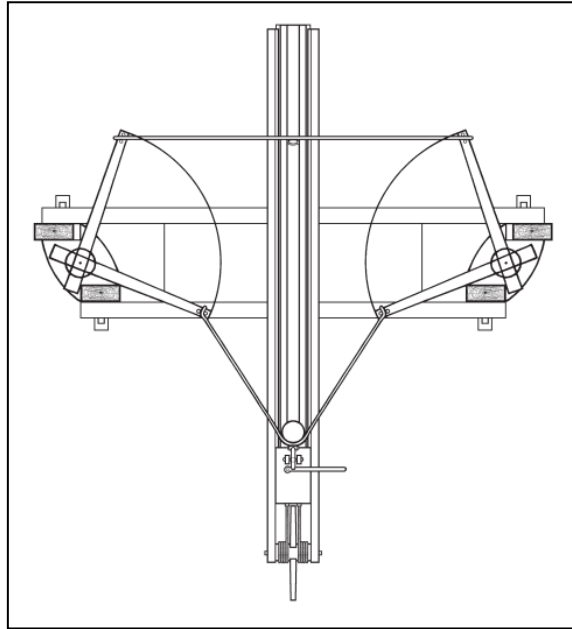
Ο πρώτος ήταν αρκετά διαδεδομένος και βρισκόταν σε συνεχή χρήση, τουλάχιστον μέχρι τους ρωμαϊκούς χρόνους. Ο καταπέλτης στηριζόταν στο έδαφος με μια βάση, στο σημείο όπου υπήρχε το τόξο, μπροστά, μήκαν δύο ξύλινα «χέρια» και ένα επίσης ξύλινο εξάρτημα μέσα στο οποίο βρίσκονταν καθέτως δύο ελαστικές μάζες σχοινιών. Στο πίσω μέρος βρισκόταν

ένα βαρούλκο που τέντωνε το σχοινί, καθώς και ένας μηχανισμός που το έπιανε και το ασφάλιζε, όταν ο μηχανισμός αυτός το απελευθέρωνε, το σχοινί έδινε ώθηση για την εκτόξευσή του βέλους (Εικόνα 2.21) (Campbell, 2011· Hacker, 1968).



Εικόνα 2.21. Ο όξυβελής καταπέλτης (Campbell, 2011)

Ο δεύτερος, δεν διέφερε κατά πολύ στον τρόπο λειτουργίας του. Εξάλλου αναφέρεται από τον Ήρωνα πως οι λιθοβόλοι καταπέλτες αν και μεγαλύτερων διαστάσεων, μπορούσαν να εκτοξεύσουν και βέλη ανάλογου μεγέθους. Στη Ρόδο έχουν βρεθεί προσεκτικά λειασμένες πέτρες διαμέτρου 15 εκατοστών, που μαρτυρούν τη χρήση του μηχανήματος. Οι μηχανές που βασίζονταν στην περιστροφική κίνηση χρησιμοποιούνταν τουλάχιστον μέχρι τον 12 αιώνα. Ο καταπέλτης λίθων, όπως τον γνωρίζουμε με το χέρι/κουτάλα που υποδεχόταν την πέτρα, εμφανίστηκε αρκετά αργότερα κατά την ύστερη αρχαιότητα. Δεν βασίζονταν στη μυϊκή δύναμη ανθρώπων ή ζώων για τη περιστροφή των σχοινιών, αλλά πολύ πιο ξεκούραστα εκμεταλλεύονταν τη βαρύτητα, χρησιμοποιώντας αντίβαρα για την παραγωγή κινητικής ενέργειας. Ο λιθοβόλος καταπέλτης φαίνεται στην Εικόνα 2.22 (Campbell, 2011· Hacker, 1968).



Εικόνα 2.22. Το μπροστινό τμήμα του λιθοβόλου καταπέλτη (Campbell, 2011)

2.3.6. Η Τριήρης

Η Τριήρης αποτελούσε το αποκορύφωμα της αρχαίας Ελληνικής ναυπηγικής τεχνολογίας και συνάμα σύμβολο της αρχαίας Αθήνας. Συνδύαζε μεγάλη ισχύ και ευελιξία. Το πλοίο ήταν ένα αρχαίο υπερόπλο που επέτρεψε την θαλασσοκρατία της Αθηναϊκής δημοκρατίας και ενέπνεε τον φόβο στις αντίπαλες ναυτικές δυνάμεις. Είχε εξαιρετική υδροδυναμική πλευση, με μέγιστη ταχύτητα τα 20 χλμ/ώρα. Διέθετε ένα πολύ δυνατό έμβολο στην πλώρη του, το οποίο είχε ισχυρή μεταλλική επένδυση. Το πλήρωμά του ήταν περισσότερο των διακοσίων ατόμων, με όπλα που έβαλαν από απόσταση (τόξα, ακόντια, δελφίνες και μετέπειτα καταπέλτες).

2.3.7. Εφευρέσεις του Αρχιμήδη

Ο Αρχιμήδης ο Συρακούσιος ήταν ένας από τους σπουδαιότερους μηχανικούς και μαθηματικούς της αρχαιότητας και ίσως ένας από τους μεγαλύτερους επιστήμονες όλων των εποχών. Οι μελέτες και οι κατασκευές του αφορούσαν ένα ευρύ φάσμα πεδίων, όπως την υδραυλική, μηχανική, αρχιτεκτονική κ.α. Του αποδίδονται διάφορες τεχνολογικές εφευρέσεις όπως ενδεικτικά:

Το *ατμοτηλεβόλο*, ήταν ένα κανόνι το οποίο μπορούσε να εκτοξεύσει λίθινες σφαίρες με τη βοήθεια της πίεσης από ατμό.

Το *υδραυλικό ρολόι*, που έλυνε το πρόβλημα του υπολογισμού της ώρας κατά την απουσία φωτός και λειτουργούσε με τη βοήθεια τρεχούμενου νερού.

Ο *ατέρμονας κοχλίας*, ήταν ένας αντλητικός μηχανισμός, πρόκειται για έναν σωλήνα, εντός του οποίου ήταν τοποθετημένο σε έναν άξονα έλασμα με περιελίξεις και έναν μοχλό για να περιστρέφεται.

Το *ηλιακό εμπρηστικό κάτοπτρο*, ο καθρέπτης αντανακλούσε τις ακτίνες του ηλίου πολύ εύστοχα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη θερμότητας. Σίγουρα ήταν ένα μέσο για την παραγωγή φωτιάς, αλλά ενδεχομένως δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ ως πολεμική εφεύρεση (περισσότερα για τη ζωή και το έργο του βλ. Chondros, 2010· Dalley & Oleson, 2003· Health, 2002· Papadogiannis et al. 2009· Rorres & Harris, 2001· Simms, 1977, 1987· Stain, 1999).

2.3.8. Αυτόματοι μηχανισμοί

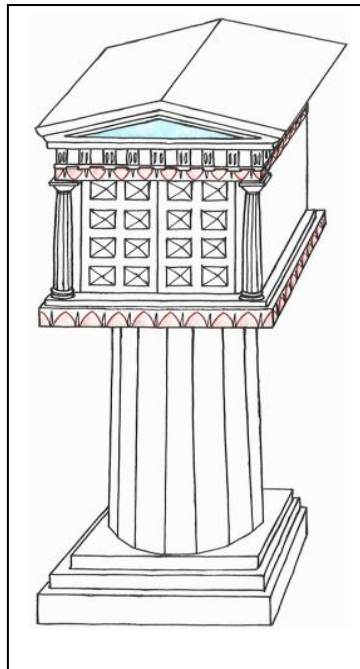
Η Ελληνιστική Εποχή χαρακτηρίζεται, μεταξύ άλλων, από τη σπουδαία άνθηση της αυτοματοποιητικής. Ο Αρχιμήδης, γνωστός μαθηματικός και μηχανικός που έζησε τον 3^ο αι. π.Χ. προετοίμασε το έδαφος για την εμφάνιση μιας νέας σχολής μηχανικών του 1^{ου} αι. την Αλεξανδρινή, που απαρτίζεται από σπουδαίους μηχανικούς όπως τον Κτησίβιο (που θεωρείται «πατέρας» της Αλεξανδρινής σχολής μηχανικής), τον Φίλωνα (Φίλων ο Βυζάντιος) και τον Ήρωνα. Ο Ήρωνας συγκεκριμένα φημίζεται για την εφευρετικότητα του σε αυτόματους μηχανισμούς, στηριζόμενος πάντα στις γνώσεις και στις καινοτομίες, τόσο της Κλασικής, όσο και της Ελληνιστικής εποχής. Πρόκειται για μηχανισμούς στους οποίους εφαρμόζονταν γνώσεις μηχανικής, θερμοδυναμικής, υδροδυναμικής, φυσικής, μαθηματικών, γεωμετρίας κ.α. ενώ αξιοποιούνταν οι ικανότητες των φυσικών στοιχείων όπως τα υγρά, ο αέρας και ο ατμός. Με την αυτοματοποιητική αναδεικνύεται η καλή γνώση της χρήσης των υλικών καθώς και η εφαρμοσμένη γνώση των επιστημών (Καλλιγερόπουλος, 1996).

Οι μηχανές αυτές αποσκοπούσαν κυρίως στον εντυπωσιασμό και τη διέγερση του πνεύματος, ως οι μηχανισμοί που κινούνται από μόνοι τους. Η θεματική τους ήταν άμεσα συνδεδεμένη με την μυθολογία και την τέχνη με μια μορφή θεάτρου. Ο Ήρωνας στο έργο του *Αυτοματοποιητική*, κατατάσσει τους μηχανισμούς του σε κινητούς και σταθερούς. Οι κινητοί είχαν μορφή ναών ή βωμών, ενώ οι σταθεροί βρίσκονταν σε μια βάση ή ένα στύλο και αναπαριστούσαν μυθολογικές σκηνές σαν δραματική παράσταση (εικόνες 2.23, 2.24). Πιο συγκεκριμένα, κατασκεύασε συστήματα, τα οποία επέτρεπαν καθορισμένες κυκλικές ή ευθύγραμμες κινήσεις του μηχανισμού, αυτόματη κίνηση των μορφών ανάλογα με τις απαιτήσεις του μύθου, εκροή υγρών (κρασί, γάλα για αναπαράσταση σπονδής), αυτόματο άναμμα φωτιάς, παραγωγή ήχων κ.α. (εικόνες 2.25, 2.26, 2.27). Τα αυτόματα θέατρα δεν είχαν

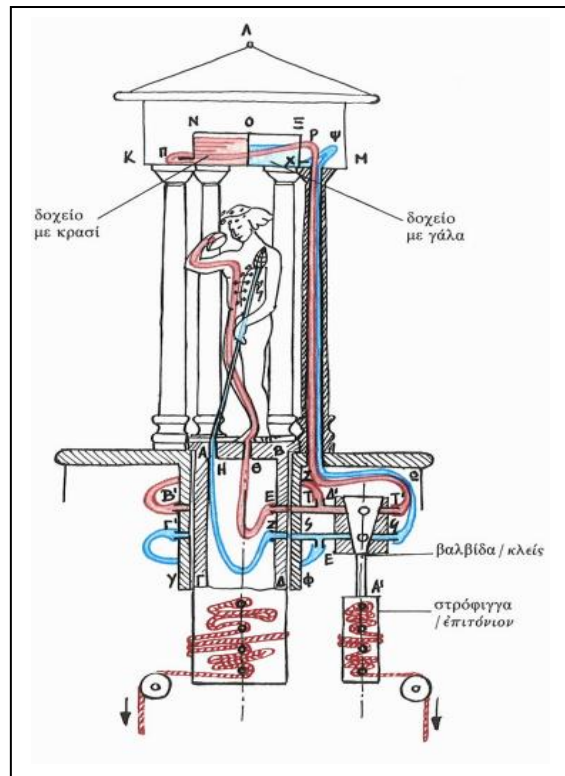
κάποια χρηστική λειτουργία, ωστόσο αποδεικνύουν την άριστη γνώση μηχανικής και το υψηλό επίπεδο της τεχνολογίας κατά την Ελληνιστική περίοδο (Καλλιγερόπουλος, 1996).



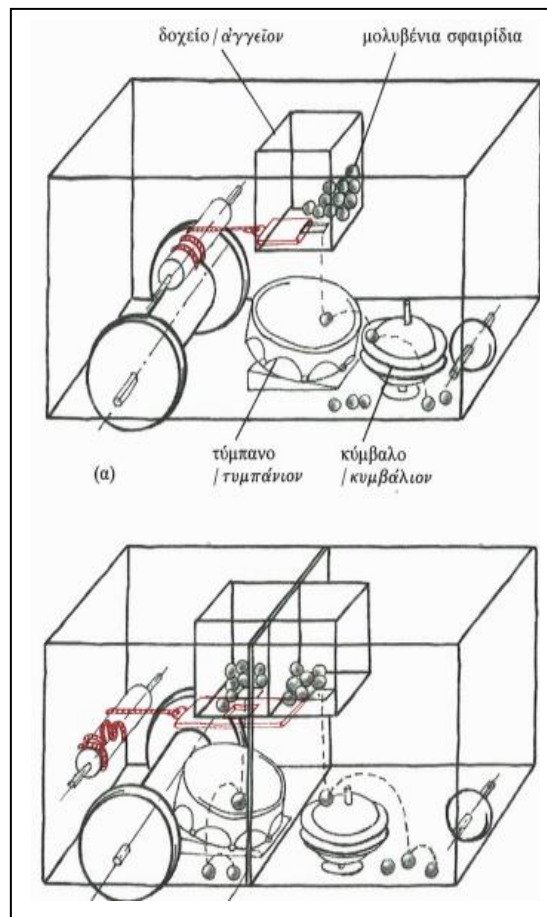
Εικόνα 2.23. Κινητός μηχανισμός (Καλλιγερόπουλος, 1996)



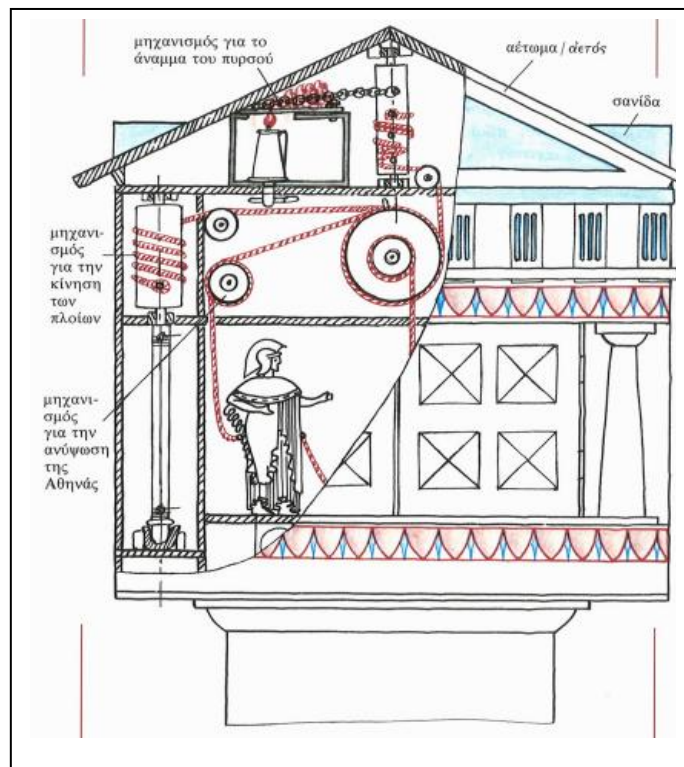
Εικόνα 2.24. Σταθερός μηχανισμός (Καλλιγερόπουλος, 1996)



Εικόνα 2.25. Ο μηχανισμός εκροής υγρών (Καλλιγερόπουλος, 1996)



Εικόνα 2.26. Μηχανισμός παραγωγής ήχου (Καλλιγερόπουλος, 1996)



Εικόνα 2.27. Το θέατρο με την εσωτερική διάταξη των μηχανισμών
(Καλλιγερόπουλος, 1996)

Εκτός των θεατρικών αυτών μηχανών, στον Ήρωνα αποδίδονται και άλλοι αυτόματοι μηχανισμοί, οι οποίοι είχαν πάλι τον σκοπό του θαυμασμού. Ενδεικτικά μερικά παραδείγματα μηχανισμών που κατέγραψε στα συγγράμματά του ήταν η *σφαίρα του Αιόλου* (βασίζόταν στην κινητική ενέργεια μέσω της διαχείρισης ατμού που προκαλούσε την περιστροφή της σφαίρας), η *αυτόματη Κρήνη* (πρόκειται για δημόσια κατασκευή η οποία παρήγαγε ήχους πουλιών μέσω υδραυλικών συστημάτων και διέθετε μια περιστρεφόμενη κουκουβάγια) και ένας περισσότερο χρηστικός μηχανισμός, η *Δίχρονη πυροσβεστική αντλία* (αντίστοιχη της σημερινής, απελευθέρωνε νερό υπό πίεση) (Καλλιγερόπουλος, 1996).

2.3.9. Μηχανισμοί άντλησης υδάτων

Η ανάγκη για τη μεταφορά και τη χρήση νερού στην αρχαιότητα οδήγησε σταδιακά και κυρίως κατά τον 3^ο αι. π.Χ. στην εφεύρεση μηχανισμών άντλησης νερού, που αποτέλεσαν τη βάση πολλών επιμέρους εφευρέσεων στους αιώνες που ακολούθησαν. Οι τεχνολογίες για την άντληση νερού βελτιώθηκαν μέχρι τον 1^ο αι. με την Αλεξανδρινή σχολή και χρησιμοποιήθηκαν συστηματικά κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους. Οι Ρωμαίοι επικεντρώθηκαν

στην τεχνική βελτίωση των ήδη υπαρχόντων τεχνολογιών, παρά στην εφεύρεση νέων. Έτσι εμφανίζονται ενδεικτικά, αντλίες νερού, νερόμυλοι και ο κοχλίας του Αρχιμήδη. Η αντλία νερού υπό πίεση είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του χρονολογικού και κατασκευαστικού ταξιδιού. Η εμφάνιση της αντλίας σημειώνεται στην Ελληνιστική εποχή, οι Ρωμαίοι ωστόσο αξιοποίησαν την τεχνολογία αυτή καλύτερα, χρησιμοποιώντας την αντλία ως μέσο πυρόσβεσης, για εξαγωγή νερού από πηγάδια ή ως το σημερινό πιεστικό για εκτόξευση νερού με πίεση. Πάνω σε αυτές τις τεχνολογίες βασίστηκαν και οι μηχανισμοί των Βυζαντινών για την εκτόξευση του υγρού πυρ όπως θα δούμε παρακάτω. (Oleson, 1979).

2.4 Βυζαντινοί χρόνοι

2.4.1. Εισαγωγή

Η Βυζαντινή Αυτοκρατορία διήρκησε με μεγάλη ισχύ για πολλούς αιώνες (330 μ.Χ. έως 1453 μ.Χ.). Η θέση του κέντρου του Βυζαντίου είχε τεράστια στρατηγική σημασία και πολλοί ήταν αυτοί που επιθυμούσαν την κυριαρχία μιας τόσο κερδοφόρας εδαφικής έκτασης. Οι Βυζάντιοι, εκτός της καλής γνώσης περί αμυντικής αρχιτεκτονικής, καλέστηκαν να βελτιώσουν τις προϋπάρχουσες πολεμικές τεχνικές αλλά και να επινοήσουν τεχνολογίες και οπικά συστήματα προκειμένου να υπερασπιστούν τα εδάφη τους, με αποτέλεσμα να αναπτύξουν κατά πολύ την πολεμική τεχνολογία της εποχής τους (Μπονόβας & Τζιτζιμπάση, 2011).

2.4.2. Υγρόν πυρ

Μια από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις που χάρισε πολλές νίκες στα Βυζαντινά στρατεύματα, ήταν το υγρό πυρ (χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στις ναυτικές συρράξεις με τους Άραβες). Σε συνδυασμό με την προηγμένη ναυτική δύναμη, το υγρό πυρ λειτουργούσε ως το καλύτερο μέσο μαζικής καταστροφής και εκφοβισμού. Πρόκειται για ένα εύφλεκτο μείγμα από θειάφι, πίσσα, πετρέλαιο, νερό και ασβέστη. Οι δυνατότητες ενός τέτοιου μείγματος ήταν ήδη γνωστές από την αρχαιότητα, όμως φαίνεται να αξιοποιήθηκε καλύτερα από τους Βυζάντιους. Το υγρό πυρ χρησιμοποιούνταν με τη βοήθεια ειδικών μηχανών. Ο χειροσίφοντας για παράδειγμα ήταν το απόλυτο εμπρηστικό όπλο. Ήταν ένας κινητός μηχανισμός που μπορούσε να οπλιστεί με τρία λίτρα από το εύφλεκτο αυτό υγρό και να το εκτοξεύσει σε τουλάχιστον 10 έως 12 ριπές από τον αναφλεκτήρα, ο οποίος σύμφωνα με περιγραφές από Αραβικά χειρόγραφα είχε μορφή κεφαλής δράκου (Εικόνα 2.28) (Μπονόβας & Τζιτζιμπάση, 2011).



Εικόνα 2.28. Ο Χειροσίφοντας (Μπονόβας & Τζιτζιμπάση, 2011)

2.5. Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από την παράθεση των τεχνολογικών επιτευγμάτων, οι αρχαίοι Έλληνες είχαν αναπτύξει έναν αξιοθαύμαστο τεχνικό πολιτισμό. Ιδιαίτερα στον χώρο της Μηχανικής, έχουν να επιδείξουν μερικές από τις τελειότερες και συνθετότερες εφευρέσεις της αρχαίας εποχής. Μελετώντας τα αρχαία τεχνουργήματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η αρχαία Ελληνική τεχνολογία βασίστηκε και σε τεχνολογίες προηγούμενων πολιτισμών, έχει όμως να επιδείξει εξαιρετικά προηγμένες και πολύπλοκες εφευρέσεις. Οι εφευρέσεις των αρχαίων Ελλήνων αποτελούν βασικά στοιχεία της μετέπειτα τεχνολογικής ανάπτυξης και μάλιστα εφαρμόζονται ακόμα στις μέρες μας, ως δομικά στοιχεία μηχανικών εφευρέσεων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι εφευρέσεις που βασίζονται στην αμοκίνηση και ιδιαίτερα η σφαίρα του Αιόλου (αιολόσφαιρα) του Ήρωνα του Αλεξανδρινού, είναι ιδιαίτερα σημαντικές, γιατί αποδεικνύουν ότι οι αρχαίοι Έλληνες γνώριζαν την αμοκίνηση, τον θεμέλιο λίθο της-κατά πολύ μετέπειτα-βιομηχανικής επανάστασης.

Όλα τα παραπάνω φανερώνουν ότι η αρχαία Ελληνική τεχνολογία είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό πολιτισμικό κεφάλαιο, το οποίο δεν έχει μόνο ελληνικές, αλλά και παγκόσμιες χωροχρονικές προεκτάσεις και επιδράσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

3.1. Η Εικονική Πραγματικότητα ως τεχνολογικό μέσο

3.1.1. Εισαγωγή

Η πρόοδος των ΤΠΕ έχει μεταβάλει ριζικά την καθημερινή ζωή μας, τόσο σε προσωπικό, όσο και σε κοινωνικό επίπεδο. Η πρόοδος της τεχνολογίας συμπαρασύρει σε τόσο μεγάλο βαθμό τους υπόλοιπους τομείς του πολιτισμού, ώστε είναι αδύνατον να προβλεφθεί -έστω και κατά προσέγγιση- το περιβάλλον και οι προκλήσεις που θα αντιμετωπίσουν οι επόμενες γενιές. Ένας από τους κλάδους αιχμής των ΤΠΕ, είναι και οι τεχνολογίες της ΕΠ. Οι τεχνολογίες της ΕΠ και γενικότερα των τρισδιάστατων γραφικών, αποτελούν ένα σύνολο τεχνολογιών Πληροφορικής, οι οποίες χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως στα ειδικά εφέ-animation στις κινηματογραφικές ταινίες, στα ηλεκτρονικά παιχνίδια και στην εκπαίδευση.

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό, αποτέλεσαν τις κατευθυντήριες γραμμές που καθόρισαν την επιλογή της πλατφόρμας εκτέλεσης των εφαρμογών που αναπτύχθηκαν, του λογισμικού παραγωγής τρισδιάστατων περιβαλλόντων και σχεδίασης τρισδιάστατων μοντέλων, της γλώσσας προγραμματισμού και, γενικότερα, για ό,τι άλλο λογισμικό και υλικό αξιοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής.

3.1.2. Ορισμοί

Ο ορισμός της ΕΠ πραγματικότητας είναι σύνθετο ζήτημα καθώς η ΕΠ ως φαινόμενο, περιλαμβάνει αρκετές διαστάσεις. Οι δύο λέξεις που συνιστούν τον όρο φαίνεται να έρχονται μεταξύ τους σε αντίθεση καθώς η λέξη «εικονική» έχει την έννοια του μη πραγματικού-μη υπαρκτού, ενώ η λέξη πραγματικότητα έχει την έννοια του πραγματικού-υπαρκτού (Jerald, 2015). Στη βιβλιογραφία απαντώνται διάφοροι όροι όπως: «Συνθετικό Περιβάλλον», «Κυβερνοδιάστημα», «Τεχνητή Πραγματικότητα», «Τεχνολογία Προσομοίωσης» (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011). Ο όρος ΕΠ αποδίδεται στον Jaron Lanier (Lanier, 2017).

Οι πιο διαδεδομένοι ορισμοί της ΕΠ είναι συνήθως τεχνικού χαρακτήρα και συσχετίζονται άμεσα με τον προσδιορισμό του τεχνολογικού υλικού, το οποίο προσφέρει στον χρήστη εμπύθιση και διαδραστικότητα (Manis & Choi, 2019).

Σύμφωνα με τον Greenbaum, η εικονική πραγματικότητα «είναι ένας εναλλακτικός κόσμος γεμάτος με εικόνες που έχουν δημιουργηθεί από υπολογιστή και ανταποκρίνονται στις ανθρώπινες κινήσεις. Αυτά τα περιβάλλοντα προσομοίωσης συνήθως είναι προσβάσιμα, μέσω

ακριβών data suit, τα οποία περιλαμβάνουν στερεοσκοπικά γυαλιά και γάντια οπτικών ινών» (Lukito, 2017, p. 1).

Ένας άλλος ορισμός, του πρωτοπόρου φιλόσοφου και πληροφορικού Jaron Lanier, είναι: *«Ένα συνεχώς αυξανόμενο σύνολο από τεχνολογικές συσκευές, οι οποίες δουλεύουν συμπληρωματικά και επιδρούν στις ανθρώπινες αισθήσεις. Ειδικά γυαλιά, γάντια, κυλιόμενο πάτωμα, έτσι ώστε να δημιουργείται η αίσθηση κίνησης στον εικονικό κόσμο, ακόμα και αν ο χρήστης παραμένει στο ίδιο σημείο του φυσικού χώρου» (Sudharshan, 2020, p. 83).*

Οι παραπάνω ορισμοί αντανακλούν μια αξιοσημείωτη τάση, που απαντάται συχνά τόσο στην βιβλιογραφία, όσο και αρκετές φορές στη χρήση του όρου από πολυεθνικές εταιρίες. Δηλαδή, ο όρος ΕΠ χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των συστημάτων εκείνων που χρησιμοποιούν συγκεκριμένα μέσα διεπαφής (ενδεικτικά, Head Mounted Devices, χειριστήρια) και όχι για τον προσδιορισμό των συστημάτων τρισδιάστατων γραφικών. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η ιαπωνική πολυεθνική εταιρία Sony, η οποία είναι ένας από τους μεγαλύτερους βιομηχανικούς παραγωγούς παιχνιδομηχανών, εδώ και δεκαετίες. Η Sony δεν χρησιμοποιεί τον όρο ΕΠ στην κονσόλα της PlayStation, παρόλο που η συντριπτική πλειοψηφία των παιχνιδιών και εφαρμογών της κονσόλας χρησιμοποιούν πολύ εξελιγμένα τρισδιάστατα γραφικά (ενδεικτικά, PlayStation 5). Η εταιρία χρησιμοποιεί τον όρο ΕΠ μόνο για την περιγραφή του HMD της.

Η τάση αυτή έρχεται σε αντίθεση με άλλους ορισμούς που δεν αντιλαμβάνονται την ΕΠ αποκλειστικά βάσει των συσκευών διεπαφής που χρησιμοποιούνται. Κατά αυτή την προσέγγιση, ο όρος ΕΠ εμπεριέχει και τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν τρισδιάστατα γραφικά. Για παράδειγμα, οι Φωκίδης και Τσολακίδης αναφέρουν ότι η ΕΠ *«είναι ένα σύνολο υλικού (ηλεκτρονικοί υπολογιστές και ειδικές συσκευές) και λογισμικού (προγράμματα γραφικών και κίνησης και ειδικά προγράμματα κατασκευής εικονικών κόσμων) με το οποίο οι άνθρωποι είναι σε θέση να οπτικοποιούν και να αλληλεπιδρούν με εξαιρετικά περίπλοκα δεδομένα στις τρεις διαστάσεις» (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011, σ. 50).*

Κινούμενος στο ίδιο μήκος κύματος ο Fernandez ορίζει την ΕΠ ως *«ένα περιβάλλον δημιουργημένο από ηλεκτρονικό υπολογιστή και έχει ως σκοπό την προσομοίωση μιας πραγματικής κατάστασης» (Fernandez, 2017, p. 2).*

Εάν συνυπολογιστεί και ο ανθρώπινος παράγοντας, τότε ο όρος διευρύνεται. Για παράδειγμα, οι Macpherson και Keppel, αναφέρουν ότι η ΕΠΠ είναι *«... μια κατάσταση που δημιουργείται στο μυαλό και μπορεί, με μεταβαλλόμενο ποσοστό επιτυχίας, να απασχολεί την προσοχή ενός ανθρώπου με τρόπο παρόμοιο με αυτόν στο πραγματικό περιβάλλον» (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011, σ. 50).*

Μια άλλη κατηγορία ορισμών, που συνυπολογίζουν τον ανθρώπινο παράγοντα, είναι αυτοί που περιλαμβάνουν ή και εστιάζουν στη νοητική κατάσταση του χρήστη. Ο Lanier δίνει και έναν τέτοιο ορισμό: «Μια τεχνολογία μέσω των οποίων στοχεύει στην τόνωση της γνωστικής δυναμικής, με την οποία ο κόσμος εκλαμβάνεται μέσω της ακριβούς προσομοίωσης του εναλλακτικού περιβάλλοντος» (Sudharshan, 2020, p. 83).

Στην πραγματικότητα, ο ορισμός της ΕΠ με γνώμονα τη νοητική κατάσταση του χρήστη δεν καθορίζει ευδιάκριτα όρια, καθώς ο χρήστης μπορεί να εμπυθιστεί και σε περιβάλλοντα τα οποία δεν είναι δημιουργημένα από υπολογιστή, όπως ένα λογοτεχνικό βιβλίο, μια κινηματογραφική ταινία, ή κάποιο παιχνίδι ρόλων. Αρκετοί ορισμοί, δεν εστιάζουν στην αλληλεπίδραση του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον. Η αλληλεπίδραση είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό της ΕΠ, καθώς ο χρήστης δεν παρακολουθεί απλώς τρισδιάστατα γραφικά δημιουργημένα από ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπως συμβαίνει στα τρισδιάστατα animations, αλλά χειρίζεται κάποιο διάμεσο (avatar) και αλληλεπιδρά με τον κόσμο.

3.1.3. Ιστορική αναδρομή

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί σημαντικοί σταθμοί της προσπάθειας δημιουργίας ΕΠ:

- Το 1962 ο Heiling κατασκεύασε μια διάταξη ΕΠ, την οποία ονόμασε Sensorama (<https://patentimages.storage.googleapis.com/90/34/2f/24615bb97ad68e/US3050870.pdf>) (Boas, 2013). Η διάταξη αυτή απέκοπτε τον χρήστη από το φυσικό περιβάλλον και τον εμβύθιζε σε ένα ταξίδι με μοτοσυκλέτα (Δήμα & Ηγουμενίου, 2014· Mandal, 2013). Αξίζει να σημειωθεί, ότι χρησιμοποιούσε κινούμενες εικόνες, οσμή, κραδασμούς, στερεοφωνικό ήχο και ροή αέρα (Boas, 2013).
- Το 1965 ο Sutherland πρότεινε την κατασκευή ενός εικονικού κόσμου, στον οποίο ο χρήστης θα αλληλεπιδρούσε με το σύνολο των αισθήσεων του (Freeman, 2008· Sutherland, 1965). Ο κόσμος αυτός θα ήταν δημιουργημένος από τρισδιάστατα διαδραστικά γραφικά, αντικείμενα τα οποία θα συμπεριφέρονται με βάση το δίπολο δράση-αντίδραση, ήχους, οσμές και γεύση (Sutherland, 1965). Το όραμα του αυτό για τον εικονικό κόσμο το ονόμασε «The Ultimate Display» (Sutherland, 1965). Ο ίδιος οραματιστής, κατασκεύασε μερικά χρόνια αργότερα το πρώτο σύστημα ΕΠ με HMD, το οποίο περιείχε ενσωματωμένο ανιχνευτή θέσης (Baudisch, 2015). Το σύστημα αυτό ονομαζόταν «The Sword of Damocles» (Baudisch, 2015· Freeman, 2008).
- Το 1975 ο Krueger δημιούργησε το «Videoplace», ένα σύστημα ΕΠ που λειτουργούσε με κάμερες και πρόβαλλε τις σιλουέτες των χρηστών σε μια μεγάλη οθόνη. Οι χρήστες είχαν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους χάρη σε τεχνικές επεξεργασίας

εικόνας, οι οποίες επέτρεψαν τον καθορισμό της θέσης στον δισδιάστατο χώρο της οθόνης (Krueger et al., 1985).

- Το 1982 ο Furness δημιούργησε το Visually Coupled Airborne Systems Simulator (VCLASS), έναν εξομοιωτή πτήσης, ο οποίος διέθετε σύστημα HMD (Mazuryk & Gervautz, 1996).
- Η NASA το 1985 κατασκεύασε το Virtual Environment Display (VIVED), ένα στερεοσκοπικό μονοχρωμικό HMD και το 1987 δημιούργησε ένα πλήρες σύστημα ΕΠ με γραφικά (Chesher, 1994).
- Η εταιρία VPL Research, που ιδρύθηκε από τον Lanier, δημιούργησε το 1985 το DataGlove, ένα γάντι που χρησιμοποιούταν ως μέσο διεπαφής σε λογισμικά ΕΠ και το 1987 το EyePhone HMD (Mazuryk & Gervautz, 1996).
- Το σύστημα Binocular Omni-Oriented Monitor (BOOM) δημιουργήθηκε το 1989 από την εταιρία Fake Space Labs και αποτελούνταν από ένα κουτί το οποίο περιείχε δύο οθόνες τεχνολογίας CRT. Ο χρήστης κοιτούσε μέσα από τις δύο οπές της συσκευής τις δύο στερεοσκοπικές οθόνες και πλοηγούταν μέσα στον εικονικό κόσμο, με τη βοήθεια του ειδικού μηχανικού βραχίονα της συσκευής (Onyesolu & Eze, 2011).
- Το Virtual Wind Tunnel της NASA αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '90 και σκοπό είχε τη δημιουργία ενός εργαστηρίου ΕΠ, το οποίο προσομοίωνε τη συμπεριφορά και τις ροές του αέρα και άλλων ρευστών. Το Virtual Wind Tunnel χρησιμοποιούσε τα συστήματα BOOM και DataGlove (Bryson & Levit, 1992· Mazuryk & Gervautz, 1996).

Σε γενικές γραμμές, οι προσπάθειες ανάπτυξης της ΕΠ δεν αγκάλιαζαν το ευρύ κοινό και απευθύνονταν κυρίως σε εξειδικευμένους επιστήμονες. Η πρώτη συσκευή που κυκλοφόρησε απευθυνόμενη σε ευρύ κοινό χρηστών ήταν η κονσόλα Virtual Boy του Ιαπωνικού κολοσσού βιντεοπαιχνιδιών Nintendo, στις αρχές της δεκαετίας του 1990 (Boyer, 2009· Kushner, 2014· Zachara & Zagal, 2009). Προσπάθειες κυκλοφορίας συστήματος ΕΠ με εμπορική στόχευση, είχε πραγματοποιήσει και ο έτερος κολοσσός βιντεοπαιχνιδιών της εποχής, η εταιρία Sega, όμως η κονσόλα της (VR-1) τελικά δεν κυκλοφόρησε (Sukmawati, 2018). Το Virtual Boy της Nintendo κυκλοφόρησε στην Ιαπωνία και στη βόρεια Αμερική και περιλάμβανε ένα σύστημα τύπου HMD, ειδικό τρίποδο στήριξης και χειριστήριο. Η τολμηρή κίνηση δεν στέφτηκε με επιτυχία λόγω των φτωχών γραφικών, αλλά και άλλων τεχνικών ζητημάτων τα οποία καταδείκνυαν ίσως, ότι η τεχνολογία δεν ήταν αρκετά «ώριμη» ώστε να κυκλοφορήσει μαζικά (Boyer, 2009· Kushner, 2014· Zachara & Zagal, 2009). Οι χαμηλές πωλήσεις ανάγκασαν την εταιρία να αποσύρει την κονσόλα από την αγορά.

Το 1997 ερευνητές από το ινστιτούτο τεχνολογίας της Georgia και από το Πανεπιστήμιο Emory των ΗΠΑ, χρησιμοποίησαν τις τεχνολογίες της ΕΠ για να αντιμετωπίσουν το μετατραυματικό στρες βετεράνων του πολέμου στο Βιετνάμ (Rothbaum et al., 1999).

Από τα μέσα και ιδιαίτερα προς τα τέλη της δεκαετίας του 1980 και κατά τη δεκαετία του 1990, πραγματοποιήθηκαν αξιόλογες προσπάθειες, οι οποίες εξέλιξαν τις τεχνολογίες της ΕΠ. Ωστόσο, παρά τις προσπάθειες, οι τεχνολογίες αυτές δεν κατάφεραν να αναπτυχθούν έτσι ώστε να κυκλοφορήσουν ευρέως και να χρησιμοποιηθούν από το καταναλωτικό κοινό. Η αποτυχία αυτή οδήγησε στο να περάσει η ΕΠ στο παρασκήνιο κατά τη δεκαετία του 2000, καθώς και μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 2010. Και σε αυτό το διάστημα έγιναν κάποιες προσπάθειες εξέλιξης των τεχνολογιών της ΕΠ, όμως καμία από αυτές τις προσπάθειες δεν αποσκοπούσε στην ευρεία διάδοση τους. Θα μπορούσε αυτή η χρονική περίοδος να χαρακτηριστεί ως περίοδος «ύπνωσης» της ΕΠ.

Οι τεχνολογίες της ΕΠ έρχονται ξανά δυναμικά στο προσκήνιο το 2013, με την κυκλοφορία της πρώτης πειραματικής έκδοσης του Oculus Rift, ενός συστήματος ΕΠ που περιλάμβανε HMD και χειριστήρια (Oculus Rift Development Kit 1) (Davis et al, 2015). Το σύστημα λειτουργούσε με ενσύρματη σύνδεση σε υπολογιστή, ο οποίος αναλάβανε την επεξεργασία των τρισδιάστατων γραφικών (Desai, 2014). Μετά την κυκλοφορία της πρώτης πειραματικής έκδοσης, κυκλοφόρησε η βελτιωμένη τεχνικά έκδοσή του (Oculus Rift Development Kit 2) (Davis et al., 2015). Μετά την κυκλοφορία των πειραματικών εκδόσεων και την αγορά της εταιρίας παραγωγής του Oculus Rift από την Facebook (νυν Meta), κυκλοφόρησε η πρώτη εμπορική έκδοση του Oculus Rift (Davis et al, 2015). Η κυκλοφορία του Oculus Rift σηματοδοτεί την πρώτη επιτυχημένη εμπορικά κυκλοφορία συστήματος ΕΠ, το οποίο προορίζεται για το ευρύ κοινό.

Παράλληλα, μαζί με το σύστημα Oculus Rift, αναπτύσσονται και κυκλοφορούν αντίστοιχα συστήματα ΕΠ, παρόμοιων δυνατοτήτων, τα οποία προορίζονται και αυτά για το ευρύ κοινό. Τα συστήματα αυτά είναι το Vive, της εταιρίας HTC και το Gear VR της εταιρίας Samsung (Borrego, 2018· Webster & Dues, 2017). Τα συστήματα αυτά αναλαμβάνουν την προβολή και τον χειρισμό των λογισμικών ΕΠ. Το Vive είναι εξαρτώμενο από σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων και των τρισδιάστατων γραφικών, ενώ το Gear VR είναι εξαρτώμενο από smartphone (Borrego, 2018· Webster & Dues, 2017).

Την ευρεία ανάπτυξη και διάδοση των συστημάτων ΕΠ, ενισχύει η κυκλοφορία του Playstation VR, ενός συστήματος ΕΠ το οποίο δεν χρησιμοποιεί σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή, αλλά κονσόλα βιντεοπαιχνιδιών (Habgood, 2018).

Ένα ακόμη βήμα στην εξέλιξη των συστημάτων ΕΠ αποτελεί η κυκλοφορία και η μεγάλη εμπορική επιτυχία του συστήματος Oculus Quest της εταιρίας Facebook, ενός αυτόνομου συστήματος, το οποίο δεν χρειάζεται σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή για να εκτελέσει εφαρμογές, αλλά λειτουργεί αυτόνομα (Hillmann, 2019).

3.1.4. Ταξινόμια συστημάτων ΕΠ

Με βάση τα μέσα διεπαφής χρήστη-λογισμικού, τα συστήματα ΕΠ μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Συστήματα Επιτραπέζιας Εικονικής Πραγματικότητας (Desktop Virtual Reality- ΕπΕΠ): Ως μέσα διεπαφής των συστημάτων ΕπΕΠ χρησιμοποιούνται αυτά των απλών ηλεκτρονικών υπολογιστών: οθόνη, πληκτρολόγιο, ποντίκι, χειριστήρια (Φωκίδης & Τσολακίδης 2011· Bharathi & Tucker, 2015). Παραδείγματα λογισμικών ΕπΕΠ είναι το Open Simulator και το Second Life (Weiner, 2016).
- Συστήματα Πλήρως Εμβυθιστικής Εικονικής Πραγματικότητας (Immersive Virtual Reality-ΠΕΕΠ): Τα συστήματα ΠΕΕΠ σκοπό έχουν να αποκόψουν τον χρήστη τελείως από τον φυσικό κόσμο και να τον εμβυθίσουν στον εικονικό (Φωκίδης & Τσολακίδης 2011· Chessa et al., 2019). Για να το επιτύχουν αυτό χρησιμοποιούν ειδικά μέσα διεπαφής: HMD, απτικά χειριστήρια, data suit, data glove. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων αποτελούν το Oculus Quest και το Oculus Rift (Hillmann, 2019).
- Συστήματα Cave Automatic Virtual Environment (CAVE): Είναι συστήματα που στόχο έχουν και αυτά την πλήρη εμβύθιση του χρήστη στον εικονικό κόσμο (Gromer, 2018· Muhanna, 2015). Ένα συνηθισμένο σύστημα CAVE αποτελείται από ένα κυβικό δωμάτιο, όπου οι τοίχοι, το πάτωμα και το ταβάνι είναι οθόνες που προβάλλονται εικόνες από projectors (Gromer, 2018). Επίσης, ο χρήστης φοράει γυαλιά που του επιτρέπουν να βλέπει τρισδιάστατα αντικείμενα που προβάλλονται στον χώρο. Αλληλεπιδρά με αυτά μέσω χειριστηρίων. Παραδείγματα συστημάτων CAVE αποτελούν οι εφαρμογές για την αρχαία Ελλάδα του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού (IME) (Economou, 2015).
- Συστήματα BOOM: Τα συστήματα BOOM χρησιμοποιούν ως μέσα διεπαφής ένα κουτί με δύο οθόνες, μια για κάθε μάτι του χρήστη και έναν μηχανικό βραχίονα, με τη

βοήθεια του οποίου πραγματοποιούνται κινήσεις στον εικονικό κόσμο (Alqahtani, 2017).

- Συστήματα Mixed Reality: Τα συστήματα Mixed Reality έχουν σκοπό τον συνδυασμό του φυσικού και του εικονικού κόσμου. Επιτρέπουν τη διάδραση των αντικειμένων του φυσικού και του εικονικού κόσμου, καθώς και την τροποποίηση των αντικειμένων του εικονικού κόσμου, ώστε αυτά να προσαρμοστούν βέλτιστα στο μεικτό περιβάλλον. Τα συστήματα της Μεικτής Πραγματικότητας συνδυάζουν δυνατότητες των συστημάτων ΠΕΕΠ και των συστημάτων Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality, AR) (Dehghani, 2020· Hoenig, 2015· Speicher et al.). Παράδειγμα συστήματος Μεικτής Πραγματικότητας αποτελεί το Samsung HMD Odyssey (Alizadehsalehi, 2019).

3.1.5. Λογισμικό συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας

Το λογισμικό των συστημάτων ΕΠ μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε λογισμικό ανάπτυξης και σε λογισμικό εκτέλεσης. Το λογισμικό ανάπτυξης, είναι το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του εκτελέσιμου αρχείου, από την πλατφόρμα εκτέλεσης (ενδεικτικά, Oculus Quest). Για την ανάπτυξη της εφαρμογής ΕΠ, πολλές φορές είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση ειδικού λογισμικού κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων. Τα δυο περισσότερο διαδεδομένα λογισμικά ανάπτυξης είναι το Unity και το Unreal. Η εμπλοκή στη δημιουργία εφαρμογών με τα παραπάνω λογισμικά, οδηγεί και στη χρησιμοποίηση των γλωσσών προγραμματισμού που υιοθετούν (ενδεικτικά, C#). Γι' αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η χρήση και ενός περιβάλλοντος προγραμματισμού, προκειμένου εντός του να γίνεται η συγγραφή του απαραίτητου κώδικα (script). Μερικά από τα πιο διαδεδομένα περιβάλλοντα προγραμματισμού είναι το Visual Studio Code και το Eclipse. Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση των περισσότερο διαδεδομένων λογισμικών ανάπτυξης.

Unity

Το Unity (<https://unity.com>) είναι μια από τις περισσότερο διαδεδομένες μηχανές δημιουργίας ηλεκτρονικών παιχνιδιών (Šmíd, 2017). Με τη βοήθεια του Unity έχουν δημιουργηθεί πολύ επιτυχημένοι εμπορικά τίτλοι τόσο σε 3D, όσο και σε 2D περιβάλλοντα (Šmíd, 2017). Λόγω της ευρείας διάδοσης του, έχει μεγάλη διαδικτυακή κοινότητα, η οποία προσφέρει υποστήριξη σε νέους και παλαιούς χρήστες. Για τον προγραμματισμό του Unity χρησιμοποιείται συνήθως η αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού C# (Dickson et al., 2017· Ferrone, 2019· Linowes, 2015). Το Unity είναι συμβατό με πολλά πρόσθετα προγράμματα και έχει τη

δυνατότητα να δημιουργήσει εκτελέσιμα αρχεία για όλα τα διαδεδομένα συστήματα ΕΠ και για Η/Υ (Donovan, 2017· Linowes, 2018).

Unreal

Το Unreal (<https://www.unrealengine.com/en-US/>) είναι μια εξαιρετικά διαδεδομένη μηχανή παραγωγής ηλεκτρονικών παιχνιδιών, η οποία χρησιμοποιείται από πολλά επαγγελματικά studios (Šmíd, 2017). Λόγω της διάδοσής του και αυτό έχει μια αρκετά μεγάλη κοινότητα χρηστών, ίσως λίγο μικρότερη από αυτήν του Unity. Ο προγραμματισμός του Unreal βασίζεται στην αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού C++ και στην Blueprints (Doran et al., 2019· Gestwicki, 2019· Mack & Ruud, 2019· Sherif, 2015· Voyles, 2013). Όπως το Unity, έτσι και το Unreal διαθέτει πολλά πρόσθετα προγράμματα, τα οποία δίνουν στους χρήστες της πληθώρα δυνατοτήτων. Το Unreal έχει τη δυνατότητα δημιουργίας εκτελέσιμων αρχείων για όλες τις διαδεδομένες συσκευές ΕΠ και για Η/Υ (Elden, 2017· Valder, 2015).

Godot

Το Godot (<https://godotengine.org>) είναι ένα διαδεδομένο λογισμικό παραγωγής 3D και 2D παιχνιδιών (Manzur & Marques, 2018· Santucci, 2020). Είναι δωρεάν, ανοιχτού κώδικα και προγραμματίζεται κυρίως σε GDScript, μια γλώσσα αρκετά όμοια με την δημοφιλή Python. Όπως και τα προηγούμενα λογισμικά, έτσι και το Godot μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη εφαρμογών ΕΠ (Santucci, 2020).

Αναφορικά με τα λογισμικά κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων, στην αγορά υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα. Τα λογισμικά αυτά συνήθως αξιοποιούνται από ειδικούς επαγγελματίες στα τρισδιάστατα εφέ, στο animation και στη δημιουργία γραφικών. Η χρήση τους απαιτεί υψηλή τεχνογνωσία. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα πλέον διαδεδομένα.

Blender

Το Blender (<https://www.blender.org>) είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα και δωρεάν. Εκτός από το σχεδιασμό τρισδιάστατων μοντέλων, χρησιμοποιείται και για δημιουργία υφών, γλυπτική των μοντέλων και animation (Anamisa et al., 2020· Blain, 2016· Hendriyani & Amrizal, 2019). Είναι από τα πλέον διαδεδομένα του χώρου και χρησιμοποιείται σε επαγγελματικές εφαρμογές. Λόγω της ευρείας χρήσης του, έχουν δημιουργηθεί πολλές ομάδες χρηστών, τόσο στον ελληνικό, όσο και στον διεθνή χώρο. Στο Διαδίκτυο υπάρχει πληθώρα οδηγιών εκμάθησης των λειτουργιών του. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του είναι ότι είναι λιγότερο απαιτητικό σε τεχνικές προδιαγραφές Η/Υ, από ότι αντίστοιχα ανταγωνιστικά προγράμματα.

3DS Max

Το 3DS Max (<https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&support=null>) είναι ένα από τα πολύ διαδεδομένα λογισμικά κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων και χρησιμοποιείται εδώ και δεκαετίες από επαγγελματικά studios. Όπως και το Blender, το 3DS Max χρησιμοποιείται ευρέως και για sculpting, animation και texturing (Garaeva & Bikmullina, 2019· Hendriyani & Amrizal, 2019· Kuang & Bai, 2018).

Maya

Το Maya (<https://www.autodesk.com/products/maya/overview?term=1-YEAR&support=null>) είναι και αυτό από τα πολύ διαδεδομένα λογισμικά κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων, sculpting, animation και texturing (Tsai et al., 2019· Xie et al., 2020). Χρησιμοποιείται από επαγγελματίες του χώρου.

Cinema 4D

Το Cinema 4D (<https://www.maxon.net/en/cinema-4d>) είναι και αυτό ένα διαδεδομένο λογισμικό κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων, sculpting, animation και texturing (Mansor et al., 2020· Sedova & Dyomin, 2017). Χρησιμοποιείται από πολλά studios για τη δημιουργία τρισδιάστατων γραφικών.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, πολλές φορές απαιτείται συγγραφή scripts, σε αντικειμενοστραφείς γλώσσες προγραμματισμού. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά μερικά από τα πλέον διαδεδομένα περιβάλλοντα συγγραφής script.

Visual Studio Code

Το Visual Studio Code (<https://code.visualstudio.com>) αποτελεί την εκδοχή ανοιχτού κώδικα του διαδεδομένου περιβάλλοντος προγραμματισμού Visual Studio, της Microsoft. Το Visual Studio Code υποστηρίζει συγγραφή και αποσφαλμάτωση πολλών γλωσσών προγραμματισμού όπως η C++, C#, Java, Python και Javascript.

Eclipse

Μια δημοφιλής επιλογή περιβάλλοντος προγραμματισμού, αποτελεί το Eclipse (<https://www.eclipse.org/ide/>). Το Eclipse είναι δωρεάν και διαδόθηκε κυρίως μέσω της χρήσης του για τη γλώσσα Java, όμως υποστηρίζει συγγραφή και αποσφαλμάτωση και άλλων γλωσσών προγραμματισμού όπως η C/C++, Ruby, C#, Fortran και Python.

NetBeans

Μια επίσης αρκετά δημοφιλής επιλογή προγράμματος Integrated Development Environment είναι και το NetBeans (<https://netbeans.org>). Το NetBeans είναι δωρεάν και χρησιμοποιείται για συγγραφή και αποσφαλμάτωση πολλών γλωσσών προγραμματισμού όπως: Java, C/C++ και PHP.

Τέλος, το λογισμικό εκτέλεσης διασυνδέει τον χρήστη με τον εικονικό κόσμο και είναι υπεύθυνο για ένα πλήθος λειτουργιών όπως την αναπαράσταση και την εφαρμογή των φυσικών νόμων του εικονικού περιβάλλοντος και την απόκριση των συσκευών εισόδου και εξόδου. Με άλλα λόγια το λογισμικό εκτέλεσης πραγματοποιεί την εκτέλεση του αρχείου που δημιουργήθηκε από το λογισμικό ανάπτυξης.

3.1.6. Υλικό

Όπως κάθε σύστημα Πληροφορικής, έτσι και τα συστήματα ΕΠ διακρίνονται και ως προς το υλικό τους. Παρακάτω παρουσιάζονται τα περισσότερο απαντώμενα μέρη υλικού, καθώς και μερικά από τα περισσότερα διαδεδομένα ολοκληρωμένα συστήματα ΠΕΕΠ.

Head mounted displays

Όταν γίνεται λόγος για ΕΠ, η εικόνα που έρχονται στο μυαλό των περισσότερων, είναι ένα άτομο που φορά μια συσκευή HMD. Οι περισσότερες συσκευές HMD διαθέτουν από μια οθόνη για κάθε μάτι και ένα σύστημα εντοπισμού της θέσης του χρήστη (Anthes, 2016). Συνήθως διαθέτουν ηχεία, για την αναπαραγωγή του ήχου και της μουσικής της εφαρμογής ΕΠ. Λόγω του ότι εμπεριέχουν ταυτόχρονα διατάξεις εξόδου (ηχεία, οθόνες) αλλά και εισόδου (σύστημα εντοπισμού της θέσης), τα HMD μπορούν να θεωρηθούν αντίστοιχα συσκευές εισόδου/εξόδου του συστήματος ΕΠ.

Τα συστήματα ΕΠ που διαθέτουν HMD χωρίζονται σε δυο επιμέρους κατηγορίες: Τα συστήματα που είναι εξαρτώμενα από ηλεκτρονικό υπολογιστή (wired HMDs) (ενδεικτικά, Oculus Rift S) και στα αυτόνομα συστήματα (mobile HMDs) (ενδεικτικά, Oculus Quest) (Anthes, 2016).

Τα συστήματα που είναι εξαρτώμενα από ηλεκτρονικό υπολογιστή εκτελούν την εφαρμογή ΕΠ, όντας συνδεδεμένα μέσω καλωδίου σε Η/Υ. Ο Η/Υ αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων, τη διαχείριση των γραφικών και συνήθως θα πρέπει να διαθέτει προηγμένο επεξεργαστή, ικανή ποσότητα μνήμης RAM και ισχυρή κάρτα γραφικών που να διαθέτει τη δική της αυτόνομη μνήμη. Το πλεονέκτημα των εξαρτώμενων συστημάτων είναι ότι μπορούν να εκτελέσουν εξαιρετικά απαιτητικές εφαρμογές ΕΠ. Μειονεκτούν γιατί είναι

εξαρτώμενα από Η/Υ και δεν προσφέρουν τη μέγιστη δυνατή ελευθερία κινήσεων στον χρήστη, λόγω του καλωδίου σύνδεσης.

Τα αυτόνομα συστήματα (all in one) πλεονεκτούν στο ότι προσφέρουν απόλυτα ελεύθερη κίνηση στον χρήστη, όμως παρόλη την ικανοποιητική υπολογιστική ισχύ που διαθέτουν, μειονεκτούν σε σύγκριση με τα εξαρτώμενα συστήματα στις δυνατότητες διαχείρισης απαιτητικών εφαρμογών, στον τομέα των γραφικών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το Oculus Quest αποτελεί σύνθεση των δυο παραπάνω κατηγοριών, καθώς είναι μεν αυτόνομο σύστημα, το οποίο όμως μέσω ειδικού λογισμικού (Oculus Link) και καλωδίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εξαρτώμενο από Η/Υ σύστημα.

Τέλος, μια ακόμα διάκριση των HMDs, αφορά τον βαθμό ελευθερίας κίνησης (degrees of freedom, DoF). Τα HMDs διακρίνονται σε 3DoF και σε 6DoF (Fokides & Atsikpasi, 2019). Στα 3DoF, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρατηρήσει τον περιβάλλον χώρο, κινώντας το κεφάλι του, ενώ στα 6DoF, ο χρήστης εκτός από την κίνηση του κεφαλιού του, μπορεί να κινηθεί στον εικονικό χώρο. Τα HMDs διαθέτουν κάμερες που επιτρέπουν τον εντοπισμό θέσης στον χώρο. Ακόμη, διαθέτουν ειδικούς αισθητήρες μέτρησης γωνιών (γυροσκόπια) και επιταχύνσεων (επιταχυνσιόμετρα) (Rossi et al., 2015).

Γάντια

Τα γάντια ΕΠ αποτελούν συσκευές εισόδου των συστημάτων ΕΠ και σκοπός τους είναι ο χωρικός προσδιορισμός των χεριών και των δακτύλων του χρήστη, αλλά και η παροχή απτικής διάδρασης και αίσθησης του εικονικού περιβάλλοντος. Τα γάντια ΕΠ χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες για να προσδιορίσουν την κίνηση των χεριών, των δακτύλων και να παράσχουν διάδραση με το εικονικό περιβάλλον: αισθητήρες κίνησης, αισθητήρες πίεσης, κινητήρες δόνησης, και ηλεκτρομαγνητικοί ενεργοποιητές. Παραδείγματα γαντιών ΕΠ αποτελούν το Gloveone, το Senso Glove και το Maestro (Perret & Vander Poorten, 2018).

Χειριστήρια

Υπάρχουν πολλών ειδών χειριστήρια, τα οποία χρησιμοποιούνται στα συστήματα ΕΠ. Στα συστήματα ΠΕΕΠ τα χειριστήρια είναι σχεδιασμένα, ώστε να πιάνονται από τον χρήστη και διαθέτουν αρκετά πλήκτρα, σκανδάλες και μοχλούς. Ο χρήστης χρησιμοποιεί ένα χειριστήριο για κάθε του χέρι (ενδεικτικά, Oculus Touch). Στα συστήματα ΕπΕΠ συνήθως χρησιμοποιούνται χειριστήρια παιχνιδομηχανών, όπου διατίθεται ένα χειριστήριο και για τα δύο χέρια του χρήστη. Πολλές φορές, αναλόγως της εφαρμογής ΠΕΕΠ, ενδέχεται αντί για χειριστήριο να χρησιμοποιείται το πληκτρολόγιο και το ποντίκι του Η/Υ.

Ολοκληρωμένα συστήματα ΠΕΕΠ

Oculus Quest

Το Oculus Quest (<https://www.oculus.com/quest/>) είναι μια «all in one» συσκευή ΕΠ. Οι εφαρμογές φορτώνονται ενσύρματα ή εγκαθίστανται στο HMD μέσω διαδικτυακής σύνδεσης Wi-Fi και κατόπιν εκτελούνται εντός του HMD, χωρίς τη χρήση καλωδίου και Η/Υ (Elkin, 2019· Hillmann, 2019). Αν και δεν υποστηρίζεται από Η/Υ στη λειτουργία του, το Oculus Quest διαθέτει αξιόλογες εφαρμογές. Εκτός από το HMD, το σύστημα διαθέτει δύο χειριστήρια και καλώδιο φόρτισης (Hillmann, 2019). Το Oculus Quest είναι δυνατόν εκτός από την αυτόνομη λειτουργία του, να εκτελέσει μέσω Η/Υ και τις εφαρμογές του Oculus Rift S, μέσω του λογισμικού και καλωδίου Oculus Link (<https://www.oculus.com/accessories/oculus-link/>). Το Oculus Quest φαίνεται στην Εικόνα 4.14. Έχει επεξεργαστή ARM Cortex-A73, μνήμη RAM 4GB και χώρο αποθήκευσης 64 ή 128 GB. Διαθέτει οθόνες OLED 1440x1600. Διάδοχο του Oculus Quest είναι το Oculus Quest 2, που διαθέτει καλύτερη ανάλυση εικόνας (1832x1920), μνήμη RAM 6GB και είναι πιο ελαφρύ.



Εικόνα 3.1. Το Oculus Quest

HTC Vive

Το HTC Vive (<https://www.vive.com/us/>) είναι ένα σύστημα ΕΠ συνδεδεμένο με Η/Υ. Ο Η/Υ αναλαμβάνει την επεξεργασία του εκτελέσιμου αρχείου και των γραφικών και το σύστημα αναλαμβάνει την προβολή και τον χειρισμό (Borrego et al., 2018). Αποτελείται από HMD και χειριστήρια και είναι συμβατό με την πλατφόρμα STEAM (Borrego et al., 2018· Murray, 2017). Η ανάλυση οθόνης του είναι 1080x1200.

Playstation VR

Το Playstation VR (<https://www.playstation.com/el-gr/ps-vr/>) είναι ένα διαδεδομένο σύστημα ΕΠ, το οποίο είναι συμβατό με την παιχνιδιομηχανή Playstation της SONY (Habgood et al., 2017). Αποτελείται από HMD και ως μέσο διεπαφής χρησιμοποιείται το χειριστήριο του Playstation. Η ανάλυση οθόνης του είναι 1920x1080.

Meta Quest Pro

Το Meta Quest Pro είναι ένα σύστημα ΠΕΕΠ-διάδοχος του Oculus Quest 2 με ανάλυση 1920x1800 pixels, 12GB RAM και βελτιωμένο επεξεργαστή.

Pimax Reality 12K OLED

Το Pimax Reality 12K OLED είναι ένα αρκετά ακριβό σύστημα, με την τιμή του να βρίσκεται γύρω στα 2.400\$. Διαθέτει οκταπύρηνο επεξεργαστή, τεχνολογία OLED και μεγάλη αυτονομία μπαταρίας 6.000 mAh.

3.2. Η Εικονική Πραγματικότητα ως εκπαιδευτικό μέσο

3.2.1. Εισαγωγή

Η ΕΠ χρησιμοποιείται ευρύτατα ως εκπαιδευτικό υλικό. Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση κάποιων συστημάτων που ανήκουν σε όλο το φάσμα της ΕΠ (ΕπΕΠ, ΠΕΕΠ, Μεικτή Πραγματικότητα, CAVE). Σκοπός της παρουσίασης είναι να καταδείξει την ευρεία χρησιμοποίηση των τεχνολογιών της ΕΠ, με σκοπό την εκπαίδευση σε πολλά γνωστικά πεδία. Η συνοπτική παρουσίαση αφορά εκπαιδευτικά λογισμικά που χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση αστροναυτών, στις Φυσικές Επιστήμες, στα Μαθηματικά, στη Μηχανική, στην ασφάλεια, στην πλοήγηση πλοίων και αεροπλάνων, στην εκπαίδευση σε οπλικά συστήματα, κ.ά. Τα λογισμικά που παρουσιάζονται κάποιες φορές δημιουργούνται με σκοπό την εκπαιδευτική έρευνα και άλλες φορές δημιουργούνται χωρίς την προσπάθεια διερεύνησης των μαθησιακών και συναισθηματικών τους επιδράσεων. Εκτός από τα παρακάτω λογισμικά και συστήματα που περιγράφονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις, δημιουργούνται επίσης και πολλά εκπαιδευτικά λογισμικά ΕΠ, τα οποία αποτελούν συνήθως αντικείμενο εμπορικής εκμετάλλευσης από την βιομηχανία βιντεοπαιχνιδιών (ενδεικτικά, [Dino Encounters \[https://www.oculus.com/experiences/go/2718112798253114/?locale=el_GR\]\(https://www.oculus.com/experiences/go/2718112798253114/?locale=el_GR\)](https://www.oculus.com/experiences/go/2718112798253114/?locale=el_GR)).

3.2.2. Μαθηματικά

Οι Khan et al. (2018) δημιούργησαν ένα λογισμικό Μεικτής Πραγματικότητας με σκοπό τη διδασκαλία εννοιών στα Μαθηματικά. Το λογισμικό ονομάστηκε Mathland και σκοπό είχε τη

διδασκαλία των μαθηματικών της νευτώνειας φυσικής, έχοντας εποικοδομητικό προσανατολισμό. Το σύστημα Μεικτής Πραγματικότητας περιλάμβανε το HMD Microsoft HoloLens και δύο ιδιοκατασκευασμένες συσκευές. Η πρώτη συσκευή ήταν ένας κύβος που περιείχε διάφορους αισθητήρες και η δεύτερη συσκευή ήταν ένα χειριστήριο που εφάρμοζε στο χέρι του χρήστη. Το χειριστήριο προσέφερε στον χρήστη δυνατότητα διάδρασης με τα αντικείμενα του εικονικού κόσμου, όπως και στον φυσικό κόσμο. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορούσε να πιάσει και να πετάξει μια εικονική μπάλα με το χέρι του, όπως και στον φυσικό κόσμο. Στον κύβο, ο χρήστης μπορούσε να ενώσει εικονικά αντικείμενα. Μετά τη σύνδεση, μεταβάλλοντας τη θέση του κύβου, ο χρήστης μπορούσε να αλλάξει τη θέση των συζευγμένων εικονικών αντικειμένων, να τα περιστρέψει και να αυξομειώσει το μέγεθος τους.

Οι Rodríguez et al. (2019) διερεύνησαν τη γνωστική επίδραση λογισμικού ΠΕΕΠ στη διδασκαλία της Γεωμετρίας. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Neo Trie VR που παρείχε στους χρήστες τη δυνατότητα να σχεδιάζουν, να διαχειρίζονται και να διαδρούν με γεωμετρικά στερεά. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το σύστημα HTC Vive. Οι συμμετέχοντες της έρευνας ήταν μαθητές ηλικίας 11 έως 14 ετών, από τρία τμήματα. Κατά τη διάρκεια της χρήσης του συστήματος HTC Vive, ήταν συνδεδεμένο με μια οθόνη, έτσι ώστε ο εκπαιδευτικός και η ολομέλεια της τάξης να μπορεί να παρακολουθήσει τις δραστηριότητες. Η μαθησιακή διαδικασία ήταν εναρμονισμένη με το περιεχόμενο του αναλυτικού προγράμματος στα Μαθηματικά. Τα αποτελέσματα βασίστηκαν στην παρατήρηση των διδασκαλιών και αποκάλυψαν γνωστική βελτίωση των χρηστών.

Οι Sundaram et al. (2020) δημιούργησαν εκπαιδευτικό λογισμικό ΕΠΕΠ που αφορούσε τα Μαθηματικά. Το λογισμικό παρείχε τη δυνατότητα της τρισδιάστατης σχεδίασης γραφικών παραστάσεων από τον χρήστη, με σκοπό τη βέλτιστη κατανόηση των εξισώσεων. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε η μηχανή παραγωγής ηλεκτρονικών παιχνιδιών Unity.

Ο Takac (2020) δημιούργησε εκπαιδευτικό λογισμικό ΠΕΕΠ, προκειμένου να βελτιωθεί ο χρόνος που χρειάζονταν οι φοιτητές για να κατανοήσουν ανώτερα Μαθηματικά. Ο ερευνητής δημιούργησε το λογισμικό MathworldVR (<https://mathworldvr.com>), το οποίο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από τις πλατφόρμες εκτέλεσης Oculus Rift, Oculus Go, HTC Vive και Google Daydream. Το λογισμικό ήταν διαθέσιμο για χρήση από την πλατφόρμα εκτέλεσης διαδικτυακά, με απλή σύνδεση στον ιστότοπο του λογισμικού. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Javascript. Το λογισμικό παρείχε στον χρήστη τη δυνατότητα χρησιμοποίησης εικονικής αριθμομηχανής για την τρισδιάστατη αναπαράσταση συναρτήσεων και την παραμετροποίησή τους.

3.2.3. Στρατιωτικές εφαρμογές

Οι Kot & Novák (2018) παρουσίασαν ένα καινοτόμο λογισμικό ΠΕΕΠ, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την οδήγηση του στρατιωτικού ρομποτικού οχήματος Tactical Robotic System (TAROS). Το λογισμικό αυτό χρησιμοποίησε ως πλατφόρμα εκτέλεσης το σύστημα Oculus Rift. Μέσω αυτού, ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να παρακολουθεί την εικόνα που κατέγραφαν οι κάμερες του ρομποτικού οχήματος και να το οδηγεί στις επιχειρήσεις. Η χρήση της ΠΕΕΠ ήταν ευεργετική σε αυτή την εφαρμογή, γιατί ο χρήστης και το Oculus Rift μπορούσαν εύκολα να μεταφερθούν σε οποιοδήποτε σημείο, πράγμα αδύνατο για αντίστοιχα συστήματα που χρησιμοποιούν αίθουσες και οθόνες. Συγκριτικό πλεονέκτημα ήταν το χαμηλό του κόστος. Το λογισμικό ΠΕΕΠ προσέφερε τη δυνατότητα ανίχνευσης επικείμενης επαφής στον εικονικό κόσμο (collision) και έτσι μπορούσε να προστατέψει συγκρούσεις των μηχανικών μερών μεταξύ τους.

Οι Liu et al. (2018) χρησιμοποίησαν το σύστημα Frasca (<https://www.frasca.com/militarysimulation/>), έναν προσομοιωτή πτήσης για την εκπαίδευση πιλότων σε συνθήκες μάχης. Το σύστημα Frasca περιλάμβανε έναν ειδικό χώρο προσομοίωσης του πιλοτηρίου του αεροπλάνου και λογισμικό. Γενικότερα, οι τεχνολογίες της ΕΠ χρησιμοποιούνται εκτός από την εκπαίδευση στελεχών και για σχεδίαση οπλικών συστημάτων. Η πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ (United States Air Force, USAF) χρησιμοποίησε ΕΠ σε όλες τις φάσεις της ανάπτυξης του πολεμικού αεροσκάφους F22, μειώνοντας σημαντικά το κόστος παραγωγής. Χρήση τεχνολογιών ΕΠ έγινε και στη σχεδίαση του αεροπλανοφόρου CVN21, με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου και κόστους παραγωγής.

Οι Prachyabrued και Robert (2018) παρουσίασαν έναν βελτιωμένο προσομοιωτή επιθετικού πολεμικού ελικοπτέρου. Σκοπός ήταν η εκπαίδευση πολεμικών πληρωμάτων ελικοπτέρων μάχης. Η βελτίωση του συστήματος αφορούσε προσθήκη δεδομένων συστήματος Geographic Information System (GIS), έτσι ώστε να πραγματοποιείται προσομοίωση πραγματικών εδαφικών περιοχών. Δημιουργήθηκαν ρεαλιστικά εικονικά εδάφη, το Unity και το λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης Blender. Το σύστημα ΕΠ δεν μπορεί να καταταχθεί με ακρίβεια σε κάποια κατηγορία, διότι περιέχει χαρακτηριστικά πολλών κατηγοριών συστημάτων ΕΠ. Χρησιμοποιούσε μια μεγάλη οθόνη προβολής projector, στην οποία προβαλλόταν το περιβάλλον που βλέπει το πλήρωμα από τα παράθυρα του ελικοπτέρου. Αυτό το χαρακτηριστικό του συστήματος, το έκανε να μοιάζει με σύστημα CAVE, πλην όμως, διέθετε μόνο μια οθόνη και οι χρήστες δεν φορούσαν ειδικά γυαλιά, όπως στα τυπικά CAVE συστήματα. Λόγω της μοναδικής οθόνης, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι

το σύστημα τοποθετείται κάπου στο μέσο του εύρους που αρχίζει από τα συστήματα ΕπΕΠ και καταλήγει στα συστήματα CAVE. Εκτός της οθόνης, το σύστημα διαθέτει μια τεχνική κατασκευή που προσομοιάζει το πάνελ με τα όργανα και τα χειριστήρια του ελικοπτερού. Ο προσομοιωτής διαθέτει δυο θέσεις, μια για τον πυροβολητή και μια για τον πιλότο. Ο πυροβολητής, εκτός της θέσης της μεγάλης οθόνης, διαθέτει και μια μονάδα τηλεσκοπικής όρασης που προσομοιάζει την οπτική μέσω του zoom που προσέφερε το σκόπευτρο του πυροβόλου. Η μονάδα τηλεσκοπικής όρασης μοιάζει με HMD, χαρακτηριστικό που το τοποθετεί κοντά και στα συστήματα ΠΕΕΠ. Οι χειριστές αυτού του πολύ-υβριδικού συστήματος είχαν τη δυνατότητα να εκτελέσουν αποστολές πιλοτάροντας το ελικόπτερο και βάζοντας εικονικούς στόχους (κτήρια και οχήματα). Το σύστημα παρουσιάστηκε σε 29 ειδικούς στις στρατιωτικές επιχειρήσεις, οι οποίοι πρότειναν κάποιες βελτιωτικές αλλαγές.

3.2.4. Προσομοίωση διαστημοπλοίων

Οι Sedláček et al. (2019) παρουσίασαν το πλαίσιο δημιουργίας ενός εκπαιδευτικού παιχνιδιού, που στόχο είχε την αύξηση του ενδιαφέροντος των νέων αναφορικά με την εξερεύνηση του διαστήματος. Το παιχνίδι ονομάστηκε Moon Base και περιλάμβανε πέντε επιμέρους σκηνές: κατασκευή διαστημόπλοιου, απογείωση, δραστηριότητες εντός του διαστημικού σταθμού, έρευνα στην επιφάνεια της Σελήνης και έρευνα εντός του εργαστηρίου μέσα στη διαστημική βάση. Στην πρώτη σκηνή, ο χρήστης πληροφορούταν για ένα φάσμα τεχνολογιών πυραύλων και στόχος ήταν να συναρμολογήσει έναν πύραυλο ικανό να νικήσει τη βαρυτική έλξη. Στη δεύτερη σκηνή, ο χρήστης εξοικειωνόταν με τη διαδικασία απογείωσης του πυραύλου. Στην τρίτη σκηνή, πειραματιζόταν με τη βαρύτητα αντικειμένων εντός του διαστημικού σταθμού. Η τέταρτη σκηνή, στόχευε στη συλλογή σεληνιακών πετρωμάτων για γεωλογική εξέταση και στην τελευταία σκηνή γινόταν έλεγχος των δειγμάτων που συλλέχθηκαν. Στόχος του λογισμικού ήταν η χρήση του από όσο το δυνατόν μεγαλύτερο δείγμα και για αυτόν τον λόγο ήταν συμβατό με πολλές πλατφόρμες εκτέλεσης. Η κύρια πλατφόρμα εκτέλεσης του ήταν το HTC Vive, όμως το λογισμικό σχεδιάστηκε για να είναι συμβατό και με το Google Cardboard και άλλες συσκευές που χρησιμοποιούσαν smartphones. Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκε έκδοση ΕπΕΠ και έκδοση συμβατή με την πλατφόρμα Windows Mixed Reality. Για τη δημιουργία του παιχνιδιού χρησιμοποιήθηκε το Unity.

Οι Bruguera et al. (2019) μελέτησαν τις τεχνικές δυσκολίες που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη συστημάτων ΠΕΕΠ που προσομοίωναν διαστημικά αεροσκάφη και χρησιμοποιούνταν για την εκπαίδευση αστροναυτών. Η έρευνα αφορούσε στη μελέτη του συστήματος ΠΕΕΠ που προσομοιάζει το διαστημόπλοιο «Federastiya», το οποίο βρισκόταν σε

φάση ανάπτυξης. Το σύστημα ΠΕΕΠ προσομοίαζε τον χώρο πλοήγησης του διαστημοπλοίου. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity και η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το σύστημα Oculus Rift S.

Οι Garcia et al. (2020) παρουσίασαν τα συστήματα ΠΕΕΠ που χρησιμοποιεί η NASA για την εκπαίδευση αστροναυτών. Η NASA έχει αναπτύξει και χρησιμοποιεί τα δικά της εξειδικευμένα λογισμικά ΠΕΕΠ εδώ και δεκαετίες. Η εκπαίδευση των αστροναυτών γινόταν στο εργαστήριο ΕΠ και χρησιμοποιήθηκε το HTC Vive, καθώς και άλλα συστήματα. Εκτός από τα HMD, οι αστροναύτες χρησιμοποίησαν data gloves ειδικής κατασκευής. Το εργαστήριο ΕΠ περιλάμβανε δυο επιμέρους σταθμούς. Σε κάθε έναν σταθμό εκπαιδευόταν ένας αστροναύτης και το λογισμικό μετέφερε τις κινήσεις του στον ίδιο εικονικό χώρο, έτσι ώστε οι αστροναύτες να μάθουν να εργάζονται σε ζεύγη, όπως συμβαίνει και στον πραγματικό διαστημικό σταθμό. Το λογισμικό προσομοίωνε επακριβώς και με μεγάλη λεπτομέρεια το σύνολο των εξωτερικών χώρων του διεθνούς διαστημικού σταθμού. Οι αστροναύτες αποκτούσαν εμπειρία του διαστημικού σταθμού, εξερευνώντας τον μέσω ενός διαδραστικού εικονικού περιβάλλοντος. Μπορούσαν να πιαστούν από τις χειρολαβές και να προηγηθούν στο χώρο. Εκτός από την οπτική προσομοίωση, στο εργαστήριο ΕΠ χρησιμοποιήθηκε το Charlotte, ένα ρομπότ που επέτρεπε την ακριβή προσομοίωση της μάζας αντικειμένων, τα οποία βρισκόταν στο εξωτερικό μέρος του διαστημικού σταθμού και τα χειρίζονταν οι αστροναύτες. Οι αστροναύτες εκπαιδούνταν και στην περίπτωση αποσύνδεσης τους από τον διαστημικό σταθμό με το σύστημα Simplified Aid For EVA Rescue (SAFER). Μέσω του SAFER, οι αστροναύτες μάθαιναν να χειρίζονται τον εξοπλισμό τους, προκειμένου να επιστρέψουν στον διαστημικό σταθμό με ασφάλεια.

3.2.5. Προσομοιωτές χειρισμού οχημάτων

Οι Chin et al. (2018) παρουσίασαν ένα λογισμικό ΕΠΕΠ που δημιουργήθηκε με στόχο την εκπαίδευση χειριστών μη επανδρωμένων υποβρύχιων οχημάτων (<https://www.youtube.com/watch?v=PNyD1qRLCYU>). Για τη δημιουργία του χρησιμοποιήθηκε το Unity. Για την πλοήγηση του υποβρύχιου οχήματος χρησιμοποιήθηκε χειριστήριο τύπου joystick, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε προσομοιωτές πτήσης που προσφέρουν κίνηση και στις τρεις διαστάσεις.

Οι Valentino et al. (2017) δημιούργησαν έναν προσομοιωτή πτήσης ΠΕΕΠ. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity. Η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το σύστημα Samsung Gear VR, εφοδιασμένο με χειριστήριο. Η προσπάθεια δημιουργίας του λογισμικού στόχευε στην, όσο το δυνατόν, μεγαλύτερη συμβατότητα του με την πλατφόρμα

εκτέλεσης και ως εκ τούτου το λογισμικό δεν χρησιμοποιούσε περισσότερο ρεαλιστικά μέσα διεπαφής, όπως χειριστήρια τύπου joystick.

3.2.6. Μηχανική

Οι Abichandani et al. (2019) διερεύνησαν τη μαθησιακή και συναισθηματική επίδραση της ΕπΕΠ, στη διδασκαλία της Ηλεκτρολογίας. Για τις ανάγκες της έρευνας δημιουργήθηκε λογισμικό ΕπΕΠ, το οποίο προσομοίωνε φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το λογισμικό είχε ως σκοπό τη διδασκαλία των απωλειών ενέργειας και τις συνδεσμολογίες εν σειρά και παράλληλα. Παρείχε τη δυνατότητα αποτύπωσης πολλών μεταβλητών που επηρέαζαν την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, με χρήση γραφημάτων. Το λογισμικό ήταν διαθέσιμο μέσω Διαδικτύου και προσβάσιμο μέσω browser. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity και η διαδικτυακή πλατφόρμα Google Cloud. Ως εργαλείο συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν pre- και post-tests και επιπρόσθετα αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη διαδικτυακή πλατφόρμα. Στην έρευνα συμμετείχαν 48 φοιτητές Μηχανικής και τα αποτελέσματα αποκάλυψαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στην εμπλοκή (engagement) και γνωστικά οφέλη.

Οι Ogbuanya και Onele (2018) διερεύνησαν τη γνωστική και συναισθηματική επίδραση της ΕπΕΠ, στη διδασκαλία του ηλεκτρισμού και των ηλεκτρονικών. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό VD-Circuit. Το δείγμα ήταν 142 φοιτητές από τέσσερα πανεπιστήμια. Από τους 142 φοιτητές, οι 72 συγκρότησαν την πειραματική ομάδα που χρησιμοποίησε το εκπαιδευτικό υλικό ΕπΕΠ και 68 συγκρότησαν την ομάδα ελέγχου, η οποία χρησιμοποίησε συμβατικό εκπαιδευτικό υλικό. Τα εργαλεία συλλογής δεδομένων της έρευνας ήταν pre- και post-tests. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν στατιστικά σημαντική γνωστική διαφοροποίηση υπέρ της πειραματικής ομάδας, καθώς και στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση του ενδιαφέροντος για μάθηση (learning interest) των φοιτητών.

Οι Quevedo, et al. (2017) δημιούργησαν ένα εικονικό συνεργείο οχημάτων. Το ΠΕΕΠ λογισμικό παρείχε τη δυνατότητα στον χρήστη να αναγνωρίσει και να αλληλεπιδράσει απτικά με μηχανικά εξαρτήματα. Υπήρχε η δυνατότητα συναρμολόγησης μηχανικών συστημάτων (ενδεικτικά, κινητήρας αυτοκινήτου) από διάφορα εξαρτήματα. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε λογισμικό Computer Aided Design (CAD) σχεδίασης. Με τη βοήθεια του λογισμικού, σχεδιάστηκαν με μεγάλη ακρίβεια τα μηχανικά εξαρτήματα. Εκτός της CAD σχεδίασης, χρησιμοποιήθηκε και το λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης 3DS MAX. Στο τελευταίο στάδιο της σχεδίασης χρησιμοποιήθηκε το Unity. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το HTC Vive.

Οι Crespo et al. (2015) διερεύνησαν τη γνωστική επίδραση εκπαιδευτικού λογισμικού ΠΕΕΠ που αφορούσε τη Ρομποτική. Για τις ανάγκες της έρευνας δημιουργήθηκε λογισμικό προσομοίωσης του ρομποτικού συστήματος Mitsubishi Movemaster RV-M1. Για τη δημιουργία του λογισμικού ΠΕΕΠ χρησιμοποιήθηκε το Unity και τα προγράμματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης Blender και Sketch Up. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το Oculus Rift. Για την έρευνα συγκροτήθηκαν δυο ομάδες από φοιτητές Μηχανικής. Η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε το λογισμικό ΠΕΕΠ και η ομάδα ελέγχου το φυσικό ρομποτικό σύστημα. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν ότι οι φοιτητές της πειραματικής ομάδας πραγματοποίησαν τις δραστηριότητες σε μικρότερο χρόνο από ότι οι φοιτητές της ομάδας ελέγχου και ότι τα μέλη της ομάδας ελέγχου συμμετείχαν στις δραστηριότητες πραγματοποιώντας αλληπάλλληλες δοκιμές σφάλματων (trial and error).

Οι Chiluisa et al. (2018) παρουσίασαν ένα περιβάλλον ΠΕΕΠ, το οποίο προσομοιώνε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιλάμβανε φωτοβολταϊκά πάνελ και ανεμογεννήτριες. Ο σκοπός δημιουργίας του λογισμικού ήταν η εκπαίδευση τεχνικού προσωπικού που απασχολείται στις ΑΠΕ. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκε το 3DS MAX, το επαγγελματικό πρόγραμμα CAD SOLIDWORKS και το μαθηματικό πρόγραμμα MATLAB. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το Oculus Rift. Το λογισμικό ήταν δομημένο με βάση τρεις λειτουργίες: (α) προσομοίωση, (β) διάδραση και (γ) βλάβη. Κατά την προσομοίωση, οι χρήστες ήταν σε θέση να παρατηρήσουν το σύνολο των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων. Στη διάδραση, οι χρήστες μπορούσαν να διαδράσουν με το εικονικό περιβάλλον. Κατά τη λειτουργία της βλάβης, οι χρήστες έπρεπε να ακολουθήσουν το ενδεδειγμένο πρωτόκολλο, προκειμένου να την αντιμετωπίσουν επιτυχώς.

Οι Rafiee et al. (2017) παρουσίασαν ένα λογισμικό ΕΠΕΠ, το οποίο αφορούσε συστήματα αιολικής ενέργειας. Το λογισμικό υπολόγιζε και εμφάνιζε τις επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στο φυσικό περιβάλλον. Το λογισμικό χρησιμοποιούσε δεδομένα από συστήματα Geographic Information Systems (GIS), προκειμένου να προσομοιάσει το εκάστοτε φυσικό περιβάλλον με ακρίβεια. Επιπρόσθετα, παρείχε στους χρήστες τη δυνατότητα προσθήκης διαφορετικών ανεμογεννητριών, επιλέγοντας από λίστα. Ο χρήστης ενημερώνονταν από ειδικό γραπτό κείμενο για τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε ανεμογεννήτριας. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity.

Οι Cranmer et al. (2020) διερεύνησαν τη γνωστική επίδραση ενός λογισμικού ΠΕΕΠ, το οποίο αφορούσε σε ανεμογεννήτριες. Πιο συγκεκριμένα, μελέτησαν την επίδραση του

λογισμικού στις αντιλήψεις των χρηστών, αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στο φυσικό περιβάλλον. Για τις ανάγκες της έρευνας δημιουργήθηκε λογισμικό με τη βοήθεια του Unity. Το παραχθέν λογισμικό ήταν 360^o video και η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το σύστημα HTC Vive. Τα εργαλεία συλλογής δεδομένων ήταν pre- και post-tests και οι συμμετέχοντες ήταν 101 φοιτητές. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι μετά τη χρήση του λογισμικού ΠΕΕΠ, οι αντιλήψεις των χρηστών αναφορικά με τις επιπτώσεις των ανεμογεννητριών παρέμειναν θετικές, με μικρές διαφοροποιήσεις σε ένα πλήθος παραγόντων (ενδεικτικά, επίδραση στην κλιματική αλλαγή, στην ενεργειακή ανεξαρτησία). Η μοναδική αρνητική επίπτωση από τη χρήση των ανεμογεννητριών -σύμφωνα με τους χρήστες- ήταν η επίπτωση στη ζωή των πτηνών.

Οι Dinis et al. (2018) ανέπτυξαν ένα λογισμικό ΠΕΕΠ για φοιτητές πολιτικούς μηχανικούς που σκοπό είχε την οπτικοποίηση δομικών υλικών σε ένα διαδραστικό τρισδιάστατο περιβάλλον. Το λογισμικό ήταν διαθέσιμο στο Διαδίκτυο. Ως πλατφόρμα εκτέλεσης χρησιμοποιήθηκε το HTC VIVE και ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Το λογισμικό ΠΕΕΠ προσέφερε εποπτικές δυνατότητες, οι οποίες δεν μπορούσαν να προσφερθούν στον φυσικό κόσμο. Ο χρήστης καθώς περιηγείτο στις δομικές κατασκευές, είχε τη δυνατότητα να επιλέξει την εμφάνιση στρώσεων (layers) δομικών υλικών, τα οποία δεν ήταν δυνατόν να φανούν στον φυσικό κόσμο (για παράδειγμα, επιλογή θέασης μέσα από το επίχρισμα ή τον σκελετό της κατασκευής).

Οι Chu et al. (2017) μελέτησαν τη γνωστική επίδραση τεχνολογιών ΠΕΕΠ στη σχεδίαση βιομηχανικών προϊόντων. Για τις ανάγκες της έρευνας δημιουργήθηκε ειδικό λογισμικό, με τη βοήθεια του Unity. Η πλατφόρμα εκτέλεσης της εφαρμογής ήταν το HTC Vive. Σκοπός της έρευνας ήταν η μελέτη της γνωστικής επίδρασης διαφορετικών τύπων συσκευών οπτικοποίησης, στη βιομηχανική σχεδίαση. Το βιομηχανικό προϊόν σχεδίασης της έρευνας ήταν καρέκλες και οι συσκευές οπτικοποίησης ήταν: οθόνη-κυάλι (M3D, monocular display, οθόνη-κυάλι), στερεοσκοπική οθόνη (S3D) και το HTC Vive. Το δείγμα της έρευνας ήταν δέκα φοιτητές, εκ των οποίων οι πέντε ήταν φοιτητές τμημάτων βιομηχανικής σχεδίασης και οι υπόλοιποι ήταν φοιτητές άλλων τμημάτων. Το εργαλείο συλλογής δεδομένων της έρευνας ήταν ένα τεστ. Το δείγμα ήρθε σε επαφή με πραγματικές καρέκλες και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις διαφορετικές συσκευές οπτικοποίησης. Μέσω αυτών, το δείγμα έπρεπε να αναγνωρίσει τα μοντέλα των καρεκλών που είδε πριν από λίγο, μεταξύ άλλων, με αλλοιωμένες παραμέτρους σχεδίασης. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν ότι με τη χρήση του HMD, η μείωση της απόδοσης που παρατηρήθηκε στις περισσότερες απαιτητικές ερωτήσεις ήταν μικρότερη, από ότι με τις υπόλοιπες συσκευές οπτικοποίησης.

Οι Garcia et al. (2019) δημιούργησαν ένα λογισμικό ΠΕΕΠ, με σκοπό την εκπαίδευση φοιτητών σε ένα ηλεκτρομηχανικό πνευματικό εργαστήριο. Το λογισμικό προσομοίωνε το πνευματικό εργαστήριο και με τη βοήθεια ενός μικροϋπολογιστή Raspberry Pi 3, οι αλλαγές που γίνονταν στο περιβάλλον, μεταφέρονταν στο πραγματικό πνευματικό εργαστήριο. Η διασύνδεση του συστήματος με το Raspberry Pi 3 γινόταν μέσω Διαδικτύου. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το Oculus Rift και το λογισμικό δημιουργήθηκε με την βοήθεια του Unity.

Οι Perez et al. (2019) παρουσίασαν ένα λογισμικό ΠΕΕΠ, το οποίο προσομοίωνε ένα περιβάλλον βιομηχανικής Ρομποτικής και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση προσωπικού, στον έλεγχο ρομποτικών αυτοματισμών. Εκτός της προσομοίωσης, το λογισμικό ΠΕΕΠ μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για έλεγχο του πραγματικού ρομποτικού συστήματος. Διερευνήθηκε η εμπειρία των χρηστών αναφορικά με το ΠΕΕΠ περιβάλλον. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το HTC Vive. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Blender και το Unity. Οι συμμετέχοντες της έρευνας ήταν 12 άτομα, τέσσερις μηχανικοί Ρομποτικής, τέσσερις χειριστές και τέσσερις βοηθοί χειριστών. Η έρευνα αποκάλυψε ότι το λογισμικό χαρακτηρίστηκε από τους χρήστες εύχρηστο και φιλικό.

3.2.7. Επιστήμες υγείας

Οι Butt et al. (2018) χρησιμοποίησαν ένα σύστημα ΠΕΕΠ με απτικά χειριστήρια, προκειμένου να μελετήσουν την επίδραση της ΠΕΕΠ στην ανάπτυξη δεξιοτήτων από νοσηλευτές και την ευχρηστία της εφαρμογής. Το δείγμα της έρευνας ήταν 20 φοιτητές νοσηλευτικής, εκ των οποίων οι 10 συγκρότησαν την πειραματική ομάδα και 10 την ομάδα ελέγχου. Η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε ως πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού το Oculus Rift, το οποίο ήταν εφοδιασμένο με απτικά γάντια, ενώ στην ομάδα ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν συμβατικές μέθοδοι διδασκαλίας. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν θετική αξιολόγηση της ευχρηστίας (usability), της ευχαρίστησης (enjoyment) και της εμπλοκής (engagement) του λογισμικού. Τα μέλη της πειραματικής ομάδας πραγματοποίησαν περισσότερες εκπαιδευτικές δραστηριότητες σε μια ώρα, από ότι τα μέλη της ομάδας ελέγχου.

Οι McJunkin et al. (2018) δημιούργησαν μια εφαρμογή Μεικτής Πραγματικότητας η οποία προσομοίωνε με ακρίβεια, με τη βοήθεια ολογράμματος, την ανατομία του κρανίου. Η εφαρμογή αυτή είχε σκοπό την απόκτηση εμπειρίας στην ανατομία από τους χειρουργούς ιατρούς χρήστες. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity και το περιβάλλον προγραμματισμού C# Visual Studio. Τα ολογράμματα βασίστηκαν σε ειδικές

τομογραφίες κρανίων. Ως πλατφόρμα εκτέλεσης χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Μεικτής Πραγματικότητας Microsoft HoloLens.

3.2.8. Ασφάλεια

Οι Buttussi και Chittaro (2018) χρησιμοποίησαν ένα εκπαιδευτικό παιχνίδι για να μελετήσουν την γνωστική επίδραση διαφορετικών μέσων (HMD και οθόνης). Επιχειρήθηκε η ανίχνευση της επίδρασης των διαφορετικών μέσων στην παρουσία, στην εμπλοκή και στην αποτελεσματικότητα των χρηστών αναφορικά με το εικονικό περιβάλλον. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε λογισμικό, το οποίο προσομοίωνε την συντριβή αεροσκάφους και την ανάγκη της άμεσης εγκατάλειψης του από τον χρήστη. Η εγκατάλειψη του αεροσκάφους ήταν δύσκολη, λόγω της πυρκαγιάς, η οποία δεν επέτρεπε την πρόσβαση σε ορισμένες εξόδους. Το λογισμικό παρείχε τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων από τον χρήστη. Εάν ο χρήστης λάμβανε λανθασμένες αποφάσεις, τότε ενεργοποιούνταν ανατροφοδότηση με τις ενδεδειγμένες ενέργειες και παρακολουθούσε τις συνέπειες του λάθους του. Μετά την παρακολούθηση των συνεπειών, ο χρήστης τοποθετούταν στο χωροχρονικό σημείο ακριβώς πριν τη λήψη της εσφαλμένης απόφασης. Για τη δημιουργία του εκπαιδευτικού παιχνιδιού χρησιμοποιήθηκε το Unity. Χρησιμοποιήθηκε χειριστήριο τύπου κονσόλας ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Το δείγμα της έρευνας ήταν 96 εθελοντές σε ένα φάσμα ηλικιών 18 με 36 χρονών. Οι 96 εθελοντές συγκρότησαν τρεις ισοδύναμες αριθμητικά ομάδες. Η πρώτη ομάδα διέδρασε με την εκπαιδευτική εφαρμογή μέσω μιας οθόνης 27", η δεύτερη μέσω HMD της εταιρίας Sony και η τρίτη ομάδα μέσω του HMD της εταιρίας Oculus. Ως εργαλεία της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν pre- και post-tests. Μάλιστα, πραγματοποιήθηκαν post-tests όχι μόνο αμέσως μετά τη χρήση του εκπαιδευτικού παιχνιδιού, αλλά και δυο εβδομάδες μετά. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν ότι η γνωστική βελτίωση και η αποτελεσματικότητα δεν διαφοροποιούνται ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη συσκευή. Η αυτοαναφερόμενη εμπλοκή και παρουσία στο εικονικό περιβάλλον ήταν μεγαλύτερη στις ομάδες που χρησιμοποίησαν HMD, από ότι στην ομάδα που χρησιμοποίησε οθόνη υπολογιστή.

Οι Çakiroğlu και Gököğlü (2019) μελέτησαν την επίδραση ενός ΠΕΕΠ λογισμικού στην εκμάθηση βασικών δεξιοτήτων αντιμετώπισης πυρκαγιάς. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το εικονικό περιβάλλον πολλαπλών χρηστών Second Life, το οποίο συνδυάστηκε με χρήση HMD, χειριστηρίου τύπου παιχνιδομηχανής και ακουστικά. Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 10 μαθητές Δημοτικού σχολείου 9-11 ετών. Για τη συλλογή δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ειδική φόρμα παρατήρησης, ημιδομημένη συνέντευξη και ερωτηματολόγιο ανίχνευσης παρουσίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν

στατιστικά σημαντική βελτίωση των δεξιοτήτων αντιμετώπισης πυρκαγιάς, μετά από τη χρήση του λογισμικού ΠΕΕΠ. Επιπρόσθετα, αποκάλυψαν ότι οι δεξιότητες που διδάσκονται μέσω ΕΠ, μπορούν να μεταφερθούν με ακρίβεια στο φυσικό περιβάλλον.

3.2.9. Χωρικός προσανατολισμός

Οι Carbonell-Carrera και Saorin (2017) διερεύνησαν την επίδραση τεχνολογιών ΠΕΕΠ στην ανάπτυξη δεξιοτήτων χωρικού προσανατολισμού. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε smartphone το οποίο προσαρμόστηκε σε ειδικά τρισδιάστατα γυαλιά, χειριστήριο και το λογισμικό Google Street View. Το δείγμα της έρευνας ήταν 32 δευτεροετείς φοιτητές. Ως εργαλεία συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν pre- και post tests. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ανάπτυξη των δεξιοτήτων χωρικού προσανατολισμού, η οποία όμως ήταν μικρότερη από αυτή που επετεύχθη σε προηγούμενα πειράματα, με άλλα τεχνολογικά μέσα (μέσα Επαυξημένης Πραγματικότητας (AR), Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφορικών (Geographic Information Systems, GIS).

3.2.10. Φυσικές Επιστήμες

Οι Zafeiropoulos και Kalles (2018) παρουσίασαν μια τεχνική για την ακριβή ποσοτική προσομοίωση υγρών που χρησιμοποιούνται σε ένα εικονικό εργαστήριο Βιολογίας. Το λογισμικό ΕΠΕΠ που προσομοίαζε εργαστήριο βιολογίας ήταν το Onlabs, το οποίο χρησιμοποιούταν από το Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (ΕΑΠ). Οι χρήστες του λογισμικού, είχαν τη δυνατότητα να αναπτύξουν δεξιότητες χρήσης του εργαστηριακού εξοπλισμού. Μέσω του εικονικού εργαστηρίου γινόταν εκπαίδευση στην ανάμειξη και παραγωγή ουσιών σε ελεγχόμενες αναλογίες. Εκτός των άλλων, προσφερόταν και ακριβής μέτρηση του όγκου των υγρών.

Οι Parong και Mayer (2018) διερεύνησαν τη γνωστική και συναισθηματική επίδραση εκπαιδευτικού λογισμικού ΠΕΕΠ. Η ποσοτική έρευνα που πραγματοποιήθηκε περιλάμβανε δύο πειράματα. Στο πρώτο πείραμα, φοιτητές έκαναν μάθημα Βιολογίας με χρήση δύο διαφορετικών εκπαιδευτικών υλικών: λογισμικό ΠΕΕΠ και διαφάνειες PowerPoint. Στο δεύτερο πείραμα, οι φοιτητές είτε χρησιμοποίησαν χωρίς διακοπή το λογισμικό του πειράματος 1, είτε χρησιμοποιούσαν το λογισμικό σε ενότητες, συγγράφοντας την περίληψη κάθε ενότητας πριν προχωρήσουν στην επόμενη. Οι συμμετέχοντες στο πρώτο πείραμα ήταν 55 φοιτητές, εκ των οποίων οι 27 συγκρότησαν την ομάδα που έκανε χρήση του λογισμικού ΠΕΕΠ και 28 συγκρότησαν την ομάδα που έκανε χρήση των διαφανειών του PowerPoint. Το διαδραστικό λογισμικό ΠΕΕΠ που χρησιμοποιήθηκε ήταν το The Body VR: Journey Inside a

Cell. Τα εργαλεία συλλογής δεδομένων ήταν pre- και post-tests. Οι συμμετέχοντες στο δεύτερο πείραμα ήταν 57 φοιτητές, 28 εκ των οποίων συγκρότησαν την ομάδα που έκανε συνεχή χρήση του λογισμικού και 28 συγκρότησαν την ομάδα που έκανε διακεκομμένη χρήση με συγγραφή περιλήψεων. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το HTC Vive. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση υπέρ της ομάδας που χρησιμοποίησε το λογισμικό ΠΕΕΠ, έναντι της ομάδας που χρησιμοποίησε τις διαφάνειες PowerPoint, αναφορικά με τα κίνητρα (motivation), το ενδιαφέρον (interest) και την εμπλοκή (engagement) του εκπαιδευτικού υλικού. Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στην επίδοση (ερωτήσεις γνώσεων) υπέρ της ομάδας που χρησιμοποίησε τις διαφάνειες, έναντι της ομάδας που χρησιμοποίησε το λογισμικό.

Οι Caro et al. (2018) διερεύνησαν τη μαθησιακή επίδραση τεχνολογιών ΠΕΕΠ, αναφορικά με την κρυσταλλική δομή στερών σωμάτων. Για την οπτικοποίηση των κρυσταλλικών δομών και την προβολή τους στο Oculus Rift χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά CrystalMaker (<http://crystallmaker.com>) και Arthea (<https://arthea.io>). Το λογισμικό Arthea επέτρεψε την προβολή και διαχείριση των τρισδιάστατων μοντέλων. Το δείγμα της έρευνας ήταν έξι φοιτητές και ένας απόφοιτος του Πανεπιστημίου του Michigan. Τα τέσσερα άτομα της έρευνας χρησιμοποίησαν το ΠΕΕΠ σύστημα και τα υπόλοιπα τρία χρησιμοποίησαν χαρτί και μολύβι για να απαντήσουν σε τέσσερις ερωτήσεις, που αφορούσαν σε αναγνώριση και σύγκριση κρυσταλλικών δομών. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι στις ερωτήσεις που απαιτούσαν ανάκληση πρότερης γνώσης, οι φοιτητές που απάντησαν σε χαρτί γενικά απάντησαν καλύτερα. Στις ερωτήσεις όμως που απαιτούσαν κριτική σκέψη και αιτιολόγηση, οι φοιτητές που χρησιμοποίησαν το σύστημα ΠΕΕΠ παρουσίασαν καλύτερες επιδόσεις. Οι φοιτητές ανέφεραν, ότι η χρήση του συστήματος ΠΕΕΠ ήταν διασκεδαστική και εύκολη.

Οι Smith et al. (2017) διερεύνησαν τη γνωστική επίδραση ενός περιβάλλοντος ΠΕΕΠ που αφορούσε την προσομοίωση ηλεκτρικών πεδίων. Το δείγμα της έρευνας ήταν 627 φοιτητές. Οι φοιτητές συγκρότησαν τρεις ομάδες, οι οποίες χρησιμοποίησαν διαφορετικά μέσα: ΕΠ, βίντεο και στατικές δισδιάστατες εικόνες. Τα εργαλεία συλλογής δεδομένων της έρευνας ήταν pre- και post tests. Το λογισμικό ΠΕΕΠ ήταν μια εφαρμογή για λειτουργικό σύστημα Android και δημιουργήθηκε με το Unity. Ως πλατφόρμα εκτέλεσης χρησιμοποιήθηκε το smartphone Nexus 5, το οποίο τοποθετήθηκε σε ειδική θήκη τύπου HMD (cardboard viewer). Με τη χρήση του συστήματος ΠΕΕΠ, οι φοιτητές είχαν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν το ηλεκτροστατικό πεδίο σε τρισδιάστατη μορφή και εκμεταλλευόμενοι τους αισθητήρες κίνησης του κινητού τηλεφώνου, μπορούσαν να παρατηρήσουν υπό οποιαδήποτε γωνία. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν στατιστικά σημαντική θετική

διαφοροποίηση στην ευχαρίστηση και αυτοαναφερόμενη γνωστική βελτίωση, της ομάδας που χρησιμοποίησε το λογισμικό ΠΕΕΠ, σε σχέση με τις υπόλοιπες ομάδες.

3.2.11. Ειδική αγωγή

Οι Checa et al. (2019) παρουσίασαν ένα λογισμικό ΠΕΕΠ, το οποίο είχε σαν στόχο την εκμάθηση της χρήσης των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς σε άτομα με διανοητικές δυσλειτουργίες. Μέσω της εξάσκησης σε ένα ασφαλές περιβάλλον, οι χρήστες αναμενόταν να αναπτύξουν δεξιότητες και αυτοπεποίθηση, ώστε να χρησιμοποιούν τα μέσα. Η δομή του λογισμικού ΠΕΕΠ ήταν χωρισμένη σε τρία επίπεδα: (α) αναμονή στη στάση λεωφορείου και επιλογή του σωστού λεωφορείου, (β) πληρωμή του εισιτηρίου και (γ) αποβίβαση στη σωστή στάση. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unreal και για τη δημιουργία μέρους των κτηρίων του εικονικού περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκε εξωτερικό λογισμικό δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το Oculus Rift.

Οι Tzanavari et al. (2015) διερεύνησαν τη γνωστική επίδραση ενός συστήματος ΠΕΕΠ που αφορούσε την εκμάθηση διάσχισης δρόμου. Το δείγμα της έρευνας ήταν έξι παιδιά 8-11 χρονών, με διαταραχή αυτιστικού φάσματος. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε ειδικό λογισμικό ΕΠ και σύστημα CAVE. Το λογισμικό ήταν δομημένο σε έξι επίπεδα:

- Αναμονή στο πεζοδρόμιο.
- Πάτημα του μπουτόν και αναμονή του πράσινου σηματοδότη.
- Έλεγχος του δρόμου και από τις δύο κατευθύνσεις αφού ανάψει ο πράσινος σηματοδότης.
- Εκκίνηση της διάσχισης του δρόμου και ταυτόχρονος επανέλεγχος του δρόμου.
- Περπάτημα διάσχισης δρόμου.
- Διάσχιση του δρόμου και προσέγγιση του πεζοδρομίου.

Μετά από τέσσερις μέρες συνεδριών στο CAVE σύστημα, την πέμπτη μέρα, οι συμμετέχοντες διέσχισαν έναν κανονικό δρόμο, με την παρουσία συνοδού για λόγους ασφαλείας. Τα αποτελέσματα της έρευνας κάνουν λόγο για αυξημένη αυτοπεποίθηση των παιδιών. Οι συνοδοί ανέφεραν ότι τα παιδιά μπορούσαν να διασχίσουν τον δρόμο χωρίς να κρατάνε το χέρι τους.

3.2.12. Ξένες γλώσσες

Οι Cheng et al. (2017) χρησιμοποίησαν τεχνολογίες ΠΕΕΠ προκειμένου να διερευνήσουν την επίδραση τους στην εκμάθηση της Ιαπωνικής, ως ξένη γλώσσα. Για τις ανάγκες της έρευνας

χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Crystallize. Πρόκειται για ένα εκπαιδευτικό παιχνίδι, που είχε ως στόχο την προσομοίωση του περιβάλλοντος της ξένης γλώσσας-στόχου. Εκτός από την εκμάθηση των Ιαπωνικών, το λογισμικό είχε και ως στόχο την εκμάθηση της επίκουσης-ιαπωνικού χαιρετισμού. Επειδή το Crystallize ήταν παιχνίδι, έγιναν οι αναγκαίες τροποποιήσεις με τη βοήθεια του Unity, ώστε να γίνει συμβατό με το Oculus Rift. Δημιουργήθηκε και ένα λογισμικό ΕπΕΠ με βάση το Crystallize, το οποίο ήταν καθόλα ίδιο με το ΠΕΕΠ, πλην της ανίχνευσης πραγματοποίησης ιαπωνικής επίκουσης. Οι διάλογοι του παιχνιδιού, ήταν χωρισμένοι σε τρεις κατηγορίες:

- Διάλογοι μεταξύ Non Playable Characters (NPC): Στους διαλόγους μεταξύ δυο χαρακτήρων NPC, ο χρήστης μάθαινε καινούργιες λέξεις και φράσεις.
- Διάλογοι μεταξύ χρήστη και NPC: Στους διαλόγους μεταξύ του χρήστη και των NPC στόχος ήταν η χρήση της κατάλληλης φράσης από τις προσφερόμενες.
- Σύνθεση πρότασης: Σε κάποιες περιπτώσεις ζητούταν από τον χρήστη η σύνθεση μιας πρότασης, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες λέξεις.

Το δείγμα της έρευνας ήταν 68 άτομα. Τα εργαλεία συλλογής δεδομένων ήταν pre- και post tests. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν ότι το λογισμικό ΠΕΕΠ επίδρασε θετικότερα στην εμπλοκή των χρηστών με την ιαπωνική κουλτούρα. Αναφορικά με την γνωστική επίδραση του ΠΕΕΠ λογισμικού, τα αποτελέσματα αποκάλυψαν καλύτερη, μη στατιστικά σημαντική, επίδοση του ΕπΕΠ λογισμικού. Πάρα τα προβλήματα του λογισμικού ΠΕΕΠ, η πλειοψηφία των χρηστών ανέφερε ότι απόλαυσε την εμπειρία.

Οι Peixoto et al. (2019) διερεύνησαν τις αντιλήψεις καθηγητών ξένων γλωσσών, αναφορικά με τη διδασκαλία δεύτερης ξένης γλώσσας με χρήση λογισμικού ΠΕΕΠ. Για τις ανάγκες της έρευνας δημιουργήθηκε ένα λογισμικό εκμάθησης της αγγλικής γλώσσας με πλατφόρμα εκτέλεσης το HTC Vive. Οι συμμετέχοντες της έρευνας ήταν επτά καθηγητές ξένων γλωσσών και τα εργαλεία συλλογής δεδομένων της έρευνας ήταν ερωτηματολόγια. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν υψηλή ικανοποίηση από τη χρήση τεχνολογιών ΠΕΕΠ.

3.2.13. Συμπεράσματα

Από την παραπάνω παρουσίαση συμπεραίνεται ότι οι τεχνολογίες της ΕΠ χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως εκπαιδευτικό υλικό σε πολλά γνωστικά πεδία. Η χρήση της ΕΠ είναι ευεργετική, γιατί σε αντίθεση με την εκπαίδευση στον φυσικό κόσμο, παρέχει τη δυνατότητα των διαδοχικών δοκιμών και λαθών, χωρίς να υπάρχουν δυσάρεστες συνέπειες είτε στα τεχνολογικά μέσα, είτε στον εκπαιδευόμενο. Επίσης, όπως φαίνεται από πολλά λογισμικά,

εκτός της ασφάλειας που παρέχουν, οι τεχνολογίες όλου του φάσματος της ΕΠ (ΕπΕΠ, ΠΕΕΠ, CAVE, Μεικτή) παρέχουν εποπτικές δυνατότητες, οι οποίες πολλές φορές υπερβαίνουν τις συνηθισμένες εποπτικές δυνατότητες που παρέχονται στον φυσικό κόσμο. Μέσω της ΕΠ ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει φαινόμενα, πέρα από τις φυσικές του δυνατότητες, όπως σωματίδια, ροή αέρα, εσωτερικά τμήματα ενός μηχανισμού. Από την παραπάνω παρουσίαση φαίνεται ότι τα τελευταία έτη αναπτύσσεται ιδιαίτερη ερευνητική δραστηριότητα αναφορικά με την ΠΕΕΠ, καρπό της οποίας αποτελούν τα παραχθέντα λογισμικά και η ευρεία εκπαιδευτική έρευνα, η οποία περιστρέφεται γύρω από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες. Όπως φάνηκε από τα προλεγόμενα, οι έρευνες αποκαλύπτουν θετικές επιδράσεις της ΕΠ στην ευχαρίστηση (enjoyment) (Butt et al., 2018· Smith et al., 2017), στην εμπλοκή (engagement) (Abichandani et al., 1 2019· Bittussi & Chittaro, 2018· Butt et al., 2018· Darong & Mayer, 2018), στην ευχρηστία (usability) (Butt et al., 2018· Perez et al., 2019, στην αίσθηση παρουσίας του χρήστη στον εικονικό κόσμο (presence) (Bittussi & Chittaro, 2018· Cakiroglou & Cokoglu, 2019), στο ενδιαφέρον (interest) (Darong & Mayer, 2018· Oghuany & Onele, 2018), κίνητρα (motivation) (Darong & Mayer, 2018), στην ευχρηστία (usability) (Caro et al., 2018), στην αυτοπεποίθηση (Tzanavari et al., 2015), στις γνώσεις (Abichandani et al., 1 2019· Chu et al., 2017· Oghuany & Onele, 2018· Rondriguez et al., 2019· Smith et al., 2017), στις αντιλήψεις (Chanmer et al., 2020), στην φιλικότητα (friendly) (Perez et al., 2019), στην κριτική σκέψη (Caro et al., 2018), στις δεξιότητες χωρικού προσανατολισμού (Carbonell-Carrera & Saorin, 2017) και στις δεξιότητες αντιμετώπισης πυρκαγιάς (Cakiroglou & Cokoglu, 2019). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι για την πλειοψηφία των λογισμικών που δημιουργήθηκαν, χρησιμοποιήθηκε το Unity.

3.3. Βασικοί παράγοντες Εικονικής Πραγματικότητας

3.3.1. Εισαγωγή

Βιβλιογραφικά, η έρευνα γύρω από τη γενικότερη μαθησιακή και συναισθηματική επίδραση της ΕΠ περιστρέφεται γύρω από παράγοντες (factors) που επιδρούν και διαμορφώνουν την όλη μαθησιακή εμπειρία του χρήστη. Κάποιοι από τους παράγοντες αφορούν και σε άλλους κλάδους της Πληροφορικής και άλλοι αποτελούν ίδιον της ΕΠ. Σκοπός της ενότητας είναι η παρουσίαση και ανάλυση αυτών των παραγόντων.

3.3.2. Η εμπειρία του χρήστη (UX, User Experience)

Η εμπειρία του χρήστη αποτελεί μια αρκετά ευρεία έννοια, η οποία εν πολλοίς είναι δύσκολο να κατανοηθεί σε όλη της την έκταση (Gómez-López et al., 2019). Επιπρόσθετα, η εμπειρία του χρήστη, είναι ένα πολυδιάστατο πεδίο και χρησιμοποιείται στη σχεδίαση, βελτίωση και μελέτη των εμπειριών που προκύπτουν από τη χρήση ενός προϊόντος (Konstantakis & Caridakis, 2020).

Μερικοί ενδεικτικοί ορισμοί της εμπειρίας του χρήστη είναι οι παρακάτω:

- « *Το πώς νοιώθει ο χρήστης αναφορικά με κάθε πτυχή της διάδρασης του με το προϊόν*» (Rusu et al., 2015, p.7).
- «*Οι αντιλήψεις και αντιδράσεις οι οποίες πηγάζουν από τη χρήση ή/και την αναμενόμενη χρήση ενός προϊόντος, συστήματος ή υπηρεσίας*» (Mirnig et al., 2015, p.4).
- « *Η εμπειρία του χρήστη είναι ο συνδυασμός της ελκυστικότητας, της ευκολίας χρήσης, της χρησιμότητας και του βαθμού χρήσης ενός προϊόντος*» (Rajanen, 2017, p. 9).

Από τους παραπάνω ορισμούς συμπεραίνεται ότι η εμπειρία του χρήστη αφορά την προσωπική εμπειρία σε σχέση με τη χρήση ενός προϊόντος, παρά την λειτουργικότητα του για την πραγματοποίηση κάποιου συγκεκριμένου σκοπού (Rajanen et al., 2017).

Στον χώρο της ΕΠ, η εμπειρία του χρήστη εμφανίζεται ως φαινόμενο, το οποίο συγκροτείται από πολλούς παράγοντες όπως: παρουσία, ευχρηστία, αλληλεπίδραση. Είναι δύσκολο να αποσαφηνιστεί η έννοια, διότι οι ερευνητές προσπαθούν να την καθορίσουν ανιχνεύοντας την επίδραση διαφορετικών παραγόντων. Ενδεικτικά, οι Argyriou et al. (2020) στην έρευνά τους τη συσχετίζουν με τους παράγοντες: αποτελεσματικότητα (effectiveness), αποδοτικότητα (efficiency), ικανοποίηση (satisfaction), γνωστική επεξεργασία (cognitive processing), ενώ οι Pagano et al. (2020) με τους παράγοντες κίνηση avatar (movements) και simulator sickness.

3.3.3. Εμβύθιση

Σύμφωνα με τους Burdea και Coiffet (2003), η εμβύθιση (immersion), αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων ΕΠ και συνδέεται με ακόμα δύο χαρακτηριστικά, την αλληλεπίδραση (interaction) και την φαντασία (imagination). Τα τρία αυτά χαρακτηριστικά, αποτελούν τα τρία «Is» της ΕΠ. Με βάση τους παραπάνω ερευνητές, η εμβύθιση έχει σχέση με την αίσθηση του χρήστη, ότι βρίσκεται εντός ενός εικονικού περιβάλλοντος (Φωκίδης & Ατσικπάση, 2022). Η έννοια της εμβύθισης στην ΕΠ έχει ιδιαίτερη σημασία και αφορά στη βίωση της εικονικής εμπειρίας, όπου συνήθως ο χρήστης απεκδύεται τον συμβατικό του χαρακτήρα και δραπετεύει από την καθημερινή του ζωή. Η έννοια της εμβύθισης σχετίζεται και με την έννοια της αίσθησης παρουσίας του χρήστη στον εικονικό κόσμο, αν και οι δυο

έννοιες είναι διακριτές (Fokides et al., 2019· Mütterlein, 2018). Συστήματα τα οποία επιτυγχάνουν μεγάλη εμπύθιση, οδηγούν και σε ισχυρή αίσθηση παρουσίας του χρήστη στον εικονικό κόσμο (Kaplan-Rakowski & Gruber, 2019). Τόσο η εμπύθιση, όσο και η αίσθηση παρουσίας στον εικονικό κόσμο, είναι εγκεφαλικές καταστάσεις (Mütterlein, 2018). Επειδή οι έννοιες είναι αλληλεπικαλυπτόμενες, κάποιες φορές χρησιμοποιείται και διερευνάται η μια από τις δυο, μιας και αφορούν παρόμοιες ψυχολογικές καταστάσεις των χρηστών (Fokides et al., 2019).

Σύμφωνα με τους Φωκίδη και Ατσικπάση (2022), η εμπύθιση σχετίζεται με τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ΕΠ, καθώς αυτά καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη δημιουργία αυτής της εγκεφαλικής κατάστασης. Ο βαθμός εμπύθισης των χρηστών, εξαρτάται από ένα πλήθος τεχνικών παραγόντων του συστήματος ΕΠ, όπως η αληθοφάνεια των γραφικών, ο βαθμός ελευθερίας κίνησης, ο βαθμός αποκοπής από το περιβάλλον και ο βαθμός αλληλεπίδρασης με το λογισμικό. Ακόμη, οι παραπάνω συγγραφείς υποστηρίζουν ότι η πλήρης εμπύθιση του χρήστη επιτυγχάνεται όταν ο χρήστης λαμβάνει από το εικονικό περιβάλλον τις ίδιες ακριβώς πληροφορίες με τον φυσικό κόσμο ή όταν η αντίληψη του φυσικού κόσμου αντικαθίσταται πλήρως από τον εικονικό. Κάποιες επιμέρους διαστάσεις του φαινομένου είναι το κατά πόσο ο χρήστης εμπυθίστηκε στην εφαρμογή, εάν η εμπειρία έμοιαζε αληθινή, εάν τα εικονικά αντικείμενα έμοιαζαν αληθινά, εάν ο χρήστης αγνόησε τελείως τον φυσικό κόσμο, εάν ένοιωσε ότι ζούσε σε άλλον χωροχρόνο, εάν είχε την εντύπωση ότι μπορούσε να αγγίξει αντικείμενα στον εικονικό κόσμο (Abeele et al., 2020· Boletsis, 2020· Vorderer, 2004).

Μια ακόμη έννοια που σχετίζεται, σε μεγάλο βαθμό, με την εμπύθιση, είναι η ροή (flow). Οι χρήστες, όταν βρίσκονται στην ψυχική κατάσταση της ροής, αισθάνονται ευχαρίστηση και χάνουν της αίσθηση του χρόνου (Φωκίδης & Ατσικπάση, 2022). Η ροή αναφέρεται στην επίτευξη της ιδανικής εμπειρίας, όπου ο χρήστης είναι απόλυτα απορροφημένος στον εικονικό κόσμο (Michailidis et al. 2018). Ως ιδανική εμπειρία, η ροή στην ουσία προϋποθέτει την επίτευξη της εμπύθισης στον ύψιστο βαθμό (Cheng et al., 2015).

Σύμφωνα με τους Φωκίδη και Ατσικπάση (2022), κάποια από τα βασικότερα είδη εμπύθισης είναι:

- Απτική εμπύθιση (tactical immersion): Αφορά σε εκτέλεση απτικών λειτουργιών (ενδεικτικά, αρπαγή αντικειμένου, grab) με χρήση των χειριστηρίων.
- Τεχνική εμπύθιση (technical immersion): Σχετίζεται με στοιχεία (ενδεικτικά, οπτικές και ακουστικές πληροφορίες), τα οποία καθοδηγούν την προσοχή, έτσι ώστε ο χρήστης να θεωρεί ότι αποτελεί μέρος του εικονικού περιβάλλοντος.

- Αφηγηματική εμπύθιση (narrative immersion): Αφορά στην ιστορία-υπόθεση που λαμβάνει χώρα στον εικονικό κόσμο. Αυτό το είδος εμπύθισης ομοιάζει -εκτός ΕΠ- με το αίσθημα που νοιώθει το υποκείμενο, όταν διαβάζει κάποιο μυθιστόρημα ή παίζει κάποιο επιτραπέζιο παιχνίδι ρόλων (tabletop role play game).
- Πνευματική εμπύθιση (mental immersion): Είναι η κατάσταση βίωσης του εικονικού περιβάλλοντος ως ρεαλιστικό.
- Συναισθηματική εμπύθιση (emotional immersion): Είναι η σύγχυση του εικονικού περιβάλλοντος με τον φυσικό κόσμο.
- Γνωστική εμπύθιση (cognitive immersion): Αφορά την αφηρημένη σκέψη του χρήστη και ενεργοποιείται μέσω της επίλυσης προβλημάτων.
- Παθητική εμπύθιση (passive immersion): Η εμπύθιση που επιτυγχάνεται παθητικά, χωρίς την αλληλεπίδραση του χρήστη με αντικείμενα, αλλά μόνο με χρήση πληροφοριών (ενδεικτικά, παρακολούθηση video).
- Ενεργή εμπύθιση (active immersion): Επιτυγχάνεται ενεργητικά, μέσω της αλληλεπίδρασης του χρήστη με τον εικονικό κόσμο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι έρευνες σχετικά με την επίδραση της εμπύθισης στη μάθηση δείχνουν ασαφή αποτελέσματα. Κάποιες έρευνες αναφέρουν στατιστικά σημαντική θετική διαφοροποίηση της μάθησης σε συστήματα υψηλής εμπύθισης (ενδεικτικά, Coulter et al., 2007· Webster, 2016). Άλλες, από την άλλη μεριά, αναφέρουν ότι οι χρήστες επιτυγχάνουν καλύτερη γνωστική επίδοση σε συμβατικά συστήματα (ενδεικτικά, ΕπΕΠ), από ότι στην ΠΕΕΠ. Μάλιστα, εικάζεται ότι ο μεγάλος βαθμός εμπύθισης στο εικονικό περιβάλλον, δημιουργεί θετικά συναισθήματα και ίσως αποσπά τον χρήστη από την γνωστική φύση των εκάστοτε εφαρμογών (ενδεικτικά, Luigini et al., 2020· Parong & Mayer, 2021).

3.3.4. Παρουσία

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η έννοια της παρουσίας συνδέεται με αυτή της εμπύθισης.

Σύμφωνα με τους Φωκίδη και Ατσικπάση (2022), η παρουσία διαφοροποιείται από την εμπύθιση, καθώς αποτελεί περισσότερο υποκειμενικό φαινόμενο και αφορά τον βαθμό που ένας χρήστης έχει την ψευδαίσθηση της ύπαρξης εντός ενός εικονικού περιβάλλοντος. Προτείνεται η ανίχνευση του βαθμού παρουσίας να διερευνάται με ψυχομετρικά ερωτηματολόγια, ενώ η εμπύθιση με τεχνικά ερωτηματολόγια, μιας και αποτελεί περισσότερο αντικειμενικό φαινόμενο και αφορά την πληρότητα των αισθητηριακών εμπειριών που παρέχονται από το σύστημα ΕΠ.

Σύμφωνα με τους Papachristos και Micropoulos (2017), η παρουσία είναι ένα εγκεφαλικό φαινόμενο, που σχετίζεται με τα εικονικά περιβάλλοντα. Ο χρήστης μέσα στο εικονικό περιβάλλον έχει την ψευδαίσθηση της «μη διαμεσολάβησης», δηλαδή αδυνατεί να αντιληφθεί ότι διαμεσολαβείται από το avatar και πιστεύει ότι ο ίδιος υπάρχει ως ξεχωριστή οντότητα. Οι Yu et al. (2012, σ.76) ορίζουν την παρουσία ως «τον βαθμό ρεαλιστικότητας με τον οποίο οι χρήστες ανταποκρίνονται στο περιβάλλον, καθώς επίσης και τον βαθμό της βίωσης υποκειμενικής παρουσίας στο εικονικό περιβάλλον». Ένας ακόμη συναφής ορισμός της παρουσίας είναι το φαινόμενο της συμπεριφοράς και αίσθησης των χρηστών, σαν αυτοί να βρίσκονταν όντως εντός του εικονικού κόσμου (Slater, 2009). Κάποιες έρευνες καταδεικνύουν ότι ο βαθμός της αίσθησης παρουσίας, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας των χρηστών, ενώ άλλες συνδέουν την παρουσία με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ΕΠ (ενδεικτικά, North & North, 2012· Nunez, 2004). Ο Steuer (1992) υποστήριξε ότι η παρουσία σχετίζεται με τρεις επιμέρους παράγοντες: Τη ζωντάνια (vividness), τη διαδραστικότητα (interactivity) και την επιρροή των υποκειμενικών χαρακτηριστικών του χρήστη (influence of the user's characteristics). Η ζωντάνια αφορά στον αναπαραστατικό πλούτο του περιβάλλοντος, δηλαδή στην ρεαλιστικότητά του. Η διαδραστικότητα είναι ο βαθμός που μπορεί να τροποποιηθεί το περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο από τον χρήστη. Ο τρίτος παράγοντας, η επιρροή των υποκειμενικών χαρακτηριστικών του χρήστη, πηγάζει από τις διαφορές των υποκειμένων μεταξύ τους, μιας και ο κάθε άνθρωπος είναι μοναδικός. Έτσι λοιπόν, τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά της προσωπικότητας και ιδιοσυγκρασίας του χρήστη, επηρεάζουν την αίσθηση παρουσίας του, στον εικονικό κόσμο.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η παρουσία είναι ένα σύνθετο φαινόμενο. Οι Φωκίδης και Ατσικπάση (2022) υποστηρίζουν ότι για να βιωθεί ο εικονικός κόσμος σαν πραγματικός (ψευδαίσθηση του τόπου, place illusion, PL), όπως συγκλίνουν οι παραπάνω ορισμοί, απαιτούνται κάποιες τεχνικές δυνατότητες από το σύστημα ΕΠ. Αυτές οι δυνατότητες είναι η παρακολούθηση των κινήσεων του κεφαλιού και σώματος του χρήστη, κάτι που προσφέρεται από τα HMDs. Σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς, η παρουσία διαχωρίζεται σε υποκατηγορίες:

- Αυτοπαρουσία (self presence): Οι χρήστες νοιώθουν μέρος του περιβάλλοντος.
- Χωρική παρουσία (spatial presence): Οι χρήστες βρίσκονται εντός ενός μη-διαμεσολαβημένου περιβάλλοντος με δυνατότητες δράσης σε αυτό.
- Φυσική παρουσία (natural presence): Ο βαθμός με τον οποίο το εικονικό περιβάλλον βρίσκεται σε συμφωνία με την πραγματικότητα.

- Τηλε-παρουσία (tele presence): Η εμπειρία ενός εικονικού περιβάλλοντος, με χρήση μέσου επικοινωνίας.
- Συν-παρουσία (co-presence): Αφορά την ανθρώπινη σύνδεση δύο υποκειμένων, μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον.
- Κοινωνική παρουσία (social presence): Αφορά την αλληλεπίδραση ομάδας ανθρώπων ή και εικονικών χαρακτήρων (non playing characters, NPC), μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον.

Οι έρευνες για τη σχέση παρουσίας και μάθησης -ομοίως με αυτές που αφορούν εμπύθιση και μάθηση- έχουν, σε γενικές γραμμές, ασαφή αποτελέσματα. Κάποιες έρευνες αποκαλύπτουν αρνητική ή μηδενική επίδραση της παρουσίας στη μάθηση των υποκειμένων (ενδεικτικά, Buttussi & Chittaro, 2017· Makransky et al., 2019, Zhao et al., 2018). Μάλιστα, υποστηρίζεται ότι τα ΠΕΕΠ λογισμικά μπορεί να αποσπούν τους χρήστες, με αποτέλεσμα αυτοί να επιτυγχάνουν χαμηλότερη γνωστική επίδοση από τις ομάδες ελέγχου. Από την άλλη μεριά, άλλες έρευνες αποκαλύπτουν θετική συσχέτιση συστημάτων υψηλής αίσθησης παρουσίας με τη μάθηση (ενδεικτικά, Alhalabi, 2016· Checa & Bustillo, 2020· Parong et al., 2020).

3.3.5. Αλληλεπίδραση

Η αλληλεπίδραση (interactivity) χρήστη-εικονικού περιβάλλοντος αποτελεί θεμελιώδες δομικό στοιχείο της ΕΠ και τη διαφοροποιεί από άλλα μέσα που χρησιμοποιούν τρισδιάστατα γραφικά όπως τα animation video. Τα animation video μπορεί να διαθέτουν ρεαλιστικά γραφικά, όμως απουσιάζει παντελώς το στοιχείο της αλληλεπίδρασης. Η ΕΠ και ιδιαίτερα η ΠΕΕΠ αποσκοπεί στην πλήρη εμπύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον και γι' αυτόν τον λόγο ο χρήστης δεν περιηγείται απλά στο εικονικό περιβάλλον, αλλά μπορεί να αλληλεπιδρά με αυτό (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011). Η αλληλεπίδραση επιτυγχάνεται με τη χρήση αισθητήρων και συσκευών, οι οποίες επιτρέπουν στον χρήστη τη διαχείριση αντικειμένων του εικονικού κόσμου (Muhanna, 2015). Σύμφωνα με τους Φωκίδη και Ατσικπάση (2022, σ. 68) η αλληλεπίδραση είναι «η, όσο το δυνατόν, πιο φυσική επικοινωνία και σύνδεση μεταξύ χρηστών και εικονικού περιβάλλοντος». Ακόμη, σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς, διαστάσεις της αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη και ενός συστήματος ΠΕΕΠ είναι:

- Πλοήγηση (navigation): Αφορά εάν το σύστημα ΕΠ διαθέτει τη δυνατότητα πλοήγησης του avatar.

- Διεπαφή χρήστη (user interface): Αφορά τον τρόπο υλοποίησης της αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη και συστήματος ΕΠ. Σκοπός των συστημάτων ΕΠ είναι η εμπλοκή πολλών αισθήσεων στη διεπαφή χρήστη (όραση, ακοή και αφή).

Οι Bowman και Hordes (1999) διέκριναν τρία είδη αλληλεπίδρασης, τα οποία λαμβάνουν χώρα σε σύνθετα εικονικά περιβάλλοντα: Την αλληλεπίδραση οπτικού πεδίου (viewpoint motion control), την αλληλεπίδραση επιλογής (selection) και την αλληλεπίδραση χειρισμού (manipulation). Με την αλληλεπίδραση οπτικού πεδίου εννοείται η πλοήγηση, όπως αναφέρεται παραπάνω. Ο χρήστης περιηγείται ελεύθερα -μέσω του avatar- στο εικονικό περιβάλλον. Η αλληλεπίδραση επιλογής αφορά στη δυνατότητα του χρήστη να επιλέξει αντικείμενα και να αλληλεπιδράσει μαζί τους. Τέλος, η αλληλεπίδραση χειρισμού αφορά στις δυνατότητες χειρισμού των αντικειμένων (ενδεικτικά, αλλαγή θέσης). Ο καθορισμός του βαθμού αλληλεπίδρασης μιας εφαρμογής ΕΠ αποτελεί αντικείμενο έρευνας (ενδεικτικά, Mütterlein, 2017, 2018· Pedro et al., 2016). Οι έρευνες αναφορικά με χρήση αλληλεπιδραστικών εργαλείων έχουν ασαφή αποτελέσματα. Κάποιες έρευνες δείχνουν ότι η αλληλεπιδραστική ΕΠ επιφέρει θετικά μαθησιακά αποτελέσματα (ενδεικτικά, Bailenson et al., 2008, Xie et al., 2019), ενώ κάποιες άλλες ότι η αλληλεπίδραση δεν οδηγεί σε μαθησιακή διαφοροποίηση (ενδεικτικά, Loureiro Krassmann, 2020· Zhang et al., 2019).

3.3.6. Κίνητρα (Motivation)

Το κίνητρο είναι μια έννοια η οποία προκύπτει από το αγγλικό ρήμα move (κινώ) και μπορεί να οριστεί ως η δύναμη που ωθεί τους ανθρώπους να δράσουν και να αφιερώσουν χρόνο και προσπάθεια στην επίτευξη κάποιου στόχου (Fokides, 2019· Tohidi & Jabbari, 2012).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα κίνητρα κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες: τα εξωτερικά και τα εσωτερικά (Kern et al., 2019). Τα εξωτερικά κίνητρα ενεργοποιούνται από εξωτερικούς παράγοντες και αφορούν συνήθως σε δράση του υποκειμένου, η οποία αποσκοπεί σε κάποιου είδους αναγνώριση ή ανταμοιβή (Kern et al., 2019). Τα εσωτερικά κίνητρα αφορούν σε δράση του υποκειμένου επειδή η δραστηριότητα είναι ενδιαφέρουσα ή διασκεδαστική (Kern et al., 2019). Η απαγκίστρωση της δράσης του υποκειμένου από εξωτερικά κίνητρα και η αντικατάστασή τους σταδιακά με εσωτερικά κίνητρα, είναι ένας υψηλός στόχος που θα πρέπει να αποτελεί ζητούμενο της σύγχρονης εκπαιδευτικής διαδικασίας (Abeysekera & Dawson, 2015).

Τα κίνητρα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην εκπαιδευτική διαδικασία και αποτελούν αντικείμενο έρευνας της εκπαιδευτικής ψυχολογίας (Tohidi & Jabbari, 2012). Το θεωρητικό πλαίσιο, με βάση το οποίο εξετάζεται η ανθρώπινη συμπεριφορά των κινήτρων,

ονομάζεται Θεωρία του Αυτοπροσδιορισμού (Self Determination Theory). Η Θεωρία του Αυτοπροσδιορισμού υποστηρίζει ότι για να κινητοποιηθεί κάποιος εσωτερικά, θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω τρεις ψυχολογικές ανάγκες (Huang et al., 2019· Ryan & Deci, 2020):

- Αυτονομία: Η αίσθηση της λειτουργικότητας, χωρίς την εξάρτηση από άλλα πρόσωπα.
- Επάρκεια (competence): Η αίσθηση ότι το επιτυχημένο αποτέλεσμα αποτελεί καρπό της προσπάθειας του υποκειμένου.
- Σχετικότητα (relatedness). Η ανάγκη του ανήκειν σε μια ομάδα.

Ερευνητές προτείνουν την εφαρμογή της Θεωρίας του Αυτοπροσδιορισμού και στη χρήση πληροφορικών εικονικών περιβαλλόντων (Huang et al., 2019).

Αναφορικά με την επίδραση της χρήσης λογισμικού στα κίνητρα των χρηστών, αυτά θα μπορούσαν να χωριστούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες, κίνητρα που αφορούν τη μάθηση και κίνητρα που αφορούν τη χρήση του λογισμικού. Επιμέρους διαστάσεις των κινήτρων που αφορούν τη μάθηση είναι η επιθυμία του χρήστη να μάθει περισσότερα σχετικά με τα θέματα που παρουσιάστηκαν, το εάν και κατά πόσο το λογισμικό παρακινεί σε έρευνα και εάν παρακινήθηκε η περιέργεια του χρήστη (Fu et al., 2009· Gunawardena & Zittle, 1997· Keller, 2006). Επιμέρους διαστάσεις των κινήτρων χρήσης της εφαρμογής είναι η παρακίνηση της συνέχισης της χρησιμοποίησης της εφαρμογής και η επιθυμία εξερεύνησης της εφαρμογής (Chen et al., 2011· Jennett et al., 2008· Parnell et al., 2009).

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, η χρήση ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία αυξάνει τα κίνητρα για μάθηση (ενδεικτικά, Liu et al., 2011). Αναφορικά με την επίδραση της ΕΠ στη δημιουργία κινήτρων, αυτά αποτελούν έναν συχνά απαντώμενο παράγοντα σε έρευνες. Αποκαλύπτεται ότι η χρήση της ΕΠ είναι ευεργετική στην ανάπτυξη κινήτρων για μάθηση σε πληθώρα γνωστικών αντικειμένων (ενδεικτικά, Dias et al., 2019· Hsu, 2020· Sattar et al., 2019).

3.3.7. Γνωστικό φορτίο (Cognitive load)

Η Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου (Cognitive Load Theory) τοποθετεί στο κέντρο της μαθησιακής διαδικασίας τη λειτουργία της μνήμης (Τσώνη, 2017). Η θεωρία βασίζεται σε δυο είδη μνήμης: την μακροπρόθεσμη μνήμη (long term memory) και την εργαζόμενη μνήμη (working memory) (Paas & Sweller, 2014). Για να επιτευχθεί η μάθηση, θα πρέπει η πληροφορία που προσλαμβάνεται από τις αισθήσεις, να γίνει αντικείμενο επεξεργασίας της εργαζόμενης μνήμης και ακολούθως της μακροπρόθεσμης μνήμης (Τσώνη, 2017· Kirschner et al., 2018· Sweller, 2016). Βάσει της θεωρίας, η γνώση διακρίνεται σε δυο επιμέρους

κατηγορίες: την πρωτογενή γνώση (primary knowledge) και τη δευτερογενή γνώση (secondary knowledge) (Paas & Sweller, 2012· Sweller, 2020). Ο άνθρωπος είναι εξελιγμένος έτσι ώστε να αφομοιώνει ασυναίσθητα την πρωτογενή γνώση, η οποία περιλαμβάνει σημαντικές γενικές δεξιότητες που αφορούν τη βιολογική επιβίωση του (Sweller, 2020). Παράδειγμα πρωτογενούς γνώσης είναι η επίλυση προβλημάτων που αφορούν την αναζήτηση τροφής ή καταφυγίου. Αντίθετα, η δευτερογενής γνώση έχει περισσότερο ειδική φύση και για επιτευχθεί είναι απαραίτητη η διδασκαλία εντός εκπαιδευτικών πλαισίων. Παράδειγμα δευτερογενούς γνώσης είναι η εκμάθηση γλώσσας προγραμματισμού. Η πληροφορία που αφορά τη δευτερογενή γνώση, γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας της εργαζόμενης μνήμης, η οποία έχει πεπερασμένη χωρητικότητα και διάρκεια και κατόπιν καταχωρείται στην μακροπρόθεσμη μνήμη (Paas & Sweller, 2012· Kirschner et al., 2018· Sweller, 2020).

Η θεωρία του γνωστικού φορτίου βασίζεται στο γεγονός της πεπερασμένης χωρητικότητας της εργαζόμενης μνήμης. Έτσι, το εκπαιδευτικό υλικό διευκολύνει την μάθηση, όταν επιβαρύνει όσο το δυνατόν λιγότερο την εργαζόμενη μνήμη (Τσώνη, 2017· Kirschner et al., 2018· Sweller, 2020). Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή το εκπαιδευτικό υλικό επιβαρύνει την εργαζόμενη μνήμη σε μεγάλο βαθμό, τότε η μάθηση δυσχεραίνεται (Τσώνη, 2017· Sweller, 2020). Επομένως, είναι εμφανής, με βάση την παρούσα προσέγγιση, η «αναλογική» σχέση μεταξύ μάθησης και επιβάρυνσης της εργαζόμενης μνήμης. Σύμφωνα λοιπόν με τη θεωρία του γνωστικού φορτίου, η δέσμευση μεγάλου μέρους της εργαζόμενης μνήμης αντιστοιχεί σε μεγάλο γνωστικό φορτίο, ενώ η χρησιμοποίηση μικρού μέρους της εργαζόμενης μνήμης αντιστοιχεί σε μικρό γνωστικό φορτίο (Τσώνη, 2017· Kirschner et al., 2018· Sweller, 2020). Η εργαζόμενη μνήμη έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται 7 ± 2 πληροφορίες, όταν απλώς τις καταχωρεί και λιγότερες από τέσσερις, όταν τις επεξεργάζεται (Τσώνη, 2017· Leppink et al., 2014).

Σύμφωνα με τους Wong et al. (2012), η Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου περιλαμβάνει πέντε αρχές:

- Η Αρχή της Αποθήκευσης Πληροφοριών (Information Store Principle). Σύμφωνα με αυτή την αρχή, η ανθρώπινη γνωστική λειτουργία καθορίζεται, σε μεγάλο βαθμό, από την αποθήκευση πληροφοριών που λαμβάνει χώρα μέσω της μακροπρόθεσμης μνήμης.
- Η Αρχή του Δανεισμού και Αναδιοργάνωσης (Borrowing and Reorganizing Principle). Η μάθηση, με βάση αυτή την αρχή, χαρακτηρίζεται από τον δανεισμό γνωστικών σχημάτων από άλλους ανθρώπους. Με τον όρο γνωστικά σχήματα ο Piaget περιέγραψε την αφηρημένη γνωστική κατασκευή του εγκεφάλου, γύρω από ένα αντικείμενο ή διαδικασία. Χρόνια μετά τον θάνατο του πρωτοπόρου θεωρητικού, οι νευροεπιστήμες

έρχονται να επιβεβαιώσουν τα λεγόμενα του, με την ανακάλυψη των νευρωνικών δικτύων του εγκεφάλου. Τα γνωστικά σχήματα είναι καταχωρημένα στις μακροπρόθεσμες μνήμες άλλων ανθρώπων και το υποκείμενο της μάθησης τα δανείζεται μέσα από τα εκπαιδευτικά υλικά και γενικότερα τη διδασκαλία (ενδεικτικά, γραπτό κείμενο, ομιλία). Αυτά τα γνωστικά σχήματα αναδιοργανώνονται δομικά, μέσα από τις εγγενείς ιδιαιτερότητες της μακροπρόθεσμης μνήμης του υποκειμένου μάθησης.

- Η Αρχή της Τυχειότητας ως Συνθήκη Γέννησης (randomness as genesis principle). Εάν το υποκείμενο της μάθησης δεν έχει πρόσβαση σε μακροπρόθεσμες μνήμες άλλων ανθρώπων, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο δανεισμός ή η ζητούμενη γνώση δεν είναι καταχωρημένη στην δική του μακροπρόθεσμη μνήμη, τότε επιχειρείται η επίλυση προβλημάτων μέσω τυχαίων κινήσεων. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην απόκτηση νέων γνώσεων και δεξιοτήτων.
- Η Αρχή των Στενών Ορίων Αλλαγής (narrow limits of change principle). Με βάση αυτή την αρχή, η εργαζόμενη μνήμη έχει περιορισμένη διάρκεια και χωρητικότητα.
- Η Αρχή της Περιβαλλοντικής Οργάνωσης και Διασύνδεσης (environmental organizing and linking principle). Σύμφωνα με αυτή την αρχή, η εργαζόμενη μνήμη είναι περιορισμένη, μόνο όταν επεξεργάζεται νέες πληροφορίες. Αντιθέτως, μπορεί να επεξεργάζεται μεγάλο αριθμό πληροφοριών, όταν αυτές έχουν προηγουμένως οργανωθεί στην μακροπρόθεσμη μνήμη.

Η Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου διακρίνει τις παρακάτω κατηγορίες γνωστικού φορτίου (Τσώνη, 2017· Klepsch et al., 2017· Leppink et al., 2014· Sweller, 2017):

- Το εγγενές γνωστικό φορτίο (intrinsic cognitive load). Το εγγενές γνωστικό φορτίο αφορά τη βασική δομή της πληροφορίας (Leppink et al., 2014). Ανάλογα με τη φύση της πληροφορίας, αυτή μπορεί να επιβαρύνει περισσότερο ή λιγότερο την εργαζόμενη μνήμη (Τσώνη, 2017· Leppink et al., 2014· Sweller, 2017). Το εγγενές γνωστικό φορτίο, λόγω της σύνδεσης του με την ίδια τη φύση της πληροφορίας, μπορεί να επηρεαστεί ελάχιστα από τον σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού (Τσώνη, 2017· Leppink et al., 2014).
- Το εξωγενές γνωστικό φορτίο (extraneous cognitive load). Αντίθετα με εγγενές γνωστικό φορτίο, το εξωγενές γνωστικό φορτίο δεν σχετίζεται με τη φύση και τη βασική δομή της πληροφορίας, αλλά με τον τρόπο παρουσίασης της πληροφορίας αυτής στο υποκείμενο της μάθησης (Τσώνη, 2017· Leppink et al., 2014· Sweller, 2017). Επομένως, το εξωγενές γνωστικό φορτίο αφορά άμεσα τον σχεδιασμό του

εκπαιδευτικού υλικού. Το εκπαιδευτικό υλικό θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο με στόχο να περιορίζει το εξωγενές γνωστικό φορτίο που επιβαρύνει την εργαζόμενη μνήμη, έτσι ώστε αυτή να αξιοποιείται για την επεξεργασία της φύσης και της βασικής δομής της πληροφορίας (Τσώνη, 2017· Leppink et al., 2014).

- Το συναφές γνωστικό φορτίο (*germane cognitive load*). Το σύνολο του γνωστικού φορτίου που σχετίζεται με τη διδασκαλία μπορεί να κατηγοριοποιηθεί είτε ως εγγενές, είτε ως εξωγενές (Cheon & Grant, 2012· Klepsch & Seufert, 2020). Ωστόσο, συχνά στη βιβλιογραφία απαντάται και ο όρος συναφές γνωστικό φορτίο. Το συναφές γνωστικό σχετίζεται άμεσα με το εγγενές γνωστικό φορτίο και αφορά πόρους της μνήμης εργασίας που χρησιμοποιούνται για επεξεργασία και αυτοματοποίηση των γνωστικών σχημάτων που καταχωρούνται στη μακρόχρονη μνήμη. Το συναφές γνωστικό φορτίο είναι αυτό που συμβάλει στην διενέργεια συνδέσεων μεταξύ καταχωρημένων πληροφοριών, είτε καινούργιων και καταχωρημένων πληροφοριών και στην αυτοματοποίηση της δημιουργίας συναφών γνωστικών σχημάτων (Τσώνη, 2017· Klepsch et al., 2017· Leppink et al., 2014). Εντούτοις, η ύπαρξη του συναφούς γνωστικού φορτίου έχει αμφισβητηθεί, διότι η θεωρία του γνωστικού φορτίου μπορεί να ερμηνεύσει επαρκώς τη μαθησιακή διαδικασία, με χρήση μόνο του εγγενούς και εξωγενούς γνωστικού φορτίου (Τσώνη, 2017).

Το εκπαιδευτικό υλικό θα πρέπει να αποσκοπεί στη μείωση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου και στην αύξηση του συναφούς γνωστικού φορτίου (Leppink et al., 2014). Η μείωση ή ο μηδενισμός του εξωγενούς γνωστικού φορτίου απελευθερώνει πόρους της εργαζόμενης μνήμης οι οποίοι μπορούν να αξιοποιηθούν στη διαχείριση τους εγγενούς γνωστικού φορτίου. Η αύξηση του συναφούς γνωστικού φορτίου, συμβάλει στη δημιουργία νέων γνωστικών σχημάτων και σε διασυνδέσεις πληροφοριών, με αποτέλεσμα το βέλτιστο γνωστικό αποτέλεσμα (Leppink et al., 2014· Novak et al., 2018). Επιμέρους διαστάσεις του γνωστικού φορτίου αποτελούν το εάν το γνωστικό φορτίο της εφαρμογής είναι λογικό, το εάν τα γνωστικά αντικείμενα που περιείχε η εφαρμογή ήταν πολύπλοκα, το εάν οι πολλές πληροφορίες εμπόδιζαν την απομνημόνευση σημαντικών στοιχείων και το εάν ο χρήστης κουράστηκε από την προσπάθεια μελέτης των πληροφοριών (Fu et al., 2009· Ibili & Billinghamurst, 2019· Keller, 2006· Wiebe et al., 2014).

Το γνωστικό φορτίο είναι ένας από τους συχνά ερευνώμενους παράγοντες στο χώρο της ΕΠ. Αρκετά λογισμικά ΠΕΕΠ και ΕΠΕΠ αξιολογούνται, έτσι ώστε να προκύψει κατά πόσο «κούρασαν» τον χρήστη με γνωστικές πληροφορίες (ενδεικτικά, Armougum et al., 2019· Albus et al., 2021· Steed et al., 2016).

3.3.8. Simulator Sickness (Ζάλη από τη χρήση της ΠΕΕΠ)

Ένα συγκριτικό πλεονέκτημα της ΠΕΕΠ έναντι της ΕπΕΠ είναι ότι η ΠΕΕΠ, λόγω των εξελιγμένων τεχνολογικά μέσων διεπαφής που διαθέτει, εμβυθίζει τον χρήστη στο εικονικό περιβάλλον σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι η ΕπΕΠ. Ωστόσο, έχει και ένα μειονέκτημα, παρατηρείται -ανάλογα με την εφαρμογή- ζάλη/ναυτία στον χρήστη (Dużmańska et al., 2018). Υπάρχουν αρκετές θεωρίες που προσπαθούν να εξηγήσουν το φαινόμενο. Όταν ο χρήστης κινείται, με τη βοήθεια χειριστηρίων, τότε ο εγκέφαλος αντιμετωπίζει μια αντίφαση. Από τη μια, αντιλαμβάνεται ότι κινείται, από την άλλη όμως, ο εγκέφαλος δεν έχει δώσει κάποια εντολή να κινηθεί το σώμα του χρήστη (Gallagher & Ferrè, 2018). Το φαινόμενο είναι περισσότερο αισθητό όταν η κίνηση αφορά και τις τρεις διαστάσεις (ενδεικτικά, ανέβασμα σκάλας) και λιγότερο στην κίνηση στις δυο (ενδεικτικά, κίνηση στο επίπεδο). Το φαινόμενο αυτό βιβλιογραφικά απαντάται και με τον συνώνυμο όρο cybersickness (Davis et al., 2014). Οι εταιρίες λογισμικού ΠΕΕΠ χρησιμοποιούν τρόπους για την ελάττωση ή και την εξάλειψη αυτού του φαινομένου (Vonk et al., 2018). Ένας τρόπος ελάττωσης της ζάλης είναι η επιλογή της θέασης του εικονικού κόσμου από τον χρήστη. Για παράδειγμα, στο παιχνίδι Quake για το Oculus Quest, ο χρήστης μπορεί να κινηθεί στον εικονικό κόσμο με τον συνηθισμένο τρόπο, όμως για την ελάττωση της ζάλης, ο χειρισμός του παιχνιδιού προβλέπει την εναλλαγή της θέασης του εικονικού κόσμου, σαν σε μεγάλη κινηματογραφική οθόνη. Με αυτή την επιλογή, τα γραφικά του εικονικού κόσμου δεν καταλαμβάνουν όλο το οπτικό πεδίο του χρήστη, αλλά αφήνεται παραπλεύρως σκοτεινό διάστημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δραστική ελάττωση της ζάλης του χρήστη, όμως έχει άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην εμβύθισή του. Ο χρήστης, μπορεί να χρησιμοποιεί αυτή τη δυνατότητα εναλλαγής κατά το δοκούν, όποτε νιώσει δυσάρεστα. Ένας άλλος, ιδιαίτερα διαδεδομένος τρόπος εξάλειψης της ζάλης στον εικονικό κόσμο, είναι η χρησιμοποίηση της τηλεμεταφοράς ως μέσου κίνησης. Αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη όταν η κίνηση στον εικονικό κόσμο δεν είναι γρήγορη. Με την τηλεμεταφορά, ο χρήστης στοχεύει, μέσω των χειριστηρίων το σημείο που θέλει να πάει και τηλεμετεφέρεται σε αυτό. Η τεχνική αυτή, βέβαια, έχει αρνητικό αντίκτυπο στην εμβύθιση του χρήστη (Al Zayer et al., 2017· Griffin & Folmer, 2019). Ενδεικτικά, παραδείγματα λογισμικών που χρησιμοποιούν τηλεμεταφορά για την κίνηση του avatar είναι το MystVR και το Dino Encounters για την πλατφόρμα Oculus Quest.

Το simulator sickness είναι ένας από τους παράγοντες που ερευνώνται αρκετά συχνά (ενδεικτικά, Chattha et al., 2020· Dużmańska et al., 2018· Kim et al., 2018). Οι μελέτες έχουν

αποκαλύπτει αρνητικές επιδράσεις του στη μάθηση, στην παρουσία και στην εμπλοκή (ενδεικτικά, Hsin et al., 2022· Maraj et al., 2017).

3.3.9. Αισθητική (Aesthetics/appeal)

Η αισθητική είναι παράγοντας θεμελιώδους σημασίας, ο οποίος έχει άμεσο αντίκτυπο στην απόλαυση του χρήστη (Diodato, 2012· Fokides et al., 2019). Η αισθητική καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα γραφικά του παιχνιδιού (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011). Αναφορικά με την ΕΠ, η αισθητική αφορά τα τρισδιάστατα γραφικά (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011· Earnshaw, 2014). Οι δημιουργοί εφαρμογών συνήθως προσπαθούν να διαχειριστούν τους πόρους του συστήματος, έτσι ώστε το λογισμικό να αποδίδει όσο το δυνατόν καλύτερα γραφικά. Σημαντικό ρόλο στην αισθητική, παίζει το επίπεδο λεπτομέρειας των γραφικών (level of detail). Η λεπτομέρεια των γραφικών εξαρτάται -σε μεγάλο βαθμό- από τον αριθμό πολυγώνων των αντικειμένων (Φωκίδης και Τσολακίδης, 2011). Ένας γενικός κανόνας είναι ότι τα αντικείμενα που βρίσκονται στο κέντρο της σκηνής, κοντά στον χρήστη συνήθως αποτελούνται από μεγαλύτερο αριθμό πολυγώνων και αυτά που βρίσκονται στο παρασκήνιο, στο φόντο, αποτελούνται από μικρότερο αριθμό. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των γραφικών είναι το occlusion (έμφραξη). Η έμφραξη αφορά στη επικάλυψη του οπτικού πεδίου του χρήστη από αντικείμενα. Όταν η οπτική του χρήστη συναντά κάποιο αντικείμενο, αυτό κρύβει τα εικονικά αντικείμενα πίσω του. Έτσι δεν χρειάζεται να εμφανιστούν και συνακόλουθα να υπολογιστούν τα αντικείμενα αυτά. Αυτό το γεγονός βοηθά στη διαχείριση πόρων του συστήματος. Ενδεικτικό παράδειγμα της διαχείρισης των γραφικών με occlusion ήταν στο παιχνίδι Silent Hill, το οποίο ήταν εξαιρετικά επιτυχημένο εμπορικά. Στους εξωτερικούς χώρους κυριαρχούσε το σκοτάδι και η ομίχλη, μειώνοντας έτσι, τον αριθμό των αντικειμένων και συνακόλουθα πολυγώνων που θα έπρεπε να αναπαρασταθούν, εξοικονομώντας πόρους, οι οποίοι αξιοποιούνταν στα κύρια γραφικά της κάθε σκηνής. Η δημιουργία καλαίσθητου και ρεαλιστικού οπτικού αποτελέσματος, απαιτεί την εμπλοκή ειδικών επαγγελματιών, που συνήθως μέσω περίπλοκων λογισμικών (ενδεικτικά, Blender, 3DS MAX), που απαιτούν υψηλή τεχνογνωσία, αναλαμβάνουν τη σχεδίαση των αντικειμένων του παιχνιδιού (3D modelling), το πέρασμα των υφών texturing, τη δημιουργία βίντεο (cutscenes) και animation, την προσομοίωση σύνθετων κινήσεων (rigging) και γενικότερα τη διαχείριση του αισθητικού-οπτικού μέρους του λογισμικού (Αντωνόπουλος & Φωκίδης, 2021· Anamisa et al., 2020· Bolkas et al., 2020· Piovesan et al., 2012). Σπουδαίο ρόλο στην αισθητική και στην παρουσία παίζει και ο ήχος (Nordahl & Nilsson, 2014). Οι σύγχρονες εφαρμογές ΕΠ χρησιμοποιούν στερεοσκοπικό ήχο, ώστε να επιτύχουν εμπύθιση. Ο στερεοσκοπικός ήχος (εναλλακτικά,

τριδιάστατος ήχος, 360° ήχος, stereo), είναι ο ήχος που επιτυγχάνεται με χρήση δύο ή και περισσότερων ηχητικών πηγών (ηχείων). Με την κατάλληλη ρύθμιση της έντασης του ήχου στις ηχητικές πηγές (ενδεικτικά, ηχεία στο HMD), ο χρήστης μπορεί να εντοπίσει την πηγή του ήχου στο εικονικό περιβάλλον, είτε αυτή είναι ακίνητη, είτε κινούμενη. Εκτός των ηχητικών εφέ, ο ήχος των εφαρμογών μπορεί περιλαμβάνει και μουσική υποβάθρου ή ήχους περιβάλλοντος (ambient sounds). Η αισθητική αποτελεί έναν συχνά απαντώμενο παράγοντα στις έρευνες που αφορούν λογισμικά ΕΠ (ενδεικτικά, Andreoli et al., 2017· Shelstad et al., 2017).

3.3.10. Καθοδήγηση/Ανατροφοδότηση (Guidance/Feedback)

Η ανατροφοδότηση και καθοδήγηση σε υπολογιστικά περιβάλλοντα έχει θετική επίδραση στην γνωστική απόδοση των χρηστών (Van der Kleij et al., 2015). Η ανατροφοδότηση που παρέχει το λογισμικό αναφορικά με τις δράσεις του χρήστη, είναι ακόμα ένας παράγοντας που επιδρά και διαμορφώνει την συνολική εμπειρία του χρήστη και τη μαθησιακή επίδραση του λογισμικού (Fokides et al., 2019· Högberg et al., 2019). Έρευνες δείχνουν ότι η παροχή ανατροφοδότησης για τις δράσεις του χρήστη, έχουν θετική επίδραση σε αρκετούς άλλους παράγοντες (factors) της ΕΠ, όπως στην ευχαρίστηση, στην συγκέντρωση, στην γνωστική απόδοση, στην παρουσία (ενδεικτικά, Cooper et al, 2018· Mestre et al, 2011). Ένας πολύ συχνά ερευνώμενος παράγοντας στον χώρο της ΠΕΕΠ είναι η απτική ανατροφοδότηση (haptic feedback). Ερευνάται σχεδόν αποκλειστικά εντός των πλαισίων της ΠΕΕΠ, μιας και τα σύγχρονα εμπορικά συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα αρπαγής και κίνησης αντικειμένου (grab), είτε μέσω των χειριστηρίων, είτε χωρίς χειριστήρια, με ανίχνευση των χειρών του χρήστη από τις κάμερες που διαθέτει το HMD. Εκτός από τα παραπάνω, διατίθενται σε και ειδικά γάντια και στολές, μέσω των οποίων ο χρήστης έχει απτική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, παρόμοια με αυτή του φυσικού κόσμου. Φαίνεται να υπάρχει θετική συσχέτιση της απτικής ανατροφοδότησης με την περάτωση δραστηριοτήτων (task performance) (ενδεικτικά, Cooper et al., 2018· IJsselsteijn et al., 2000· Sallnäs, 1999). Αναφορικά με την επίδραση της απτικής ανατροφοδότησης στην αίσθηση παρουσίας, κάποιες έρευνες εμφανίζουν θετική συσχέτιση, όπως των Kaul et al. (2017), η οποία αφορούσε ανατροφοδότηση μέσω δόνησης στο HMD. Ωστόσο, άλλες μελέτες εμφανίζουν ασαφή αποτελέσματα (ενδεικτικά, Kreimeier et al., 2019· Viciano-Abad et al., 2010).

3.3.11. Ευκολία χρήσης (Ease of use/Usability)

Η ευχρηστία του υλικού και του λογισμικού λογίζεται ως σημαντικός παράγοντας, συσχετιζόμενος με τη συνολική εμπειρία του χρήστη (McLellan et al., 2012· Meldrum et al., 2012). Η διερεύνηση της άρχισε τη δεκαετία του 1980, όταν οι εταιρίες παραγωγής λογισμικού, λόγω της εξαιρετικής ανόδου της αγοράς, συνειδητοποίησαν ότι δεν αρκεί μόνο η διερεύνηση της αντικειμενικής ευχρηστίας των παραγόμενων προϊόντων, αλλά χρειάζεται να διερευνηθεί και η αντιληπτή ευχρηστία (perceived usability) του καταναλωτή (Lewis, 2018) και για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετά ερευνητικά εργαλεία σήμερα όπως το SUS (System Usability Scale) (Lewis, 2018· Meldrum et al., 2012). Στον χώρο της ΕΠ, η ευχρηστία είναι ένας από τους συχνά ερευνώμενους παράγοντες. Αυτό συμβαίνει κυρίως διότι αποτελεί έναν παράγοντα που σχετίζεται με την εμπορική εκμετάλλευση του υλικού και του λογισμικού. Πολλά από τα λογισμικά που δημιουργούνται, αποτελούν καρπό τεχνολογικών Πανεπιστημίων, ερευνητικών ομάδων Πληροφορικής και εταιριών. Συνήθως, οι παραπάνω δημιουργοί δεν προχωρούν σε διερεύνηση της γνωστικής επίδρασης του λογισμικού και ένας από τους παράγοντες που διερευνούν είναι η ευχρηστία (ενδεικτικά, Cecotti et al., 2020· Fabola et al., 2017). Τα συστήματα και οι εφαρμογές ΠΕΕΠ, λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης (προηγμένα HMD, χειριστήρια), συνήθως αξιολογούνται θετικά ως προς την ευχρηστία τους (ενδεικτικά, Fanini et al., 2018· Pallavicini et al., 2019).

3.3.12. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι παράγοντες που ερευνώνται στο χώρο της ΕΠ, επηρεάζουν το τι θα μάθει ή το τι θα νοιώσει ένας χρήστης. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι οι παράγοντες αυτοί αποτελούν ψηφίδες, που συγκροτούν τη συνολική εμπειρία του χρήστη. Από τις έρευνες παραγόντων που παρατίθενται, διαφαίνεται ότι η μελέτη των συστημάτων ΕΠ, αφορά περισσότερο στην συναισθηματική επίδραση τους και λιγότερο την μαθησιακή. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, μιας και τα λογισμικά ΕΠ συνήθως προορίζονται για εμπορική χρήση και δεν δημιουργούνται από ερευνητικούς φορείς που άπτονται των Επιστημών της Αγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΥΣΕΙΑΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ & ΕΠ

4.1. Εισαγωγή

Τα τελευταία έτη, με την ευρεία εφαρμογή των ψηφιακών τεχνολογιών, πολλοί μουσειακοί χώροι έχουν μετασηματιστεί και εκτός από την απλή έκθεση συλλογών, προσφέρουν πλέον πλούσιες μαθησιακές εμπειρίες, οι οποίες είναι διαμορφωμένες με επίκεντρο τον επισκέπτη (Νικονάνου κ.ά., 2016· Llamazares & Arias, 2020).

Τα μουσεία ανέκαθεν κατείχαν σημαντική θέση στον χώρο του πολιτισμού, ωστόσο - περισσότερο από παλιότερα- τείνουν να ιδρύονται μουσεία που αφορούν σε περισσότερο «εξειδικευμένα» γνωστικά αντικείμενα (ενδεικτικά, μουσείο αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας, μουσείο Νικόλα Τέσλα), που έρχονται να εμπλουτίσουν και να συμπληρώσουν τα περισσότερο «καθιερωμένα» και γενικά μουσειακά θέματα (Μουτσάτσου, 2020· Ντίνου, 2019).

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως σκοπό να παρουσιάσει την εξέλιξη της μουσειακής εκπαίδευσης μέσω των ΤΠΕ, τον μετασηματισμό που υφίσταται από τις τεχνολογίες της ΕΠ και της ΠΕΕΠ και ειδικότερα την ανάπτυξη λογισμικών και προγραμμάτων μουσειακής εκπαίδευσης, με θέμα την αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Η παρουσίαση των λογισμικών ΕΠ που αφορούν στην μουσειακή εκπαίδευση γίνεται λόγω της δημιουργίας τέτοιων λογισμικών, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

4.2. Άτυπη εκπαίδευση

Η μουσειακή εκπαίδευση σχετίζεται περισσότερο με μια μορφή εκπαίδευσης που ονομάζεται άτυπη. Η άτυπη εκπαίδευση θα μπορούσε να οριστεί ως το σύνολο των μαθησιακών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εκτός των καθιερωμένων (επίσημων και ανεπίσημων) δομών εκπαίδευσης (Cerasoli, 2018· Fokides & Atsikpasi, 2018). Απαντάται σε ποικίλους χώρους και με ποικίλους τρόπους, μεταξύ των οποίων είναι το σπίτι, η εργασία, τα παιχνίδια, τα ταξίδια, οι εφημερίδες, οι συζητήσεις και το Διαδίκτυο (Kontonourki et al., 2017· Messmann et al., 2018).

Η σημερινή κατάσταση στα μέσα παραγωγής και η ραγδαία ανάπτυξη που επιτελείται στα πεδία της τεχνολογίας, των επιστημών υγείας και των θετικών επιστημών, έχει αλλάξει τις γνωστικές απαιτήσεις στον εργασιακό χώρο. Ο εργαζόμενος σε πολλούς κλάδους θα πρέπει πλέον να κατέχει υψηλή τεχνογνωσία και εξειδίκευση. Η αγορά εργασίας και, γενικότερα, η κοινωνία, επιτάσσει τη συνεχή επικαιροποίηση των γνώσεων, εφόσον η αρχική εκπαίδευση δεν είναι πλέον επαρκής (Kwon & Cho, 2017). Έτσι λοιπόν, μέσω της άτυπης εκπαίδευσης, το

άτομο, μέσα από μια δια βίου διαδικασία, συνεχώς επανεκπαιδεύεται προκειμένου να συγκλίνει στις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του εξελισσόμενου κόσμου. Η άτυπη εκπαίδευση αφορά σημαντικό μέρος της δια βίου μάθησης, έχει αρκετές διαφορές από την τυπική εκπαίδευση και αρκετές ομοιότητες με τη μη-τυπική εκπαίδευση (Λέκκα, 2017). Κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι αποτελεί μια συνεχόμενη, εφόρου ζωής, διαδικασία και δεν περιορίζεται χρονικά όπως η τυπική εκπαίδευση, που λαμβάνει χώρα στο εκπαιδευτικό σύστημα ή όπως η μη-τυπική εκπαίδευση, η οποία λειτουργεί εντός συγκεκριμένων δομών και πλαισίων (Κανελλόπουλος & Κουτσούμπα, 2017). Συνήθως, η άτυπη εκπαίδευση είναι μη-συστηματική και βασίζεται στη θέληση του ατόμου να μάθει (Messmann et al., 2018). Ένα επιπλέον διαφοροποιητικό χαρακτηριστικό της από τις δύο άλλες μορφές εκπαίδευσης, είναι ότι τον έλεγχο της εκπαιδευτικής διαδικασίας τον έχει ο εκπαιδευόμενος και όχι ο εκπαιδευτικός. Παραδείγματα άτυπης εκπαίδευσης είναι διάφορα περιβαλλοντικά προγράμματα, εκπαιδευτικά ηλεκτρονικά παιχνίδια, προγράμματα κυκλοφοριακής αγωγής, καθώς και η εκπαίδευση που λαμβάνει χώρα σε μουσειακούς χώρους. Αριθμός ερευνών τα τελευταία χρόνια αναδεικνύει τα οφέλη της (ενδεικτικά, γνωστικά οφέλη, παρουσία, ευχαρίστηση), πέρα από το σχολικό πλαίσιο (ενδεικτικά, Fokides & Atsikpasi, 2018· Fonseca et al., 2016). Η εκπαίδευση που λαμβάνει χώρα στον μουσειακό χώρο, μπορεί να είναι είτε εντός των πλαισίων της τυπικής εκπαίδευσης, ως συνεργασία του μουσείου με το εκάστοτε εκπαιδευτικό ίδρυμα, είτε εντός των πλαισίων της μη τυπικής εκπαίδευσης, όπως, για παράδειγμα, η συνεργασία του μουσείου με τον εκπαιδευτή κάποιας επαγγελματικής ομάδας. Ωστόσο, συνηθέστερα λαμβάνει χώρα εντός των πλαισίων της άτυπης εκπαίδευσης, μιας και η μουσειακή εκπαίδευση ανήκει στις άτυπες μορφές εκπαίδευσης. Οι διαφορές μεταξύ των τριών μορφών εκπαίδευσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Διαφορές άτυπης, μη τυπικής και τυπικής εκπαίδευσης

	Άτυπη εκπαίδευση	Μη τυπική εκπαίδευση	Τυπική εκπαίδευση
Λαμβάνει χώρα σε	χώρους εκτός σχολείων και κέντρων κατάρτισης	χώρους κατάρτισης (ενδεικτικά, ΚΕΚ)	σχολικούς χώρους
Οδηγεί σε	-	απόκτηση πιστοποιητικών	απόκτηση πιστοποιητικών
Έχει χαρακτήρα	μη συστηματικό	συστηματικό	συστηματικό
Χρονικά προσδιορίζεται	δια βίου	στα έτη κατάρτισης	στα μαθητικά και φοιτητικά χρόνια

4.3. Όροι και ανάπτυξη της μουσειακής εκπαίδευσης

Ετυμολογικά, η λέξη μουσείο πηγάζει από τη λέξη «Μούσες» και κατά την αρχαία εποχή αντιστοιχούσε στον χώρο που ήταν αφιερωμένος στις Μούσες (Ντίνου, 2019). Το μουσείο θεωρούταν από τους αρχαίους Έλληνες ως χώρος έμπνευσης, γραμμάτων, τέχνης, φιλοσοφίας και γενικότερα πολιτισμού (Νάκου, 2001· Ντίνου, 2019). Ο εκπαιδευτικός ρόλος των μουσείων είναι σύμφυτος με αυτά, ωστόσο ως όρος, η μουσειακή εκπαίδευση έκανε την εμφάνιση της μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου (Hein, 2010). Χαρακτηριστικό παράδειγμα πρώιμων μεθόδων μουσειακής εκπαίδευσης αποτελεί το πρώτο δημόσιο μουσείο της Γαλλίας, το Λούβρο, το οποίο συνόδευσε τα εκθέματα του με ειδικές εκπαιδευτικές επιγραφές (Ντίνου, 2019). Στον ελλαδικό χώρο, την πρώτη οργανωμένη εκπαιδευτική δραστηριότητα υλοποίησε το μουσείο Μπενάκη το 1960, έναν διαγωνισμό σχολικής έκθεσης (Ντίνου, 2019). Ίσως τον περισσότερο σημαντικό ρόλο στον διεθνή χώρο, αναφορικά με την ανάπτυξη της μουσειακής εκπαίδευσης, τον έπαιξαν οι Η.Π.Α. Γενικότερα, έως και τις μέρες μας, οι μουσειακοί χώροι αντιμετωπίζονται συνήθως ως χώροι «μετάδοσης γνώσης» από την πλειονότητα των επισκεπτών και των εκπαιδευτικών. Οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στον μουσειακό χώρο είναι συνήθως η απλή παρατήρηση, χωρίς την εμπλοκή και διάδραση του επισκέπτη.

Η μουσειακή εκπαίδευση (museum education), σύμφωνα με τους Desvallées και Mairesse (2014, σ.50) ορίζεται ως *«ένα σύνολο αξιών, εννοιών, γνώσεων και πρακτικών που έχουν ως στόχο να διασφαλίσουν την ανάπτυξη του επισκέπτη»*. Παρεμφερής όρος με τη μουσειακή εκπαίδευση είναι ο όρος «μουσειακή αγωγή», ο οποίος συσχετίζει τις μαθησιακές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα μουσεία περισσότερο με την αισθητική αγωγή (Νικονάνου κ.ά., 2016). Ένας ακόμα όρος είναι η μουσειοπαιδαγωγική. Οι Βέμη και Νάκου (2010, σ.8) ορίζουν τη μουσειοπαιδαγωγική ως τη δραστηριότητα *«...που ασχολείται με την εκπαίδευση στο χώρο του μουσείου, ερευνά το συνολικό γεγονός που συντελείται σε μουσειακούς χώρους και τις δυνατότητες που μπορεί να παρέχονται σε διαφορετικές ομάδες κοινού για μάθηση και ψυχαγωγία, για εμπειρία και δημιουργία»*.

Και οι τρεις παραπάνω όροι συγκλίνουν στην απόδοση παιδαγωγικών καταστάσεων που λαμβάνουν χώρα στα μουσεία (Νικονάνου κ.ά., 2016). Ο όρος που έχει δεχθεί κριτική είναι ο όρος «μουσειοπαιδαγωγική», καθώς δεν περιλαμβάνει το σύνολο των ηλικιακών ομάδων που αλληλεπιδρούν με τον μουσειακό χώρο και παραπέμπει σε μια ηλικιακή ομάδα επισκεπτών, τα παιδιά (Νικονάνου κ.ά., 2016). Ο όρος μουσειακή αγωγή παραπέμπει

περισσότερο σε ένα ανοιχτό πλαίσιο διάδρασης και λιγότερο σε οργανωμένες εκπαιδευτικές δραστηριότητες (Νικονάνου κ.ά., 2016).

Οι παραπάνω όροι, που χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν το μαθησιακό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα στον μουσειακό χώρο, έχουν αναφορές σε κάποια συγκοινωνούντα και αλληλοτεμνόμενα επιστημονικά πεδία που αφορούν ανθρωπιστικές επιστήμες: την Παιδαγωγική, τη Μουσειολογία και την πολιτιστική κληρονομιά (Ντίνου, 2019).

Λόγω όλων των παραπάνω, στην παρούσα διατριβή θα χρησιμοποιείται ο όρος «μουσειακή εκπαίδευση», διότι θεωρείται ο περισσότερο συγκλίνων με το εκπαιδευτικό υλικό που δημιουργήθηκε, μιας και το υλικό αυτό δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένα ηλικιακά πλαίσια και περιλαμβάνει πληροφορικά στοιχεία που ναι μεν αποσκοπούν στην ελεύθερη διάδραση του χρήστη και των αρχαίων τεχνουργημάτων, όμως υποστηρίζεται από ένα οργανωμένο και στοχευμένο πληροφοριακό πλαίσιο. Τέλος, ο όρος μουσειακή εκπαίδευση είναι ο όρος που απαντάται περισσότερο στη διεθνή βιβλιογραφία, έναντι των υπολοίπων.

4.4. Προγράμματα μουσειακής εκπαίδευσης

Ιδιαίτερα τα τελευταία έτη, παρατηρείται ότι η επίσκεψη στον μουσειακό χώρο μετασχηματίζεται από την απλή περιήγηση, σε οργανωμένη μαθησιακή εμπειρία που εμπλέκει το υποκείμενο σε δραστηριότητες. Η δημιουργία τέτοιων μαθησιακών καταστάσεων, εμπίπτει στον τομέα της μουσειακής εκπαίδευσης και πολλές φορές οι δραστηριότητες και γενικότερα τα εκπαιδευτικά σενάρια σχεδιάζονται από μουσειοπαιδαγωγούς (Kristinsdóttir, 2017).

Σε αρκετές χώρες του εξωτερικού έχουν εφαρμοστεί εδώ και χρόνια, προγράμματα μουσειακής εκπαίδευσης, τα οποία απευθύνονται σε μαθητές της τυπικής εκπαίδευσης και σκοπό έχουν να στηρίζουν, να συμπληρώσουν αλλά και να παρέχουν καινοτόμες δράσεις. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το αμερικανικό μουσείο Φυσικής Ιστορίας (<https://www.amnh.org>) που προσφέρει προγράμματα όπως:

- Πρόγραμμα εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες: Το μουσείο συνεργάζεται με φορείς όπως ο βοτανικός κήπος της Νέας Υόρκης, του Μπρούκλιν και του Κούνινς, ο ζωολογικός κήπος του Μπρόνξ και το ενυδρείο της Νέας Υόρκης. Κάθε έτος προσφέρει ένα πρόγραμμα που αφορά στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και απευθύνεται σε μαθητές και καθηγητές της Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Μέσω του προγράμματος, οι μαθητές και οι καθηγητές αποκτούν πρόσβαση σε συλλογές εκθεμάτων και έρχονται σε επαφή με ερευνητές από τον χώρο των Φυσικών Επιστημών. Επιπρόσθετα, οι καθηγητές

επιμορφώνονται, μιας και έρχονται σε επαφή με προτεινόμενα εκπαιδευτικά υλικά, κατάλληλα για την ανάπτυξη πρακτικών έρευνας στη σχολική τάξη.

- Πρόγραμμα Lang: Το πρόγραμμα αφορά στην εκπαίδευση μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες. Πρόκειται για ένα καινοτόμο εκπαιδευτικό πρόγραμμα στο οποίο επιλέγονται μαθητές της πέμπτης δημοτικού. Οι μαθητές αυτοί, σε βάθος αρκετών χρόνων, θα εκπαιδεύονται και θα συνεργάζονται μέσα από δράσεις με τα στελέχη του μουσείου (εκπαιδευτικοί και ερευνητές). Μέσα από αυτήν την μακροχρόνια διαδικασία, οι μαθητές μαθαίνουν για τα εκθέματα του μουσείου, αλλά και αναπτύσσουν δικά τους ερευνητικά έργα.
- Πρόγραμμα μεντορείας: Το πρόγραμμα απευθύνεται σε μαθητές Λυκείου και διαρκεί ένα έτος. Αφορά τον χώρο των Φυσικών Επιστημών και οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να συμμετέχουν σε επιστημονική έρευνα στην οποία καθοδηγητικό, υποστηρικτικό και συμβουλευτικό ρόλο αναλαμβάνει ένα επιστημονικό στέλεχος του μουσείου. Το πρόγραμμα παρέχει μαθήματα και εργαστηριακές δραστηριότητες μέσα στον χώρο του μουσείου, καθώς και δραστηριότητες που αφορούν στατιστική επεξεργασία επιστημονικών δεδομένων.
- Πρόγραμμα «Περιπέτειες στις Φυσικές Επιστήμες»: Το πρόγραμμα απευθύνεται σε μαθητές Νηπιαγωγείου και Δημοτικού (από την πρώτη έως την πέμπτη τάξη) και τους εισάγει σε διεπιστημονικές έρευνες και σε πρακτικές ανάπτυξης διερευνήσεων. Προσφέρει προγράμματα μονοήμερων, τριήμερων και εβδομαδιαίων εργαστηρίων.
- Πρόγραμμα BridgeUp STEM: Το πρόγραμμα εισάγει τους μαθητές στην εκπαιδευτική μέθοδο Science Technology Engineering Mathematics (STEM). Η εκπαιδευτική μέθοδος STEM, έχει ως σκοπό τη διδασκαλία των τεσσάρων γνωστικών πεδίων: Φυσικές Επιστήμες, τεχνολογία, Μηχανική και Μαθηματικά, τονίζοντας τις διασυνδέσεις μεταξύ τους (Antonopoulos & Skoumios, 2019). Η εκπαιδευτική διαδικασία με τη μέθοδο STEM μπορεί να κυμανθεί από τη διαθεματική διδασκαλία έως την πλήρη ενοποίηση των τεσσάρων εμπλεκόμενων γνωστικών αντικειμένων (Αντωνόπουλος, 2019). Μέσα στα πλαίσια του προγράμματος, οι μαθητές οικοδομούν γνώσεις και αναπτύσσουν δεξιότητες γύρω από τις Φυσικές Επιστήμες, την τεχνολογία, τη Μηχανική και τα Μαθηματικά. Το πρόγραμμα αυτό απευθύνεται σε κορίτσια γυμνασίου, αλλά και σε μαθητές γυμνασίου που στερούνται οικονομικών πόρων.

Αυτός ο ποιοτικός μετασχηματισμός της επίσκεψης στον μουσειακό χώρο, εκτός από το εξωτερικό παρατηρείται και στην Ελλάδα, με αρκετά μουσεία να καταρτίζουν ειδικά προγράμματα μουσειακής εκπαίδευσης, είτε μόνα τους, είτε σε συνεργασία με εκπαιδευτικά

ιδρύματα τυπικής εκπαίδευσης, είτε σε συνεργασία με εκπαιδευτικά ιδρύματα μη τυπικής εκπαίδευσης. Το Υπουργείο Πολιτισμού δραστηριοποιείται ενεργά στο χώρο της μουσειακής εκπαίδευσης και δημιουργεί δωρεάν προγράμματα όπως το πρόγραμμα «Παίζουμε ανασκαφή;» (<https://www.culture.gov.gr/el/service/SitePages/view.aspx?iID=1930>). Το πρόγραμμα απευθύνεται σε νήπια και μαθητές της πρώτης τάξης του Δημοτικού. Διαρθρώνεται σε τρεις ενότητες. Η πρώτη ενότητα, περιλαμβάνει συζήτηση για αντικείμενα που ανήκουν στο παρελθόν και τον τρόπο που εργαζόμαστε, μέσω των αρχαιολογικών ανασκαφών για τα αποκτήσουμε. Η ενότητα εμπλουτίζεται και με παιχνίδι ρόλων, με στόχο τη βιωματική προσέγγιση των συζητούμενων ζητημάτων. Στη δεύτερη ενότητα, τα παιδιά σαν μικροί αρχαιολόγοι πραγματοποιούν «ανασκαφές», σε ειδικό διαμορφωμένο χώρο με χόμα. Η ανασκαφή είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε τα παιδιά να ανακαλύψουν αντίγραφα αρχαίων αντικειμένων. Η τρίτη ενότητα αφορά εικαστικές δραστηριότητες και συζήτηση γύρω από τα επαγγέλματα του αρχαιολόγου και του συντηρητή αρχαιοτήτων.

Έχει συγγραφεί βιβλίο, αναφορικά με την εξειδίκευση της μουσειακής εκπαίδευσης στο χώρο των Φυσικών Επιστημών και της τεχνολογίας, το βιβλίο «Μουσειακή εκπαίδευση και εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες» (Κόκοτας & Πλακίτση, 2005). Το βιβλίο αυτό περιέχει έτοιμα εκπαιδευτικά σενάρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από εκπαιδευτικούς. Εκτός από το υπουργείο πολιτισμού, η πλειοψηφία των μεγάλων μουσείων της χώρας έχει αναπτύξει εκπαιδευτικά προγράμματα, με εμπλοκή σε εργαστήρια και μουσειοσκευές (ενδεικτικά, Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, https://www.namuseum.gr/education_category/scholikes-omades/).

4.5. Έρευνες σε προγράμματα μουσειακής εκπαίδευσης

Παράδειγμα έρευνας σε πρόγραμμα μουσειακής εκπαίδευσης, αποτελεί η εργασία των Akamca et al. (2017), υπό την αιγίδα του Τουρκικού Υπουργείου Παιδείας. Το πρόγραμμα αφορούσε στην εκπαίδευση για την πολιτιστική κληρονομιά και περιλάμβανε επισκέψεις στα μουσεία Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Τέχνης της Σμύρνης, καθώς επίσης και επισκέψεις σε τοποθεσίες κοντά στη Σμύρνη όπως: Αγορά, Μετρόπολη, Μπέργκαμα και Έφεσο. Δραστηριότητες του προγράμματος, εκτός των συμβατικών περιηγήσεων, ήταν η συμμετοχή των παιδιών σε δραματοποίηση, παρακολούθηση τρισδιάστατου cartoon με θέμα την πολιτιστική κληρονομιά της Σμύρνης και συμμετοχή σε ειδικές προσχολικές δραστηριότητες ανάπτυξης γνώσεων και δεξιοτήτων που έλαβαν χώρα στους κήπους των μουσείων. Εκτός των παραπάνω, πραγματοποιήθηκε και έρευνα με στόχο τη διερεύνηση των απόψεων των νηπίων

για τα μουσεία. Ως ερευνητικό εργαλείο χρησιμοποιήθηκε η ημι-δομημένη συνέντευξη. Η συνέντευξη αποτελούνταν από δύο επιμέρους ενότητες. Η πρώτη ενότητα ήταν εισαγωγική και αφορούσε συλλογή προσωπικών χαρακτηριστικών και η δεύτερη περιείχε ερωτήσεις για τα μουσεία. Η συνέντευξη γινόταν πριν τις εκπαιδευτικές παρεμβάσεις και επαναλαμβανόταν αμέσως μετά το τέλος των παρεμβάσεων. Οι ερωτήσεις στο δεύτερο μέρος της συνέντευξης ήταν:

- Τι μπορείς να συναντήσεις μέσα σε ένα μουσείο;
- Τι είναι ένα ιστορικό έκθεμα;
- Τι είναι το μουσείο;

Ο χρόνος της συνέντευξης ορίστηκε στα 15' και το δείγμα ήταν 30 νήπια από την ευρύτερη περιοχή της Σμύρνης. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν μαθησιακή βελτίωση μετά το πέρας του προγράμματος.

Ευεργετική μαθησιακή επίδραση παρατηρείται επίσης και στην εργασία των MacDonald et al. (2017). Η εργασία αφορούσε την ανάπτυξη και διερεύνηση προγράμματος μουσειακής εκπαίδευσης για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών. Τα προγράμματα και η έρευνα αφορούσαν μαθητές, δασκάλους και γονείς. Συμμετείχαν 432 μαθητές εννέα Δημοτικών σχολείων, εκπαιδευτικοί και γονείς. Το πρόγραμμα έλαβε χώρα στο μουσείο της Νέας Ζηλανδίας «Te Papa Tongarewa». Η έρευνα περιλάμβανε τέσσερις πειραματικές ομάδες, κάθε μια από τις οποίες συμμετείχε σε διαφορετικές δραστηριότητες στον χώρο του μουσείου και μια ομάδα ελέγχου. Η εκπαίδευση των τεσσάρων πειραματικών ομάδων διαφοροποιούνταν ως εξής:

- Παρακολούθηση προγράμματος: Η πρώτη ομάδα παρακολούθησε μια ώρα εκπαιδευτικού προγράμματος στον χώρο του μουσείου. Το εκπαιδευτικό πρόγραμμα αφορούσε γνώσεις που ενέπιπταν στις επιστήμες της Γεωλογίας και Γεωγραφίας, χρησιμοποίηση ειδικού προσομοιωτή σεισμού, πρακτικές προφύλαξης την ώρα του σεισμού και προετοιμασία ειδικού kit με είδη πρώτης ανάγκης.
- Παρακολούθηση προγράμματος και σχέδιο δράσης: Μετά την παρακολούθηση του εκπαιδευτικού προγράμματος στο χώρο του μουσείου, έγινε παρουσίαση ενός σχεδίου δράσης που είχε δημιουργηθεί από το Υπουργείο Πολιτικής Προστασίας και Διαχείρισης Κρίσεων της Νέας Ζηλανδίας (<https://getthru.govt.nz/assets/Uploads/GRG-Checklist.pdf>). Ζητήθηκε από τους μαθητές η συμπλήρωση του σχεδίου στο σπίτι τους, σε συνεργασία με τους γονείς τους.
- Παρακολούθηση προγράμματος και χρησιμοποίηση ειδικής κολλητικής πλαστελίνης (τύπου Blue Tac): Μετά την παρακολούθηση του εκπαιδευτικού προγράμματος,

δόθηκε ειδική κολλητική πλαστελίνη στους μαθητές και ακολούθησε συζήτηση αναφορικά με τη χρησιμοποίησή της για τη διασφάλιση αντικειμένων εντός της οικίας. Ζητήθηκε από τους μαθητές η χρησιμοποίηση της στο σπίτι, σε συνεργασία με τους γονείς τους.

- Παρακολούθηση προγράμματος και χρησιμοποίηση ειδικών ατσάλινων στηριγμάτων: Μετά την παρακολούθηση του προγράμματος, ακολούθησε συζήτηση αναφορικά με τη χρήση τους για τη διασφάλιση αντικειμένων εντός του σπιτιού, με στόχο την αποφυγή τραυματισμών. Δόθηκε ένα στήριγμα ανά μαθητή και ζητήθηκε η τοποθέτηση του στο σπίτι, σε συνεργασία με τους γονείς. Τα στηρίγματα αυτά εφαρμόστηκαν σε ράφια, βιβλιοθήκες και λοιπά έπιπλα.

Τα ερευνητικά εργαλεία της έρευνας ήταν pre- και post-tests. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκαλύπτουν ότι το πρόγραμμα μουσειακής εκπαίδευσης είχε θετική μαθησιακή και συμπεριφορική επίδραση, στο σύνολο του δείγματος (μαθητές, εκπαιδευτικοί, γονείς).

Μια ακόμα έρευνα, η βιβλιογραφική μετα-έρευνα των Andre et al. (2017), αναφέρει παρόμοια αποτελέσματα. Η μετα-έρευνα εξέτασε αρχικά 264 εργασίες και κατέληξε σε 44 εμπειρικές ερευνητικές εργασίες που δημοσιεύτηκαν μεταξύ των ετών 1999-2012. Οι εργασίες αυτές είχαν δημοσιευθεί σε δυο εκ των κορυφαίων διεθνών επιστημονικών περιοδικών στον τομέα της μουσειακής εκπαίδευσης: *Curator: The Museum Journal* και *Journal of Museum Education*. Τα μουσεία χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες: μουσεία Φυσικών Επιστημών (36%), μουσεία Φυσικής Ιστορίας (29%), μουσεία Τέχνης (21%) και παιδικά μουσεία (14%). Τα ευρήματα της έρευνας αποκαλύπτουν θετική γνωστική και συμπεριφορική επίδραση της μουσειακής εκπαίδευσης, όταν αυτή υποστηρίζεται από διαδραστικές στρατηγικές και δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα, η θετική επίδραση αφορά στην οικοδόμηση γνώσεων, στην ανάπτυξη δεξιοτήτων ομαδικής εργασίας και επικοινωνίας, στην οικοδόμηση θετικών στάσεων απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες, στην Τέχνη, στην Ιστορία και γενικότερα στις ανθρωπιστικές επιστήμες.

4.6. Μουσειακή εκπαίδευση στην αρχαία Ελληνική τεχνολογία

Αναφορικά με το θέμα της διατριβής, την αρχαία Ελληνική τεχνολογία, εντοπίστηκε μόνο μια περίπτωση έκδοσης εκπαιδευτικών σεναρίων σε βιβλίο για μουσειακή εκπαίδευση, η οποία αφορά τον υπολογιστή των Αντικυθήρων (Κόκοτας & Πλακίτση, 2005).

Στον χώρο της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας, σημαντικό σταθμό αποτελεί το Μουσείο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας Κοτσανά (<https://kotsanasmuseum.com>). Το

κεντρικό κτήριο βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας, γίνονται όμως εκθέσεις και σε άλλα σημεία της χώρας. Μέσα στο μουσείο υπάρχει πληθώρα ανακατασκευών αρχαίων τεχνουργημάτων, από τον μηχανολόγο Μηχανικό Κώστα Κοτσανά. Οι ανακατασκευές βασίστηκαν σε πηγές από την αρχαία Ελληνική γραμματεία και παραστάσεις.

Ο επισκέπτης του μουσείου έχει τη δυνατότητα να παρατηρήσει τα μοντέλα των αρχαίων μηχανών, τα οποία συνοδεύονται από ειδικό επεξηγηματικό κείμενο που αφορά στον τρόπο λειτουργίας, στις χρήσεις και στο ιστορικό πλαίσιο των εφευρέσεων. Μάλιστα, δίπλα σε αρκετά εκθέματα υπάρχουν οθόνες, όπου παρουσιάζεται η λειτουργία τους. Το μουσείο είναι ιδιαίτερα δραστήριο και διοργανώνει πληθώρα εργαστηρίων μουσειακής εκπαίδευσης είτε δια ζώσης, είτε εξ αποστάσεως (ενδεικτικά, εργαστήρι υπολογιστικών μηχανών της αρχαιότητας, βιοματικό εργαστήρι «Ο αρματοποιός επιστρέφει», εργαστήρι «Γίνε και εσύ κομίστας, Ήρων»). Το εργαστήρι «Γίνε και εσύ κομίστας, Ήρων» βασίζεται στην ψηφιακή σειρά κόμικς «Ήρων» και οι συμμετέχοντες σχεδιάζουν ιστορίες κόμικς, με κεντρικούς ήρωες εφευρέτες της αρχαιότητας (<https://kotsanasmuseum.com/Selides/γίνε-κι-εσύ-κομίστας-ήρων-digital-edition/>). Το πρόγραμμα απευθύνεται σε μαθητές Δημοτικού Α' έως Στ' τάξης.

Άλλο ένα ακόμα παράδειγμα μουσειακής εκπαίδευσης στην αρχαία Ελληνική τεχνολογία αποτελεί το μουσείο Ηρακλειδών στο Θησείο (<https://www.herakleidon.org/home/>).

Το μουσείο Ηρακλειδών διαθέτει μεγάλη συλλογή για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Εντός του μουσείου που φιλοξενείται σε δύο κτήρια, ο επισκέπτης μπορεί να περιηγηθεί σε ανακατασκευές αρχαίων ελληνικών εφευρέσεων, που βασίζονται στην αρχαία Ελληνική γραμματεία και σε παραστάσεις. Τα εκθέματα συνοδεύουν αναλυτικές γραπτές περιγραφές. Στον χώρο είναι τοποθετημένες οθόνες, που παρουσιάζουν τη λειτουργία κάποιων εφευρέσεων. Το μουσείο συνεργάζεται με την Εταιρία Διερεύνησης Αρχαιοελληνικής και Βυζαντινής Τεχνολογίας (ΕΔΑΒυΤ) (<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/edabyt>). Η ΕΔΑΒυΤ, είναι μια επιστημονική εταιρία που δρα υπό την αιγίδα του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ) (<https://web.tee.gr>) και γενικός στόχος της συνεργασίας αυτής, είναι η ανάδειξη τομέων του αρχαιοελληνικού και βυζαντινού πολιτισμού, οι οποίοι έχουν μείνει εκτός του γενικού ενδιαφέροντος των κλασσικών σπουδών.

Αναφορικά με τον τομέα της μουσειακής εκπαίδευσης, το μουσείο είναι εξαιρετικά δραστήριο. Δημιούργησε την Ακαδημία Ηρακλειδών (<https://www.herakleidon.org/academy>), που έχει σαν αποστολή την επιμόρφωση προπτυχιακών και μεταπτυχιακών αλλοδαπών φοιτητών στην αρχαιοελληνική τεχνολογία. Εκτός του εκπαιδευτικού ενδιαφέροντος, στα πλαίσια της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, το μουσείο λειτουργεί ως κέντρο μάθησης και

εμπλέκεται τόσο σε τομείς των σύγχρονων τεχνολογιών αιχμής, όσο και της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας.

Όσον αφορά τις νέες τεχνολογίες, το μουσείο συνοδεύει τις εκθέσεις του με εργαστήριο ρομποτικής LEGO Mindstorms (<https://www.herakleidon.org/8mindstorms>). Η ύλη σε αυτό το εργαστήριο διδάσκεται με τη διεπιστημονική προσέγγιση STEM. Το εργαστήριο ρομποτικής του μουσείου είναι σχεδιασμένο για μαθητές της Ε' και Στ' τάξεως του Δημοτικού και των τριών τάξεων του Γυμνασίου. Οι μαθητές εμπλέκονται στην κατασκευή αυτόνομων ρομπότ, τα οποία προγραμματίζονται με το ειδικό εικονικό προγραμματιστικό περιβάλλον του Mindstorms EV 3. Η κατασκευή και, συνακόλουθα, ο προγραμματισμός των ρομπότ, καλλιεργούν γνώσεις, στάσεις και δεξιότητες που αφορούν στα γνωστικά πεδία της Μηχανικής και της τεχνολογίας. Τα ρομπότ κατασκευάζονται με στόχο να λύνουν αυθεντικά προβλήματα. Μέσα σε αυτά τα προβλήματα εμπεριέχονται έννοιες που άπτονται των Φυσικών Επιστημών και έχουν μαθηματική αναπαράσταση όπως: ταχύτητα, επιτάχυνση, χρόνος και μάζα. Επομένως, κατ' αυτόν τον τρόπο, εμπλέκονται και τα γνωστικά πεδία των Φυσικών Επιστημών και των Μαθηματικών. Το μουσείο, μέσα από το εργαστήριο, προσφέρει την επιπλέον δυνατότητα σε όποιους μαθητές το επιθυμούν, την προετοιμασία και συμμετοχή στον ετήσιο πανελλήνιο διαγωνισμό εκπαιδευτικής Ρομποτικής.

Το μουσείο προσφέρει το βιωματικό εργαστήριο «Η γλώσσα του σύμπαντος-Μαθηματικά» (<https://www.herakleidon.org/mathematics>). Σκοπός του εργαστηρίου αυτού είναι η μαθηματική εκπαίδευση και η βελτίωση των στάσεων των υποκειμένων για την επιστήμη των Μαθηματικών.

Σε σχέση με τη μουσειακή εκπαίδευση στην αρχαία Ελληνική τεχνολογία, το μουσείο έχει αναπτύξει ποικιλία προγραμμάτων, τα οποία εξειδικεύονται σε διαφορετικό επίπεδο τυπικής εκπαίδευσης. Υπάρχουν βιωματικά προγράμματα για μαθητές Νηπιαγωγείου, Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου. Εκτός των εκπαιδευτικών προγραμμάτων που αφορούν την αρχαία Ελληνική τεχνολογία, προσφέρονται εκπαιδευτικά προγράμματα που αφορούν μαθητές σχολείων και νηπιαγωγείων, που καλύπτουν πληθώρα γνωστικών αντικειμένων (ενδεικτικά, Τεχνητή Νοημοσύνη, Ιστορία των επιστημών, Αστροφυσική-Αστρονομία, Τέχνη).

Ένα ακόμα ίδρυμα, το οποίο δεν αναφέρεται ως μουσείο, ωστόσο αναλαμβάνει και μουσειακό ρόλο, είναι το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού (<http://www.fhw.gr/fhw/>). Το ίδρυμα διαθέτει έκθεση για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Η έκθεση είναι διανθισμένη με πληθώρα διαδραστικών εκπαιδευτικών υλικών, συνδυάζοντας τα κλασσικά αναπαραστατικά συστήματα ενός μουσείου (ενδεικτικά, μικρογραφίες, μοντέλα, αφηγήσεις) με τον χώρο των

ΤΠΕ. Εκτός της μουσειακής εκπαίδευσης στην αρχαία Ελληνική τεχνολογία, το ΙΜΕ έχει αναπτύξει διαδραστικές εκθέσεις που αφορούν σε πλήθος γνωστικών αντικειμένων (ενδεικτικά, Παλαιοντολογία, Φυσική, Αρχαιολογία).

Τα παραπάνω ιδρύματα, που προσφέρουν μουσειακή εκπαίδευση στην αρχαία Ελληνική τεχνολογία, εδρεύουν στην Αθήνα. Στη Θεσσαλονίκη βρίσκεται το κέντρο διάδοσης επιστημών και μουσείο τεχνολογίας NOESIS (<https://www.noesis.edu.gr>). Το μουσείο τεχνολογίας του NOESIS διαθέτει έκθεση για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Εκτός της έκθεσης, το μουσείο διαθέτει πολύ μεγάλο εύρος εκπαιδευτικών προγραμμάτων, που αφορούν πολλούς τομείς της επιστήμης και τεχνολογίας. Ωστόσο, παρόλο το μεγάλο εύρος εκπαιδευτικών προγραμμάτων, δεν εντοπίστηκε κάποιο οργανωμένο πρόγραμμα μουσειακής εκπαίδευσης στην αρχαία Ελληνική τεχνολογία.

Εκτός ευρύτερων θεματικών εκθέσεων που αφορούν την αρχαία Ελληνική τεχνολογία, εντοπίστηκε ο περίφημος μηχανισμός των Αντικυθήρων, ο οποίος φυλάσσεται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο (<https://www.namuseum.gr>). Αντίγραφο του μηχανισμού εκτίθεται στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (<https://www.astro.noa.gr>). Αμφότεροι, ο πρωτότυπος μηχανισμός και το αντίγραφο, εκτίθενται, χωρίς να πλαισιώνονται από κάποιο πρόγραμμα μουσειακής εκπαίδευσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν εντοπίστηκε κάποια έκθεση ή κάποιο πρόγραμμα μουσειακής εκπαίδευσης που να αφορά στην αρχαία Ελληνική τεχνολογία εκτός Ελλάδος. Δεν εντοπίστηκε κάποιο πρόγραμμα μουσειακής εκπαίδευσης για κάποια άλλη αρχαία τεχνολογία πλην της αρχαίας Ελληνικής. Εντοπίστηκε έκθεση μουσείου για αρχαία κινεζική τεχνολογία, στο μουσείο του Πεκίνου, όμως δεν φαίνεται να έχει αναπτυχθεί παράλληλα κάποιο πρόγραμμα μουσειακής εκπαίδευσης. Μάλιστα, το μουσείο τεχνολογίας NOESIS είχε κατά το παρελθόν, σε συνεργασία με το μουσείο επιστήμης και τεχνολογίας του Πεκίνου, φιλοξενήσει έκθεση για την αρχαία κινεζική τεχνολογία.

4.7. Μουσειακή εκπαίδευση με χρήση ΤΠΕ

Τα τελευταία χρόνια αρκετά μουσεία, τα οποία ασχολούνται με την πολιτιστική κληρονομιά, έχουν προσπαθήσει να αναπτύξουν εκπαιδευτικά προγράμματα διαδικτυακά προσβάσιμα, καθώς και ψηφιακές εκπαιδευτικές εφαρμογές. Ένα τέτοιο παράδειγμα ανάπτυξης μουσειακού προγράμματος εκπαίδευσης, είναι το διαδικτυακό εργαστήριο «*Educator Workshop-The Art and Science of Materials*» (<https://engage.metmuseum.org/events/education/met-studies/k-12-educator-programs/fy22/the-art-and-science-of-materials/>) του Μητροπολιτικού Μουσείου Τέχνης της Νέας Υόρκης (<https://www.metmuseum.org>). Το εργαστήριο είναι επί πληρωμή

και απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς. Η σύνδεση και παρακολούθηση του εργαστηρίου γίνεται με χρήση της πλατφόρμας Zoom. Οι εκπαιδευτές που διδάσκουν στο online εργαστήριο είναι εργαζόμενοι στο μουσείο. Πρόκειται για συντηρητές έργων Τέχνης και ειδικούς από τον χώρο των Φ.Ε. Η διδασκαλία περιλαμβάνει τη μελέτη και συντήρηση ενός εύρους υλικών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία έργων τέχνης: κλωστοϋφαντουργικά υλικά, πλαστικό, χρώματα και πέτρα. Εκτός από τη συντήρηση, οι εκπαιδευόμενοι διδάσκονται πρακτικές διερεύνησης της αυθεντικότητας των έργων τέχνης. Οι πρακτικές αυτές περιλαμβάνουν αναγνώριση των υλικών που συγκροτούν το έργο τέχνης. Το εργαστήριο βασίζεται σε μια σειρά βίντεο για παιδιά που έχουν δημιουργηθεί από το μουσείο με τίτλο «*MetKids Microscope*» (ενδεικτικά, <https://www.metmuseum.org/perspectives/videos/2021/8/metkids-microscope-ancient-ear-hair>). Ακόμη, προσφέρονται από επαγγελματίες εκπαιδευτικούς, ειδικές εκπαιδευτικές πρακτικές για τη διδασκαλία Φ.Ε. και τέχνης σε σχολικό πλαίσιο.

Άλλο ένα διαδικτυακό εργαστήριο για εκπαιδευτικούς είναι το «*Indigenous Women: Artists and Activists*», από το μουσείο Smithsonian των ΗΠΑ (<https://www.si.edu/events/detail/?trumbaEmbed=eventid%3D157033275%26seotitle%3DNative-Knowledge-360-Teacher-Workshop-SeriesSession-3-Indigenous-Women-Artists-and-Activists%26view%3Devent%26-childview%3D%26returnUrl%3Dhttps%253A%252F%252Fwww.si.edu%252Fevents%252Fonline>.) Το εργαστήριο αφορά τα έργα τέχνης που έχουν δημιουργήσει ιθαγενείς γυναίκες. Σκοπός του εργαστηρίου είναι, μέσα από τη μελέτη των έργων τέχνης, οι εκπαιδευτικοί να εμβαθύνουν στον κοινωνικό ρόλο και την κοινωνική συνεισφορά των ιθαγενών γυναικών. Μέσω της εμβάθυνσης σε αυτόν τον τομέα, επιχειρείται η χρησιμοποίηση της τέχνης στη διδασκαλία δύσκολων ιστορικών ζητημάτων, σε σχολικό πλαίσιο. Κύριο εκπαιδευτικό εργαλείο της διδασκαλίας είναι τα βίντεο 360°, μέσω των οποίων ο εκπαιδευόμενος έρχεται σε επαφή με τα έργα τέχνης. Το εργαστήριο πραγματοποιείται μέσω της πλατφόρμας Zoom και προσφέρεται δωρεάν.

Εκτός από τον χώρο της τέχνης και στον χώρο της Λαογραφίας απαντώνται διαδικτυακά εκπαιδευτικά προγράμματα. Το Μουσείο Μαγείας (Museum of Witchcraft and Magic) (<https://museumofwitchcraftandmagic.co.uk>) του Ηνωμένου Βασιλείου διοργάνωσε διαδικτυακή παρουσίαση και συζήτηση επιλεγμένων εκθεμάτων. Την παρουσίαση έκανε ο διευθυντής του μουσείου και ήταν επί πληρωμή. Το μουσείο εκτός από παρουσιάσεις εκθεμάτων, πραγματοποιεί και διαδικτυακές διαλέξεις, οι οποίες εστιάζουν στη ζωή και το έργο ιστορικών προσωπικοτήτων του εσωτερισμού (ενδεικτικά, Helena Blavatsky).

Ακόμα ένα παράδειγμα μουσειακού προγράμματος, που χρησιμοποιεί ΤΠΕ, είναι το Webinar «*Ecosystem Interactions*» του Μουσείου Φ.Ε. της Βοστώνης (<https://www.eventbrite.com/e/ecosystem-interactions-registration-166217477951?aff=ebdssbonlinesearch>). Το πρόγραμμα απευθύνεται σε μαθητές της έκτης Δημοτικού και των δύο πρώτων τάξεων του Γυμνασίου. Σκοπός του διαδικτυακού σεμιναρίου είναι η διδασκαλία των ποικιλόμορφων αλληλεπιδράσεων των ζωντανών οργανισμών στα οικοσυστήματα. Οι ειδικοί εκπαιδευτές του μουσείου αναλύουν δύο παραδείγματα ζωντανών οικοσυστημάτων, τα οποία εκτίθενται στο μουσείο. Μέσα από τη διδασκαλία των παραδειγμάτων, επιχειρείται η συγκρότηση μοντέλων λειτουργίας των οικοσυστημάτων, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε ποικιλία οικοσυστημάτων και να προβλέψουν μοτίβα αλληλεπίδρασης των ζωντανών οργανισμών. Οι διδακτικοί στόχοι του webinar είναι οι μαθητές να μπορούν να :

- Ορίσουν τι είναι το οικοσύστημα και να εξερευνήσουν ένα οικοσύστημα.
- Ανακαλύψουν τις πιθανές σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ζωντανών οργανισμών ενός οικοσυστήματος.
- Αναγνωρίσουν τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ζωντανών οργανισμών των δύο οικοσυστημάτων που τους παρουσιάζονται.

Το webinar είναι δωρεάν και προσφέρεται από εταιρίες-σπόνσορες. Για την πραγματοποίηση του σεμιναρίου χρησιμοποιείται η πλατφόρμα Zoom.

Ένα ξεχωριστό παράδειγμα εκπαιδευτικού προγράμματος που έχει διοργανωθεί από μουσείο, είναι το «*The Great Tech Story*» (<https://www.eventbrite.com/e/teach-learn-in-the-great-tech-story-registration-263457286837?aff=ebdssbonlinesearch>) από το Μουσείο Ιστορίας των Υπολογιστών (<https://computerhistory.org>) της Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Σε αυτό το δωρεάν εκπαιδευτικό πρόγραμμα, γίνεται χρήση του λογισμικού Minecraft. Το πρόγραμμα απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς και μαθητές. Οι εκπαιδευτικοί διδάσκονται μεθόδους διδασκαλίας, οι οποίες στοχεύουν στην ενεργό συμμετοχή των μαθητών και έχουν την ευκαιρία να συζητήσουν εκπαιδευτικές προσεγγίσεις με συναδέλφους τους. Το εύρος ηλικίας των μαθητών ορίζεται σε 8 έως 18 έτη. Οι εκπαιδευτικοί διδάσκονται τεχνικές καθοδήγησης των μαθητών τους, ώστε να καταφέρουν να ολοκληρώσουν την κατασκευή που τους ανατίθεται στο λογισμικό Minecraft. Μέσω του Minecraft: Education edition, οι μαθητές περιηγούνται σε μια εικονική έκθεση διαδρώντας με αντικείμενα όπως: αρχαία υπολογιστική μηχανή, το σύστημα προσσελήνωσης του διαστημοπλοίου Apollo και αυτοοδηγούμενο όχημα.

Ένα πρωτότυπο παράδειγμα μουσειακής εκπαίδευσης είναι αυτό των Klopfer et al. (2017). Δημιούργησαν ένα διαδραστικό παιχνίδι μουσειακής εκπαίδευσης, το παιχνίδι

μυστηρίου «Mystery at the Museum». Το παιχνίδι αυτό είναι διαθέσιμο εντός του μουσείου Φυσικών Επιστημών της Βοστώνης (<https://www.mos.org>) και είναι σχεδιασμένο για γονείς και παιδιά. Στόχος του παιχνιδιού είναι να γνωρίσουν οι επισκέπτες καλύτερα τους μουσειακούς χώρους και να αναπτύξουν δεξιότητες συνεργασίας. Η υπόθεση του παιχνιδιού είναι ότι μια συμμορία κλεφτών έκλεψε ένα ανυπολόγιστης αξίας μουσειακό έκθεμα και το αντικατέστησε με ένα αντίγραφο. Ως πρώτο στοιχείο εκκίνησης, οι χρήστες ανακαλύπτουν μια κάρτα της συμμορίας. Έπειτα, αναλαμβάνουν να διαλέξουν έναν από τους χαρακτήρες της ομάδας ειδικών που έχουν ως αποστολή την εξιχνίαση της κλοπής: τεχνολόγος, βιολόγος, ντετέκτιβ. Κάθε ένας από τους χαρακτήρες έχει ιδιαίτερες δυνατότητες. Το παιχνίδι είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να συγκροτούνται τρεις ομάδες των δύο επισκεπτών. Η κάθε μια ομάδα αντιστοιχεί σε έναν από τους χαρακτήρες και περιλαμβάνει έναν γονέα και ένα παιδί. Το κάθε ζεύγος παιδιού-γονέα εφοδιάζεται με έναν μικρό φορητό υπολογιστή και ένα γουόκι-τόκι. Σκοπός των παικτών είναι η συλλογή στοιχείων προς εξιχνίαση της κλοπής, η οποία μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους: συλλογή εικονικών στοιχείων που είναι διεσπαρμένα στις αίθουσες του μουσείου, ερωτήσεις σε εικονικούς χαρακτήρες που βρίσκονται σε χώρους του μουσείου, ανάλυση δειγμάτων με εικονικά όργανα και διερευνώντας τις εκθέσεις του μουσείου. Ο μικρός φορητός υπολογιστής χρησιμοποιεί το δίκτυο Wi-Fi, προκειμένου να προσδιορίσει σε ποια αίθουσα του μουσείου βρίσκεται η ομάδα των χρηστών και έπειτα τους πληροφορεί για το ποιοι εικονικοί χαρακτήρες και ποια εικονικά αντικείμενα βρίσκονται στον χώρο. Τα εικονικά αντικείμενα και οι χαρακτήρες που αντιστοιχούν σε κάθε μουσειακή αίθουσα, παραπέμπουν σε πραγματικά φυσικά αντικείμενα που εκτίθενται στις μουσειακές εκθέσεις, τα οποία εμπλέκονται στην πλοκή της ιστορίας. Για να ολοκληρωθεί το παιχνίδι, θα πρέπει οι παίκτες να συλλέξουν αρκετά στοιχεία ώστε να εκδοθεί ένα ένταλμα σύλληψης για τους υπόπτους. Ένα μέλος από το προσωπικό του μουσείου, αναλαμβάνει τον ρόλο του εισαγγελέα, ο οποίος ανάλογα με τα στοιχεία που του παρουσιάζουν οι ομάδες των παικτών, κρίνει πότε θα εκδοθεί το ένταλμα. Επιπρόσθετα, μετά το παιχνίδι διενεργήθηκε ποιοτική έρευνα, με δείγμα μέρος των συμμετεχόντων. Διενεργήθηκαν pre και post συνεντεύξεις στους γονείς και στα παιδιά που αφορούσαν το ενδιαφέρον για τα μουσεία, τη χρήση της τεχνολογίας και την συνεργασία. Ως επιπλέον εργαλείο χρησιμοποιήθηκε η βιντεοσκόπηση της προόδου κάθε ομάδας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι χρήστες εξοικειώθηκαν και κατανόησαν σε βάθος τα πραγματικά εκθέματα του μουσείου που εμπλέκονταν στην πλοκή του παιχνιδιού, μιας και αυτά περιείχαν κώδικες και μοτίβα που χρησίμευαν στη συλλογή στοιχείων. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ανάπτυξη δεξιοτήτων συνεργασίας μεταξύ ομάδων που υποδύθηκαν

διαφορετικούς ρόλους του παιχνιδιού, αλλά και ανάπτυξη δεξιοτήτων συνεργασίας εντός των ομάδων μεταξύ γονέα-παιδιού.

Στον ελληνικό χώρο, μεγάλο μέρος των μουσείων χρησιμοποιεί το Διαδίκτυο, έτσι ώστε να προσφέρει είτε εικονικές περιηγήσεις σε συλλογές, είτε κάποιο εκπαιδευτικό πρόγραμμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα δημιουργίας εικονικής περιήγησης (virtual tour) μέσω Διαδικτύου αποτελεί η εικονική περιήγηση του μουσείου της Ακρόπολης Αθηνών, κατά την οποία, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να κατευθύνει την οπτική του σε όποιο έκθεμα επιθυμεί, σαν να βρίσκεται στον φυσικό χώρο του μουσείου, μέσω βίντεο 360° (<https://theacropolismuseum.gr/eikoniki-periigisi-sto-moyseio-akropolis>). Εκτός από τα κρατικά μουσεία, αρκετά ιδιωτικά μουσεία έχουν αναπτύξει εικονική περιήγηση μέσω Διαδικτύου. Ένα από τα μεγαλύτερα ιδιωτικά μουσεία της Ελλάδας, το μουσείο Μπενάκη (<https://www.benaki.org/index.php?lang=el>), διαθέτει εικονική περιήγηση διαθέσιμη online. Οι επισκέπτες έχουν τη δυνατότητα της εικονικής περιήγησης στο μουσείο, καθώς και της παρακολούθησης online προγραμμάτων επιμόρφωσης, τα οποία λαμβάνουν χώρα στον τόπο του μουσείου. Επιπρόσθετα, υπάρχουν ηλεκτρονικά παιχνίδια διαθέσιμα online, που βασίζονται στα εκθέματα του μουσείου. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με τους πίνακες ζωγραφικής, να αλλάξει χρώματα, σχήματα, να απαντήσει σε ερωτήσεις, κ.α. Όπως αναφέρθηκε, πολλές φορές χρησιμοποιούνται και εικονικά παιχνίδια μέσω Διαδικτύου, τα οποία συνήθως απευθύνονται σε παιδιά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου εικονικού παιχνιδιού αποτελεί το παιχνίδι «Μυστικά κρυμμένα στο χώμα», το οποίο διατίθεται στον ιστότοπο του μουσείου της Ακρόπολης Αθηνών (<https://www.theacropolismuseum.gr/psifiako-mouseio>). Στο παιχνίδι αυτό ο χρήστης επιλέγει αρχαιολόγο-avatar και στη συνέχεια χώρο ανασκαφής. Αφού προβεί σε αυτές τις επιλογές, διοργανώνει ανασκαφή, κινητοποιώντας κάθε φορά τον ανάλογο επαγγελματία (ενδεικτικά, αρχικά κινητοποιείται ο τοπογράφος με το τρίποδο του). Κατ' ουσία, ο χρήστης με παιχνιδιώδη τρόπο διδάσκεται τα στάδια της ανασκαφής, έχοντας ως βοηθό που τον συμβουλεύει ένα σκουλήκι.

Αναφορικά με την αρχαία Ελληνική τεχνολογία, το σύνολο των μουσείων που εκθέτουν συλλογές, χρησιμοποιούν ΤΠΕ. Το μουσείο Κοτσανά διαθέτει εικονική περιήγηση και ξενάγηση επί πληρωμή, μέσω του Διαδικτύου (<https://kotsanasmuseum.com/product/digital-tour/>). Επιπρόσθετα, παρέχει την επιλογή «εργαστήρι ανοιχτής επιλογής», όπου αφού ο επισκέπτης του ιστοχώρου επιλέξει ένα από τα διαθέσιμα εργαστήρια, επικοινωνεί με το μουσείο, κανονίζεται ημέρα και ώρα, αποστέλλονται τα εκπαιδευτικά υλικά στη διεύθυνση του πελάτη και μέσω διαδικτυακής πλατφόρμας

πραγματοποιείται το εργαστήριο. Το μουσείο Ηρακλειδών διαθέτει δωρεάν εικονικές περιηγήσεις και για τα δυο κτήρια του στον ιστότοπό του (<https://www.herakleidon.org/exhibitions>). Παρόμοιου τύπου εικονική περιήγηση σε συλλογή αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας προσφέρει δωρεάν και το μουσείο τεχνολογίας NOESIS (<https://my.matterport.com/show/?m=5rHaUQEssAV>).

Το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού χρησιμοποιεί ευρέως ΤΠΕ, με σκοπό την βέλτιστη ανάδειξη της συλλογής αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας χρησιμοποιώντας 3D animation.

4.8. Λογισμικά μουσειακής εκπαίδευσης ΠΕΕΠ

Προσπάθειες κατασκευής λογισμικών μουσειακής εκπαίδευσης, εντοπίζονται και στο χώρο της ΠΕΕΠ. Μάλιστα, ιδιαίτερα τα τελευταία έτη, μετά τη διάδοση των συσκευών ΠΕΕΠ με προσιτό κόστος για τον μέσο χρήστη, οι προσπάθειες αυτές πληθαίνουν. Εκτός από λογισμικά που αφορούν σε αναπαράσταση των μουσειακών εκθεμάτων σε εικονικό χώρο, που να προσομοιάζει τον χώρο της πραγματικής χρήσης τους, αναπτύσσονται λογισμικά, τα οποία έχουν ως σκοπό την αντιγραφή μουσειακών χώρων. Σε αυτή την κατηγορία λογισμικών, τείνει να χρησιμοποιείται ο όρος εικονικό μουσείο (virtual museum, VM). Τέτοιο παράδειγμα λογισμικού αποτελεί το εικονικό μουσείο των Pescarin et al. (2018), που αφορά τη ρωμαϊκή αυτοκρατορία και η πλατφόρμα εκτέλεσης είναι το Oculus Rift.

Δυο ακόμα χαρακτηριστικά παραδείγματα λογισμικών ΠΕΕΠ για HMD, τα οποία είναι σχεδιασμένα για το ευρύ κοινό, είναι το Dino Encounters (<https://sidequestvr.com/app/533/dino-encounters-beta>) και το Anne Frank House (https://www.oculus.com/experiences/quest/1958100334295482/?locale=el_GR). Και τα δυο είναι διαθέσιμα για το Oculus Quest. Το Dino Encounters είναι μια εφαρμογή που μεταφέρει τον χρήστη πίσω στην εποχή των δεινοσαύρων. Πρόκειται για ένα εντυπωσιακό εκπαιδευτικό παιχνίδι μέσα από οποίο ο χρήστης μπορεί να δει διάφορα είδη δεινοσαύρων σε πραγματική κλίμακα, τα οποία αλληλεπιδρούν με τον φυσικό τους χώρο. Ο χρήστης μπορεί να τα ταΐσει και επιπρόσθετα ένα ειδικός σύντροφος-ρομπότ τον ακολουθεί κάνοντας ξενάγηση.

Το Anne Frank House είναι μια εφαρμογή, που μεταφέρει τον χρήστη μέσα στο περιβάλλον του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί στο σπίτι που κρυβόταν η Άννα Φρανκ, να ανακαλύψει κρυψώνες και να διαβάσει έγγραφα τις εποχής.

Και τα δύο λογισμικά δεν αναφέρονται ως μουσειακής εκπαίδευσης, όμως οι πληροφορίες που προσφέρουν και η γενικότερη εμπειρία χρήσης τους συγκλίνουν με την

επίσκεψη σε κάποιο μουσειακό χώρο. Στην πρώτη περίπτωση, στο Dino Encounters, ο χρήστης βλέπει δεινόσαυρους και πληροφορείται μέσω ξενάγησης, τουλάχιστον εξίσου καλά με κάποιο μουσείο Παλαιοντολογίας. Στη δεύτερη περίπτωση, στο Anne Frank House, είναι σαν ο χρήστης να έχει επισκεφθεί τον πραγματικό χώρο. Το ίδιο ισχύει για μεγάλο πλήθος άλλων λογισμικών

Άλλα παραδείγματα λογισμικών ΠΕΕΠ μουσειακής εκπαίδευσης αναφέρονται στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης για τα λογισμικά ΠΕΕΠ μουσειακής εκπαίδευσης (βλ. Κεφάλαιο 5).

4.9. Έρευνες σε λογισμικά ΠΕΕΠ μουσειακής εκπαίδευσης

Εκτός από προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν HMD υψηλής εμπύθισης, σε κάποιες έρευνες χρησιμοποιούνται οικονομικότερα HMD. Παράδειγμα τέτοιας έρευνας αποτελεί η ποιοτική έρευνα της Petrelli (2019). Σκοπός της ήταν η καλύτερη κατανόηση της ενθουλάκωσης τρισδιάστατων εικονικών αναπαραστάσεων σε χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέσα αναπαραστάσης, ένα οικονομικό HMD (Google Cartboard) για χρήση VR και ένα tablet για χρήση AR. Τα δύο μέσα χρησιμοποιήθηκαν για να αναπαραστήσουν δυο μουσειακούς χώρους: Το σπίτι του Δρ. Jenner (παιχνίδι: The Chantry), ενός Άγγλου ιατρού που θεωρείται ο «πατέρας του εμβολιασμού» και της αρχαίας αυτοκρατορικής αγοράς του Αυγούστου της Ρώμης (παιχνίδι: A Night in the Forum) (<https://www.youtube.com/watch?v=wORefBXeslo>, <https://www.youtube.com/watch?v=mxlFeFOeliU>).

Για τη δημιουργία όλων των εκδόσεων και των δύο παιχνιδιών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Unity. Ο χρήστης και στα δύο παιχνίδια περιφέρεται στους χώρους και σκοπός του είναι να αποκτήσει πρόσβαση σε όλες τις περιοχές του παιχνιδιού. Η πρόσβαση σε κλειδωμένες περιοχές αποκτάται με τη συλλογή στοιχείων και αντικειμένων από άλλες ξεκλειδωτές περιοχές. Κάθε κλειδωμένη περιοχή παραπέμπει σε στοιχεία και αντικείμενα ξεκλειδωτών περιοχών. Μέσα από αυτή τη συνεχή συλλογή στοιχείων ο χρήστης διαδρά με το ιστορικό περιβάλλον των εφαρμογών. Στις εκδόσεις AR, με την είσοδο του χρήστη σε ξεχωριστό φυσικό χώρο, γινόταν αντίστοιχα αυτόματη φόρτωση διαφορετικών εικονικών αντικειμένων, με χρήση της τοποθεσίας του χρήστη. Πραγματοποιήθηκαν δυο ξεχωριστές έρευνες, μια για κάθε ένα από τα παιχνίδια. Η έρευνα για το σπίτι του Δρ. Jenner είχε δείγμα 20 άτομα και τα εργαλεία έρευνας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η παρατήρηση για το σύνολο των συμμετεχόντων και ερωτηματολόγιο, το οποίο συμπλήρωσαν οι 12 από τους

συμμετέχοντες. Στην έρευνα για την αρχαία ρωμαϊκή αγορά συμμετείχαν 11 επαγγελματίες που έχουν σχέση με τους μουσειακούς χώρους και χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια εργαλεία, με τις ίδιες ερωτήσεις. Σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο ερευνών ήταν ότι στο σπίτι του Δρ. Jenner, κατά τη χρήση του AR περιεχομένου, οι χρήστες βρίσκονταν μέσα στο πραγματικό σπίτι-μουσείο, ενώ στην εφαρμογή AR για την αρχαία αγορά δεν βρίσκονταν εντός της πραγματικής τοποθεσίας, αλλά σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο. Και στα δυο περιβάλλοντα υπήρξε θετική αξιολόγηση των χρηστών σε ένα πλήθος παραγόντων (ευκολία χρήσης, χρησιμότητα, ενδιαφέρον, άνεση, ευχαρίστηση). Επιπρόσθετα, οι χρήστες έδειξαν προτίμηση στην VR εφαρμογή, στο παιχνίδι που αναπαριστούσε την αρχαία αγορά και προτίμηση στην AR εφαρμογή στο παιχνίδι που αναπαριστούσε το σπίτι του Δρ. Jenner. Στα συμπεράσματα, η συγγραφέας εικάζει ότι αυτή η διαφοροποίηση, ίσως να αντανάκλα τη διαφορά στο πλαίσιο της εφαρμογής. Όταν υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης στον φυσικό χώρο τότε προτιμάται η χρήση της AR τεχνολογίας, η οποία χρησιμοποιεί τον αυθεντικό φυσικό χώρο και τον εμπλουτίζει με εικονικά στοιχεία. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου δεν υπάρχει πρόσβαση στον πραγματικό φυσικό χώρο που αναπαρίσταται, τότε προτιμάται περισσότερο η τεχνολογία VR, η οποία συγκλίνει περισσότερο στην ακριβή ιστορική αναπαράσταση.

Οι Christofi et al. (2018) δημιούργησαν λογισμικό ΠΕΕΠ και διερεύνησαν την επίδραση του στην μάθηση, στο ενδιαφέρον και στην αίσθηση παρουσίας των χρηστών στον εικονικό κόσμο. Πρόκειται για προσομοίωση του αρχαιολογικού χώρου της Χοιροκοιτίας στην Κύπρο. Ο χρήστης μπορούσε να περιηγηθεί ελεύθερα στον εικονικό χώρο και να πληροφορηθεί, από ειδικούς σταθμούς πληροφόρησης που ήταν διασκορπισμένοι εντός του. Για την αναπαράσταση του αρχαιολογικού χώρου χρησιμοποιήθηκε ειδικό λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης και το εικονικό περιβάλλον αναπτύχθηκε με χρήση του λογισμικού Unity. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το Oculus Rift με ένα gaming χειριστήριο. Πραγματοποιήθηκε έρευνα με δείγμα 19 επισκέπτες του αρχαιολογικού χώρου. Το ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν pre- και post-tests ερωτηματολόγια. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν θετική γνωστική επίδραση του λογισμικού, θετική αξιολόγηση της παρουσίας στον εικονικό κόσμο και καμία επίδραση στο ενδιαφέρον των χρηστών για την πολιτιστική κληρονομιά.

Μια πρωτότυπη εργασία, αυτή των Häkkinen et al. (2019), αφορά την ανάπτυξη ενός εικονικού κοιμητηρίου του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου. Σκοπός ήταν να διερευνηθεί η εμπύθιση των χρηστών στον εικονικό κόσμο. Η εφαρμογή ΠΕΕΠ παρείχε τη δυνατότητα στον χρήστη να περιηγηθεί στο κοιμητήριο και να ανάψει ένα εικονικό καντήλι. Ως πλατφόρμα εκτέλεσης χρησιμοποιήθηκε το Oculus Rift. Πραγματοποιήθηκε έρευνα με δείγμα έξι χρήστες.

Οι χρήστες συμπλήρωσαν ερωτηματολόγιο, μετά το πέρας χρήσης της εφαρμογής. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν θετική αξιολόγηση της εμπύθισης που προκάλεσε το λογισμικό.

Οι Argyriou et al. (2020) συγκρότησαν ένα πλαίσιο δημιουργίας εφαρμογών ΠΕΕΠ, με χρήση 360° βίντεο. Καρπός του προτεινόμενου πλαισίου ήταν μια εφαρμογή, η οποία αφορούσε σε εικονική περιήγηση στο ιστορικό κέντρο της πόλης του Ρεθύμνου. Η εφαρμογή περιλάμβανε έξι βίντεο 360°, τα οποία ήταν διανθισμένα με γραφικά στοιχεία ενημερωτικού κειμένου. Ο χρήστης προκειμένου να προχωρήσει, θα έπρεπε να αποκαλύψει τα πληροφοριακά στοιχεία. Για τη δημιουργία της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν δύο ηθοποιοί, που προσέφεραν εισαγωγικές πληροφορίες και κατεύθυναν τον χρήστη σε συγκεκριμένες περιοχές των σκηνών, προκειμένου να ανακαλύψει σημαντικά ιστορικά αντικείμενα. Ως εργαλείο αξιολόγησης της προόδου των χρηστών χρησιμοποιήθηκε ένας δείκτης που αντανάκλούσε το ποσοστό ολοκλήρωσης της περιήγησης. Πραγματοποιήθηκε ποσοτική έρευνα ανάμεσα σε δύο διαφορετικές παραλλαγές της ίδιας εφαρμογής, με πλατφόρμα εκτέλεσης το Oculus Quest. Οι παραλλαγές ήταν καθόλα όμοιες, πλην της μεθόδου περιήγησης. Στη μια παραλλαγή χρησιμοποιήθηκαν οι ηθοποιοί, που καθοδηγούσαν τον χρήστη για το πού έπρεπε να περιηγηθεί και στην άλλη παραλλαγή χρησιμοποιήθηκαν δείκτες (βέλη), τα οποία καθοδηγούσαν τον χρήστη. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές μέθοδοι κίνησης στον εικονικό κόσμο: φυσική κίνηση και τηλεμεταφορά. Το δείγμα της έρευνας ήταν 38 φοιτητές και εργαζόμενοι σε Πανεπιστήμιο και ήρθαν σε επαφή με όλα τα μέσα (εκδόσεις/παραλλαγές της εφαρμογής). Τα εργαλεία της έρευνας ήταν η καταγραφή του χρόνου ολοκλήρωσης της περιήγησης και ερωτηματολόγια. Τα ερωτηματολόγια ήταν διαρθρωμένα σε δύο φάσεις: πριν και μετά τη χρήση της εφαρμογής. Τα pre ερωτηματολόγια εστίαζαν σε δημογραφικά στοιχεία και προτιμήσεις και τα post ερωτηματολόγια εστίαζαν στην συνολική εμπειρία χρήσης. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν προτίμηση των χρηστών στην κίνηση με τηλεμεταφορά και στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση της προτίμησης των χρηστών, υπέρ της μεθόδου υποστήριξης της περιήγησης με ηθοποιό. Θετική ήταν η αξιολόγηση της συνολικής εμπειρία χρήσης των εφαρμογών.

Άλλο ένα παράδειγμα λογισμικού ΠΕΕΠ που αναπτύχθηκε για μουσειακή εκπαίδευση είναι αυτό των Miura et al. (2018). Το λογισμικό είναι ένα εικονικό μουσείο, το οποίο αναπτύχθηκε για άτομα με προβλήματα όρασης. Πρόκειται για εικονικό μουσείο τρένων, χωρίς η εργασία να αναφέρει ακριβώς τον τύπο του HMD για το οποίο δημιουργήθηκε. Τα άτομα με προβλήματα όρασης είχαν επιλογή ανάμεσα σε δύο προοπτικές: τη θέαση των αμαξοστοιχιών εξωτερικά και εντός της αμαξοστοιχίας. Ακόμη, υπήρχε η δυνατότητα στον χρήστη να μπορεί να περιστρέψει τις αμαξοστοιχίες και να κάνει zoom in/out σε μηχανικά

μέρη. Για τη δημιουργία της εφαρμογής ΠΕΕΠ έγινε χρήση του λογισμικού Unity και χρησιμοποιήθηκαν scripts σε γλώσσα C#. Εκτός από τη δημιουργία λογισμικού, η εργασία αφορούσε και σε έρευνα χρηστών αναφορικά με το λογισμικό που δημιουργήθηκε. Ζητήθηκε από πέντε χρήστες να χρησιμοποιήσουν το εικονικό μουσείο με HMD. Επιπρόσθετα, ζητήθηκε από τους χρήστες να χρησιμοποιήσουν το εικονικό μουσείο με μια οθόνη 23 ιντσών και να χρησιμοποιήσουν το HMD για να περιηγηθούν σε ένα ακόμα εικονικό μουσείο τρένων, το οποίο όμως προσέφερε λιγότερες δυνατότητες προοπτικής. Οι χρήστες έπρεπε να εντοπίσουν τέσσερα αντικείμενα-στόχους σε κάθε μια από τις περιπτώσεις. Μετά την ολοκλήρωση της διάδρασης με τα μέσα, συμπληρώθηκαν ερωτηματολόγια System Usability Scale (SUS) και ερωτηματολόγια με προσωπικές ερωτήσεις. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι πρώτο μέσο σε ευχρηστία αξιολογήθηκε το εικονικό μουσείο που δημιούργησαν οι συγγραφείς, με χρήση HMD, δεύτερο κατατάχθηκε το εικονικό μουσείο με τις λιγότερες εποπτικές δυνατότητες και τελευταίο το εικονικό μουσείο των συγγραφέων, με χρήση οθόνης.

Η έρευνα των Caputo et al. (2019) αφορούσε στην διερεύνηση της επίδρασης του τρόπου πλοήγησης ενός ΠΕΕΠ λογισμικού. Το λογισμικό ήταν ένα εικονικό μουσείο γλυπτικής. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 26 άτομα ηλικίας 21 έως 34 χρονών. Έγινε χρήση τριών μεθόδων πλοήγησης. Ο πρώτος ήταν η συνηθισμένη τηλεμεταφορά. Ο δεύτερος ήταν το Map Overview Teleport (MOT), όπου ο χρήστης επιλέγει το σημείο τηλεμεταφοράς στον χώρο, έχοντας ευρεία προοπτική, πέραν της συνηθισμένης προοπτικής πρώτου προσώπου. Ο τρίτος τρόπος ήταν πλοήγηση με χρήση μοχλού τηλεχειριστηρίου. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity και η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το Oculus Rift. Όλοι οι συμμετέχοντες χρησιμοποίησαν και τους τρεις τρόπους πλοήγησης. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι η πλοήγηση με χρήση μοχλού χειριστηρίου είχε ως αποτέλεσμα περισσότερα συμπτώματα ζάλης, έναντι των άλλων δύο τρόπων τηλεμεταφοράς. Δεν ανιχνεύτηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε συμπτώματα ζάλης μεταξύ των τρόπων τηλεμεταφοράς. Μεταξύ των τρόπων τηλεμεταφοράς, πρώτη σε προτίμηση επιλέχθηκε η MOT, με στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι της δεύτερης. Τέλος, δεν υπήρξε διαφοροποίηση μεταξύ των δύο τρόπων τηλεμεταφοράς, ως προς τον χρόνο ολοκλήρωσης της περιήγησης.

Ακόμη μια έρευνα που αφορά στη χρήση ΠΕΕΠ λογισμικού μουσειακής εκπαίδευσης είναι αυτή των Caputo et al. (2016). Σκοπός της ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του τρόπου απτικής αλληλεπίδρασης με αντικείμενα του εικονικού κόσμου, στον συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων περιήγησης. Εκτός του τρόπου αλληλεπίδρασης, διερευνήθηκε και η επίδραση του τρόπου περιήγησης. Η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το Oculus

Rift. Για να γίνει εφικτή η απτική διάδραση του χρήστη με τα εικονικά αντικείμενα χωρίς τη χρήση χειριστηρίων, αλλά με τα χέρια, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Leap Motion. Συμμετείχαν 30 άτομα. Οι τρόποι απτικής αλληλεπίδρασης με τα αντικείμενα του λογισμικού ήταν: Αγγίζοντας εικονικά πλήκτρα (display buttons), πραγματοποιώντας ειδική χειρονομία (swipe), αγγίζοντας τα αντικείμενα (object selection) και συλλέγοντας τα αντικείμενα (object picking). Με τη χρήση της απτικής αλληλεπίδρασης το αντικείμενο που είχε επιλεγθεί (ενδεικτικά, έργο τέχνης) εστιαζόταν και εμφανιζόταν συνοδευτικό πληροφοριακό κείμενο. Οι τρόποι περιήγησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: περιστροφή της παλάμης (palm rotation) του χρήστη, τοποθέτηση της παλάμης (palm position) σε απόσταση, άγγιγμα εικονικού πλήκτρου (forward button) και χρησιμοποίηση του γυροσκοπίου ενός smartphone. Ανάλογα με την κίνηση του χρήστη, το avatar κινούταν επιταχυνόμενο ή διακοπτόταν η κίνησή του. Ως ερευνητικό εργαλείο χρησιμοποιήθηκε η καταγραφή του χρόνου ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συμμετέχοντες σημείωσαν λιγότερο χρόνο για τη συμπλήρωση των δραστηριοτήτων, όταν χρησιμοποίησαν το άγγιγμα εικονικού πλήκτρου και την ειδική χειρονομία.

Η έρευνα, των Casu et al. (2015) αφορούσε τη χρήση ΠΕΕΠ για την αλληλεπίδραση των χρηστών με ένα εικονικό μουσείο. Σκοπός της ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του λογισμικού στα κίνητρα για μάθηση των χρηστών. Το ερευνητικό εργαλείο της έρευνας ήταν το ερωτηματολόγιο, που περιείχε ένα σύνολο 36 ερωτήσεων. Εκτός από τις ερωτήσεις που αφορούσαν κίνητρα, το ερωτηματολόγιο περιείχε και ερωτήσεις που αφορούσαν τους παράγοντες: αισθητική (aesthetics), χρηστικότητα (usefulness), ψυχαγωγία (entertainment), απλότητα (simplicity) και επαναχρησιμοποίηση (reuse) του λογισμικού. Συγκροτήθηκαν δυο ομάδες η μια ομάδα αποτελούταν από 12 μαθητές και αλληλεπίδρασε με μια ευρεία οθόνη, ενώ η δεύτερη ομάδα αποτελούνταν από 11 μαθητές και αλληλεπίδρασε με το Oculus Rift. Το λογισμικό απεικόνιζε έργα γλυπτικής. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των κινήτρων υπέρ της ομάδας που χρησιμοποίησε το Oculus Rift. Στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις υπήρξαν στην αισθητική, στη χρηστικότητα, στην ψυχαγωγία, στην απλότητα και στην επαναχρησιμοποίηση του λογισμικού υπέρ της ομάδας που χρησιμοποίησε το Oculus Rift.

Η έρευνα των Cecotti et al. (2020) αφορούσε στην διερεύνηση της χρηστικότητας λογισμικού ΠΕΕΠ. Το λογισμικό ήταν ένα εικονικό μουσείο ζωγραφικής και η πλατφόρμα εκτέλεσης του ήταν το HTC Vive. Για την ανάπτυξη του έγινε χρήση του Unity. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 25 ενήλικες και συγκρότησαν μια ομάδα. Το ερευνητικό εργαλείο ήταν το ερωτηματολόγιο που χορηγήθηκε μετά το πέρας της αλληλεπίδρασης με το

λογισμικό. Εκτός από τις ερωτήσεις που αφορούσαν την αξιολόγηση της χρηστικότητας του λογισμικού, το ερωτηματολόγιο περιλάμβανε ερωτήσεις που αφορούσαν τους εξής παράγοντες: γνωστικό φορτίο (mental demand), κινησιακό φορτίο (physical demand), χρονική απαίτηση (temporal demand), απόδοση στη δραστηριότητα (performance), προσπάθεια (effort), εκνευρισμός (frustration). Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι το λογισμικό αξιολογήθηκε θετικά από τους χρήστες αναφορικά με τη χρηστικότητα του. Το γνωστικό και το κινησιακό φορτίο αξιολογήθηκαν ως χαμηλά. Ομοίως, θετικά αποτελέσματα προέκυψαν και από την αξιολόγηση των υπόλοιπων παραγόντων (χρονική απαίτηση, απόδοση στη δραστηριότητα, προσπάθεια, εκνευρισμός).

Ένα πρωτότυπο λογισμικό ΠΕΕΠ μουσειακής εκπαίδευσης, είναι αυτό των Duer et al. (2020). Το λογισμικό αφορούσε σε προσομοίωση τούνελ-καταφυγίου στρατιωτών του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου. Σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση της εμπύθισης και της ιστορικής ενσυναίσθησης των χρηστών. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το HTC Vive. Η ερευνητική εργασία χρησιμοποίησε ως ερευνητικό εργαλείο τη συνέντευξη, χωρίς να αναφέρεται το μέγεθος του δείγματος. Οι συγγραφείς αναφέρουν θετική επίδραση του λογισμικού στην εμπύθιση και την ιστορική ενσυναίσθηση των χρηστών.

Σε παρόμοιο ερευνητικό πλαίσιο κινείται και η ποιοτική έρευνα των Egea-Vivancos & Agias-Ferrer (2021), η οποία αφορούσε την ανάπτυξη και αξιολόγηση λογισμικού προσομοίωσης αρχαίων Ρωμαϊκών θεάτρων και η πλατφόρμες εκτέλεσης του ήταν το Oculus Rift και το HTC Vive. Σκοπός της έρευνας ήταν η διερεύνηση της μαθησιακής εμπειρίας των χρηστών. Οι συγγραφείς ως ερευνητικό μέσο χρησιμοποίησαν την παρατήρηση των υποκειμένων και κατέγραψαν τα σχόλιά τους αναφορικά με την εμπειρία αλληλεπίδρασης με το λογισμικό. Στην εργασία δεν αναφέρεται το μέγεθος του δείγματος και βάση των σχολίων και της παρατήρησης, προκύπτει θετική αξιολόγηση της μαθησιακής εμπειρίας.

Στην έρευνα των Fabola et al. (2017), το λογισμικό ήταν ένα εικονικό μουσείο που προσομοίαζε εργοστάσιο επεξεργασίας αλιευμάτων του 19ου αιώνα. Η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το Oculus Rift. Πραγματοποιήθηκε μικτή έρευνα με στόχο τη διερεύνηση της ευχρηστίας του λογισμικού. Στο πρώτο στάδιο της έρευνας 13 επισκέπτες του μουσείου αλληλεπίδρασαν με το λογισμικό. Μετά την ολοκλήρωση της αλληλεπίδρασης, συμπλήρωσαν ερωτηματολόγιο και παραχώρησαν ημι-δομημένη συνέντευξη. Τα αποτελέσματα των συνεντεύξεων αποκάλυψαν ότι το λογισμικό ήταν κατάλληλο για εκπαιδευτική εξερεύνηση του παρελθόντος. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις σε δυο ειδικούς επαγγελματίες της μουσειακής εκπαίδευσης. Τέλος, το λογισμικό αξιολογήθηκε και από 9 άτομα στα πλαίσια συνεδρίου. Το μέσο ποιοτικής αξιολόγησης ήταν η συζήτηση με τους χρήστες και η

καταγραφή της από έναν παρατηρητή. Τα αποτελέσματα των ποιοτικών ερευνών αποκάλυψαν θετική αξιολόγηση της ευχρηστίας, της εμπύθισης και δημιουργία θετικών στάσεων για το διδαχθέν αντικείμενο.

Η έρευνα των Fanini et al. (2018) αποσκοπούσε κυρίως στην εξεύρεση τρόπων περιορισμού του φαινομένου simulator sickness. Οι ερευνητές ανέπτυξαν ένα μοντέλο δημιουργίας λογισμικών ΠΕΕΠ. Καρπός του μοντέλου ήταν η ανάπτυξη ενός λογισμικού ΠΕΕΠ μουσειακής εκπαίδευσης. Το λογισμικό προσομοίωσε την αρχαία ρωμαϊκή αγορά του Αυγούστου και για τη δημιουργία του χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Unreal. Πλατφόρμα εκτέλεσης του ήταν το Oculus Rift και το δείγμα της έρευνας ήταν 27 μαθητές Λυκείου. Μέσα στη σκηνή της εφαρμογής, υπήρχαν τοποθετημένα διάσπαρτα αντικείμενα, τα οποία οι χρήστες έπρεπε να τοποθετήσουν στη σωστή θέση. Οι μαθητές αφού διέδρασαν με το λογισμικό, συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και παρατήρηση των συμμετεχόντων. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας έδειξε θετική αξιολόγηση της αίσθησης παρουσίας των χρηστών, καλή επίδοση σε γνωστικές ερωτήσεις που αφορούσαν προσδιορισμό μεγέθους αντικειμένων και μεγάλη ευχρηστία. Τέλος, η πλειοψηφία των χρηστών δεν εμφάνισε κάποιο σύμπτωμα simulator sickness.

Οι Ghani et al. (2016) δημιούργησαν ένα λογισμικό ΠΕΕΠ που προσομοίαζε το ιστορικό τέμενος Kampung Hulu της Μαλαισίας. Σκοπός της ποιοτικής έρευνας, ήταν η διερεύνηση της αίσθησης παρουσίας των χρηστών στο εικονικό περιβάλλον. Πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το Oculus Rift και το δείγμα ήταν 8 Λέκτορες και 12 προπτυχιακοί φοιτητές. Οι χρήστες μπορούσαν να περιηγηθούν ελεύθερα στον εικονικό χώρο και μετά την ολοκλήρωση της περιήγησης, ακολούθησε συνέντευξη. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν αυξημένη αίσθηση παρουσίας των χρηστών στο εικονικό περιβάλλον.

Η έρευνα των Loizides et al. (2014) αφορούσε στην αξιολόγηση της συνολικής εμπειρίας των χρηστών, από τη χρήση λογισμικού ΠΕΕΠ. Το λογισμικό ήταν εικονικό μουσείο βυζαντινής αιογραφίας και για τη δημιουργία του χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Maya και Unity. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν δύο μέσα, το Oculus Rift και μια οθόνη με στεροσκοπικά γυαλιά. Τα 12 άτομα που συμμετείχαν, ήρθαν σε επαφή και με τα δύο μέσα με τυχαία σειρά. ακολούθησε συμπλήρωση ερωτηματολογίου και διενέργεια ημι-δομημένης συνέντευξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν θετική αξιολόγηση των χρηστών της συνολικής εμπειρίας με ΠΕΕΠ λογισμικό και της οθόνης με τα στεροσκοπικά γυαλιά, χωρίς να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά.

Ένα ακόμα ΠΕΕΠ λογισμικό μουσειακής εκπαίδευσης είναι αυτό των Luigini et al. (2020). Το λογισμικό ήταν ένα εικονικό Λαογραφικό μουσείο, μέσω του οποίου ο χρήστης

είχε την ευκαιρία της περιήγησης σε μια παραδοσιακή ιταλική φάρμα. Ακόμη, ο χρήστης μάθαινε την παραδοσιακή συνταγή ψωμιού. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην ανάπτυξη του λογισμικού έτσι ώστε αυτό να αποτελέσει ρεαλιστικό αντίγραφο φυσικού Λαογραφικού μουσείου. Ο χρήστης μπορούσε να περιηγηθεί ελεύθερα στους χώρους της φάρμας. Το λογισμικό περιείχε quiz γνωστικών ερωτήσεων και συμμετοχή σε δραστηριότητες εντός της φάρμας (ενδεικτικά, επιλογή των κατάλληλων συστατικών για την παρασκευή ψωμιού). Η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το Oculus Rift και μετά την ανάπτυξη του λογισμικού, ακολούθησε έρευνα που σκοπό είχε τη διερεύνηση της γνωστικής επίδρασης και της συνολικής εμπειρίας των χρηστών. Χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγια, τα οποία συμπληρώνοντας οι χρήστες αξιολόγησαν 12 παράγοντες: προσαρμογή ταχύτητας, εμπλοκή με το εικονικό περιβάλλον, πλοήγηση στο εικονικό περιβάλλον, ρεαλιστικότητα, ποιότητα εικονικού περιβάλλοντος, αρέσκεια, συναίσθημα εξερεύνησης, συναίσθημα απάντησης, παροχή βοήθειας για εκμάθηση, εκμάθηση μέσω του παιχνιδιού, χρησιμότητα vs απόλαυση και εκτιμώμενη μάθηση. Το δείγμα της έρευνας ήταν 36 μαθητές δημοτικού ηλικίας 7 έως 10 ετών. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν θετική αξιολόγηση του συνόλου των παραγόντων από τους χρήστες και 17 ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ παραγόντων. Μετά από μια εβδομάδα ακολούθησε νέα συμπλήρωση ερωτηματολογίου από τους χρήστες, με στόχο την περαιτέρω διερεύνηση της γνωστικής επίδρασης του λογισμικού. Στα συμπεράσματα της ερευνητικής εργασίας γίνεται λόγος για πιθανή συσχέτιση της ηλικίας των υποκειμένων με την μαθησιακή επίδραση της εφαρμογής. Αν και το μέγεθος δείγματος δεν επιτρέπει γενικεύσεις, οι ερευνητές εικάζουν ότι η εκπαιδευτική χρήση της ΠΕΕΠ έχει περισσότερο θετική μαθησιακή επίδραση σε υποκείμενα ηλικίας εννέα ετών και πάνω. Σε μικρότερες ηλικίες (επτά και οκτώ ετών) ανιχνεύεται λιγότερο θετική μαθησιακή επίδραση, μιας και τα υποκείμενα αποσπώνται από την παιχνίδι φύση του λογισμικού.

Οι Marín-Morales et al. (2019) σύγκριναν την πλοήγηση των συμμετεχόντων σε φυσικό και σε εικονικό μουσειακό χώρο. Για τις ανάγκες της έρευνας αναπτύχθηκε ένα εικονικό μουσείο το οποίο είχε ως θέμα έργα που αφορούσαν το Ολοκαύτωμα. Για τη δημιουργία του έγινε χρήση του λογισμικού Unity και η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το HTC Vive. Το δείγμα της έρευνας ήταν 60 ενήλικα άτομα, τα οποία συγκρότησαν τις δύο ομάδες της έρευνας. Η πρώτη ομάδα των 30 ατόμων επισκέφθηκε το φυσικό μουσείο και η δεύτερη ομάδα το εικονικό. Για την ακριβή καταγραφή της περιήγησης των υποκειμένων στον φυσικό μουσειακό χώρο, χρησιμοποιήθηκε ειδικού τύπου κάμερα, την οποία έφεραν στο στήθος. Πριν από την περιήγηση της δεύτερης ομάδας στο εικονικό μουσείο, προηγήθηκε περιήγηση σε ένα πειραματικό περιβάλλον ΠΕΕΠ, προκειμένου οι συμμετέχοντες να αναπτύξουν δεξιότητες

χρήσης της πλατφόρμας εκτέλεσης. Μετά την ολοκλήρωση της περιήγησης στο εικονικό μουσείο, τα υποκείμενα συμπλήρωσαν ερωτηματολόγιο. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν αυξημένη αίσθηση παρουσίας στο εικονικό περιβάλλον. Θετικό στοιχείο επίσης αποτελεί η μη αναφορά φαινομένου simulator sickness, λόγω της χρήσεως πλοήγησης τύπου τηλεμεταφοράς. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση του χρόνου και της επιφάνειας περιήγησης μεταξύ του φυσικού και του εικονικού μουσείου. Φάνηκε ότι οι χρήστες τόσο του λογισμικού ΠΕΕΠ, όσο και του φυσικού μουσείου ακολούθησαν παρόμοια μοτίβα κίνησης στον χώρο. Σε δύο από τα συνολικά πέντε δωμάτια ανιχνεύθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις του χρόνου παραμονής. Σε αυτά τα δωμάτια οι επισκέπτες του φυσικού μουσείου έμειναν για περισσότερο χρόνο. Αυτό ενδέχεται να συνέβη γιατί το ΠΕΕΠ λογισμικό χρησιμοποίησε πλοήγηση τύπου τηλεμεταφοράς, με αποτέλεσμα ο χρήστης να κάνει άλματα στον χώρο. Αναφορικά με το ποσοστό της επιφάνειας περιήγησης, τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι το φυσικό μουσείο εξερευνήθηκε περισσότερο, ωστόσο μόνο σε ένα από τα πέντε δωμάτια ανιχνεύεται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση. Τέλος, από τα δεδομένα χρόνου φάνηκε ότι οι γραμματοσειρές που συνόδευαν τα εκθέματα στο εικονικό μουσείο είναι λιγότερο ευανάγνωστες από ότι αυτές του φυσικού.

Ακόμα ένα λογισμικό ΠΕΕΠ που αφορούσε στη διδασκαλία πολιτιστικής κληρονομιάς είναι το *Celestial Breeze*. Το παιχνίδι που είχε σκοπό την οικοδόμηση γνώσεων για την κουλτούρα διαφορετικών Ευρωπαϊκών χωρών. Το λογισμικό αναπτύχθηκε από τους Pappa et al. (2018) και μετά την ανάπτυξη του αξιολογήθηκε από 20 χρήστες. Ο χρήστης κατά την περιήγηση, ήταν σε θέση να δει αντικείμενα από διαφορετικές Ευρωπαϊκές πρωτεύουσες, τα οποία συνοδεύονταν από τη σημαία της κάθε χώρας. Κοντά σε κάθε αντικείμενο-έκθεμα, υπήρχε πληροφοριακό κείμενο. Επιλέχθηκαν αντικείμενα ανήκοντα σε χώρες που συμμετέχουν στα εκπαιδευτικά προγράμματα ERASMUS της Ε.Ε. Το δείγμα της έρευνας διαχωρίστηκε σε δύο επιμέρους ίσες ομάδες και η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το Oculus Rift. Η πρώτη ομάδα αποτελούνταν από άτομα ηλικίας 19-35 ετών, ενώ η δεύτερη ομάδα αποτελούνταν από άτομα ηλικίας 14-18 ετών. Σκοπός της έρευνας ήταν διερεύνηση της μαθησιακής και συναισθηματικής επίδρασης του λογισμικού. Στις δύο ομάδες χορηγήθηκαν ερωτηματολόγια πριν και μετά την ολοκλήρωση της διάδρασης τους με το λογισμικό. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι η ομάδα των ενηλίκων παρουσίασε βελτιωμένη γνωστική απόδοση μετά τη χρήση του λογισμικού. Στην ομάδα των παιδιών 14-18 ετών ανιχνεύτηκε σχεδόν αμελητέα γνωστική διαφοροποίηση μεταξύ των δυο τεστ. Η πλειοψηφία των χρηστών δήλωσε ότι διασκέδασε με τη χρήση του λογισμικού ΠΕΕΠ.

Η έρευνα των Slater et al. (2018) αφορούσε στη διερεύνηση της βίωσης ενός ιστορικού γεγονότος μέσω της χρήσης λογισμικού ΠΕΕΠ. Το λογισμικό προσομοίωνε γεγονότα που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της Οκτωβριανής Επανάστασης στη Ρωσία. Η ανάπτυξη του λογισμικού βασίστηκε σε μια ιστορική φωτογραφία που απεικονίζει τον Λένιν να εκφωνεί λόγο ενώπιον του Κόκκινου Στρατού, στη Μόσχα το 1920. Δημιουργήθηκαν τρεις προοπτικές του λογισμικού. Η πρώτη προοπτική ήταν ο χρήστης να είναι ο Λένιν αρχικά και μετέπειτα να είναι ένα άτομο του πλήθους. Η δεύτερη ήταν ο χρήστης να είναι μέλος του πλήθους που παρακολουθεί την ομιλία και η τρίτη προοπτική ήταν ο χρήστης να παρακολουθεί την ομιλία από απόσταση. Αντίστοιχα, συγκροτήθηκαν τρεις ομάδες συνολικά 60 συμμετεχόντων. Πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το HTC Vive. Για την ανάπτυξη του έγινε χρήση των λογισμικών Maya και Unity. Το ερευνητικό εργαλείο ήταν ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο συμπληρώνονταν από τους χρήστες μετά από τη χρήση του λογισμικού. Ακόμη, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες, μέσα σε διάστημα τριών εβδομάδων, επίσκεψη σε ιστοσελίδα με πρόσθετο πληροφοριακό υλικό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι περισσότερη αίσθηση παρουσίας στον εικονικό κόσμο ανιχνεύεται στις δύο πρώτες προοπτικές. Αναφορικά με την αληθοφάνεια, η δεύτερη προοπτική παρουσιάζει θετικότερη αξιολόγηση. Οι χρήστες που διέδρασαν με την πρώτη προοπτική, ήταν αυτοί που σε μεγαλύτερο ποσοστό επισκέφθηκαν την ιστοσελίδα.

Το λογισμικό Tomb of Sultan των See et al. (2018) αποτελεί ακόμα μια περίπτωση λογισμικού ΠΕΕΠ που αναπτύχθηκε με στόχο τη μουσειακή εκπαίδευση. Προσομοίωνε τον τάφο του σουλτάνου Χουσεΐν Σχάχ (Hussein Shah) του 19^{ου} αιώνα και η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το σύστημα Samsung Odyssey. Το δείγμα ήταν 18 άτομα. Το σύνολο των χρηστών χρησιμοποίησε το λογισμικό με δύο τρόπους χειρισμού: χρησιμοποιώντας είτε εικονικά χέρια είτε χειριστήρια. Ο χρήστης μπορούσε να περιηγηθεί στον εικονικό κόσμο για χρόνο πέντε λεπτών και μέσα σε αυτόν τον χρόνο θα έπρεπε να συλλέξει άνθη και να τα αποθέσει στον τάφο του σουλτάνου. Μετά την ολοκλήρωση της διάδρασης με το λογισμικό, τα υποκείμενα συμπλήρωσαν ερωτηματολόγιο που αποσκοπούσε στη διερεύνηση της ευχρηστίας του λογισμικού και επίσης καταγράφηκαν σχόλια των συμμετεχόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις στην ευχρηστία χειρισμού υπέρ των εικονικών χεριών, έναντι των χειριστηρίων.

Μία ακόμα έρευνα που αφορούσε σε λογισμικό ΠΕΕΠ είναι αυτή των Andreoli et al. (2017). Ζητήθηκε από 72 συμμετέχοντες, οι οποίοι ήταν φοιτητές, εργαζόμενοι και καθηγητές στο Πανεπιστήμιο του Σαλέρνο, να χρησιμοποιήσουν ένα ΠΕΕΠ λογισμικό που προσομοίαζε ένα ρωμαϊκό παλάτι. Εκτός από περιήγηση, το λογισμικό περιείχε και επίλυση γρίφου. Σκοπός

της έρευνας ήταν η αξιολόγηση ενός πλαισίου ανάπτυξης και αξιολόγησης εκπαιδευτικών λογισμικών ΠΕΕΠ, με θέμα την πολιτιστική κληρονομιά. Για την ανάπτυξη του λογισμικού χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Unity και 3DS MAX. Πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το Oculus Rift. Η έρευνα διαρθρώθηκε σε τρεις φάσεις:

- Προκαταρκτική έρευνα: Στο στάδιο αυτό οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο, που αφορούσε σε δημογραφικά στοιχεία, εμπειρία στη χρήση βιντεοπαιχνιδιών και πιθανή ευαισθησία σε ζητήματα ιλίγγου και ισορροπίας.
- Διάδραση με το λογισμικό: Σε αυτό το στάδιο οι συμμετέχοντες χρησιμοποίησαν το λογισμικό. Ζητήθηκε η ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας εντός συγκεκριμένου χρόνου και κατόπιν ζητήθηκε η συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου που σκοπό είχε τον προσδιορισμό της αίσθησης παρουσίας.
- Επιπλέον έρευνα: Στην τελευταία φάση, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο που στόχευε στη συλλογή των αντιλήψεων αναφορικά με τη χρησιμότητα του λογισμικού. Το ερωτηματολόγιο ανέχνευε εάν οι χρήστες θα πρότειναν το λογισμικό και σε κάποιον φίλο τους. Εκτός των άλλων ερωτήσεων, ζητήθηκε από τους χρήστες να απαντήσουν σε ερώτηση γνωστικού τύπου και ακόμη ζητήθηκε η απάντηση σε ερωτήσεις που ανέχνευαν ζάλη από τη χρήση του εικονικού κόσμου.

Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν θετική γνωστική επίδραση του λογισμικού, θετική αξιολόγηση των χρηστών ως προς την απόλαυση (enjoyment), τα κίνητρα (motivation), την αισθητική (aesthetics), την εμπύθιση (immersion) και τον έλεγχο (control). Τέλος, ανιχνεύθηκε simulator sickness σε αρκετά μεγάλο αριθμό ατόμων.

Τέλος, οι Zhao et al. (2018) κατασκεύασαν ένα εικονικό μουσείο, στο οποίο ο χρήστης είχε αίσθηση της αφής, τόσο με τα χέρια, όσο και με τα πόδια του. Το θέμα του μουσείου ήταν αρχαία κινεζικά έργα τέχνης και η πλατφόρμα εκτέλεσης ήταν το σύστημα HTC Vive με προσθήκη του Leap Motion. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity. Καινοτομία του μουσείου αποτέλεσε ο συνδυασμός εικονικών και φυσικών αντικειμένων. Ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να περιηγηθεί ελεύθερα στον εικονικό κόσμο και να θαυμάσει τα εκθέματα. Κάποια αντικείμενα στον εικονικό κόσμο συνυπήρχαν στην ίδια θέση με τα φυσικά αντικείμενα. Για παράδειγμα, όταν ο χρήστης έπιανε το εικονικό αρχαίο δοχείο, έπιανε ταυτόχρονα και ένα φυσικό αντίγραφο του αρχαίου δοχείου, το οποίο καταλάμβανε την ίδια θέση στον χώρο. Εκτός από τα εκθέματα, η ίδια τεχνική εφαρμόστηκε και σε κομμάτια του δαπέδου. Αξιολογήθηκε η εμπειρία χρήσης και η εμπύθιση. Το δείγμα συγκρότησαν τρεις ομάδες συμμετεχόντων με συνολικό αριθμό 18 ατόμων. Κάθε ομάδα διέδρασε με διαφορετικό

μέσο και συμπλήρωσε pre- και post-tests. Τα τρία μέσα που χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα από τις τρεις ομάδες ήταν: οθόνη, HTC Vive και HTC Vive μαζί με φυσικά αντικείμενα. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν υπεροχή της αίσθησης παρουσίας όταν χρησιμοποιείται λογισμικό ΠΕΕΠ, που υποστηρίζεται και με φυσικά αντικείμενα. Όμως, δεν ανιχνεύτηκε διαφορά στη μαθησιακή επίδραση μεταξύ των τριών μέσων.

4.10. Λογισμικά μουσειακής εκπαίδευσης ΠΕΕΠ με θέμα την αρχαία Ελληνική τεχνολογία

Ενώ, όπως φαίνεται από τα προλεγόμενα, μεγάλο πλήθος λογισμικών μουσειακής εκπαίδευσης αναπτύσσεται για μια πληθώρα τεχνολογιών και πλατφορμών εκτέλεσης, στον τομέα της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας εντοπίστηκαν μόνο δύο λογισμικά, τα οποία αφορούν στην ΠΕΕΠ και χρησιμοποιούν ως πλατφόρμα εκτέλεσης το Oculus Rift. Πρόκειται για δύο πολύ εντυπωσιακά λογισμικά που είναι έργα ομάδας επιστημόνων Πληροφορικής. Το πρώτο αφορά εικονικό μουσείο των θραυσμάτων του μηχανισμού των Αντικυθήρων (Anastasovitis & Roumeliotis, 2017). Ο χρήστης έχει την ευκαιρία να χρησιμοποιήσει όραση ακτίνων X, μέσω των χειριστηρίων, προκειμένου να εξερευνήσει τα σωζόμενα θραύσματα του μηχανισμού.

Το δεύτερο λογισμικό είναι το «Palace of Agai» (Anastasovitis et al., 2017). Το λογισμικό έχει ως σκοπό την αλληλεπίδραση με το ανάκτορο του αρχαίου Μακεδόνα βασιλέα Φιλίππου του δεύτερου, πατέρα του Μεγάλου Αλεξάνδρου. Η δομική τεχνολογία των αρχαίων Ελλήνων αποτελεί ένα σημαντικό κεφάλαιο της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας, με το οποίο έχουν ασχοληθεί αρκετοί ερευνητές (ενδεικτικά, Τάσιος, Κοτσανάς). Για τη δημιουργία του λογισμικού και την ακριβή απόδοση της περιοχής του παλατιού στον εικονικό κόσμο, χρησιμοποιήθηκαν λήψεις από drones. Αρχικά ο χρήστης παρατηρεί τον αρχαίο χώρο με τα ερείπια, σε μέγεθος μακέτας. Κατόπιν, με βάση τις πληροφορίες που παίρνει από τον εικονικό κόσμο, εκτυπώνει κομμάτια του παλατιού σε έναν εικονικό τρισδιάστατο εκτυπωτή (ενδεικτικά, κίονας) και τα τοποθετεί στη σωστή θέση.

4.11. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι αναπτυσσόμενες τεχνολογίες ΤΠΕ, έχουν επιδράσει ποικιλοτρόπως στη μουσειακή εκπαίδευση. Καρπός αυτής της επίδρασης είναι η πληθώρα λογισμικών μουσειακής εκπαίδευσης, τα οποία καλύπτουν κάθε τομέα των ΤΠΕ: από την απλή εικονική περιήγηση σε κάποιο μουσείο μέσω video 360° και τις απλές δισδιάστατες παιχνιδίσιμες εφαρμογές, μέχρι προηγμένα συστήματα CAVE και ΠΕΕΠ. Έρευνες που έχουν

πραγματοποιηθεί αποκαλύπτουν ευεργετική επίδραση, τόσο σε γνωστικό, όσο και σε συναισθηματικό επίπεδο, από τη χρήση ΤΠΕ στον χώρο της μουσειακής εκπαίδευσης. Οι έρευνες σε μουσειακά λογισμικά ΕΠ αποκάλυψαν θετική επίδραση σε ένα πλήθος παραγόντων (ενδεικτικά, ευκολία χρήσης, ενδιαφέρον, άνεση, ευχαρίστηση). Το κεφάλαιο λόγω της στόχευσης της διατριβής, εστίασε περισσότερο σε έρευνες ΠΕΕΠ. Οι έρευνες κινήθηκαν γύρω από ένα μεγάλο πλήθος παραγόντων (ενδεικτικά, ευκολία χρήσης, ενδιαφέρον, άνεση, ευχαρίστηση, παρουσία, αποδοχή, αληθοφάνεια, μαθησιακή απόδοση). Οι περισσότερες από τις έρευνες χρησιμοποίησαν μόνο ΠΕΕΠ, ενώ λίγες και άλλα μέσα (ενδεικτικά, AR tablet, οθόνη). Τα αποτελέσματα των ερευνών δείχνουν θετική επίδραση της ΠΕΕΠ στο σύνολο των ερευνώμενων παραγόντων. Όταν όμως ερευνάται η επίδραση της ΠΕΕΠ συγκριτικά με άλλα μέσα, τα αποτελέσματα είναι ασαφή. Σε κάποιες έρευνες η ΠΕΕΠ υπερτερεί έναντι του άλλου μέσου (ενδεικτικά, Casu et al., 2015 στους παράγοντες: κίνητρα χρήσης, αισθητική, χρηστικότητα, ψυχαγωγία, απλότητα), ενώ σε άλλες δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση υπέρ της ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, Loizides et al., 2014 στη συνολική εμπειρία του χρήστη, Zhao et al., 2018 στη γνωστική επίδραση). Από την πληθώρα των ειδών των λογισμικών, φάνηκε ότι υπάρχουν λογισμικά, τα οποία αφορούν σε μουσειακή εκπαίδευση, όμως δεν αναφέρονται ως τέτοια και ότι ο όρος «λογισμικό μουσειακής εκπαίδευσης» είναι σχετικός. Τέλος, αναδείχθηκε ότι παρόλη την μεγάλη ανάπτυξη λογισμικών γενικά για τη μουσειακή εκπαίδευση και παρόλη την ανάπτυξη προγραμμάτων μουσειακής εκπαίδευσης για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία από τα αντίστοιχα θεματικά μουσεία, μόνο δυο λογισμικά έχουν αναπτυχθεί εντός των πλαισίων της ΠΕΕΠ, με θέμα την αρχαία Ελληνική τεχνολογία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ 6DOF ΗΜDS ΣΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΓΙΑ ΜΟΥΣΕΙΑΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΟΝ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟ

5.1. Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν λογισμικά και έρευνες, γύρω από τη μουσειακή εκπαίδευση. Προκειμένου να συστηματοποιηθούν όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και για να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα, στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών που αφορούν λογισμικά ΠΕΕΠ, με θέμα τη μουσειακή εκπαίδευση. Η παρούσα ανασκόπηση γίνεται με βάση το διάγραμμα PRISMA.

5.2. Είδη ανασκοπήσεων

Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται αρκετά είδη ανασκοπήσεων. Παραδείγματα αποτελούν η μετά-ανάλυση (meta-analysis), η ανασκόπηση πεδίου ενδιαφέροντος (scoping review), η συστηματική ανασκόπηση (systematic review) και η κριτική ανασκόπηση (critical review). Ακολουθεί επιγραμματική περιγραφή τους (Grant & Booth, 2009· Munn et al., 2018):

- **Συστηματική ανασκόπηση (systematic review):** Έχει ως σκοπό τη συστηματική συγκέντρωση, αξιολόγηση και σύνθεση δευτερογενών δεδομένων. Αυτό το είδος ανασκόπησης καλύπτει συνήθως ένα μεγάλο εύρος ερευνών και βασίζεται σε ποιοτικά κριτήρια προκειμένου να εντάξει ή να απορρίψει ερευνητικά άρθρα.
- **Ταχεία ανασκόπηση (rapid review):** Έχει ως σκοπό την ταχεία συγκέντρωση δεδομένων, μέσω της χρησιμοποίησης μεθόδων συστηματικής ανασκόπησης, προκειμένου να συλλέξει και να αξιολογήσει (ποιοτικά ή ποσοτικά) δευτερογενή δεδομένα. Στην πραγματικότητα, η ταχεία ανασκόπηση ομοιάζει με μια συστηματική ανασκόπηση, στην οποία κάποια βήματα έχουν απλοποιηθεί ή παραληφθεί, προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα.
- **Μετά-ανάλυση (meta-analysis):** Η μετά-ανάλυση συνδυάζει με στατιστικές μεθόδους τα αποτελέσματα ποσοτικών ερευνών, προκειμένου να παράγει ακριβέστερα αποτελέσματα.
- **Κριτική ανασκόπηση (critical review):** Έχει ως σκοπό να παρουσιάσει τον βαθμό κατά τον οποίο ο συγγραφέας έχει εκτενώς μελετήσει και αξιολογήσει τη βιβλιογραφία. Συνήθως, η κριτική ανασκόπηση καταλήγει στην εκφορά μιας υπόθεσης ή την πρόταση κάποιου μοντέλου.

- Ανασκόπηση πεδίου (scoping review): Έχει ως σκοπό να παρέχει μια εικόνα των διαθέσιμων ερευνητικών στοιχείων, χωρίς να απαντά απαραίτητα σε κάποιο διακριτό ερευνητικό ερώτημα.
- Ανασκόπηση αιχμής (state of the art review): Η ανασκόπηση αιχμής τείνει να είναι προσανατολισμένη σε σύγχρονα ερευνητικά θέματα. Μπορεί να προσφέρει καινούργιες προοπτικές ή να επισημάνει καινούργια πεδία επέκτασης των επιστημονικών ερευνών.

5.3. Η παρούσα ανασκόπηση

Η παρούσα ανασκόπηση είναι πρωτότυπη, καθώς, κατά τη διάρκεια της συγγραφής της διατριβής δεν εντοπίστηκαν ανασκοπήσεις που να καλύπτουν το ίδιο θέμα. Η μοναδική ανασκόπηση που εντοπίστηκε και θα μπορούσε, κατά κάποιον τρόπο να λεχθεί ότι συγκλίνει μερικώς προς το θέμα, είναι αυτή των Machidon et al. (2018), με τίτλο: «*Virtual humans in cultural heritage ICT applications*». Είναι τύπου σφαιρικής ανασκόπησης (overview review) και δεν συγκεντρώνει εμπειρικές έρευνες αναφορικά με τη χρήση της ΠΕΕΠ στην μουσειακή εκπαίδευση και στον πολιτισμό, αλλά σκοπός της ήταν να συγκεντρώσει και να αξιολογήσει συγκριτικά, λογισμικά ΠΕΕΠ, που αφορούν στην πολιτιστική κληρονομιά. Συνεπώς, η παρούσα ανασκόπηση θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη στη μελέτη των μαθησιακών και εμπειρικών επιδράσεων της ΠΕΕΠ, στη μουσειακή εκπαίδευση, καθώς σκοπός της είναι η διερεύνηση της μαθησιακής επίδρασης, αλλά και άλλων συσχετιζόμενων παραγόντων με τη συνολική εμπειρία χρήσης, συστημάτων ΠΕΕΠ 6DoF HMDs, στη μουσειακή εκπαίδευση και στην εκπαίδευση στον πολιτισμό. Συνεπώς, τα ερευνητικά ερωτήματα που διερευνήθηκαν είναι:

- Ποια είναι η γνωστική επίδραση των εφαρμογών ΠΕΕΠ, δηλαδή αυτών που χρησιμοποιούν 6DoF HMDs και που αφορούν τη μουσειακή εκπαίδευση και την εκπαίδευση στον πολιτισμό;
- Ποιοι παράγοντες επιδρούν στη μαθησιακή και ευρύτερη εμπειρία των χρηστών των παραπάνω εφαρμογών;

5.3.1. Επιλογή είδους ανασκόπησης: Ανασκόπηση πεδίου (scoping review)

Για να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα, επιλέχθηκε η ανασκόπηση πεδίου (scoping review). Η ανασκόπηση πεδίου συγκεντρώνει και αξιολογεί βιβλιογραφικά δεδομένα, γύρω από ένα θέμα. Στην παρούσα ανασκόπηση, το θέμα ήταν η γνωστική επίδραση και η επίδραση

παραγόντων συσχετιζόμενων με την εμπειρία χρήσης, συστημάτων ΠΕΕΠ με 6DoF HMDs, με στόχο τη μουσειακή εκπαίδευση και την εκπαίδευση στον πολιτισμό. Όπως αναφέρθηκε, η ανασκόπηση πεδίου αποτελεί ιδανικό εργαλείο, το οποίο καθορίζει το εύρος της βιβλιογραφίας, γύρω από ένα θέμα (Munn et al., 2018). Εκτός από τον καθορισμό του όγκου της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, προσφέρει πληροφορίες για το πού εστιάζει. Σύμφωνα με τους Arksey & O'Malley (2005) η ανασκόπηση πεδίου:

- Εξετάζει την έκταση, το εύρος και τη φύση της ερευνητικής δραστηριότητας. Αποτελεί έναν χρήσιμο τρόπο χαρτογράφησης πεδίων επιστημονικής έρευνας, όπου είναι δύσκολο να καθοριστεί το εύρος των δεδομένων που είναι διαθέσιμα.
- Μπορεί να προσδιορίσει την αξία της εκπόνησης μιας πλήρους συστηματικής ανασκόπησης. Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται μια προκαταρκτική χαρτογράφηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, με στόχο την επιβεβαίωση των προϋποθέσεων διεξαγωγής μιας συστηματικής ανασκόπησης.
- Συνοψίζει και επικοινωνεί τα ευρήματα των υπό εξέταση ερευνών.
- Εντοπίζει κενά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Η επισκόπηση πεδίου διαρθρώνεται σε έξι επιμέρους στάδια (Arksey & O'Malley, 2005· Peterson et al., 2017):

- Προσδιορισμός ερευνητικών ερωτημάτων.
- Προσδιορισμός σχετικών μελετών.
- Επιλογή μελετών.
- Χαρτογράφηση δεδομένων.
- Σύγκριση δεδομένων.
- Συζήτηση-συμπεράσματα.

5.3.2. Αναζήτηση σε αποθετήρια

Για να συγκεντρωθούν τα άρθρα της ανασκόπησης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω επιστημονικά αποθετήρια:

- Google Scholar: Το Google Scholar (<https://scholar.google.com>) είναι μια μηχανή αναζήτησης επιστημονικών άρθρων, περιοδικών και βιβλίων. Μια από τις ευκολίες που προσφέρει, είναι η δυνατότητα του καθορισμού του χρονικού διαστήματος αναζήτησης των άρθρων. Επιπρόσθετα, με την επιλογή ενός εικονιδίου, παραθέτει τη βιβλιογραφική αναφορά του κάθε άρθρου σε τρία πρότυπα: MLA, APA και ISO 960.
- Science Direct: Το Science Direct (<https://www.sciencedirect.com>) είναι ένας ιστότοπος των ακαδημαϊκών εκδόσεων ELSEVIER. Ο ιστότοπος προσφέρει πολλά

φίλτρα αναζήτησης και είναι δυνατός ο καθορισμός του χρονικού διαστήματος αναζήτησης, του είδους των άρθρων (ενδεικτικά, περιλήψεις συνεδρίων, κεφάλαια βιβλίων, ερευνητικά άρθρα), του εκδότη, του επιστημονικού πεδίου (ενδεικτικά, κοινωνικές επιστήμες, επιστήμες μηχανικού) και του τύπου πρόσβασης (ενδεικτικά open access).

- Scopus: Το Scopus (<https://www.scopus.com/>) αποτελεί τη μεγαλύτερη βάση δεδομένων και παρέχει πολλά φίλτρα που βοηθούν τον προσδιορισμό της αναζήτησης όπως γλώσσα, είδος πηγής (ενδεικτικά, περιοδικό), χώρα προέλευσης, ερευνητικό πεδίο, έτος και όνομα συγγραφέα.
- ERIC: Ο ιστότοπος ERIC (<https://eric.ed.gov>) είναι μια ανοιχτή διαδικτυακή βιβλιοθήκη, που υποστηρίζεται από το υπουργείο παιδείας των ΗΠΑ και προσφέρει πρόσβαση σε αρχεία από το 1966.

Η ανασκόπηση πεδίου βασίστηκε σε λέξεις κλειδιά. Οι λέξεις αυτές αφορούν δύο επιστημονικά πεδία (μουσειακή εκπαίδευση, Εικονική Πραγματικότητα) και χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι μεταξύ τους συνδυασμοί. Οι λέξεις κλειδιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Το χρονικό πλαίσιο της ανασκόπησης ορίστηκε από το 2010 έως το 2021. Επειδή η συγκεκριμένη ανασκόπηση εστιάζει σε HMDs προηγμένης τεχνολογίας και δυνατοτήτων (6DoF HMDs), ουσιαστικά, το χρονικό πλαίσιο μετατίθεται από το 2015 ως το παρόν, γιατί το έτος 2015 κυκλοφόρησαν οι πρώτες συσκευές HMD 6DoF, οι οποίες απευθύνονται στο ευρύ κοινό. Ωστόσο, επειδή εκτός από αυτές τις συσκευές, κάποιες εταιρίες και οργανισμοί (ενδεικτικά, NASA, VPL) κατασκεύασαν προηγμένα HMDs πριν το 2015, το διάστημα ορίστηκε από το 2010, προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν εφαρμογές σε μουσειακή εκπαίδευση.

Πίνακας 3. Λέξεις-κλειδιά ανά επιστημονικό πεδίο

Μουσειακή Εκπαίδευση/Εκπαίδευση στον πολιτισμό	Εικονική Πραγματικότητα
Cultural, Museum, Heritage	HMD(s), Oculus Rift, Oculus Quest, HTC VIVE, fully immersive virtual reality

Όπως προβλέπεται από την ανασκόπηση πεδίου, χρησιμοποιήθηκαν κριτήρια αποκλεισμού άρθρων, που ήταν τα ακόλουθα:

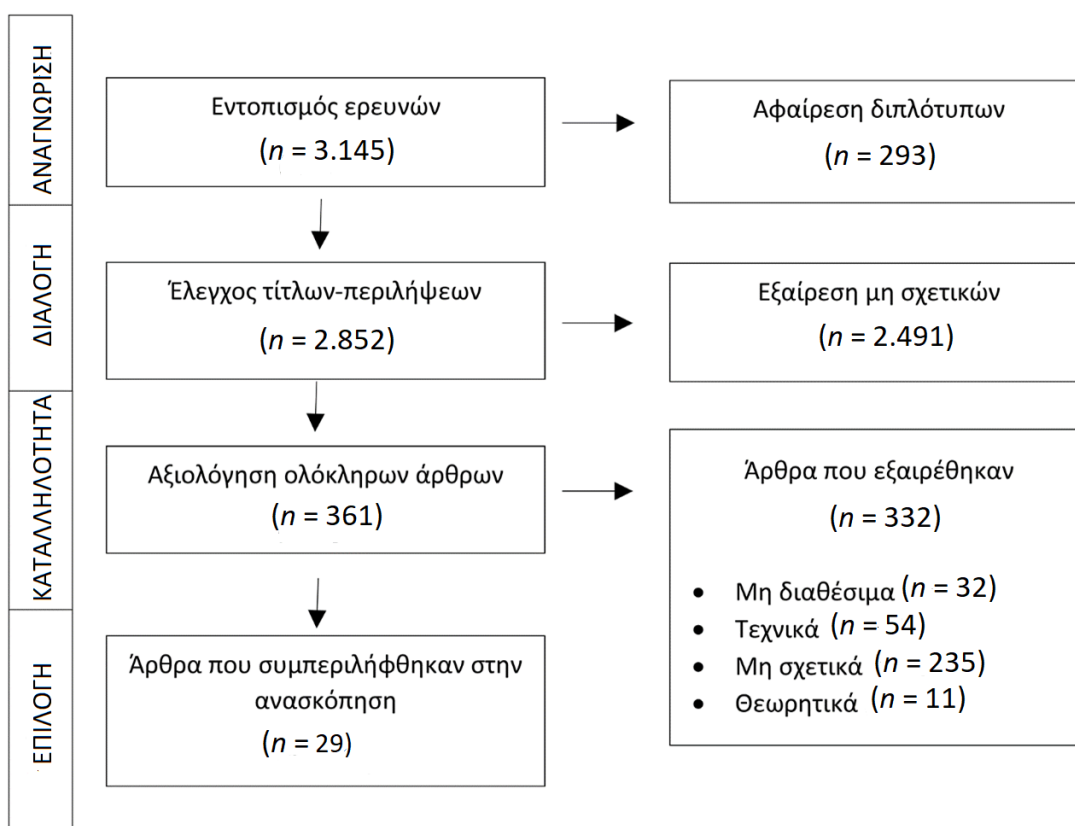
- Τεχνολογικά: Η έρευνα περιλαμβάνει εφαρμογές σε προηγμένης τεχνολογίας HMDs, επομένως αποκλείστηκαν συσκευές με χαμηλή αίσθηση εμπύθισης (ενδεικτικά, Google Cardboard).
- Είδους: Εξαιρέθηκαν κλειδωμένα άρθρα, άρθρα που ήταν προσβάσιμη μόνο η περίληψη τους ή μέρος τους. Εξαιρέθηκαν άρθρα που δεν περιλάμβαναν κάποια μορφή έρευνας (τεχνικά, θεωρητικά, ανασκοπήσεις) καθώς και πτυχιακές/διπλωματικές εργασίες).

5.3.3. Το διάγραμμα ροής PRISMA

Η διαδικασία επιλογής των άρθρων βασίστηκε στο διάγραμμα ροής Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Moher et al., 2009). Το διάγραμμα ροής PRISMA τυποποιεί την διαδικασία ανασκόπησης, προσδίδοντας της διαφάνεια. Διαρθρώνεται σε τέσσερα στάδια (Moher et al., 2009):

- Αναγνώριση (identification).
- Διαλογή (screening).
- Καταλληλότητα (eligibility).
- Επιλογή (included).

Το πρώτο στάδιο, αυτό της αναγνώρισης των άρθρων, περιλαμβάνει τη συλλογή άρθρων από τις βάσεις δεδομένων και από άλλες πηγές. Μετά τη συγκέντρωση του αρχικού σώματος των άρθρων, γίνεται έλεγχος για διπλότυπα και αυτά αφαιρούνται. Μετά την αφαίρεση των διπλότυπων, το διάγραμμα ροής προβλέπει τη διαλογή των άρθρων. Τα άρθρα εξετάζονται αρχικά με βάση τον τίτλο τους και κατόπιν με βάση την περίληψή τους και εξαιρούνται τα μη σχετικά άρθρα. Στο στάδιο της καταλληλότητας, αξιολογούνται ολόκληρα τα άρθρα ως προς τη συνάφεια τους με το θέμα της έρευνας και προκύπτει ο τελικός αριθμός των άρθρων που συμπεριλαμβάνονται στην ανασκόπηση. Στην παρούσα ανασκόπηση, η εφαρμογή του διαγράμματος ροής PRISMA, καθώς και ο αριθμός των άρθρων σε κάθε στάδιο παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2. Εφαρμογή του διαγράμματος ροής PRISMA στην παρούσα έρευνα (Moher et al., 2009)

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, αρχικά συγκεντρώθηκαν 3.145 άρθρα (φάση αναγνώρισης). Μετά την αφαίρεση διπλότυπων, μη σχετικών και λοιπών αιτιολογημένα εξαιρεμένων (φάσεις καταλληλότητας, επιλογής) διαμορφώθηκε το τελικό σώμα των 29 άρθρων της ανάλυσης. Ο πίνακας διαλογής των άρθρων της ανασκόπησης παρατίθεται στο Παράρτημα 5.

5.4. Ανάλυση των δεδομένων

Τα επιλεγθέντα άρθρα, αναλύθηκαν με βάση τρεις βασικούς άξονες: τα γενικά τους στοιχεία, τον σκοπό τους και τα αποτελέσματά τους. Κάθε ένας από τους δύο πρώτους άξονες ανάλυσης υποδιαιρείται σε επιμέρους υπο-άξονες ανάλυσης. Αναφορικά με τα γενικά στοιχεία των άρθρων, αυτά περιλαμβάνουν το έτος δημοσίευσης, το είδος της δημοσίευσης (ενδεικτικά, περιοδικό, συνέδριο) και τη χώρα προέλευσης. Ο άξονας του σκοπού δομείται στους εξής υπο-άξονες: ομάδα στόχο, ερευνητικός σχεδιασμός-ερευνητικά εργαλεία (ενδεικτικά, ερωτηματολόγια, συνέντευξη), μέγεθος του δείγματος, διάρκεια των παρεμβάσεων και

τεχνολογικά μέσα. Οι άξονες και υπο-άξονες ανάλυσης των άρθρων παρατίθενται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Ανάλυση των δεδομένων σε άξονες

Άξονες ανάλυσης	Υπο-άξονες
Γενικά στοιχεία	Έτος δημοσίευσης
	Είδος δημοσίευσης
	Χώρα δημοσίευσης
Σκοπός	Ομάδα στόχου
	Σχεδιασμός έρευνας & εργαλείο συλλογής δεδομένων
	Μέγεθος δείγματος
	Διάρκεια παρέμβασης
	Μέσα
Αποτελέσματα	Ερευνητικά ερωτήματα
	Αποτελέσματα/συμπεράσματα

5.4.1. Ανάλυση των γενικών στοιχείων των άρθρων

Στοχεύοντας στην περεταίρω οργάνωση της διαδικασίας ανάλυσης των 29 άρθρων, ταξινομήθηκαν σε αλφαβητική σειρά, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5. Ο πλήρης κατάλογος με τις βιβλιογραφικές αναφορές των άρθρων διατίθεται στο Παράρτημα 5.

Πίνακας 5. Τα 29 επιλεγθέντα άρθρα σε αλφαβητική σειρά

a/a	Συγγραφέας	Τίτλος άρθρου
1	Andreoli et al., (2017)	A framework to design, develop, and evaluate immersive and collaborative serious games in cultural heritage
2	Argyriou et al., (2020)	Design methodology for 360 immersive video applications: the case study of a cultural heritage virtual tour
3	Battisti & Stefano, (2018)	Virtual Reality meets Degas: an immersive framework for art exploration and learning
4	Caputo et al., (2019)	A Comparison of Navigation Techniques in a Virtual Museum Scenario
5	Caputo et al., (2016)	Gestural Interaction and Navigation Techniques for Virtual Museum Experiences
6	Casu et al., (2015)	RiftArt: Bringing Masterpieces in the Classroom through Immersive Virtual Reality
7	Cecotti et al., (2020)	Virtual Reality for Immersive Learning in Art History
8	Checa & Bustillo, (2020)	Advantages and limits of virtual reality in learning processes: Briviesca in the fifteenth century

9	Checa et al., (2016)	Briviesca in the 15 th c.: a virtual reality environment for teaching purposes
10	Christofi et al., (2018)	A tour in the archaeological site of Choirokoitia using virtual reality: a learning performance and interest generation assessment.
11	Duer et al., (2020)	Making the Invisible Visible: Illuminating the Hidden Histories of the World War I Tunnels at Vauquois Through a Hybridized Virtual Reality Exhibition
12	Egea-Vivancos & Arias-Ferrer, (2021)	Principles for the design of a history and heritage game based on the evaluation of immersive virtual reality video games
13	Fabola et al., (2017)	A virtual museum installation for time travel
14	Fanini et al., (2018)	A novel immersive vr game model for recontextualization in virtual environments: The μ vrmodel
15	Ghani et al., (2016)	Sense of place in immersive architectural virtual heritage environment
16	Ghani et al., (2020)	The effect of immersion towards place presence in virtual heritage environments
17	Häkkinilä et al., (2019)	Visiting a virtual graveyard: designing virtual reality cultural heritage experiences
18	Loizides et al., (2014)	Presenting cypriot cultural heritage in virtual reality: A user evaluation
19	Luigini et al., (2020)	Immersive and participatory serious games for heritage education, applied to the cultural heritage of South Tyrol
20	Marín-Morales et al., (2018)	Presence and navigation: a comparison between the free exploration of a real and a virtual museum
21	Marín-Morales et al., (2019)	Navigation comparison between a real and a virtual museum: time-dependent differences using a head mounted display
22	Marín-Morales et al., (2019)	Real vs. immersive-virtual emotional experience: Analysis of psycho-physiological patterns in a free exploration of an art museum
23	Miura et al., (2018)	Virtual museum for people with low vision: comparison of the experience on flat and head-mounted displays
24	Pagano et al., (2020)	Arkaevision vr game: User experience research between real and virtual Paestum
25	Pappa et al., (2018)	Preparing student mobility through a VR application for cultural education
26	Rudi, (2021)	Designing Soundscapes for Presence in Virtual Reality Exhibitions: A Study of Visitor Experiences
27	See et al., (2018)	Tomb of a Sultan: a VR digital heritage approach

28	Slater et al., (2018)	Virtually being Lenin enhances presence and engagement in a scene from the Russian revolution
29	Zhao et al., (2018)	VR touch museum

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει το πλήθος των άρθρων, ανά έτος δημοσίευσης. Προκύπτει ότι τα έτη 2018, 2019 και 2020 έγιναν οι περισσότερες δημοσιεύσεις (το 72,4 % του συνόλου). Φαίνεται ότι οι δημοσιεύσεις αρχίζουν από το έτος 2014 και έπειτα, πράγμα αναμενόμενο, καθώς από το χρονικό διάστημα 2014-15 και μετά, άρχισαν να διαδίδονται και να κατακτούν μέρος της αγοράς τα συστήματα HMDs 6DoF που απευθύνονταν στον μέσο χρήστη. Από τα παραπάνω συνεπάγεται ότι οι εταιρίες και οι οργανισμοί που μπορούσαν να κατασκευάσουν συστήματα ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, NASA), πιθανότατα δεν ασχολήθηκαν με έρευνα εφαρμογών που να αφορούν σε μουσειακή εκπαίδευση και εκπαίδευση στην πολιτιστική κληρονομιά.

Πίνακας 6. Πλήθος άρθρων ανά έτος

Έτος δημοσίευσης	Πλήθος άρθρων ($n = 29$)	%
2014	1	3,44
2015	1	3,44
2016	3	10,34
2017	2	6,89
2018	9	31,03
2019	4	13,78
2020	7	24,13
2021	2	6,89

Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει τα άρθρα που επελέγησαν, ανά είδος δημοσίευσης. Τα περισσότερα άρθρα δημοσιεύθηκαν σε συνέδρια και workshops.

Πίνακας 7. Πλήθος άρθρων ανά είδος δημοσίευσης

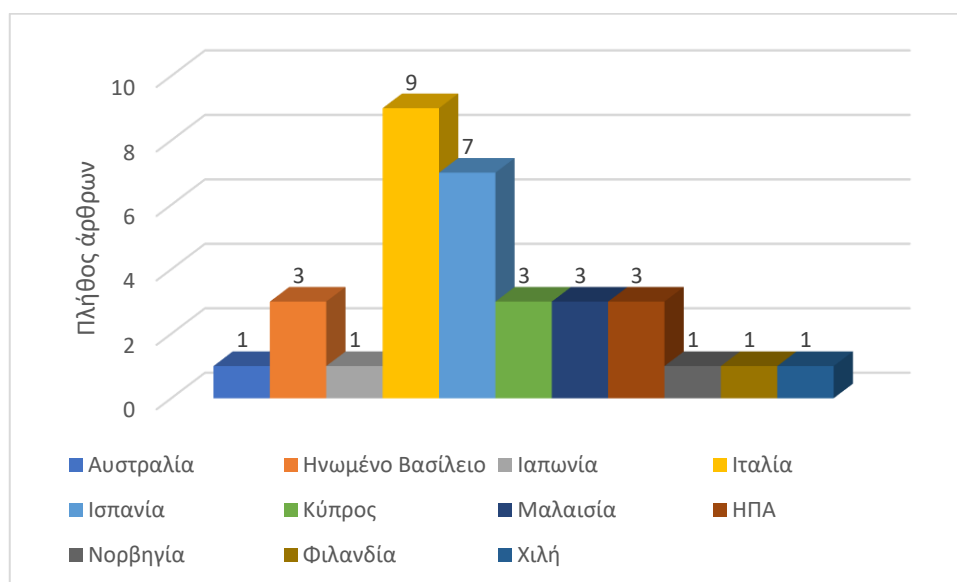
Είδος Δημοσίευσης	Πλήθος άρθρων ($n = 29$)	%
Περιοδικό	12	47,38
Συνέδριο και workshop	17	58,62

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) παρουσιάζεται το πλήθος των δημοσιευμένων άρθρων, ανά χώρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποια άρθρα είχαν συγγραφείς από δύο διαφορετικές χώρες.

Πίνακας 8. Πλήθος δημοσιευμένων άρθρων, ανά χώρα

Χώρα	Πλήθος ερευνών (n = 29)	%
Αυστραλία	1	3,44
Ηνωμένο Βασίλειο	3	10,34
Ιαπωνία	1	3,44
Ιταλία	9	31,03
Ισπανία	7	24,13
Κύπρος	3	10,34
Μαλαισία	3	10,34
ΗΠΑ	3	10,34
Νορβηγία	1	3,44
Φιλανδία	1	3,44
Χιλή	1	3,44

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται το πλήθος των άρθρων, ανά χώρα προέλευσης. Η Ιταλία ήταν η χώρα με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα (31,03% του συνόλου).



Γράφημα 1. Πλήθος άρθρων ανά χώρα προέλευσης

5.4.2. Ανάλυση σκοπού των άρθρων

Οι Πίνακες 9 και 10 παρουσιάζουν τις ομάδες-στόχο των ερευνών. Η πλέον δημοφιλής ομάδα ήταν οι ενήλικες, χωρίς ιδιότητα (55,1%). Επειδή πρόκειται για εφαρμογές μουσειακής

εκπαίδευσης, αρκετές φορές, το δείγμα που λαμβάνει μέρος στην έρευνα είναι οι επισκέπτες ενός μουσείου. Αρκετές έρευνες δεν είχαν συμπαγές δείγμα υποκειμένων και περιλαμβάνουν ετερογενείς ομάδες. Για παράδειγμα, μια έρευνα περιλάμβανε ταυτόχρονα προπτυχιακούς φοιτητές, διδακτορικούς φοιτητές, εργαζόμενους σε διοικητικές θέσεις στο Πανεπιστήμιο και καθηγητές Πανεπιστημίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ομάδα στόχος καταχωρήθηκε ως ενήλικες, χωρίς ιδιότητα. Τέλος, από το σύνολο των 29 ερευνών, 7 περιλαμβάνουν 2 ομάδες υποκειμένων (24,1%), 2 έρευνες περιλάμβαναν 3 ομάδες υποκειμένων (6,9%) και οι υπόλοιπες 20 περιλάμβαναν 1 ομάδα υποκειμένων (68,9%).

Πίνακας 9. Συνδυασμοί ομάδων στόχου

Ομάδες στόχου	Δ	Γ	Λ	Φ	Χωρ	Χ	Ο	Πλήθος εμφάνισης	%
Δ	1							1	3,4
Γ		1						1	3,4
Λ			2					2	6,9
Φ				2				2	6,9
Χωρ					2			2	6,9
Χ						16		16	55,1
Ο							5	5	17,2
Σύνολο							29	29	100

Σημειώσεις. Δ: Δημοτικό, Γ: Γυμνάσιο, Λ: Λύκειο, Φ: Φοιτητές, Χωρ: Χωρίς αναφορά, Χ: Χωρίς ιδιότητα (ενήλικες), Ο: Όλες οι ηλικίες.

Πίνακας 10. Αναλυτικός πίνακας ομάδων στόχου

Ομάδες στόχος	Πλήθος ερευνών (n = 29)	%
Δημοτικό	1	3,4
Γυμνάσιο	1	3,4
Λύκειο	2	6,9
Φοιτητές	2	6,9
Χωρίς αναφορά	2	6,9
Χωρίς ιδιότητα (ενήλικες)	16	55,1
Όλες οι ηλικίες	5	17,2

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση των άρθρων ως προς τον ερευνητικό τους σχεδιασμό. Από το σύνολο των 29 ερευνών, οι 19 (65%) ήταν ποσοτικές, 4 (14%) ποιοτικές και 6 (21%) μικτές. Αναλυτικά, τα ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στις έρευνες παρουσιάζονται στους Πίνακες 11, 12 και 13.

Πίνακας 11. Ποσοτικές έρευνες

Σχεδιασμός έρευνας	Ποσοτικές έρευνες (n = 19)							
	Ομάδες				Εργαλείο			
	1	2	3	4	Ερωτηματολόγιο	Τεστ	Παρατήρηση	Άλλο
Μεταξύ υποκειμένων (Between subjects)	-	7	2	-	9	-	-	1
Εντός υποκειμένων (Within subjects)	3	-	-	-	3	-	-	-
Απλός*	7	-	-	-	7	-	-	3
Σύνολο	19				19			4

Σημείωση. *= Ο απλός σχεδιασμός αφορά έρευνες με 1 ομάδα υποκειμένων και pre-post-test ή/και άλλο εργαλείο.

Πίνακας 12. Ποιοτικές έρευνες

Ποιοτικές έρευνες (n =4)				
Ερωτηματολόγιο	Τεστ	Συνέντευξη	Συζήτηση	Άλλο
-	-	4	-	1

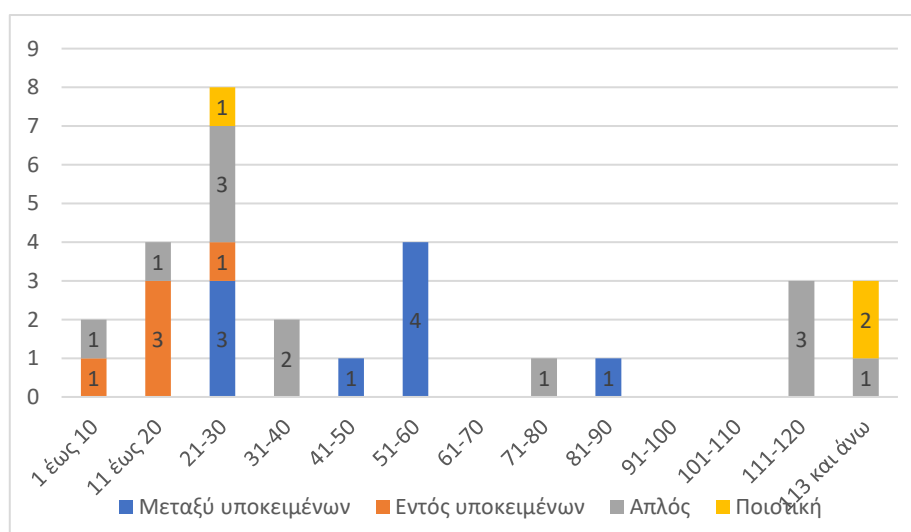
Πίνακας 13. Μικτές έρευνες

Σχεδιασμός έρευνας	Μικτές έρευνες (n = 6)								
	Ομάδες				Εργαλείο				
	1	2	3	4	Ερωτηματολόγιο	Τεστ	Συνέντευξη	Παρατήρηση	Άλλο
Μεταξύ υποκειμένων (Between subjects)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Εντός υποκειμένων (Within subjects)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Απλός	6	-	-	-	6	-	3	4	2

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 14 και στο Γράφημα 2, η πλειοψηφία των ερευνών (76%) είχε δείγμα έως 60 άτομα. Επιπρόσθετα, βρέθηκαν μόνο 5 (17%) έρευνες με μεθοδολογία within subjects, οι οποίες δεν ξεπέρασαν όμως τα 30 άτομα δείγμα.

Πίνακας 14. Μέγεθος δείγματος

Μέγεθος δείγματος	Ποσοτική και Μικτή			Ποιοτική
	Μεταξύ υποκειμένων	Εντός υποκειμένων	Απλός	
1-10	-	1	2	-
11-20	-	3	1	-
21-30	3	1	3	1
31-40	-	-	2	-
41-50	1	-	-	-
51-60	4	-	-	-
61-70	-	-	-	-
71-80	-	-	1	-
91-100	1	-	-	-
101-110	-	-	-	-
111-120	-	-	-	-
131 και πάνω	-	-	3	-
Χωρίς αναφορά	-	-	1	2
Σύνολο	9	5	13	2



Γράφημα 2. Μέγεθος δείγματος

Ο Πίνακας 15 δείχνει τη διάρκεια των παρεμβάσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα παρουσιαζόμενα στοιχεία παρουσιάζονται με επιφύλαξη, καθώς αρκετά άρθρα δεν αναφέρουν εάν στην παρέμβαση συμπεριλαμβάνεται και ο χρόνος συμπλήρωσης των ερευνητικών εργαλείων, καθώς επίσης και εάν ο χρόνος της παρέμβασης περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα μέσα. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 14, η πλειοψηφία των ερευνών (n = 69%) δεν αναφέρουν τη διάρκεια της παρέμβασης. Δεδομένων των παραπάνω παρατηρείται ότι περίπου το 17% των παρεμβάσεων είχε διάρκεια πάνω από 30' και το 10% των παρεμβάσεων είχε διάρκεια έως 20'.

Πίνακας 15. Διάρκεια παρεμβάσεων

Διάρκεια παρέμβασης	Ποσοτικές	Ποιοτικές	Μικτές	Πλήθος (n = 29)	%
1'-9'	1	-	-	1	3,4
10'-19'	2	-	-	2	6,9
20'-29'	-	-	1	1	3,4
30'-60'	3	-	1	4	13,8
80' και άνω	1	-	-	1	3,4
Χωρίς αναφορά	12	4	4	20	69
Σύνολο	19	4	6	29	100

Ο Πίνακας 16 παρουσιάζει τα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε παρέμβαση. Η περισσότερο δημοφιλής συσκευή είναι το Oculus Rift και έπεται το HTC Vive.

Πίνακας 16. Τα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε παρέμβαση

Πλήθος μέσων	Μέσα									Πλήθος (n = 29)
	OR	HV	SA	DES	GL	RA	PC	TA	NA	
Ένα	x									11
		x								6
			x							1
				x						1
		x			x					2
Δύο	x	x								1
	x				x					1
										1

		x				X				3
				x				x		1
		x		x						1
Τρία	x				x		x			1
	16	12	1	4	2	3	1	1	1	29

Σημειώσεις. OR: Oculus Rift, HV: HTC Vive, SA: Samsung Odyssey, DES: Οθόνη – βίντεο, GL: Στερεοσκοπικά Γυαλιά, RA: Real Activity, PC: Ηλεκτρονικός Υπολογιστής, TA: Διαδραστικός Πίνακας, NA: Δεν αναφέρεται τι είδους HMD χρησιμοποιήθηκε.

Ο Πίνακας 17 παρουσιάζει τις κατηγορίες των ερευνητικών ερωτημάτων που έθεσαν οι εργασίες, όπως αυτά αναφέρονται. Όπως φαίνεται, πρώτο σε συχνότητα ερευνητικό ερώτημα ήταν η παρουσία ($n = 12$). Η εμπύθιση, όρος συναφής, αλλά όχι ταυτόσημος με την παρουσία εμφανίζει συχνότητα 5. Μετά την παρουσία, δεύτερο σε συχνότητα ερευνητικό ερώτημα ήταν οι γνώσεις ($n = 8$). Επτά εργασίες έθεσαν ως ερευνητικό ερώτημα την ευχαρίστηση και έξι έρευνες ασχολήθηκαν με την εμπειρία χρήστη (user experience, UX).

Πίνακας 17. Κατηγορίες ερευνητικών ερωτημάτων

Κατηγορία ερευνητικού ερωτήματος	Ερευνητικό ερώτημα	Συχνότητα
Γνωστική Επίδραση	Γνώσεις	8
	Αντίληψη τοποθεσίας	1
Τεχνικά Ζητήματα	Έλεγχος	3
	Χρηστικότητα (usability)	4
	Πλοήγηση	4
	Παρουσία	12
	Εμπύθιση	5
	Στάσεις	1
	Ευχαρίστηση	7
	Χρησιμότητα (usefulness)	1
	Εμπλοκή	1
	Κίνητρα	1
	Simulator sickness	1
	Ενδιαφέρον	1

Συναισθηματική Επίδραση/ Εμπειρία	Συναισθήματα	2
	Φόρτος εργασίας	1
	Ιστορική	1
	Ενσυναίσθηση	1
	Αυτοπεποίθηση	1
	Προσοχή	1
	Εμπειρία (UX)	6
	Αισθητική	2
	Ψυχαγωγία	1

5.4.3. Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Τα άρθρα αναλύθηκαν ως προς τα αποτελέσματα τους. Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανά κατηγορία (θετικό, ουδέτερο, αρνητικό, ασαφές). Τα αποτελέσματα των άρθρων κατατάχθηκαν στις αντίστοιχες κατηγορίες με βάση την επίδραση της χρήσης ΠΕΕΠ, είτε χωρίς, είτε με άλλα τεχνολογικά μέσα. Το αποτέλεσμα κρίθηκε, με βάση τη θετική επίδραση στα υποκείμενα, εφόσον η ΠΕΕΠ αποτελούσε το μοναδικό μέσο της έρευνας ή συγκριτικά με άλλα μέσα, εφόσον η έρευνα περιλάμβανε και άλλα τεχνολογικά μέσα. Στη δεύτερη περίπτωση, αξιολογήθηκε το εάν η χρήση της ΠΕΕΠ είχε περισσότερο θετικά αποτελέσματα από τα άλλα μέσα. Από όλο το φάσμα των παραγόντων και των ερευνητικών ερωτημάτων που περιλάμβαναν οι έρευνες (Πίνακας 17), επιλέχθηκαν τα αποτελέσματα, τα οποία αφορούσαν τα οκτώ περισσότερο κοινά ερευνητικά ερωτήματα (παρουσία, γνώσεις, ευχαρίστηση, εμπειρία, εμπύθιση, χρηστικότητα, πλοήγηση, έλεγχος). Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 18, η ΠΕΕΠ είχε είτε θετική, είτε ουδέτερη επίδραση.

Πίνακας 18. Αποτελέσματα άρθρων

Είδος αποτ.	Παρ.	Γν.	Ευχαρ.	Εμπ.	Εμβ.	Χρηστ.	Πλοήγ.	Έλεγ.
Θετικό	12	7	7	6	5	4	2	3
Ουδέτερο	-	1	-	-	-	-	2	-
Αρνητικό	-	-	-	-	-	-	-	-
Ασαφές	-	-	-	-	-	-	-	-

Σημειώσεις. Είδος αποτ.: Είδος αποτελέσματος, Γν.: Γνώσεις, Ευχαρ.: Ευχαρίστηση, Εμπ.: Εμπειρία χρήστη (UX), Εμβ.: Εμπύθιση, Χρηστ.: Χρηστικότητα, Πλοήγ.: Πλοήγηση, Έλεγ.: Έλεγχος.

5.5. Αξιόπιστα άρθρα

Υπάρχουν αρκετά χαρακτηριστικά ενός επιστημονικού άρθρου, τα οποία μπορούν να το καταστήσουν ως αξιόπιστο, που σχετίζονται με τη μεθοδολογική οργάνωση της έρευνας και το δείγμα. Στην παρούσα ανασκόπηση επιστημονικών άρθρων, επιλέχθηκε το δείγμα ως παράγοντας αξιοπιστίας. Η επιλογή αυτή έγινε, γιατί το χαρακτηριστικό αυτό μπορούσε να εφαρμοστεί σε όλα τα άρθρα και δεν ενείχε υποκειμενικές ποιοτικές παραμέτρους. Αποκλείστηκαν τα άρθρα που ακολουθούσαν ποιοτική μεθοδολογική προσέγγιση, λόγω περιορισμένου μεγέθους δείγματος. Καμία από τις έρευνες που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες και είχαν ως εργαλείο συλλογής δεδομένων μόνο ένα ερωτηματολόγιο, δεν πληρούσε το όριο των 150 ατόμων, ως μέγεθος δείγματος ή των 5-10 ατόμων ανά ερώτηση (Hair et al., 2010). Για τα υπόλοιπα άρθρα, τέθηκαν οι εξής παραδοχές αναφορικά με το μέγεθος δείγματος που είχαν, έτσι ώστε αυτό να χαρακτηριστεί ικανοποιητικό: (α) α error probability = 0,05, (β) ισχύς-power ($1-\beta$ err prob) = 0,80 και (γ) εντοπισμός μεσαίου μεγέθους επίδρασης ($f = 0,25$). Οι εν λόγω αναφερόμενες τιμές είναι παραδεκτές στη διεθνή βιβλιογραφία. Με βάση λοιπόν αυτό το πλαίσιο, χρησιμοποιώντας το G*power (Faul et al., 2007), ορίστηκε ότι:

- Σε σχεδιασμό between subjects και 2 ομάδες/μέσα, το απαιτούμενο μέγεθος δείγματος αντιστοιχεί σε 128 άτομα.
- Σε σχεδιασμό between subjects και 3 ομάδες/μέσα, το απαιτούμενο μέγεθος δείγματος αντιστοιχεί σε 159 άτομα.
- Σε σχεδιασμό between subjects και 4 ομάδες/μέσα, το απαιτούμενο μέγεθος δείγματος αντιστοιχεί σε 180 άτομα.
- Σε σχεδιασμό within subjects με 2 εργαλεία, το απαιτούμενο μέγεθος δείγματος αντιστοιχεί σε 34 άτομα.
- Σε σχεδιασμό within subjects με 3 εργαλεία, το απαιτούμενο μέγεθος δείγματος είναι αντιστοιχεί σε 28 άτομα.
- Σε σχεδιασμό within subjects με 4 εργαλεία, το απαιτούμενο μέγεθος δείγματος αντιστοιχεί σε 24 άτομα.
- Σε σχεδιασμό pre- post-test, το απαιτούμενο μέγεθος δείγματος είναι 34 άτομα.

Διαπιστώθηκε ότι μόνο τέσσερα άρθρα είχαν ικανοποιητικό μέγεθος δείγματος. Λόγω μεγέθους δείγματος αποφασίστηκε τελικά να συμπεριληφθούν στην επιλογή και οι έρευνες των Battisti & Stefano (2018) και του Rudi (2021), οι οποίες ως εργαλείο χρησιμοποίησαν ερωτηματολόγιο εξόδου. Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται τα τελικώς επιλεγθέντα άρθρα. Στον

Πίνακα 20 παρουσιάζεται ο σκοπός έρευνας, η ομάδα-στόχος και το γνωστικό αντικείμενο κάθε έρευνας.

Πίνακας 19. Τα τελικά επιλεγθέντα αξιόπιστα άρθρα

α/α	Άρθρο	Είδος έρευνας	Αρ. ομάδων	Δείγμα
1	Battisti & Stefano, (2018)	ερωτηματολόγιο	1	136
2	Checa & Bustillo, (2020)	Between subjects (2X2)	2	100
3	Pagano et al., (2020)	Between subjects	2	145
4	Rudi, (2021)	ερωτηματολόγιο	3	317

Πίνακας 20. Γνωστικό αντικείμενο, σκοπός και ομάδα-στόχος των επιλεγθέντων ερευνών

α/α	Γνωστικό Αντικείμενο	Σκοπός	Ομάδα στόχος
1	Τέχνη	Αξιολόγηση της ευχρηστίας λογισμικού ΠΕΕΠ	Επισκέπτες μουσείου
2	Πολιτιστική κληρονομιά	Αξιολόγηση της γνωστικής επίδρασης και της ικανοποίησης των χρηστών σε διαφορετικούς τρόπους περιήγησης και καθοδήγησης λογισμικού ΠΕΕΠ	Φοιτητές
3	Αρχαιότητα	Αξιολόγηση της επίδρασης μεταξύ της φυσικής επίσκεψης σε έναν ιστορικό χώρο και της εμπειρίας χρήσης ΠΕΕΠ	Επισκέπτες μουσείου
4	Τέχνη-Αρχιτεκτονική	Αξιολόγηση της συμβολής του ήχου στη ρεαλιστικότητα και την εμπειρία ΠΕΕΠ λογισμικού	Επισκέπτες

Στον Πίνακα 21 παρουσιάζονται τα ερευνητικά ερωτήματα των αξιόπιστων άρθρων. Περισσότερο κοινό ερευνητικό ερώτημα ήταν η παρουσία/εμβύθιση ($n = 3$), πράγμα αναμενόμενο, καθώς η διερεύνηση της εμβύθισης και παρουσίας του χρήστη στον εικονικό κόσμο, αποτελεί ένα σύνηθες ερευνητικό ερώτημα στη διεθνή βιβλιογραφία. Λιγότερο απασχόλησαν η ευκολία χρήσης ($n = 1$), η χρηστικότητα ($n = 1$), τα γραφικά ($n = 1$), η ευχαρίστηση ($n = 1$), τα κίνητρα ($n = 1$), η μάθηση-μαθησιακή επίδραση των εφαρμογών και το simulator sickness ($n = 1$).

Πίνακας 21. Τα ερευνητικά ερωτήματα των αξιόπιστων άρθρων

Κατηγορία ερευνητικού ερωτήματος	Ερευνητικά ερωτήματα	Συχνότητα
Μαθησιακά στοιχεία	Μάθηση	1
Τεχνικά θέματα	Ευκολία χρήσης	1
	Χρηστικότητα	1
	Γραφικά	1
Συναισθήματα/εμπειρίες	Παρουσία/Εμβύθιση	3
	Ευχαρίστηση	1

Στον Πίνακα 22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αξιόπιστων άρθρων κατηγοριοποιημένα σε θετικά, ουδέτερα και αρνητικά. Στο σύνολο των παραγόντων που ερευνήθηκαν, διαπιστώθηκαν μόνο θετικά αποτελέσματα.

Πίνακας 22. Αποτελέσματα αξιόπιστων άρθρων

Αποτελέσματα	Αποτελέσματα	Θετικά	Ουδέτερα	Αρνητικά
Μαθησιακά στοιχεία	Μάθηση	1		
Τεχνικά θέματα	Ευκολία χρήσης	1		
	Γραφικά	1		
Συναισθήματα/εμπειρίες	Παρουσία/Εμβύθιση	3		
	Ευχαρίστηση	1		

5.6. Παρουσίαση των αξιόπιστων ερευνητικών εργασιών

1^η Ερευνητική εργασία: Battisti & Stefano, (2018)

Ζητήθηκε από 136 συμμετέχοντες, ηλικίας από 18 έως 50 ετών, η χρήση ενός ΠΕΕΠ μουσείου ζωγραφικής. Σκοπός της έρευνας ήταν η αξιολόγηση της αίσθησης παρουσίας στον εικονικό κόσμο και της ευχρηστίας του λογισμικού. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Unity. Το εικονικό μουσείο περιείχε 16 πίνακες ζωγραφικής. Οι συμμετέχοντες φόρεσαν τη συσκευή (HTC Vive) και περιηγήθηκαν ελεύθερα στο εικονικό μουσείο, χωρίς κάποιο χρονικό όριο. Μετά την ολοκλήρωση της ελεύθερης περιήγησης, ζητήθηκε να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν θετική αξιολόγηση των χρηστών στην ευχρηστία και στην αίσθηση παρουσίας στον εικονικό κόσμο.

2^η Ερευνητική εργασία: Checa & Bustillo, (2020)

Η έρευνα είχε ως δείγμα 100 προπτυχιακούς φοιτητές και σκοπός της ήταν η διερεύνηση της μαθησιακής επίδρασης λογισμικού ΠΕΕΠ, καθώς επίσης και η αξιολόγηση της ευχαρίστησης

των χρηστών (user satisfaction). Το λογισμικό ΠΕΕΠ προσομοίωνε μια ισπανική πόλη του 15^{ου} αιώνα, την Brivieska. Οι χρήστες μπορούσαν να περιηγηθούν ελεύθερα στην πόλη και σε καθορισμένα σημεία ενεργοποιούνταν σύντομα πληροφοριακά βίντεο. Εκτός από το λογισμικό ΠΕΕΠ, χρησιμοποιήθηκε και ένα ακόμα μέσο, η προβολή του τρισδιάστατου περιβάλλοντος σε οθόνη. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι κίνησης στον εικονικό κόσμο, κίνηση με χειριστήριο (gamepad locomotion) και κίνηση με τηλεμεταφορά (teleporting). Οι φοιτητές χωρίστηκαν σε δύο ισοδύναμες ομάδες, μια για κάθε μέσο. Μετά την αλληλεπίδραση των ομάδων με τα μέσα, συμπληρώθηκαν τα ερωτηματολόγια και ζητήθηκε η συμπλήρωση χάρτη που αφορούσε την πόλη. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ελαφρώς περισσότερη ευχαρίστηση των χρηστών ΠΕΕΠ, έναντι της ομάδας που παρακολούθησε βίντεο. Αναφορικά με τη ζάλη στον εικονικό κόσμο, ανιχνεύτηκε ότι οι συμμετέχοντες που χρησιμοποίησαν τηλεκίνηση, είχαν αρκετά λιγότερα προβλήματα ζάλης. Ένα ακόμα εύρημα της έρευνας, ήταν η διαφοροποίηση της επίδοσης των ομάδων, ανάλογα με το είδος της γνωστικής ερώτησης. Στις ερωτήσεις διερεύνησης γνώσεων που συσχετιζόνταν με τις αφηγήσεις που υπήρχαν στα δύο μέσα, οι χρήστες που παρακολούθησαν το βίντεο σημείωσαν περισσότερες σωστές απαντήσεις. Όταν οι ερωτήσεις συσχετιζόνταν με οπτικά προσλαμβάνουσα πληροφορία, οι χρήστες του λογισμικού ΠΕΕΠ (και των δύο διαφορετικών μεθόδων περιήγησης) σημείωσαν υψηλότερο σκορ. Στις ερωτήσεις που αφορούσαν την ικανότητα ανάκλησης των τοποθεσιών των κεντρικών κτηρίων της πόλης, οι χρήστες του ΠΕΕΠ λογισμικού σημείωσαν καλύτερη γνωστική επίδοση. Τέλος, στη συμπλήρωση κενών σε χάρτη της πόλης, οι φοιτητές που χρησιμοποίησαν ΠΕΕΠ, επέδειξαν αισθητά καλύτερη επίδοση, έναντι των φοιτητών που παρακολούθησαν βίντεο.

3^η Ερευνητική εργασία: Pagano et al., (2020)

Ζητήθηκε από 145 συμμετέχοντες να χρησιμοποιήσουν το λογισμικό ΠΕΕΠ Arkaveision. Το λογισμικό προσομοίωνε αρχαίο ναό της θεάς Ήρας. Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ήταν το HTC Vive. Το δείγμα συγκρότησαν δύο ομάδες συμμετεχόντων. Η πρώτη ομάδα αλληλεπίδρασε με μια περιορισμένη (demo) έκδοση του λογισμικού και η δεύτερη ομάδα με την ολοκληρωμένη έκδοση. Οι δύο παρεμβάσεις έγιναν σε διαφορετικό χώρο και χρόνο και οι ομάδες συμμετεχόντων ήταν ανομοιογενείς. Η πρώτη ομάδα αριθμούσε 70 άτομα και αποτελούνταν κυρίως από άτομα νεαρής ηλικίας και νεαρούς τουρίστες, ενώ η δεύτερη ομάδα αριθμούσε 75 άτομα και αποτελούνταν κυρίως από ειδικούς επαγγελματίες στον χώρο της πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι δύο ομάδες είχαν άνισο χρόνο διάδρασης με τις εφαρμογές. Εκτός από την ποσοτική έρευνα, χρησιμοποιήθηκε και παρατήρηση των συμμετεχόντων, ως

εργαλείο ποιοτικής έρευνας. Σκοπός της έρευνας ήταν η διερεύνηση της μαθησιακής επίδρασης του λογισμικού, η διερεύνηση της εμπειρίας (UX), των συναισθημάτων και οι αντιλήψεις των χρηστών αναφορικά με τη διάδοση της ΠΕΕΠ. Στους συμμετέχοντες δόθηκαν ερωτηματολόγια μετά την ολοκλήρωση της διάδρασης με τον εικονικό κόσμο. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν θετική αξιολόγηση της εμπειρίας χρήσης του λογισμικού (γραφικά, εμπύθιση, ευχαρίστηση).

4^η Ερευνητική εργασία: Rudi, (2021)

Η ερευνητική εργασία αφορούσε τη μελέτη επίδρασης του ήχου, στη συνολική εμπειρία και στην εμπύθιση του χρήστη σε περιβάλλον ΠΕΕΠ. Η έρευνα αφορούσε ένα λογισμικό, το οποίο προσομοίαζε μια βίλα και τον κήπο της και διεξήχθη εντός ενός μουσείου αρχιτεκτονικής. Ο χώρος διαμορφώθηκε κατάλληλα για την έρευνα, έτσι ώστε το φυσικό περιβάλλον του χώρου να αντιστοιχεί με το εικονικό που προβαλλόταν μέσω της συσκευής HTC Vive. Λόγω αυτής την πρακτικής, αρκετά αντικείμενα του εικονικού κόσμου αντιστοιχούσαν σε πραγματικά φυσικά αντικείμενα (ενδεικτικά, σκαλοπάτια). Ο ήχος, που ήταν και η ερευνώμενη παράμετρος, ακουγόταν από πολλά ηχεία τα οποία ήταν προσεκτικά τοποθετημένα εντός του χώρου. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν συνολικά 357 άτομα, επισκέπτες του μουσείου. Το δείγμα συγκρότησαν τρεις ομάδες:

- Η πρώτη ομάδα αποτελείται από 82 τυχαία επιλεγμένους επισκέπτες του μουσειακού χώρου που παραχώρησαν συνέντευξη, μετά το πέρας της χρήσης του λογισμικού.
- Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από 320 άτομα, τα οποία απάντησαν σε μια εκ των 24 συνολικά ερωτήσεων που αφορούσαν τον ήχο του λογισμικού.
- Η τρίτη ομάδα αποτελείται από 16 ζευγάρια συμμετεχόντων. Ένα μέλος από το κάθε ζεύγος παρέδωσε συνέντευξη μετά το πέρας της χρήσης του λογισμικού. Το δεύτερο μέλος σε κάθε ζεύγος δεν χρησιμοποίησε το HTC Vive, αλλά έβλεπε την εικόνα που προβαλλόταν στο HTC Vive μέσα από μια οθόνη και βοηθούσε τον χρήστη, στην περιήγηση του στον χώρο. Χρησιμοποιήθηκε η βιντεοσκόπηση για την πληρέστερη παρατήρηση των ζευγών. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκαλύπτουν ότι ο ήχος του λογισμικού αξιολογήθηκε θετικά και συνέβαλε στην εμπύθιση των χρηστών στο εικονικό περιβάλλον.

5.7. Συζήτηση

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναφορικά με τη χρήση λογισμικών ΠΕΕΠ μουσειακής εκπαίδευσης και εκπαίδευσης στον πολιτισμό. Δεν εντοπίστηκε καμία άλλη βιβλιογραφική ανασκόπηση για το θέμα αυτό τόσο στον διεθνή, όσο και στον ελλαδικό χώρο. Η αναζήτηση που πραγματοποιήθηκε συμπεριέλαβε έρευνες που χρησιμοποίησαν τεχνολογικά μέσα υψηλής εμπύθισης, τα 6DoF HMDs.

Αν και εντοπίστηκαν αρχικά πολλά άρθρα ($n = 3.145$), μετά την ολοκλήρωση διαλογής που προβλέπεται από το μοντέλο PRISMA, επιλέχθηκαν μόλις τα 29. Αυτό συνέβη διότι τα περισσότερα από τα άρθρα δεν εστίαζαν στη διερεύνηση των επιδράσεων της ΠΕΕΠ. Πολλά από τα λογισμικά αποτελούσαν καρπό εργασίας τεχνολογικών Πανεπιστημίων και είχαν περισσότερο τεχνική φύση. Συνήθως οι συγγραφείς τους είναι ειδικοί επιστήμονες της Πληροφορικής και ανέλυαν τεχνικές 3D modeling και επακριβούς μεταφοράς του φυσικού μουσειακού χώρου, στην ΕΠ. Τα περισσότερα από τα παραπάνω λογισμικά θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως εξαιρετικά αξιόλογα από τεχνικής πλευράς. Δυστυχώς όμως, συνήθως μετά τη δημιουργία τέτοιων λογισμικών, δεν επακολουθεί καμιά προσπάθεια έρευνας και προσδιορισμού των μαθησιακών και συναισθηματικών επιδράσεων τους στον χρήστη (ενδεικτικά, Anastasovitis et al., 2017· Chane et al., 2013· Clini et al., 2018).

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των άρθρων ($n = 72,4\%$) έγιναν τα έτη 2018 έως 2020. Το μεγαλύτερο μέρος των ερευνητικών εργασιών αφορούσε παρουσιάσεις σε συνέδρια και workshops ($n = 58,62\%$). Οι έρευνες γίνονταν συνήθως σε μικρά δείγματα.

Αναφορικά με τη χώρα προέλευσης, η πλειοψηφία των λογισμικών προέρχονται από την Ιταλία ($n = 31,03\%$), μια χώρα ιδιαίτερα γνωστή για την ιστορία της, την πολιτιστική της κληρονομιά και τα μουσεία της.

Ως προς τις ομάδες στόχο, η πλέον συνηθισμένη ήταν αυτή των ενηλίκων, χωρίς ιδιότητα ($n = 55,1\%$) (ενδεικτικά, Christofi et al. 2018· Häkkinä et al., 2019· Marín-Morales et al., 2018). Οι ενήλικες, ως ομάδα στόχος, χρησιμοποιήθηκαν μάλλον ως δείγμα ευκολίας, μιας και αυτή η κατηγορία απαντάται περισσότερο ως επισκέπτης μουσειακών χώρων και δεν απαιτεί γονική συναίνεση. Η επιλογή της συγκεκριμένης ομάδας αντανακλά το περισσότερο τεχνικό ενδιαφέρον και τον έλεγχο των εφαρμογών, παρά τη διερεύνηση των μαθησιακών επιδράσεων και της εμπειρίας στον εικονικό κόσμο. Πιθανότατα δε, πάλι για λόγους ευκολίας, αρκετές έρευνες χρησιμοποίησαν ετερογενείς ομάδες που χρησιμοποιούσαν τον ίδιο χώρο

(ενδεικτικά, καθηγητές, φοιτητές και εργαζόμενοι στο Πανεπιστήμιο) (ενδεικτικά, Argyriou et al., 2020· Ghani et al., 2016· Ghani et al., 2020· Slater et al., 2018).

Αναφορικά με τον ερευνητικό προσανατολισμό, οι περισσότερες ερευνητικές εργασίες ήταν ποσοτικές ($n = 22$) (ενδεικτικά, Battisti & Stefano, 2018· Caputo, et al., 2019· Cecotti et al., 2020), και η μειοψηφία ποιοτικό ($n = 4$) και μικτό προσανατολισμό ($n = 3$). Το ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε, σχεδόν αποκλειστικά, ήταν το ερωτηματολόγιο. Η κατά κόρον χρησιμοποίηση του ερωτηματολογίου, είναι ένα γεγονός που δεν προκαλεί έκπληξη, μιας και αποτελεί ένα από τα πλέον συνηθισμένα ερευνητικά εργαλεία. Από την άλλη μεριά, στις ποσοτικές έρευνες χρησιμοποιήθηκε περισσότερο η συνέντευξη ($n = 3$), η οποία επίσης αποτελεί ένα από τα περισσότερο διαδεδομένα ερευνητικά εργαλεία, στον αντίστοιχο ερευνητικό σχεδιασμό.

Ο μεγαλύτερος αριθμός των ερευνών, δεν περιλάμβανε ικανοποιητικό μέγεθος δείγματος. Οι περισσότερες των ερευνών περιλάμβαναν δείγμα μικρότερο των πενήντα ατόμων (ενδεικτικά, Pappa et al., 2018· See et al., 2018· Zhao et al., 2018). Μόνο πέντε έρευνες είχαν δείγμα μεγαλύτερο των 70 ατόμων (Andreoli et al., 2017· Battisti & Stefano, 2018· Checa & Bustillo, 2020· Pagano et al., 2020· Rudi, 2021). Η μη συμπερίληψη μεγάλων δειγμάτων στις έρευνες ίσως να οφείλεται σε λόγους ευκολίας των ερευνητών, αλλά και στο κόστος απόκτησης συσκευών ΠΕΕΠ.

Αναφορικά με τον χρόνο που διάρκεσαν οι παρεμβάσεις, εντύπωση προκαλεί ότι οι περισσότερες έρευνες δεν αναφέρουν διάρκεια ($n = 19$). Πολλές από όσες αναφέρουν διάρκεια, δεν αποσαφηνίζουν αν ο αναφερόμενος χρόνος αντιστοιχεί στην διάδραση των χρηστών με τα μέσα ή περιλαμβάνει και τον χρόνο των ερευνητικών εργαλείων (ενδεικτικά, συμπλήρωση ερωτηματολογίου). Από όσες ανέφεραν διάρκεια, οι περισσότερες αντιστοιχούσαν σε 30' με 60'. Εκτός από τη μη αναφορά χρόνου παρέμβασης, μόλις τρεις έρευνες αναφέρουν τον αριθμό των παρεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν. Όλα τα παραπάνω δείχνουν μη συστηματική μελέτη και ελλιπή οργάνωση των ερευνών.

Οι ερευνητικές εργασίες χρησιμοποίησαν μια ποικιλία μέσων. Οι περισσότερες χρησιμοποίησαν ένα μέσο ($n = 18$) (ενδεικτικά, Argyriou et al., 2020· Caputo et al., 2016· Fanini et al., 2018· Pappa et al., 2018). Η πλειοψηφία τους χρησιμοποίησε το Oculus Rift, γεγονός αναμενόμενο, διότι αποτέλεσε την πρώτη προσιτή συσκευή ΠΕΕΠ, που προοριζόταν για ευρύ κοινό (Rodriguez, 2016). Σε αυτή την κατηγορία ερευνών, με ένα μέσο, μετά το Oculus Rift, ακολουθεί το HTC Vive ($n = 6$). Μόλις σε μια έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τρία μέσα (Ghani et al., 2020). Επομένως, στις περισσότερες έρευνες διερευνάται η επίδραση της ΠΕΕΠ, όχι όμως και η επίδραση της σε σύγκριση με άλλα μέσα. Από τα παραπάνω φαίνεται

ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των μέσων, τόσο μειώνεται ο αριθμός των ερευνών, γεγονός αναμενόμενο, καθώς η αύξηση των τεχνολογικών μέσων συνακόλουθα οδηγεί σε αύξηση του κόστους, αύξηση του χρόνου παρέμβασης και γενικότερα ανεβάζει κατακόρυφα την πολυπλοκότητα της ερευνητικής διαδικασίας. Ωστόσο, απαιτούνται συγκρίσεις αν θέλουμε να εξάγουμε συμπεράσματα αναφορικά με το εάν, το πως και το που υπερτερεί η ΠΕΕΠ.

Οι ερευνητικές εργασίες εστίασαν σε ένα πλήθος ερευνητικών ερωτημάτων, τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες: μαθησιακή επίδραση, τεχνικά ζητήματα, συναισθηματική επίδραση/εμπειρία. Συνολικά ερευνήθηκαν 23 παράγοντες, με περισσότερο δημοφιλή τον παράγοντα παρουσία ($n = 12$). Συναφής παράγοντας που ερευνήθηκε, είναι αυτός της εμπύθισης ($n = 5$). Οι δύο παραπάνω παράγοντες απαντώνται σε μεγάλο βαθμό στη διεθνή βιβλιογραφία και είναι συνυφασμένοι με την επίτευξη γνωστικών αποτελεσμάτων (ενδεικτικά, Huang et al., 2020). Αρκετές έρευνες διερεύνησαν τη γνωστική επίδραση των λογισμικών ($n = 9$), ερευνώντας την επίδοση σε γνώσεις και τη χωρική αντίληψη. Παράδειγμα έρευνας, η οποία συνεξετάζει τον παράγοντα της παρουσίας και την γνωστική επίδραση, αποτελεί η εργασία των Christofi et al. (2018). Συνολικά, η πλειοψηφία των παρατιθέμενων ερευνών διαπίστωσε θετική επίδραση της ΠΕΕΠ στους περισσότερους παράγοντες. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η έρευνα των Andreoli et al. (2017), η οποία διαπίστωσε τη θετική επίδραση της ΠΕΕΠ στην αισθητική, στην ευχαρίστηση, στην εμπύθιση και στον έλεγχο. Εντύπωση προκαλεί ότι στο σύνολο των άρθρων, δεν διαπιστώθηκε κάποια αρνητική επίδραση της ΠΕΕΠ πλην τριών, όπου διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρξε κάποια διαφοροποίηση. Εξαιρέση στην θετική επίδραση της ΠΕΕΠ, αποτελεί το *simulator sickness*. Διαπιστώθηκε, ότι η μέθοδος πλοήγησης στον εικονικό κόσμο το επηρεάζει.

Η ανάλυση των παραπάνω 29 άρθρων αποκαλύπτει κάποιες γενικές κατευθύνσεις, για τον προσανατολισμό και τα ευρήματα των ερευνών. Ωστόσο τα άρθρα αυτά δεν μπορούν, για μεθοδολογικούς λόγους, να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα. Γι' αυτόν τον λόγο αποφασίστηκε η διαλογή των εγκυρότερων άρθρων, έτσι ώστε να προκύψουν ασφαλέστερα συμπεράσματα. Λόγω ανομοιογένειας του ερευνητικού σχεδιασμού των άρθρων, αποφασίστηκε η διαλογή να γίνει με βάση το μέγεθος του δείγματος.

Οι ερευνητικές εργασίες που πληρούσαν το παραπάνω μέγεθος δείγματος ήταν τέσσερις. Οι τέσσερις εργασίες δεν ταυτίζονται ως προς την ομάδα στόχο, μιας και οι τρεις έχουν ως δείγμα τους επισκέπτες και μια φοιτητές. Επιπρόσθετα, από το σύνολο των ερευνώμενων παραγόντων, βρέθηκε κοινός σε τρεις ο παράγοντας της παρουσίας/εμπύθισης στον εικονικό κόσμο. Οι υπόλοιποι παράγοντες απαντώνται μόνο σε μια έρευνα (ευκολία χρήσης, χρηστικότητα, γραφικά, ευχαρίστηση, κίνητρα, *simulator sickness*, μάθηση).

5.8. Σχολιασμός των αποτελεσμάτων των αξιόπιστων άρθρων

Ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα, μόνο μια ερευνητική εργασία ασχολήθηκε με τη μάθηση των χρηστών. Η εργασία αυτή των Checa & Bustillo (2020) διαίρεσε την μάθηση των χρηστών σε τέσσερις επιμέρους άξονες:

- Στις απαντήσεις των χρηστών σε ερωτήσεις γνώσεων που αφορούσαν αφηγήσεις.
- Στις απαντήσεις που αφορούσαν οπτικά προσλαμβάνουσες πληροφορίες.
- Στις απαντήσεις που αφορούσαν ικανότητα ανάκλησης τοποθεσιών κεντρικών κτηρίων.
- Στις απαντήσεις συμπλήρωσης χάρτη.

Σε όλα τα είδη, πλην των απαντήσεων που αφορούσαν αφηγήσεις, οι χρήστες τις ΠΕΕΠ παρουσίασαν καλύτερη επίδοση από ότι οι χρήστες video. Αυτό ίσως οφείλεται στο ότι λόγω της εμπύθισης του χρήστη στο περιβάλλον ΠΕΕΠ, αυτός εντυπωσιάζεται από τη ρεαλιστικότητα του περιβάλλοντος χώρου και αποσπάται από αυτό που του παρουσιάζεται, όπως άλλωστε έχουν διαπιστώσει και οι Rupp et al. (2016). Η θετική επίδραση της ΠΕΕΠ στις γνώσεις των χρηστών είναι ένα γεγονός που καταδεικνύεται από πλήθος εμπειρικών ερευνών (ενδεικτικά, Abichandani et al., 2019).

Εκτός από τη γνωστική επίδραση, τα άρθρα ερεύνησαν παράγοντες που σχετίζονται με τη γενικότερη εμπειρία χρήσης της ΠΕΕΠ. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο σύνολο των ερευνώμενων παραγόντων, τα αποτελέσματα έδειξαν θετική επίδραση της ΠΕΕΠ. Σε τρία από τα τέσσερα αξιόπιστα άρθρα αποκαλύπτεται θετική επίδραση της ΠΕΕΠ στην αίσθηση παρουσίας/εμπύθισης του χρήστη στον εικονικό κόσμο (Battisti & Stefano, 2018· Pagano et al., 2020· Rudi, 2021). Οι τρεις έρευνες διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, μιας και αυτές των Battisti & Stefano (2018) και Rudi (2021) δεν συγκρίνουν την ΠΕΕΠ με άλλα μέσα, αλλά απλώς οι χρήστες αξιολογούν το λογισμικό ΠΕΕΠ. Μάλιστα, η εργασία του Rudi (2021), αφορά μόνο την παράμετρο του ήχου στο λογισμικό ΠΕΕΠ. Παρόλες τις διαφορές τους, οι έρευνες συγκλίνουν στο ότι τα λογισμικά ΠΕΕΠ επιδρούν θετικά στην εμπύθιση και στην αίσθηση παρουσίας των χρηστών στον εικονικό κόσμο. Τα ευρήματα των ερευνών αυτών συμφωνούν με μεγάλο πλήθος εμπειρικών ερευνών, οι οποίες υπογραμμίζουν τον παράγοντα παρουσία/εμπύθιση των λογισμικών ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, Argyriou et al., 2020· Atsikpasi & Fokides, 2021· Battisti & Stefano, 2018· Christofi et al., 2018· Häkkinen et al., 2019· Pagano et al., 2020· Rudi, 2021). Οι υπόλοιποι παράγοντες εμφανίζονται ο κάθε ένας, σε ένα από τα αξιόπιστα άρθρα. Πιο συγκεκριμένα, στο άρθρο των Battisti & Stefano (2018) γίνεται λόγος για θετική αξιολόγηση των χρηστών στην ευκολία χρήσης. Στην έρευνα των Pagano et al.

(2020) αξιολογήθηκαν θετικά οι παράγοντες: χρηστικότητα, γραφικά και ευχαρίστηση. Τα ευρήματα των Pagano et al. (2020) συγκλίνουν με τα ευρήματα εμπειρικών ερευνών στον χώρο της ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, Peixoto et al., 2019). Τέλος, αναφορικά με τον παράγοντα simulator sickness, η έρευνα των Checa & Bustillo (2020) έδειξε επίδραση της ΠΕΕΠ στο simulator sickness. Πιο συγκεκριμένα, ανιχνεύτηκε μεγαλύτερο simulator sickness όταν χρησιμοποιήθηκε gamepad locomotion, από ότι όταν χρησιμοποιήθηκε teleporting. Η έρευνα, εκτός των άλλων, συγκρίνει δύο διαφορετικές μεθόδους πλοήγησης, την τηλεκίνηση και την κίνηση με joystick, αποκαλύπτοντας ότι η χρησιμοποίηση τηλεκίνησης στην ΠΕΕΠ, επιφέρει λιγότερα προβλήματα ζάλης. Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν και με άλλες έρευνες, αναφορικά με το φαινόμενο simulator sickness στα λογισμικά ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, Rangelova et al., 2019).

5.9. Περιορισμοί της παρούσας ανασκόπησης

Η παρούσα ανασκόπηση, αν και καταβλήθηκε προσπάθεια να είναι όσο το δυνατόν πιο σχολαστική, εμπίπτει σε ορισμένους περιορισμούς. Ορισμένες εργασίες δεν περιλήφθηκαν στην ανάλυση, καθώς δεν υπήρχε πρόσβαση σε αυτές. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, ενδέχεται να υπάρχουν εργασίες οι οποίες δεν συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα ανασκόπηση. Ένας ακόμα περιορισμός ήταν η εστίαση σε τεχνολογικά μέσα ΠΕΕΠ υψηλής εμπύθισης (6DoF HMDs). Μια επέκταση της ανασκόπησης θα μπορούσε να συμπεριλάβει και μέσα χαμηλότερης εμπύθισης, όπως οι συσκευές 3DoF. Επιπρόσθετα, μια αδυναμία της ανασκόπησης ήταν η μη αναφορά από τους συγγραφείς των άρθρων, του χρόνου διάρκειας των παρεμβάσεων. Ακόμη όμως και όταν αναφερόταν ο χρόνος παρέμβασης, σε πολλές περιπτώσεις δεν αποσαφηνιζόταν αν ο χρόνος αντιστοιχούσε στην όλη την ερευνητική διαδικασία ή αφορούσε μόνο στη διάδραση με τα εκπαιδευτικά μέσα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ενδεχομένως τα στοιχεία των ερευνών που αφορούν χρόνο, εκτός από πολλές φορές ελλιπή, μπορεί να μην είναι και ακριβή. Εκτός των παραπάνω, περιορισμό της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αποτελεί η μεγάλη έλλειψη ερευνητικών εργασιών, οι οποίες να χρησιμοποιούν συγκρίσεις είτε μεταξύ υποκειμένων, είτε μεταξύ τεχνολογικών μέσων. Μεγάλο μέρος των ερευνητικών εργασιών έχει απλό ερευνητικό σχεδιασμό ο οποίος πολλές φορές απλώς περιλαμβάνει ένα ερωτηματολόγιο εξόδου από το λογισμικό, με σκοπό την αξιολόγηση του από τους χρήστες. Αυτό το γεγονός ίσως οφείλεται στον τεχνολογικό προσανατολισμό πολλών συγγραφέων. Δίνεται μεγάλο βάρος στην ανάπτυξη των λογισμικών ΠΕΕΠ και είναι αλήθεια ότι αρκετά από αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν ως ιδιαίτερα εντυπωσιακά και πολύπλοκα. Επιπρόσθετα, εκτός από τον ερευνητικό σχεδιασμό πολλών

ερευνών, η συντριπτική πλειοψηφία τους, διακρίνεται από χαμηλά σε αριθμό δείγματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία εξαγωγής γενικών συμπερασμάτων από τα ευρήματα των ερευνών. Τέλος, εντύπωση προκαλεί η αδυναμία συμπερίληψης πολλών μέσων. Οι περισσότερες έρευνες αφορούσαν μόνο την ΠΕΕΠ, χωρίς να έχουν συμπεριληφθεί και άλλα μέσα (ενδεικτικά, ΕΠΕΠ, ιστοσελίδες).

5.10. Συμπεράσματα

Η παρούσα ανασκόπηση αποτελεί καινοτομία στον χώρο της χρήσης ΠΕΕΠ στη μουσειακή εκπαίδευση και στην εκπαίδευση στην πολιτιστική κληρονομιά, μιας και δεν κατέστη δυνατός ο εντοπισμός άλλης ανασκόπησης στο ίδιο θέμα. Εφορμώντας από αυτή την αφετηρία, ο αριθμός των άρθρων που προέκυψαν μετά από το διάγραμμα ροής PRISMA, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αρκετά ικανοποιητικός ($n = 29$). Αποκαλύφθηκε ότι τα λογισμικά ΠΕΕΠ, χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για την αναπαράσταση μουσειακών χώρων και χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς. Το μέσο ΠΕΕΠ που χρησιμοποιήθηκε περισσότερο είναι το Oculus Rift και ακολουθεί το HTC Vive. Η πλειοψηφία των ερευνών δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερα σχολαστική, μιας και τα ομολογουμένως -πολλές φορές- άρτια λογισμικά δεν ερευνώνται ενδελεχώς, έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι μαθησιακές και εμπειρικές τους επιδράσεις. Φάνηκε ότι πολλές φορές η έρευνα είχε ως σκοπό απλώς την αξιολόγηση του λογισμικού. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι ενώ οι τεχνολογίες ΠΕΕΠ χρησιμοποιούνται ως εκπαιδευτικά μέσα μουσειακής εκπαίδευσης, δεν έχει πραγματοποιηθεί καμία έρευνα αναφορικά με την γνωστική και συναισθηματική τους επίδραση, στον χώρο της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας. Επίσης αποκαλύφθηκε ο περιορισμός των περισσότερων ερευνών σε δείγμα και αριθμό εκπαιδευτικών μέσων.

Από τις έρευνες που χαρακτηρίστηκαν ως αξιόπιστες ($n = 4$), αποκαλύφθηκε γενικά θετική γνωστική επίδραση της ΠΕΕΠ και επιπρόσθετα θετική επίδραση στους παράγοντες παρουσία/εμβύθιση, ευκολία χρήσης, γραφικά, ευχαρίστηση. Επιπρόσθετα ανιχνεύτηκε και επίδραση της ΠΕΕΠ στη δημιουργία simulator sickness, περισσότερο με χρήση της μεθόδου κίνησης με joystick.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η έρευνα σχετικά με τις επιδράσεις της ΠΕΕΠ στη μουσειακή εκπαίδευση, βρίσκεται σε εμβρυακό επίπεδο. Η συμβολή σε αυτή την ερευνητική κατεύθυνση αποτελεί μείζονα σκοπό της παρούσας διατριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ/ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑΣ

6.1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό έχει σκοπό να παρουσιάσει τη διαδικασία δημιουργίας των τριών μέσων (δύο λογισμικά ΕΠ και ιστοσελίδες). Αρχικά, παρουσιάζεται η διαδικασία εξοικείωσης με τα λογισμικά ανάπτυξης των εφαρμογών (Blender, Unity, Visual Studio Code). Ακολουθεί η διαδικασία δημιουργίας του λογισμικού ΠΕΕΠ, το οποίο αποτελούταν από τέσσερις εφευρέσεις. Έπειτα παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας του ΕπΕΠ λογισμικού, που αποτελούταν επίσης από τέσσερις εφευρέσεις. Τέλος, παρουσιάζεται η ανάπτυξη των ιστοσελίδων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία δημιουργίας των μέσων δομήθηκε με βάση τη μεθοδολογική προσέγγιση within subjects.

6.2. Δημιουργία λογισμικού ΠΕΕΠ

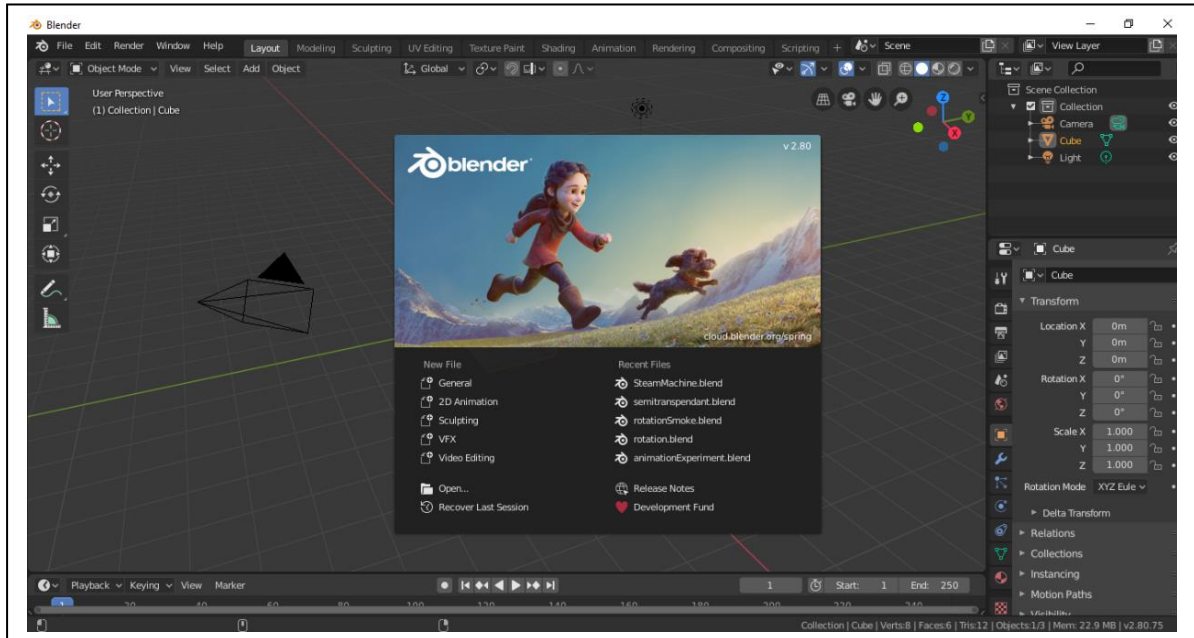
6.2.1. Εξοικείωση με τα λογισμικά παραγωγής των εφαρμογών ΕΠ

6.2.1.1. Εξοικείωση με το Blender

Αρχικά, επιχειρήθηκε εξοικείωση με τα προγράμματα που ήταν απαραίτητα για τη δημιουργία τόσο του λογισμικού ΕπΕΠ, όσο και του λογισμικού ΠΕΕΠ. Όπως φάνηκε από τα προηγούμενα κεφάλαια, τα λογισμικά ΠΕΕΠ που δημιουργήθηκαν με σκοπό την εκμάθηση μηχανικών συστημάτων, αλλά και για μουσειακή εκπαίδευση ήταν απαιτητικά και πολλές φορές χρειαζόταν η χρησιμοποίηση, εκτός από το κυρίως λογισμικό δημιουργίας τους (συνήθως Unity ή Unreal) και προγραμμάτων 3D modeling. Επειδή οι αρχαίες εφευρέσεις δεν υπήρχαν σε κάποιο αποθετήριο έτοιμες, για τις ανάγκες της διατριβής έπρεπε εκτός από την εκμάθηση του λογισμικού δημιουργίας 3D εφαρμογών (Unity), να αποκτηθεί τεχνογνωσία και σε κάποιο λογισμικό 3D modeling. Σε αυτό θα σχεδιάζονταν αρχικά οι αρχαίες μηχανές και κατόπιν θα εισάγονταν στο Unity. Υπήρχαν αρκετά διαθέσιμα προγράμματα 3D modeling, τα οποία χρησιμοποιούνταν για χρόνια σε επαγγελματικές εφαρμογές. Τα πιο διαδεδομένα - μεταξύ άλλων- ήταν το 3D Studio MAX, το Maya, το Cinema 4D και το Blender. Δεν χωρά αμφιβολία ότι όλα τα παραπάνω προγράμματα ήταν εξαιρετικά αξιόλογα και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε από αυτά. Άλλωστε, χρησιμοποιούνταν χρόνια από ειδικούς επαγγελματίες του κινηματογράφου και από τεχνολογικά Πανεπιστήμια. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το Blender, διότι προσέφερε το σύνολο των δυνατοτήτων που προσέφεραν και

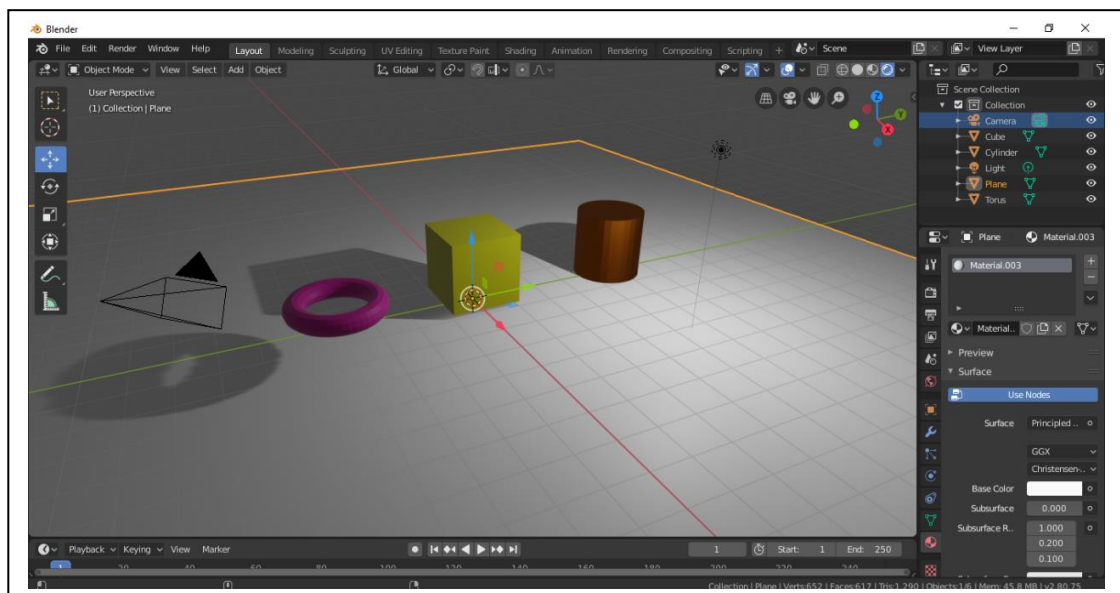
τα υπόλοιπα, αλλά ταυτόχρονα, ήταν και το πιο «ελαφρύ», δηλαδή απαιτούσε μικρότερη υποστήριξη σε hardware. Επιπρόσθετα, το Blender ήταν δωρεάν, ανοικτού κώδικα και είχε μια από τις μεγαλύτερες κοινότητες χρηστών.

Μέσω εγχειριδίων και οδηγών επιχειρήθηκε η εξοικείωση με το interface του προγράμματος, το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.1.



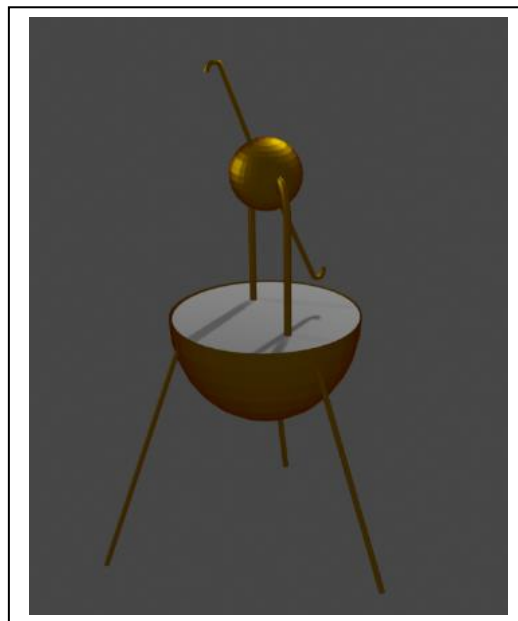
Εικόνα 6.1. Το interface του Blender

Μετά την εξοικείωση με το interface, επιχειρήθηκε η δημιουργία απλών στερεών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.2.



Εικόνα 6.2. Δημιουργία απλών στερεών στο Blender

Σταδιακά, από τα απλά στερεά, η σχεδίαση εξελίχθηκε σε συνθετότερα με χρήση τομών, δημιουργία καμπυλών, διαχείριση υφών, parenting κ.α.. Ως αρχική πειραματική κατασκευή, επιλέχθηκε η αιολόσφαιρα του Ήρωνα του Αλεξανδρινού, που περιλάμβανε αρκετά μηχανικά μέρη (στάτορα, ρότορα), καμπύλες και ιδιαίτερη υφή από χαλκό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.3. Από το σύνολο των αρχαιοελληνικών εφευρέσεων θα μπορούσε να επιλεγθεί οποιαδήποτε μηχανή για εξοικείωση στη σχεδίαση, όμως επιλέχθηκε η αιολόσφαιρα γιατί η σχεδίαση της και προπαντός το animation της ήταν αρκετά σύνθετο. Επομένως, ο επιτυχής σχεδιασμός της θα σήμαινε την κατάκτηση της απαραίτητης τεχνογνωσίας για τη δημιουργία πλήθους αρχαίων εφευρέσεων. Επίσης, η ατμομηχανή του Ήρωνα αποτελούσε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αρχαίας ατμομηχανής. Το υποσύνολο των αρχαίων μηχανών που χρησιμοποιούσαν ατμό για να λειτουργήσουν (αιολόσφαιρα, αιωρούμενη σφαίρα, ιπτάμενη περιστέρα, μαγικός χορός, αμιοτηλεβόλο), είχε ιδιαίτερη σημασία, διότι καταδείκνυε ότι οι αρχαίοι Έλληνες είχαν δημιουργήσει ατμομηχανική τεχνολογία.

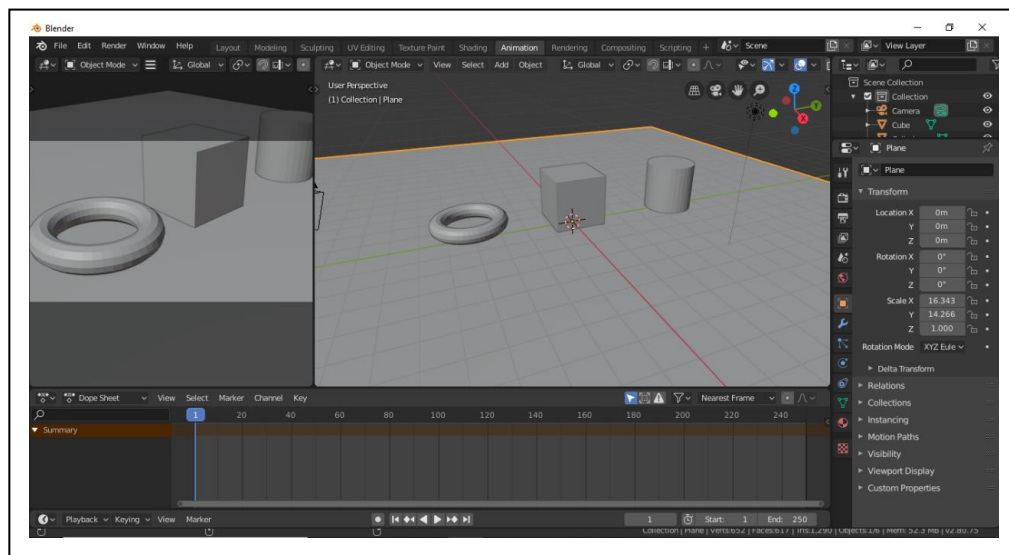


Εικόνα 6.3. Αρχικό μοντέλο της αιολόσφαιρας του Ήρωνα στο Blender

Το ζήτημα που ανέκυψε μετά την απόκτηση της απαραίτητης τεχνογνωσίας στο 3D modeling, ήταν το που θα δημιουργούταν το animation των μηχανών. Οι επιλογές ήταν δυο: Η πρώτη ήταν να δημιουργηθεί στο Blender και κατόπιν, να εισαχθεί στο Unity. Η δεύτερη ήταν το Blender να χρησιμοποιηθεί μόνο για το 3D modeling και έπειτα το μοντέλο να εισαχθεί στο Unity, ώστε να οριστεί εκεί το animation. Συμβουλευτήκαμε οδηγούς που ανέφεραν ότι ήταν δυνατή η εξαγωγή του animation από το Blender στο Unity. Επειδή το Blender ήταν

ιδιαίτερα δημοφιλές για τις πολλές και ιδιαίτερα σύνθετες δυνατότητες animation που προσφέρει, αποφασίστηκε η δημιουργία του animation στο Blender και κατόπιν η εισαγωγή τους στο Unity. Οι απαιτήσεις των λογισμικών της διατριβής σε animation ήταν ιδιαίτερα αυξημένες, διότι δεν ήταν αρκετή η επίτευξη της κίνησης των μηχανικών μερών μόνο, αλλά χρειαζόταν και ειδικό animation με σωματίδια (particle animation), για να μπορέσουν να προσομοιωθούν οι κινήσεις της φωτιάς, του ατμού και του νερού. Αυτές οι κινήσεις ήταν κρίσιμες, προκειμένου να αναδειχθεί η λειτουργία των εφευρέσεων.

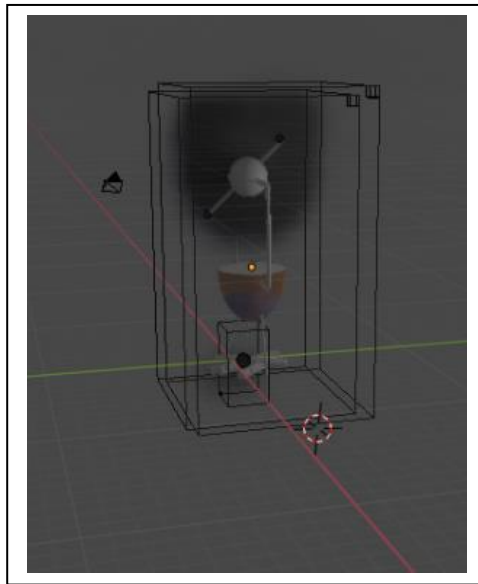
Μέσω οδηγών αποκτήθηκε τεχνογνωσία στο «απλό» animation (χωρίς σωματίδια) κινήσεων (move, rotate, transform). Δημιουργήθηκαν αντικείμενα που περιστρέφονταν, κινούνταν ευθύγραμμα και άλλαζαν διαστάσεις. Έπειτα δημιουργήθηκαν σύνθετα animation κινήσεων, όπου τα αντικείμενα περιστρέφονταν, κινούνταν ευθύγραμμα και άλλαζαν διαστάσεις ταυτόχρονα. Τα παραπάνω δημιουργήθηκαν σε ειδικό περιβάλλον του Blender, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.4.



Εικόνα 6.4. Το περιβάλλον για δημιουργία animation στο Blender

Μετά την επίτευξη animation κίνησης, επιχειρήθηκε particle animation. Δημιουργήθηκαν particle animations με νερό, φωτιά και ατμό. Έπειτα επιχειρήθηκε ο συνδυασμός όλων, στην ατμομηχανή του Ήρωνα. Το αποτέλεσμα ήταν να επιτευχθεί το ζητούμενο σύνθετο animation με ακρίβεια. Η πορεία του ήταν αρχικά να ανάβει η φωτιά, μετά από κάποια δευτερόλεπτα να εκκινεί ο ρότορας την περιστροφική του κίνηση και ταυτόχρονα να εξάγεται ατμός από τις δύο εξατμίσεις. Μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος, αρχικά έπρεπε να σβήνει η φωτιά. Κατόπιν, μετά από κάποια δευτερόλεπτα, έπρεπε να

σταματάει η κίνηση του ρότορα και να εξέρχεται ατμός από τις εξατμίσεις. Στιγμιότυπο του πειραματικού particle animation παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.5.



Εικόνα 6.5. Particle animation της αιολόσφαιρας του Ήρωνα στο Blender

6.2.1.2. Εισαγωγή από το Blender στο Unity

Μετά την επιτυχή δημιουργία των animation της μηχανής, πραγματοποιήθηκε εξαγωγή του έργου σε format fbx και η εισαγωγή του στο Unity. Διαπιστώθηκε ότι το μοντέλο δεν ήταν δυνατόν να λειτουργήσει στο Unity. Ο λόγος της ασυμβατότητας ήταν ότι ενώ όντως τα μοντέλα σε format fbx εισάγονταν κατευθείαν και χωρίς ρυθμίσεις, με drag and drop στο Unity, δεν συνέβαινε το ίδιο με όλα τα animations. Συμβατά με το Unity είναι μόνο τα animations κίνησης (move, rotation, transform) και όχι τα particle animations (φωτιά, νερό, καπνός). Μάλιστα, εκτός της μη λειτουργίας των animations, το μοντέλο δεν εμφανιζόταν σωστά στο Unity. Ήταν εμφανή τα smoke και fire domains (χώροι τριών διατάσεων που πραγματοποιούνται τα particle animations). Επίσης, δεν εμφανίζονταν κάποια μέρη της μηχανής (ρότορας, εξατμίσεις), τα οποία τελικά είχαν μεταφερθεί εντός των fire και smoke domains.

Τα παραπάνω είχαν ως αποτέλεσμα να αποφασιστεί η δημιουργία του μοντέλου στο Blender και η μετέπειτα προσθήκη των animations στο Unity. Το τελικό εισαχθέν μοντέλο στο Unity παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.6.



Εικόνα 6.6. Το τελικό μοντέλο που εισήχθη στο Unity

6.2.1.3. Δημιουργία animation στο Unity

Επιχειρήθηκε η απόκτηση τεχνογνωσίας στη δημιουργία animation στο Unity. Και στο Unity, τα animation χωρίζονταν σε δύο κατηγορίες, τα «απλά» animations κίνησης (move, rotate, transform) και στα πιο σύνθετα, τα animations με σωματίδια (particle animations). Αρχικά, δημιουργήθηκαν απλά animation κίνησης με βασικά στερεά (primitives). Μετά την απόκτηση βασικής τεχνογνωσίας, επιχειρήθηκε η διαχείριση τους, μέσω του εργαλείου Animator του Unity. Με τη βοήθεια του Animator, ορίστηκαν η διαδοχή και οι ενέργειες που πυροδοτούσαν τα animations (triggers). Ο στόχος του λογισμικού ήταν η απτική διάδραση του χρήστη με τις αρχαίες εφευρέσεις. Η απτική διάδραση γινόταν μέσω απτικών χειριστηρίων. Στην συγκεκριμένη εφεύρεση, την αιολόσφαιρα του Ήρωνα, στόχος ήταν ο χρήστης να ανάβει με πυρσό τη φωτιά. Το άναμμα της φωτιάς έπρεπε να γίνεται μέσω ενός φλεγόμενου πυρσού, τον οποίο ο χρήστης θα έπιανε (με τα Oculus touch) και θα τον απέθετε στα ξύλα που βρίσκονταν κάτω από τον στάτορα της μηχανής. Όπως θα φανεί και στη συνέχεια, για την πραγματοποίηση αυτού του είδους των triggers, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν τα Collisions (αντικείμενα που ανιχνεύουν την επαφή δυο σωμάτων). Πριν οριστούν τέτοιου επιπέδου triggers, επιχειρήθηκε αρχικά η «απλή» ενεργοποίηση των animations, μέσω πατήματος πλήκτρου από το πληκτρολόγιο (keypress trigger). Έγινε χρήση script σε γλώσσα C#, μέσω του λογισμικού Visual Studio Code.

Μετά το επιτυχές keypress trigger, επιχειρήθηκε η παραμετροποίηση του script, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ταυτόχρονη ενεργοποίηση δύο διαφορετικών animation κίνησης. Αφού αποκτήθηκε η απαραίτητη τεχνογνωσία, το επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία keypress trigger,

που να ενεργοποιεί animation κίνησης και particle animation. Για τα particle animations χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα prefab (έτοιμα αντικείμενα) από ειδικό Asset (πρόσθετο) του Unity, το Unity Particle Pack.

6.2.1.4. Ορισμός gameplay και εισαγωγή εφαρμογών από το Unity στο Oculus Quest

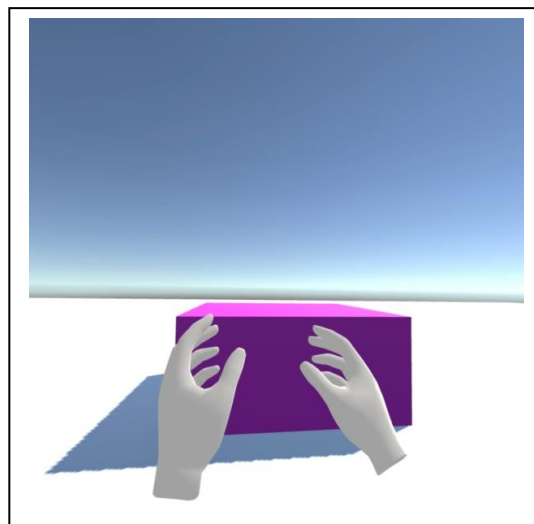
Ενώ στο Unity είχε αποκτηθεί σημαντική τεχνογνωσία, λόγω της μη κατοχής συσκευής Oculus Quest, δεν ήταν δυνατό το ανέβασμα των εφαρμογών του Unity στο Oculus και λάμβαναν χώρα προσπάθειες που κινούνταν αποκλειστικά στο επίπεδο της ΕπΕΠ. Μετά την απόκτηση συσκευής Oculus Quest, άρχισε σταδιακά και η απόκτηση τεχνογνωσίας στην ΠΕΕΠ. Αφού αρχικά εξερευνήθηκε η νέα συσκευή, εγκαταστάθηκαν τα προβλεπόμενα λογισμικά για τη χρήση της. Τα λογισμικά αυτά ήταν το Side Quest (<https://sidequestvr.com>), το οποίο επέτρεπε τη μεταφορά αρχείων από τον υπολογιστή στο Oculus Quest και η εφαρμογή Oculus σε smartphone, μέσω της οποίας παρέχόταν πρόσβαση στο Oculus Quest και στις ρυθμίσεις του. Επιπρόσθετα, επειδή τα εκτελέσιμα αρχεία του Oculus Quest ήταν εφαρμογές Android, εγκαταστάθηκαν ειδικά πρόσθετα που επέτρεπαν την εξαγωγή αρχείων σε Android format (apk).

Μετά την εγκατάσταση των απαραίτητων προγραμμάτων, επιχειρήθηκε η δημιουργία εφαρμογών στο Unity, οι οποίες κατόπιν θα «ανέβαιναν» στο Oculus Quest. Αρχικά επιχειρήθηκε η δημιουργία απλών εφαρμογών. Η πρώτη πειραματική εφαρμογή που δημιουργήθηκε, αποτελούταν από ένα δάπεδο (plain) με έναν κύβο στη μέση του. Το καινούργιο στοιχείο που προστέθηκε στην εφαρμογή, ήταν ο player (παίκτης) και ο ορισμός των χειριστηρίων (gameplay). Ο παίκτης «έβλεπε» μέσα από το HMD, δηλαδή η κάμερα γύριζε όπου έστρεφε ο χρήστης το κεφάλι του. Η κίνηση στον εικονικό χώρο γινόταν μέσω των μοχλών κίνησης των χειριστηρίων Oculus Touch. Ο χρήσης είχε τη δυνατότητα να κινεί και να βλέπει τα χέρια του στον εικονικό κόσμο. Τα χέρια του χρήστη στον εικονικό κόσμο ακολουθούσαν την κίνηση των φυσικών χεριών που κρατούσαν τα Oculus Touch. Η συνολική κίνηση του χρήστη στον εικονικό κόσμο (κίνηση κεφαλιού και κορμού) είχε έξι βαθμούς ελευθερίας (6DoF).

Οι παραπάνω κρίσιμες λειτουργίες μιας εφαρμογής ΠΕΕΠ παρέχονταν από ρυθμίσεις του ειδικού asset του Unity, Oculus Integration. Αφού εγκαταστάθηκε και παραμετροποιήθηκε επιτυχώς, έγινε προσπάθεια δημιουργίας αρχείου apk και «ανέβασμα» του στο Oculus. Η δυσκολία του εγχειρήματος ήταν ότι λόγω συνεχών αναβαθμίσεων τόσο του Unity, όσο και των assets, οι οδηγοί του Διαδικτύου δεν ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα.

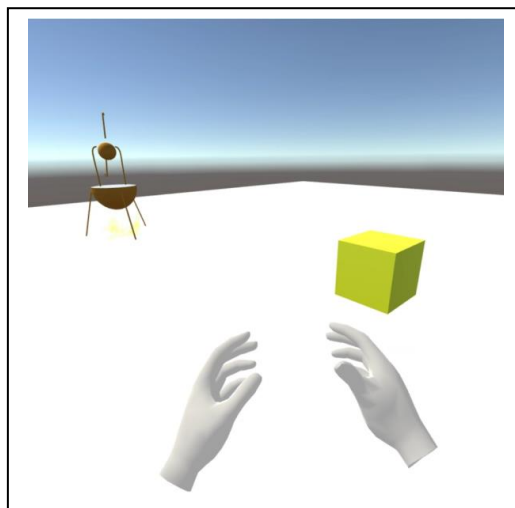
Γενικά στην ανάπτυξη λογισμικού μέσω του Unity, είναι σύνηθες το φαινόμενο τα δεδομένα να αλλάζουν ταχύτατα, με αποτέλεσμα ρυθμίσεις και διαδικασίες οι οποίες περιγράφονται σε οδηγούς δημιουργημένους δύο μήνες πριν, να μη λειτουργούν ή να μη λειτουργούν με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Οι συνεχείς και πολλές φορές δομικές αλλαγές, είναι ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σχεδόν όλων των τεχνολογιών αιχμής και η συνεχής και δια βίου μάθηση αποτελούν το τίμημα της γνώσης τους.

Στην προκειμένη περίπτωση, η τελευταία έκδοση του asset Oculus Integration χρειαζόταν μια διαδικασία ενσωμάτωσης μυστικού κωδικού εφαρμογής, που δινόταν μέσω του λογαριασμού του Oculus Quest. Ο κωδικός αυτός εισαγόταν στο Unity και έτσι επιτρεπόταν η λειτουργία της εφαρμογής στο Oculus Quest. Η διαδικασία αυτή απουσίαζε από τους οδηγούς του Διαδικτύου, μιας και η αλλαγή αυτή ήταν πολύ πρόσφατη. Αφού έγινε δυνατή τελικά η ενσωμάτωση κωδικού, μετά από αρκετές ρυθμίσεις δημιουργήθηκε η εφαρμογή σε apk format. Αφού «ανέβηκε», μέσω του λογισμικού Side Quest στο Oculus Quest, δοκιμάστηκε. Πλέον, ήταν για πρώτη φορά εφικτή η πλοήγηση σε περιβάλλον ΠΕΕΠ και όλα δούλευαν καλώς. Όντως η κάμερα έδειχνε όπου κινούταν το HMD, το avatar κινούταν με ακρίβεια μέσω των Oculus Touch. Επίσης, τα χέρια του avatar εμφανίζονταν στον εικονικό κόσμο και υπάκουγαν στις κινήσεις που πραγματοποιούσαν τα φυσικά χέρια του χρήστη, μέσω των αισθητήρων των Oculus Touch. Επιπρόσθετα, ο παίκτης κινούταν κανονικά στο έδαφος, μιας και είχε ιδιότητες «φυσικού» σώματος. Ο κύβος εμπόδιζε τον παίκτη στην διάβασή του. Τέλος, ελέγχθηκε ο φωτισμός και οι σκιάσεις. Στιγμιότυπο της εφαρμογής παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.7.



Εικόνα 6.7. Εφαρμογή ΠΕΕΠ

Μετά την επιτυχή δοκιμή της πρώτης εφαρμογής, έγινε προσπάθεια να δημιουργηθεί μια εφαρμογή με το μοντέλο της αιολόσφαιρας και ένα particle system, ώστε να ελεγχθεί η εμφάνιση τους στον εικονικό κόσμο. Η εφαρμογή περιείχε εκτός από το avatar, έδαφος (plane), ένα απλό αντικείμενο του Unity (κύβος), ένα μοντέλο του Blender (αιολόσφαιρα) και ένα particle system (φωτιά tiny flames). Αφού σχεδιάστηκαν όλα, επιχειρήθηκε η δημιουργία αρχείου apk, όμως αυτό δεν κατέστη δυνατό. Αφού πραγματοποιήθηκαν εκ νέου ρυθμίσεις, μπόρεσε να εξαχθεί το apk αρχείο και εισήχθη στο Oculus Quest. Διαπιστώθηκε ότι και τα καινούργια αντικείμενα (ατμομηχανή και φωτιά) εμφανίζονταν κανονικά, χωρίς προβλήματα, όπως ακριβώς εμφανίζονταν και συμπεριφέρονταν στο play mode του Unity. Στιγμιότυπο της εφαρμογής παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.8.



Εικόνα 6.8. Δεύτερη εφαρμογή ΠΕΕΠ με αντικείμενο από το Blender και particle system

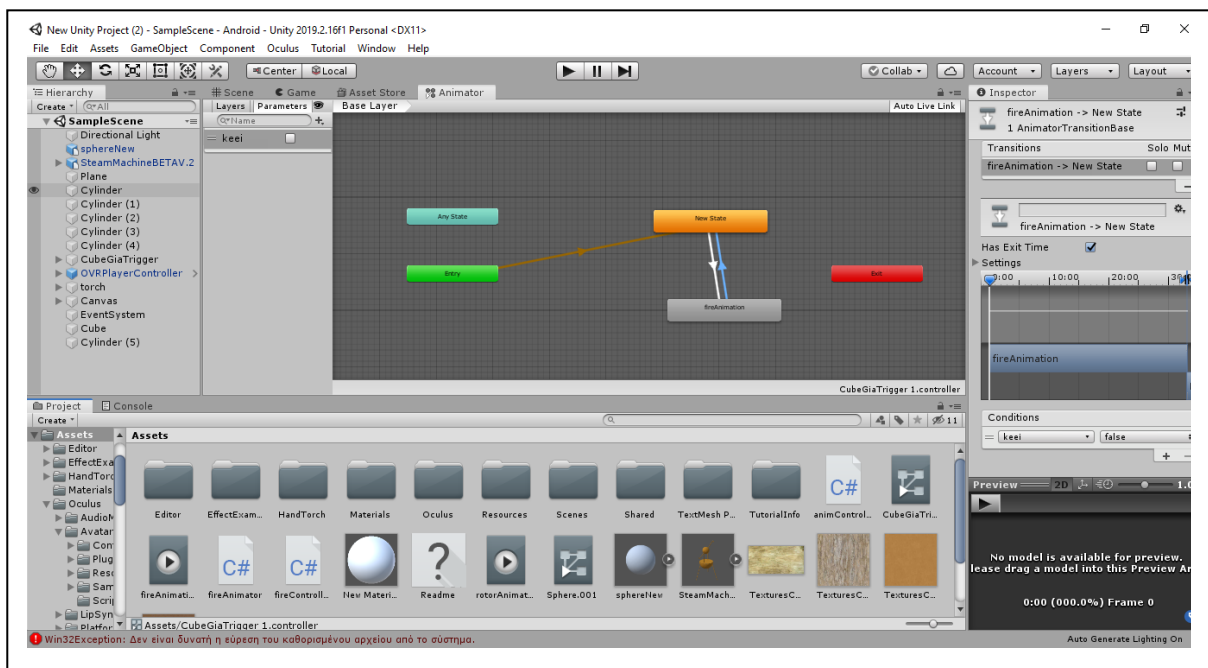
6.2.2. Δημιουργία της πρώτης εφαρμογής για την αιολόσφαιρα

6.2.2.1. Κυρίως δημιουργία

Το επόμενο βήμα για τη δημιουργία του λογισμικού ΠΕΕΠ, ήταν η προσπάθεια ενσωμάτωσης του συνόλου των επιθυμητών στοιχείων, σε μια εφαρμογή ΠΕΕΠ. Αυτό το βήμα ήταν πολύ σημαντικό για την πραγματοποίηση του τεχνικού μέρους της διατριβής, διότι εάν πραγματοποιούταν θα «έκλεινε» σωστά όλος ο κύκλος δημιουργίας μιας εφεύρεσης (Blender→Unity→Oculus) και αυτό θα σήμαινε την κατάκτηση της απαραίτητης τεχνογνωσίας για τη δημιουργία εφευρέσεων ΠΕΕΠ.

Ο κύκλος δημιουργίας της μηχανής περιλάμβανε αρχικά την τρισδιάστατη σχεδίαση της στο Blender (3D modeling) και έπειτα την επεξεργασία των υφών (texturing). Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης της μηχανής, ακολούθησε η εξαγωγή του αρχείου σε fbx format

και η εισαγωγή του στο Unity για περαιτέρω επεξεργασία. Έπειτα, ορίστηκαν τα βασικά στοιχεία του εικονικού κόσμου (ενδεικτικά, έδαφος, φωτισμός) και ακολούθησαν ομαδοποιήσεις (joint) επιμέρους εξαρτημάτων της μηχανής, έτσι ώστε η μηχανή να μπορεί λειτουργήσει σωστά κατά το animation. Μετά τις αναγκαίες ομαδοποιήσεις δημιουργήθηκε το animation της μηχανής, μια σύνθετη διαδικασία που περιλάμβανε συνδυασμό γεγονότων, μέσω του εργαλείου Animator και προγραμματισμό σε γλώσσα C#. Επιπρόσθετα, ορίστηκαν triggers, μέσω του λογισμικού Visual Studio Code. Ο συντονισμός των animations ορίστηκε μέσω του εργαλείου Animator, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 6.9.



Εικόνα 6.9. Το εργαλείο Animator

Το συνολικό animation της μηχανής περιλάμβανε επιμέρους animations που συγχρονίζονταν μεταξύ τους. Τα επιμέρους animations ήταν: φωτιάς (particle), περιστροφικής κίνησης (rotate) και δυο ατμού, ένα για κάθε μια από τις εξατμίσεις του ρότορα. Μετά την ολοκλήρωση του animation, δημιουργήθηκαν επιμέρους στοιχεία, απαραίτητα για ένα λογισμικό μουσειακής εκπαίδευσης (ενδεικτικά, επεξηγηματικά κείμενα). Σε αυτό το σημείο ανάπτυξης, το λογισμικό ενέπιπτε στην κατηγορία της ΕπΕΠ. Για την αναβάθμιση του λογισμικού σε λογισμικό ΠΕΕΠ, ήταν απαραίτητη η επιπλέον επεξεργασία του, μέσα από το πρόσθετο «Oculus Integration». Μέσω του πρόσθετου προσδόθηκαν όλα εκείνα τα στοιχεία, τα οποία καθιστούσαν ένα λογισμικό, λογισμικό ΠΕΕΠ: κίνηση του κεφαλιού με από το HMD, κίνηση των χεριών και ιδιότητα αρπαγής (grab), με τα με τα χειριστήρια Oculus Touch. Δόθηκε

στον χρήστη η δυνατότητα να πιάνει αντικείμενα με τα εικονικά του χέρια και να τα μετακινεί. Στην αιολόσφαιρα, ο χρήστης έπρεπε να πιάσει έναν καιόμενο πυρσό και να τον τοποθετήσει πάνω στα ξύλα, έτσι ώστε να ανάψει η φωτιά που θα την ενεργοποιήσει. Αυτό στο στοιχείο ήταν ιδιαίτερα σημαντικό, διότι επέτρεπε τη διάδραση του χρήστη με το περιβάλλον και όχι απλώς την παρακολούθηση ενός animation.

Μετά το άναμμα της φωτιάς κάτω από τη μηχανή, μετά από λίγα δευτερόλεπτα θα έπρεπε να εκκινεί με μικρή ταχύτητα ο ρότορας και να εξέρχεται ατμός από τις εξατμίσεις. Μετά την εκκίνηση του ρότορα με μικρή ταχύτητα και ενώ η φωτιά συνέχιζε να καίει, έπρεπε να επιταχύνει φθάνοντας στη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής. Παράλληλα, θα έπρεπε να συνεχίζει να εξέρχεται ατμός από τις εξατμίσεις. Αναφορικά με τον ατμό, στην πειραματική εφαρμογή τονίστηκε περισσότερο από ότι συμβαίνει στην κανονική λειτουργία της μηχανής. Κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής, ο ατμός που έβγαινε από τις εξατμίσεις της μηχανής, δεν ήταν τόσο καλά διακριτός, όσο στην εικονική αναπαράσταση. Προκειμένου να καταστεί καλύτερα διακριτός, θα έπρεπε ο παρατηρητής να πλησιάσει αρκετά τη μηχανή. Αποφασίστηκε να τονιστεί η αρχή λειτουργίας της μηχανής, με εντονότερη παρουσία του ατμού, λόγω του εκπαιδευτικού προορισμού του λογισμικού. Έπειτα, έπρεπε η φωτιά να σβήνει, να μειώνεται η ταχύτητα περιστροφής και μετά από μερικά δευτερόλεπτα να σταματάει η περιστροφή. Επιπρόσθετα, στον χώρο πλησίον της μηχανής έπρεπε να υπάρχει κείμενο με την ονομασία της.

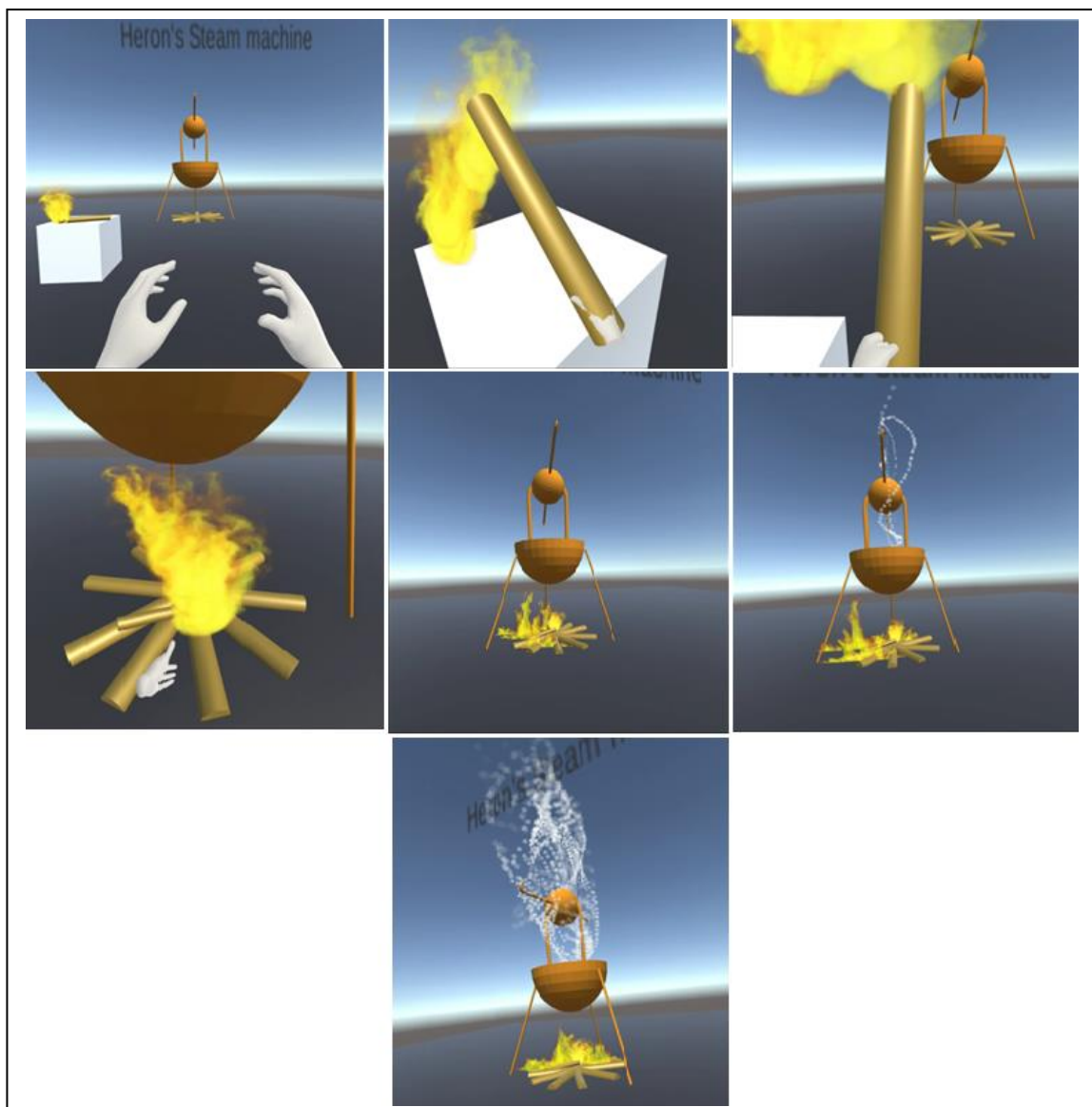
Ήταν πολύ σημαντικό, επειδή το λογισμικό στόχευε στην εκπαίδευση των χρηστών και επειδή έπρεπε να δημιουργηθεί όσο πιο αληθοφανές γίνεται, ο χρήστης να μπορεί να κινείται όσο το animation της μηχανής ήταν σε λειτουργία. Αυτό κρίθηκε σημαντικό, διότι αφενός κατά αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορούσε να παρακολουθήσει τη λειτουργία υπό οποιαδήποτε γωνία επιθυμούσε και αφετέρου, διότι αυτό συμβαίνει και στον πραγματικό κόσμο. Γι' αυτούς τους λόγους δεν χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο «Timeline» του Unity, με το οποίο θα ήταν πιο εύκολος ο συγχρονισμός των επιμέρους animations της αιολόσφαιρας, όμως δεν θα υπήρχε η δυνατότητα κίνησης κατά την διάρκεια του animation. Με αυτό το εργαλείο δημιουργούνται cutscenes, δηλαδή σκηνές όπου ορίζονται συγκεκριμένες κάμερες (γωνίες παρακολούθησης) και ο χρήστης παρακολουθεί το animation σαν να βλέπει βίντεο.

Μετά την ολοκλήρωση όλων των παραπάνω, έγιναν οι κατάλληλες ρυθμίσεις ώστε να εξαχθεί αρχείο σε apk format, ώστε να δοκιμαστεί στο Oculus Quest.

Κάποια από τα βήματα που περιγράφονται παραπάνω (όπως το 3D modeling στο Blender, η προσθήκη λειτουργιών ΠΕΕΠ, το particle animation, η εξαγωγή της εφαρμογής σε apk format) είχαν ξαναπραγματοποιηθεί σε προηγούμενες επιμέρους πειραματικές εφαρμογές.

Αυτή η προσπάθεια όμως, περιείχε επιπρόσθετα τη δυνατότητα απτικής διάδρασης (grab), την εισαγωγή κειμένου και την ενεργοποίησης διαφορετικών animations (trigger), με χρήση αντικειμενοστραφούς (object oriented) προγραμματισμού. Επίσης, η εφαρμογή αυτή σύνθεσε όλα τα παραπάνω για πρώτη φορά. Για τη δημιουργία της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν κάποια έτοιμα scripts που παρείχε το Unity και αφορούσαν τον έλεγχο του avatar (OVR Avatar Local Driver) και τη μετατροπή αντικειμένων σε αντικείμενα που μπορούν να «πιαστούν» από τον χρήστη (OVR Grabbable).

Η εφαρμογή δοκιμάστηκε στο Oculus Quest και η προσπάθεια ήταν επιτυχής. Πραγματοποιήθηκε -όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.10- το σύνολο των λειτουργιών που αναφέρονται παραπάνω.

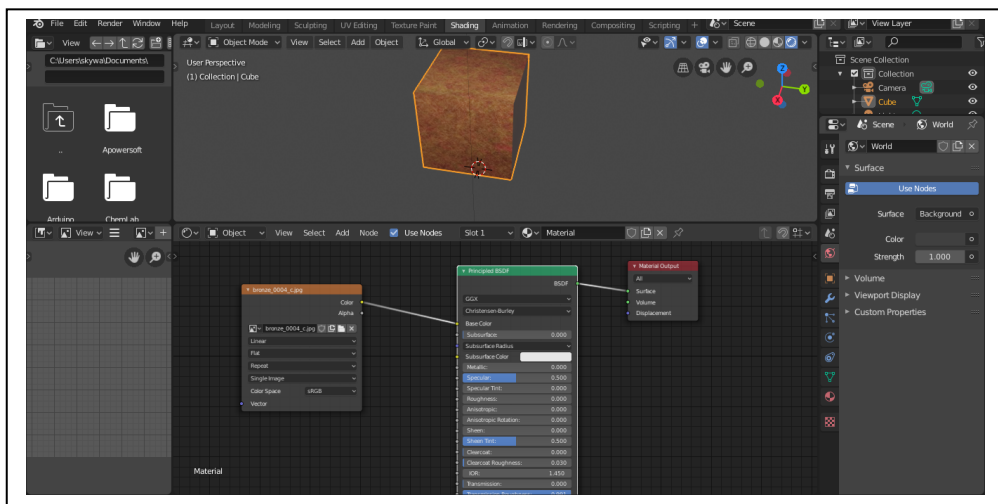


Εικόνα 6.10. Πειραματική εφαρμογή ΠΕΕΠ με την αιολόσφαιρα του Ήρωνα

6.2.2.2. Βελτιώσεις της πειραματικής εφαρμογής σε πολύγωνα και υφές

Μετά την επιτυχή δημιουργία της πρώτης πειραματικής μηχανής, επιχειρήθηκε σταδιακά η βελτίωση της σχεδίασης της. Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα (Εικόνα 6.10), η υφή της μηχανής δεν ήταν ικανοποιητικά ρεαλιστική, καθώς μπορεί να είχε χάλκινο χρώμα, όμως αυτό δεν κρίθηκε ικανοποιητικό και επίσης δεν εμφάνιζε τις ιδιότητες του μεταλλικού χρώματος του χαλκού. Το ίδιο ίσχυε και για τον πυρσό, καθώς και για τα ξύλα της φωτιάς. Για τη δημιουργία τους είχε απλώς χρησιμοποιηθεί ένα καφέ υλικό (material) και όχι κάποια υφή (texture). Επιχειρήθηκε η αναβάθμιση της αισθητικής της εφαρμογής. Αναφορικά με τον πυρσό, αρχικά επιχειρήθηκε να χρησιμοποιηθεί έτοιμος πυρσός από το asset store του Unity. Όμως, επειδή ο πυρσός αυτός είχε σχεδιαστεί για διακόσμηση, δεν εμφάνιζε ιδιότητες φυσικού σώματος (collider). Όταν έγινε προσπάθεια να του προσδοθούν τέτοιες ιδιότητες, ανέκυψαν προβλήματα και γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκε ένας απλός κύλινδρος.

Για τις υφές χρησιμοποιήθηκε το αποθετήριο Textures (<https://www.textures.com>) και κατόπιν επεξεργασίας, οι υφές αυτές εισήχθησαν στη μηχανή και στα ξύλα στο Unity. Εναλλακτικά, θα μπορούσαν να «περαστούν» οι υφές στο Blender και κατόπιν να γίνει εισαγωγή του αρχείου στο Unity. Αρχικά αυτό επιχειρήθηκε, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.11, εισήχθησαν οι υφές στο Blender.



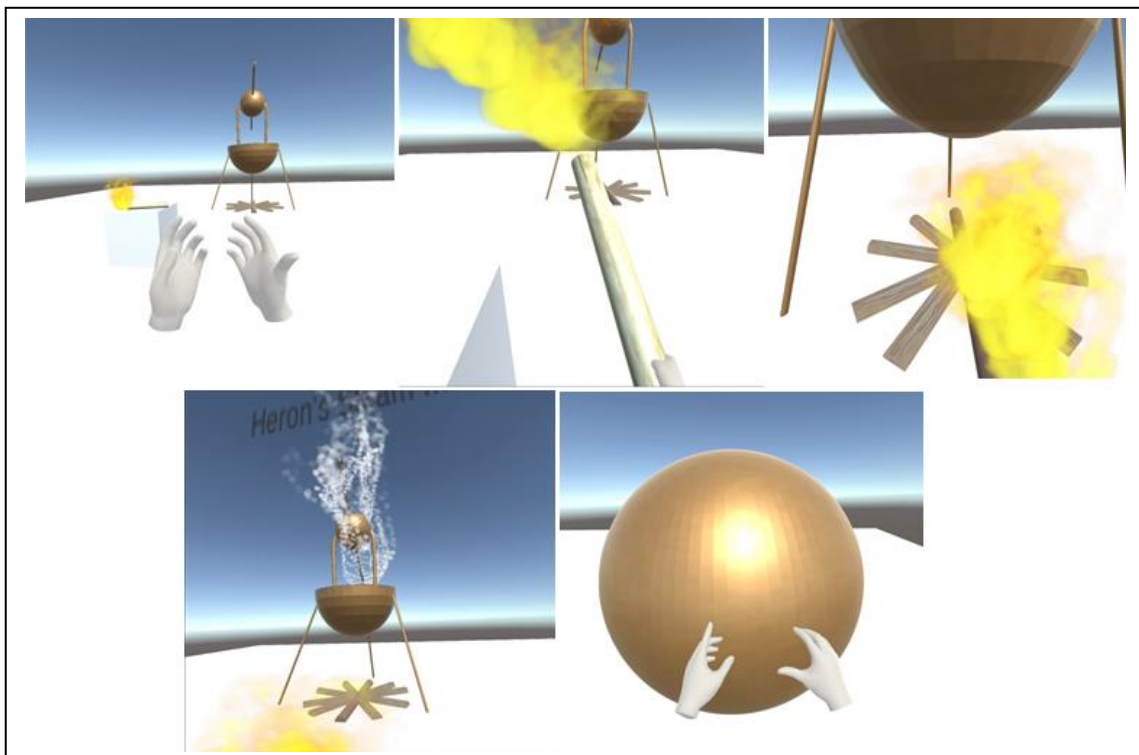
Εικόνα 6.11. Πέρασμα υφών στο Blender

Όταν όμως έγινε εισαγωγή του αρχείου στο Unity, το μοντέλο εμφανιζόταν σωστά ως προς το modeling, όμως χωρίς υφές. Μετά από έρευνα ανακαλύφθηκαν ειδικοί οδηγοί, με τη βοήθεια των οποίων θα ήταν δυνατή η διατήρηση των υφών από το Blender στο Unity, όμως επειδή η διαδικασία προβλεπόταν σύνθετη, επιχειρήθηκε η δοκιμή πρώτα της εισαγωγής των

υφών απευθείας στο Unity και η επεξεργασία τους. Όντως, με μεγάλη ευκολία (drag and drop) οι υφές εισάχθηκαν εντός του Unity και έγινε η επεξεργασία τους. Πιο συγκεκριμένα, για τα μέρη της ατμομηχανής χρησιμοποιήθηκε υφή χαλκού και σε αυτήν παραμετροποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά «metallic» και «smoothness» με σκοπό τη ρεαλιστικότητα. Για τα ξύλα της φωτιάς και για τον πυρσό χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές υφές ξύλου.

Εκτός από τις υφές, επιχειρήθηκε να γίνει βελτίωση του αριθμού πολυγώνων, διότι όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.10, ενώ υπήρχαν κυρτά μηχανικά μέρη, αυτά εμφανίζονταν ως σύνθεση επίπεδων επιφανειών (low poly). Έτσι λοιπόν επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός απλού αντικειμένου (σφαίρας) στο Blender, με πολύ μεγαλύτερο αριθμό πολυγώνων από αυτόν της αρχικής σχεδίασης.

Συνοψίζοντας, χρησιμοποιήθηκε το προηγούμενο επιτυχημένο έργο του Unity και προστέθηκαν σε αυτό ρεαλιστικές υφές, καθώς και ένα καινούργιο αντικείμενο, μία high poly σφαίρα και δοκιμάστηκαν στο Oculus Quest, για να διαπιστωθεί η συμβατότητα των υφών και των high poly αντικειμένων με το Oculus Quest. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 6.12, υπήρξε συμβατότητα με το Oculus Quest και δεν επηρεάστηκαν οι ήδη θεσπισμένες λειτουργίες.



Εικόνα 6.12. Η βελτιωμένη έκδοση της πειραματικής εφαρμογής ΠΕΕΠ

Τα παραπάνω σήμαιναν την κατάκτηση της απαραίτητης τεχνογνωσίας που ήταν απαραίτητη, για τη ριζική και βελτιωμένη επαναδημιουργία της μηχανής, αλλά και των υπόλοιπων εφευρέσεων που έπρεπε να δημιουργηθούν.

6.2.2.3. Επίτευξη επαναλαμβανόμενης λειτουργίας

Το επόμενο βήμα ήταν η επίτευξη της δυνατότητας επαναλαμβανόμενης λειτουργίας των εφευρέσεων. Επειδή το λογισμικό προοριζόταν για εκπαιδευτική χρήση, ήταν σημαντικό ο χρήστης να μπορεί να επαναπυροδοτεί (με άμεσο-απτικό τρόπο) τη λειτουργία των μηχανών, προκειμένου να επαναπαρακολουθήσει τη λειτουργία τους ή να τις παρατηρήσει υπό διαφορετική οπτική γωνία. Αυτή η δυνατότητα αποτελεί πλεονέκτημα του εικονικού κόσμου έναντι του πραγματικού. Σε ένα μουσείο, η πυροδότηση της ατμομηχανής είναι σχεδόν αδύνατη για λόγους ασφαλείας (φωτιά, θερμοκρασία μεταλλικών μερών, περιστροφική κίνηση του ρότορα), αλλά ακόμη και αν πυροδοτηθεί, η επαναλειτουργία της είναι για τεχνικούς λόγους δύσκολη (επανατοποθέτηση καύσιμης ύλης). Στην ΠΕΕΠ όμως έπρεπε με απλή επανατοποθέτηση του δαυλού στα ξύλα, να ξαναεκκινούν τα animation. Για να επιτευχθεί αυτή η λειτουργία, χρησιμοποιήθηκε ειδική χρονική συνάρτηση, τόσο στα custom scripts που έλεγχαν την εκκίνηση των particle animations, όσο και στο custom script που έλεγχε το animation περιστροφικής κίνησης του ρότορα.

6.2.2.4. Ήχος και ηχητικά εφέ

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι των λογισμικών που δημιουργήθηκαν ήταν ο ήχος. Ο ήχος χωρίστηκε σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Τον ήχο περιβάλλοντος
- Τα ηχητικά εφέ

Αναφορικά με τον ήχο περιβάλλοντος, ήταν αρκετά εύκολο να οριστεί στο Unity, με ένα απλό «drag and drop». Το asset store του Unity διαθέτει πρόσθετα με ήχους περιβάλλοντος (ενδεικτικά, αέρας, θρόισμα φύλλων).

Η εισαγωγή των ηχητικών εφέ ήταν αρκετά δυσκολότερη από αυτή των ήχων περιβάλλοντος, διότι τα ηχητικά εφέ δεν έπρεπε να ηχούν οποιαδήποτε στιγμή, αλλά κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων λειτουργιών. Στην παρούσα περίπτωση της αιολόσφαιρας, έπρεπε να υπάρξει ειδικός συγχρονισμός των ήχων με τα επιμέρους animations. Αρχικά, έπρεπε να ακούγεται η φωτιά που ανάβει στη βάση της μηχανής και ο ήχος της να την συνοδεύει κατά τη διάρκειά της. Έπειτα, κατά την καύση της φωτιάς έπρεπε να οριστεί το ηχητικό εφέ του ρότορα που κινείται περιστροφικά, βγάζοντας ατμό από τις εξατμίσεις. Επιπρόσθετα, έπρεπε

να οριστεί ήχος για τον καιόμενο δαυλό. Η προσπάθεια να οριστούν οι παραπάνω ήχοι έγινε αρχικά μέσω προγραμματισμού. Ακολουθώντας οδηγούς του διαδικτύου δημιουργήθηκαν ηχητικά εφέ που ενεργοποιούνταν μέσω ενός εικονικού button στην επιφάνεια της σκηνής. Μετά την επιτυχή ενεργοποίηση των ήχων, επιχειρήθηκε η εισαγωγή της ενεργοποίησης τους στα script που έλεγχαν τα animations. Η προσπάθεια αυτή απέτυχε, διότι προέκυψαν αρκετά προβλήματα στην εκκίνηση και στο σταμάτημα των ήχων. Η δυνατότητα εισαγωγής των ήχων με τη σωστή σειρά έγινε με «χειροκίνητο τρόπο», δηλαδή με χρονομέτρηση κάθε σταδίου του animation και αντίστοιχα δημιουργίας ενός αρχείου ήχου σε εξωτερικό πρόγραμμα (Audacity), που περιείχε τα ηχητικά εφέ συγχρονισμένα. Η ενεργοποίηση του ήχου γινόταν με διαφορετικό script από αυτά των animations, έχοντας όμως την ίδια ενεργοποίηση (trigger), την εισαγωγή του δαυλού στον χώρο καύσης (collider). Αν και υπήρχε η απαραίτητη τεχνογνωσία, η λύση αυτή απορρίφθηκε διότι θα ανέκυπταν ζητήματα ακρίβειας και συγχρονισμού, τα οποία θα ήταν εμφανή σε έναν παρατηρητικό χρήστη. Επίσης, με αυτόν τον τρόπο υποβιβάζονταν η ποιότητα του λογισμικού και χανόταν η δυνατότητα της εύκολης παραμετροποίησης των animation. Βασικό πλεονέκτημα του λογισμικού έπρεπε να είναι η εύκολη παραμετροποίηση και η επίτευξη αλλαγών, αν και εφόσον αυτές κριθούν αναγκαίες. Για παράδειγμα, θα μπορούσε για λόγους εποπτείας, να αποφασιζόταν η αλλαγή κάποιων χρόνων στα animation. Ακόμη, θα ήταν αρκετά δυσκολότερος ο συγχρονισμός των ήχων σε μια μηχανή με περισσότερα και πιο σύνθετα animation. Για τους παραπάνω λόγους, αναζητήθηκαν εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης των ηχητικών εφέ.

Μετά από πειραματισμό, βρέθηκε ένας απλούστερος και καλύτερος τρόπος ελέγχου του ήχου. Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο, τα ηχητικά εφέ εισάγονταν στο Unity, ως ιδιότητες των αντικειμένων της σκηνής ή των μερών τους. Δηλαδή, το εφέ εισαγόταν στο αντικείμενο (ενδεικτικά, ρότορας μηχανής) και με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατός ο έλεγχος του, παράλληλα με τα υπόλοιπα animation του μηχανικού μέρους, μέσω του εργαλείου Animator του Unity. Με αυτόν τον τρόπο επετεύχθη ακριβής συγχρονισμός των εφέ με τα animation. Επίσης, με αυτόν τον τρόπο λύθηκε το πρόβλημα τυχόν μελλοντικών αλλαγών, αφού οι αλλαγές στον χρονοισμό του ήχου μπορούσαν να γίνουν γρήγορα και με μεγάλη ακρίβεια.

Σε όλη την διάρκεια των πειραματισμών με τον ήχο χρησιμοποιήθηκαν τυχαίοι ήχοι από αρχεία mp3. Αφού αποκτήθηκε η απαραίτητη τεχνογνωσία, αναζητήθηκαν διαδικτυακά αποθετήρια, από τα οποία θα ήταν δυνατή η προμήθεια των ηχητικών εφέ. Ανακτήθηκαν αρκετά ειδικά εφέ, σε format αρχείων wav και mp3. Τα ηχητικά εφέ αυτά περιλάμβαναν - μεταξύ άλλων- μεγάλη φωτιά, δαυλό, ατμομηχανή. Η προμήθεια των ηχητικών εφέ έγινε από

τα αποθετήρια freesound και epidemic sound (<https://freesound.org>, <https://www.epidemicsound.com/sound-effects/>).

6.2.2.5. Περιβάλλον χώρος

Σε αυτό το στάδιο της δημιουργίας του λογισμικού, ο περιβάλλον χώρος ήταν πολύ απλός. Χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα plane ως έδαφος για να είναι δυνατή η κίνηση του avatar και η στήριξη της μηχανής. Μετά όμως την επιτυχή λειτουργία της μηχανής, αναζητήθηκαν έτοιμα αντικείμενα που θα μπορούσαν να συμβάλλουν στη διαμόρφωση του χώρου. Ο περιβάλλον χώρος παίζει και αυτός τον ρόλο του, στη δημιουργία εμπύθισης του χρήστη στον εικονικό κόσμο. Επιπρόσθετα, συμβάλει καθοριστικά και στον παράγοντα της αισθητικής. Επειδή μια μεγάλη κατηγορία των αρχαίων μηχανικών εφευρέσεων χρησιμοποιούταν από το ιερατείο (ενδεικτικά, αυτόματος κερματοδέκτης, αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού, πουλί που κελαηδάει), αποφασίστηκε η προσθήκη αρχαίου ναού στον περιβάλλοντα χώρο. Επίσης, για λόγους εμπύθισης, θα έπρεπε ο χρήστης να έχει ελεύθερη πρόσβαση στον χώρο. Επομένως, θεωρήθηκε αναγκαία η προσθήκη εξωτερικών χώρων, οι οποίοι θα επέτρεπαν στον χρήστη μεγαλύτερη ελευθερία διάδρασης και δεν θα τον περιόριζαν αποκλειστικά εντός κλειστών δωματίων. Λόγω των παραπάνω, αποφασιστικέ ο εμπλουτισμός του περιβάλλοντα χώρου, τόσο με κλειστό κτήριο (αρχαίος ναός), όσο και με εξωτερικούς χώρους. Για να βρεθούν έτοιμα αντικείμενα χρησιμοποιήθηκε το asset store του Unity. Σε κάθε περίπτωση, εάν η ποιότητα των αντικειμένων δεν κρινόταν ικανοποιητική ή δεν μπορούσε να βρεθεί κάποιο αντικείμενο στα αποθετήρια, αυτό το αντικείμενο (ή τα αντικείμενα) θα μπορούσε να σχεδιαστεί στο Blender και κατόπιν να χρησιμοποιηθεί στο Unity, μιας και υπήρχε η απαραίτητη τεχνογνωσία χρήσης του Blender. Βρέθηκαν πολλά αντικείμενα, που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στον εικονικό κόσμο. Αρχικά, βρέθηκαν κοινά αντικείμενα εξωτερικών χώρων, όπως είδη δένδρων και terrain από χορτάρι και λουλούδια. Για τον εξωτερικό χώρο μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν καλύβες, ξύλινοι φράχτες κ.α.. Εκτός από τα κοινά αντικείμενα εξωτερικών χώρων, εντοπίστηκαν και αρκετά αντικείμενα, τα οποία αφορούσαν την αρχαία Ελλάδα και μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες των λογισμικών ΠΕΕΠ και ΕπΕΠ. Βρέθηκαν αρχαία κτήρια, αρχαίοι ναοί, αρχαία αγάλματα, μελανόμορφα αγγεία με παραστάσεις, δαυλοί τοίχου κ.α.. Μετά τον εντοπισμό των παραπάνω, έγινε εισαγωγή κάποιων αντικειμένων στο Unity και διαπιστώθηκε πως εισάγονται καλά. Το μόνο που χρειαζόταν μετά την εισαγωγή τους, ήταν η αλλαγή των διαστάσεων και η χωροθέτησή τους.

6.2.2.6. Σύνοψη της εξοικείωσης με τα λογισμικά *Blender*, *Unity* και *Visual Studio Code*

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, σε αυτό το στάδιο της δημιουργίας του πειραματικού λογισμικού, αποκτήθηκε μεγάλο μέρος της τεχνογνωσίας που ήταν απαραίτητη για την περάτωση της δημιουργίας των λογισμικών ΕΠ (ΠΕΕΠ και ΕπΕΠ). Καρπός του σταδίου αυτού, υπήρξε η δημιουργία μιας πειραματικής εφαρμογής, η οποία πληρούσε τις προϋποθέσεις του λογισμικού ΠΕΕΠ που χρειαζόταν να αναπτυχθεί. Για τη δημιουργία της εφαρμογής, πραγματοποιήθηκε επιτυχές 3D modeling της αιολόσφαιρας του Ήρωνα, στο λογισμικό *Blender*. Έπειτα, με την βοήθεια του *Unity*, ορίστηκε το animation που αναπαριστούσε τη λειτουργία της, ορίστηκε ο περιβάλλον χώρος και ο χειρισμός. Επίσης, μέσω του *Unity*, κατέστη δυνατή προσθήκη απτικής αλληλεπίδρασης του χρήστη με αντικείμενα του εικονικού χώρου. Με χρήση του λογισμικού *Visual Studio Code*, δημιουργήθηκαν scripts, που καθιστούσαν δυνατή την ενεργοποίηση και τη διαχείριση των animations, καθώς και την επανάληψη τους σε κάθε ενεργοποίηση. Αποκτήθηκε ειδική τεχνογνωσία στον ορισμό και τη διαχείριση των υφών (texturing), καθώς και στη δημιουργία high poly αντικειμένων. Τέλος, κατέστη δυνατή η εισαγωγή της εφαρμογής στο σύστημα *Oculus Quest* και ο ορισμός ήχων, ηχητικών εφέ και αντικειμένων του περιβάλλοντα χώρου.

6.2.3. Η δημιουργία του φλογοβόλου των Βοιωτών

6.2.3.1. Προβληματισμός

Ως πρώτη εφεύρεση -μετά την πειραματική δημιουργία της αιολόσφαιρας του Ήρωνα- αποφασίστηκε το φλογοβόλο των Βοιωτών. Η εφεύρεση αυτή επιλέχθηκε για έναν συνδυασμό λόγων. Αρχικά, ήταν μια καθαρά πολεμική εφεύρεση, η οποία λόγω του καταστροφικού προορισμού της, ακόμα και αν υπήρχε ως φυσική αναπαράσταση σε μουσεία, δεν λειτουργούσε ποτέ, για προφανείς λόγους ασφαλείας. Οι τεχνολογίες αιχμής της ΠΕΕΠ μπορούσαν να καλύψουν αυτό το κενό αναπαριστώντας τη λειτουργία της και πετυχαίνοντας τη διάδραση χρήστη-εφεύρεσης με απόλυτη ασφάλεια. Επίσης, η λειτουργία της βασιζόταν σε διαφορετική αρχή από ότι η αιολόσφαιρα του Ήρωνα. Ένας ακόμη λόγος, ήταν η κάλυψη διαφορετικών πτυχών της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας. Η λειτουργία της δεν βασιζόταν στον ατμό, αλλά στην πίεση του αέρα. Εκτός από την ποικιλία των αρχών λειτουργίας των εφευρέσεων, το λογισμικό ΠΕΕΠ και κατ' επέκταση και το λογισμικό της ΕπΕΠ επιδιώχθηκε να παρουσιάζει εφευρέσεις που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες χρήσης. Η πειραματική αιολόσφαιρα του Ήρωνα που δημιουργήθηκε, δεν είχε αξιοποιηθεί χρηστικά από τους αρχαίους Έλληνες. Ο προορισμός της μηχανής ήταν αποκλειστικά η επίδειξη, χωρίς να

συνδεθεί στον ρότορα της κάποιος μάντας ή οποιοδήποτε σύστημα μηχανικής μετάδοσης κίνησης. Το φλογοβόλο των Βοιωτών, σε αντίθεση με την αιολόσφαιρα του Ήρωνα, είχε πρακτική και μάλιστα πολεμική χρήση. Στο λογισμικό ΠΕΕΠ η εφεύρεση αυτή εκπροσωπούσε την πολεμική τεχνολογία, που αποτελούσε καθοριστικό παράγοντα της ανάπτυξης του τεχνικού πολιτισμού. Από τα αρχαία χρόνια μέχρι τις μέρες μας, ιδιαίτερα σε περιόδους πολέμου, αναπτύσσονται τεχνολογίες, που αφορούν στρατιωτική χρήση και στη συνέχεια διαχέονται στην κοινωνία (ενδεικτικά, Διαδίκτυο). Επιπρόσθετα, η εφεύρεση αυτή παρουσίαζε μεγάλη ομοιότητα με τα σύγχρονα ηλεκτρονικά παιχνίδια πρώτου προσώπου (First Person Shooter), όπου πολλές φορές ο χρήστης χρησιμοποιούσε φλογοβόλο ως όπλο (ενδεικτικά, Doom, Duke Nukem 3D, Alien vs Predator, Call of Duty). Επειδή και το λογισμικό ΠΕΕΠ ήταν οπτικής πρώτου προσώπου, η χρήση του φλογοβόλου θα έδινε έναν περισσότερο παιχιδικό τόνο και ενδεχομένως θα μείωνε το χάσμα που υπάρχει μεταξύ ενός εκπαιδευτικού λογισμικού και ενός παιχνιδιού.

Πριν τον σχεδιασμό της μηχανής στο Blender, πραγματοποιήθηκε διαδικτυακή και βιβλιογραφική έρευνα, ώστε να καθοριστούν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Εντοπίστηκαν λίγες (τέσσερις) αναπαραστάσεις της μηχανής. Σε κάθε περίπτωση, η δημιουργία της μηχανής, είτε αυτή αφορούσε τον φυσικό κόσμο, είτε την ΠΕΕΠ δεν είχε συγκεκριμένες προδιαγραφές, όπως γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Οι αναπαραστάσεις που επιχειρήθηκαν στα μουσεία αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας, πληρούσαν κάποιες γενικές αρχές σχεδίασης, που προέκυπταν από γραπτές πηγές. Στην περίπτωση του φλογοβόλου των Βοιωτών, οι αρχαίες γραπτές πηγές αποτελούσαν και τη μοναδική πηγή γνώσης, μιας και δεν υπήρχαν οπτικές αναπαραστάσεις σε κάποιο αγγείο ή άλλο υλικό. Στο σχεδιασμό της μηχανής λήφθηκε υπόψιν το αρχαίο κείμενο του Θουκυδίδη ΙστορίαΙ Δ και ανακατασκευές (Βλάχος, 1968).

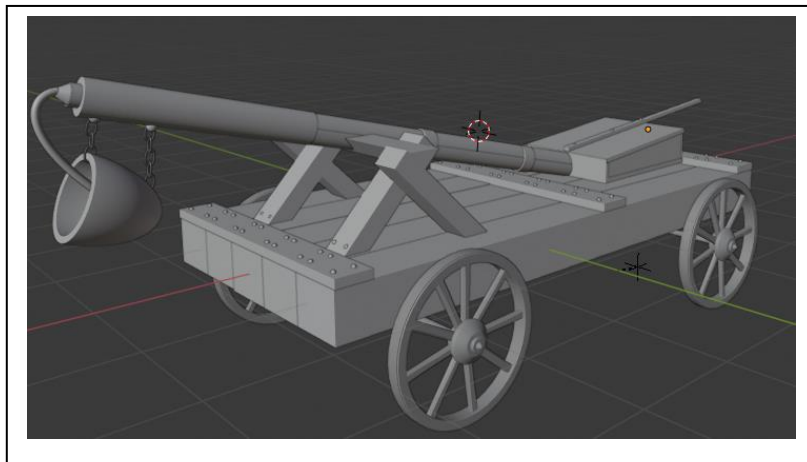
Διαπιστώθηκε ότι ορισμένες από τις ανακατασκευές της μηχανής που εντοπίστηκαν στο Διαδίκτυο, ήταν ασύμβατες με το κείμενο, καθώς εμφάνιζαν τη μηχανή διαφορετικά από ότι περιγράφεται. Για παράδειγμα, ενώ στο κείμενο γινόταν λόγος για καζάνι, το οποίο κρέμεται με την βοήθεια αλυσίδων, κάποιες από τις αναπαραστάσεις δεν περιείχαν καζάνι που κρέμεται από αλυσίδες, αλλά απλώς στερεωμένο στο κυρίως σώμα της μηχανής. Η καλύτερη φυσική αναπαράσταση, που αφενός πληρούσε την περιγραφή του Θουκυδίδη και αφετέρου ήταν περισσότερο ρεαλιστική, ήταν η αναπαράσταση του Κώστα Κοτσανά και λήφθηκε υπόψιν στη δημιουργία. Η ανακατασκευή του φλογοβόλου παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.13.



Εικόνα 6.13. Ανακατασκευή του φλογοβόλου. Συλλογή και αρχείο μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά

6.2.3.2. Σχεδιασμός του φλογοβόλου στο Blender

Η σχεδίαση της εφεύρεσης στο Blender ήταν ιδιαίτερα απαιτητική, καθώς σε αντίθεση με την αιολόσφαιρα του Ήρωνα, το φλογοβόλο αποτελούταν από δεκάδες μέρη. Για τη σχεδίαση της μηχανής χρησιμοποιήθηκαν ειδικά εργαλεία του Blender, όπως το εργαλείο Boolean tool. Τα μηχανικά μέρη του φλογοβόλου ήταν: ρόδες, άξονες περιστροφής, συνδέσεις των αξόνων περιστροφής, φυσητήρας, μοχλός, ήλοι, σώμα στήριξης, καζάνι, αλυσίδες, κοίλος κορμός, δακτύλιοι συγκράτησης, κυρτός σωλήνας, κωνική μούφα σύνδεσης και φυσητήρας. Το αποτέλεσμα της σχεδίασης φαίνεται στην Εικόνα 6.14.



Εικόνα 6.14. Αρχική σχεδίαση του φλογοβόλου στο Blender

Όπως φαίνεται στην εικόνα, η μηχανή παρουσίαζε δεκάδες μέρη. Τα κύρια μέρη της ήταν οι ρόδες και το σύστημα κίνησης, το κυρίως σώμα, ο φυσητήρας, ο σωλήνας παροχέτευσης αέρα και το καζάνι καύσης. Όλη η σχεδίαση των μερών πραγματοποιήθηκε ιδιοχειρώς, εκτός από τις ρόδες και το σύστημα κίνησης, που ανακτήθηκαν από έτοιμο μοντέλο κάρου, που βρέθηκε σε αποθετήριο. Η σχεδίαση της εφεύρεσης, δεν είχε μόνο ως στόχο μια απλή οπτική αναπαράσταση στον τρισδιάστατο χώρο, αλλά στόχευε και στη μηχανική ρεαλιστικότητα των μερών και των συνδέσεων τους. Δόθηκε ιδιαίτερο βάρος στην ορθή στατικότητα των μερών και στην ύπαρξη συνδετικών υλικών (καρφιά, συνδετικοί δακτύλιοι,

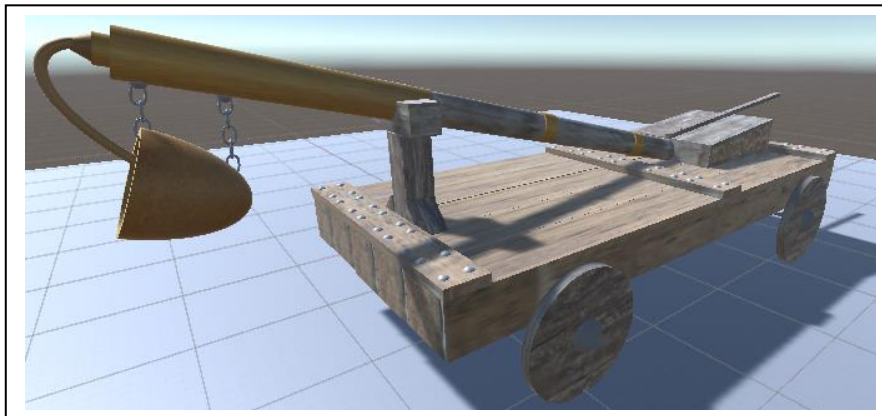
συνδετικές σανίδες). Μετά τη σχεδίαση, έγινε εξαγωγή της μηχανής σε αρχείο fbx, ώστε να εισαχθεί στο Unity για περαιτέρω επεξεργασία.

6.2.3.3. Εισαγωγή του φλογοβόλου στο Unity

Μπορεί να υφίσταται η γενική αντίληψη, ότι για να χρησιμοποιηθούν custom αντικείμενα στο Unity πρέπει απλώς να σχεδιαστούν σε κάποιο πρόγραμμα 3D modelling και κατόπιν να εισαχθούν με κάποιο format στο Unity, όμως η αντίληψη αυτή είναι εσφαλμένη, καθώς πολλές φορές το σχεδιασμένο αντικείμενο δεν αποδίδεται σωστά από το Unity. Μετά την εισαγωγή του μοντέλου στο Unity, εντοπίστηκαν πολλές ατέλειες σε πολλά μηχανικά μέρη. Αρχικά, αυτές οι ατέλειες αποδόθηκαν σε εσφαλμένη σχεδίαση με αποτέλεσμα τη ριζική επανασχεδίαση της μηχανής στο Blender και την επαναεισαγωγή της στο Unity. Αφού διαπιστώθηκε ότι για τα προβλήματα δεν ευθυνόταν η σχεδίαση, αλλά στην πραγματικότητα το Unity δεν απέδιδε σωστά κάποιες επιφάνειες, επανασχεδιάστηκε η μηχανή, με διαφορετική δομή στα μέρη που δεν αποδίδονταν σωστά. Μετά την επιτυχή σχεδίαση της μηχανής, παρατηρήθηκαν και επιπρόσθετες λάθος αποδώσεις του Unity, στο σύστημα κίνησης και στις ρόδες, το οποίο είχε εισαχθεί από αποθετήριο. Το Unity εμφάνιζε κάποιες επιφάνειες ως ημιδιαφανείς, χωρίς να έχουν οριστεί έτσι από το Blender. Λόγω αυτών των προβλημάτων επανασχεδιάστηκε όλο το σύστημα κίνησης και αυτή τη φορά, του δόθηκε ένας περισσότερο πολεμικός χαρακτήρας, με τις ρόδες να εμφανίζονται συμπαγείς και όχι σαν ρόδες άμαξας.

6.2.3.4. Παραμετροποίηση και texturing του φλογοβόλου

Μετά την αναγκαία παραμετροποίηση του μεγέθους της μηχανής στο Unity, περάστηκαν οι αναγκαίες υφές, που πάρθηκαν από το διαδικτυακό αποθετήριο Textures. Χρησιμοποιήθηκε ποικιλία υφών ξύλου, χαλκού, σιδήρου και δέρματος. Το τελικό αποτέλεσμα του 3D modeling και texturing φαίνεται στην Εικόνα 6.15.



Εικόνα 6.15. Το φλογοβόλο των Βοιωτών μετά το 3D modeling και texturing

Όπως μαρτυράται από την εικόνα, δημιουργήθηκαν ρεαλιστικά μέρη. Οι υφές ξύλου εμφανίζονταν καλά, χωρίς θαμπάδες. Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές υφές για τις ρόδες και για τα ξύλινα μέρη του φυσητήρα, που είχαν πιο σκούρο χρώμα και διαφορετικές υφές από το κύριο μέρος της μηχανής. Χρησιμοποιήθηκαν υφές χαλκού, που κάλυπταν το καζάνι της καύσης, τον κυρτό σωλήνα, την επένδυση του κορμού και δυο συνδετικούς δακτυλίους (κρίκους) που βρίσκονταν κατά μήκος του κορμού. Οι συνδετικοί δακτύλιοι σχεδιάστηκαν διότι ο κορμός δέντρου ήταν σχισμένος κατά μήκος και ξαναενωμένος. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν υφές σιδήρου, τόσο για τους ήλους, όσο και για τους κρίκους της αλυσίδας, από την οποία κρεμόταν το καζάνι. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε υφή δέρματος ζώου για τα τοιχώματα του φυσητήρα.

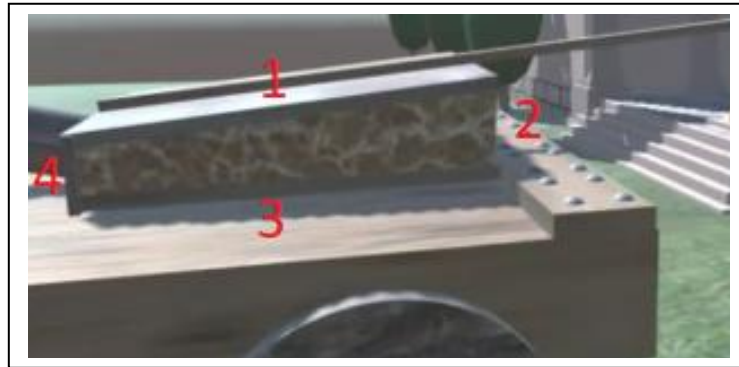
6.2.3.5. Ορισμός της λειτουργίας του φλογοβόλου

Έπρεπε ο χρήστης να μπορεί να πιάσει την άκρη του φυσητήρα, τον μοχλό και κινώντας τον προς τα κάτω έπρεπε να κινείται το πάνω μέρος του φυσητήρα και να συστέλλονται τα δέρματα. Με την κάθοδο του μοχλού, έπρεπε να βγαίνει μεγάλη φλόγα από το καζάνι καύσης και ταυτόχρονα να ακούγεται το εφέ του ήχου της φωτιάς. Μόλις ο χρήστης άφηνε τον μοχλό, έπρεπε να επακολουθεί διαστολή των δερμάτων του φυσητήρα και ο μοχλός να επανέρχεται στην αρχική του θέση. Η διαδικασία αυτή, ήταν αναγκαίο να μπορεί να πυροδοτείται επαναλαμβανόμενα, έτσι ώστε ο χρήστης να θέτει τη μηχανή πολλές φορές σε λειτουργία και να παρατηρεί τη λειτουργία της. Επιπρόσθετα, έπρεπε να καίει συνεχώς, μια μικρού μεγέθους φωτιά στο καζάνι καύσης.

Το πρώτο πρόβλημα που ανέκυψε, ήταν η κίνηση των δερμάτων του φυσητήρα. Μπορεί η κίνηση «τέντωμα και μάζεμα» ενός δέρματος στον φυσικό κόσμο να είναι κάτι το αυτονόητο, όμως στον εικονικό κόσμο είναι δύσκολη, όπως και η κίνηση της φωτιάς, του καπνού και του νερού. Ειδικά για τη δημιουργία κινήσεων προσομοίωσης υφάσματος, το Unity και το Blender, διαθέτουν ειδικό εργαλείο, το Cloth. Μετά από πειραματισμό με το Cloth Component, αφού ακολουθήθηκαν διαδικτυακοί οδηγοί, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία μιας σημαίας που κινείται από τον αέρα και άλλων απλών υφασμάτων. Δυστυχώς, δεν εντοπίστηκαν οδηγοί δημιουργίας μιας κατασκευής που -έστω και κατά προσέγγιση- να συγκλίνει στην κίνηση των δερμάτων του φυσητήρα. Αυτό το πρόβλημα εμφανιζόταν συνεχώς κατά τη διάρκεια της δημιουργίας του λογισμικού, κάθε φορά με διαφορετικό πρόσωπο. Σε πολλά σημεία της δημιουργίας της εφαρμογής δεν υπήρχαν οδηγίες και τεχνογνωσία. Αυτό συνέβαινε, διότι λόγω της εκπαιδευτικής φύσης της εφαρμογής, παρουσιαζόταν μεγάλη απόκλιση από τις συνηθισμένες εφαρμογές παιχνιδιών, που αναπτύσσονταν από τη

συντριπτική πλειοψηφία των σχεδιαστών-προγραμματιστών. Στη δημιουργία της κίνησης των δερμάτων του φουσητήρα, υπήρχαν αρκετές οδηγίες και τεχνογνωσία για συνήθη αντικείμενα που συναντώνται σε ηλεκτρονικά παιχνίδια, όπως τη δημιουργία σημαίας/banner, μανδύα χαρακτήρα, διχτύων ποδοσφαιρικού τέρματος κ.α.

Στην παρούσα περίπτωση, έπρεπε να δημιουργηθεί ένα δέρμα με την απαιτούμενη ελαστικότητα και να εφάπτεται ταυτόχρονα σε τέσσερις επιφάνειες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.16.



Εικόνα 6.16. Δέρμα του φουσητήρα

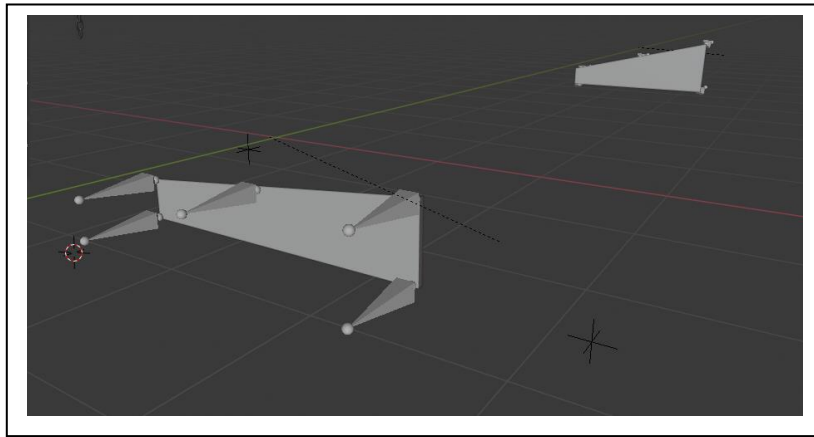
Από τις τέσσερις επιφάνειες του φουσητήρα οι δύο ήταν ακίνητες (3,4) και οι δύο κινούμενες (1,2). Όταν κινούνταν οι επιφάνειες, το δέρμα που εφάπτοταν σε αυτές, έπρεπε να ακολουθεί την κίνηση και ταυτόχρονα να παραμένει ακίνητο στις επιφάνειες που ήταν σταθερές. Επιπρόσθετα, έπρεπε το δέρμα να τεντώνει και να μαζεύεται ακολουθώντας την κίνηση του μοχλού. Σε κάθε περίπτωση, αντί να πραγματοποιηθεί αυτή η ρεαλιστική κίνηση του δέρματος, μπορούσαν να προστεθούν οι συνηθισμένες επιφάνειες, «δεμένες» με τα κινούμενα μέρη του φουσητήρα. Με την άνοδο-κάθοδο των κινούμενων μερών, να κρύβονται και να αποκαλύπτονται από το κάτω μέρος της μηχανής. Ωστόσο, μια τέτοια εύκολη λύση θα είχε μεγάλο αντίκτυπο στη ρεαλιστικότητα του τρόπου λειτουργίας της μηχανής, καθώς θα φαινόταν αφύσικη. Η έκπτωση στη ρεαλιστικότητα, θα είχε αρνητικό αντίκτυπο και στην εμπύθιση και στην παρουσία του χρήστη στον εικονικό κόσμο.

Η επιδιωκόμενη ρεαλιστική λειτουργία ήταν τόσο σύνθετη, που όχι απλώς δεν υπήρχαν οδηγοί για την πραγματοποίηση κάτι παρόμοιου, αλλά ούτε το Unity με το Cloth Component, δεν μπορούσε να πλησιάσει τέτοια συμπεριφορά. Διαπιστώθηκε ότι οι δυνατότητες του Cloth Component του Unity ήταν ιδιαίτερα περιορισμένες, σε σχέση με την πολυπλοκότητα του επιδιωκόμενου αποτελέσματος. Μάλιστα, διαπιστώθηκε ότι με το Cloth Component του Unity το ύφασμα μπορούσε να «δεθεί» μόνο με μια επιφάνεια, ενώ απαιτούνταν τέσσερις. Για την

επίλυση του προβλήματος, απευθυνθήκαμε σε διεθνή και ελληνικά forums χρηστών του Unity, σε ιστοσελίδες μέσω κοινωνικής δικτύωσης που αφορούν δημιουργούς υλικού του Unity, καθώς και στο επίσημο φόρουμ του Unity. Όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω της δυσκολίας του προβλήματος, δεν υπήρξε καμία απάντηση. Αφού εξαντλήθηκαν οι κοινότητες των χρηστών, απευθυνθήκαμε στην εταιρία Virtual Method (<http://www.virtualmethodstudio.com/about.html>). Η εταιρία αυτή ήταν μια από τις κορυφαίες, που δημιουργούσε υψηλής ποιότητας πρόσθετα (assets) για το Unity. Μερικά από τα πρόσθετα της ήταν το Obi Fluid, το Obi Soft, το Obi Cloth και το FILO. Στην προκειμένη περίπτωση, το asset που μας ενδιέφερε ήταν το Obi Cloth. Απευθυνθήκαμε στην εταιρία για να εξακριβώσουμε εάν η αγορά και χρήση του συγκεκριμένου πρόσθετου μπορούσε να καλύψει την επιδιωκόμενη λειτουργία. Η εταιρία απάντησε ότι κάτι τέτοιο ήταν εφικτό με το πρόσθετο της, όμως δεν συνιστούσε τη χρήση του για τέτοια εφαρμογή, καθώς κάτι τέτοιο ήταν εξαιρετικά δύσκολο. Πρότεινε να βρεθεί κάποιος τρόπος επεξεργασίας του δέρματος, με την τεχνική rigging, στο 3D modeling πρόγραμμα που χρησιμοποιούσαμε και κατόπιν να εισαχθεί στο Unity.

6.2.3.6. Rigging στο Blender

Η τεχνική rigging αποτελεί έναν σύνθετο τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η φυσικότητα της κίνησης των χαρακτήρων. Μέσω αυτής προστίθεται σκελετός (κόκκαλα) στον χαρακτήρα (player ή NPC) και μέσω της κίνησης του εσωτερικού σκελετού, που δένεται στα σωματικά μέρη, κινείται και ο χαρακτήρας με αληθοφανή τρόπο. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα, από πολλούς επαγγελματίες. Οι επαγγελματίες, συνήθως δεν χρησιμοποιούν έτοιμους χαρακτήρες που πωλούνται στο asset store, οι οποίοι πωλούνται με ενσωματωμένο σκελετό (rigged), αλλά φτιάχνουν δικούς τους. Το πρόβλημα που ανέκυψε και πάλι με διαφορετικό πρόσωπο, ήταν ότι μπορεί να υπήρχαν οδηγοί και tutorials που έδειχναν την τεχνική rigging για αντικείμενα παιχνιδιών (ενδεικτικά, άνθρωπος, ρομπότ, ζώα), όμως, όπως ήταν αναμενόμενο, δεν υπήρχε κάποιου είδους τεχνογνωσία για δέρμα φουσητήρα ή κάτι παρόμοιο. Αφού αποκτήθηκε η απαραίτητη τεχνογνωσία στο rigging, μέσω της δημιουργίας συνηθισμένων οντοτήτων, μετά από πειραματισμό, κατέστη δυνατή η δημιουργία στο Blender των τριών δερμάτων του φουσητήρα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.17, στο δέρμα είχαν προστεθεί «κόκκαλα».



Εικόνα 6.17. Εφαρμογή rigging στο φλογοβόλο

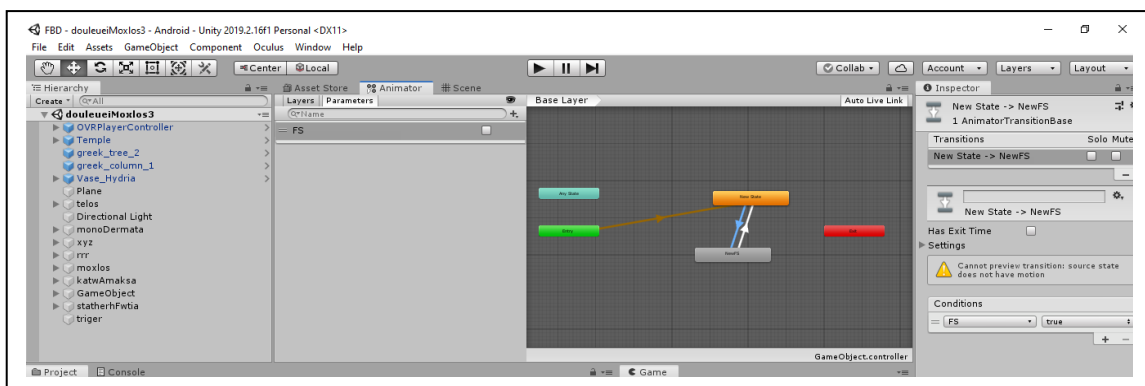
Όταν τα δέρματα εισήχθησαν στο Unity, αντί να δεθεί όλο το δέρμα με τις κινούμενες και τις σταθερές επιφάνειες, δέθηκαν μόνο τα κόκκαλα του σκελετού. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν πολύ ικανοποιητικό, καθώς η κίνηση ήταν απόλυτα ρεαλιστική.

6.2.3.7. Αρχικός ορισμός animation του φλογοβόλου στο Unity

Αφού λύθηκε το πρόβλημα της ρεαλιστικής κίνησης των δερμάτων του φουσητήρα, η διαδικασία ανάπτυξης πέρασε στο επόμενο στάδιο, τη δημιουργία της λειτουργίας της μηχανής μέσω animation. Σε αυτό το στάδιο, μεγάλο ρόλο έπαιξε η αποκτηθείσα τεχνογνωσία από την προηγούμενη μηχανή, την αιολόσφαιρα, καθώς οι δύο μηχανές λειτουργούσαν με το ίδιο μοτίβο. Και στις δύο, υπήρχε ενεργοποίηση, όταν συγκεκριμένο αντικείμενο εισερχόταν σε ορισμένη θέση. Στην περίπτωση της αιολόσφαιρας, η φωτιά άναβε με την είσοδο του πυρσού στον χώρο των ξύλων, ενώ στο φλογοβόλο των Βοιωτών, η λειτουργία έπρεπε να αρχίζει με την είσοδο του μοχλού σε προκαθορισμένη θέση. Ένα από τα σημεία διαφοροποίησης αυτού του animation σε σχέση με της αιολόσφαιρας, ήταν η χρησιμοποίηση διαφορετικού συστήματος σωματιδίων, που προσομοίωναν τη φωτιά που έβγαινε από το φλογοβόλο κατά την ενεργοποίησή του. Για ακόμα μια φορά, χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο Unity particle pack του asset store. Μέσα στο πακέτο, υπήρχε συγκεκριμένο αντικείμενο (prefab) φωτιάς φλογοβόλου (flamethrower). Για τη μόνιμη φωτιά που έκαιγε στο καζάνι, χρησιμοποιήθηκε το έτοιμο prefab «medium flames».

6.2.3.8. Προσθήκη ηχητικού εφέ ως μέρος του animation και βελτιστοποίηση της προγραμματιστικής διαδικασίας του φλογοβόλου

Ένα ακόμη σημείο διαφοροποίησης στο animation του φλογοβόλου, ήταν και η προσθήκη ηχητικού εφέ φλόγας, συγχρονισμένου με το υπόλοιπο animation. Χρησιμοποιήθηκε το αρχείο ήχου «flamethrower» από το διαδικτυακό αποθετήριο «Freesound», σε format αρχείου wav. Σημαντικό ρόλο έπαιξε η προηγούμενη τεχνογνωσία που είχε αποκτηθεί κατά την επεξεργασία ήχων. Η προσθήκη του ήχου στο animation, υπήρξε η αφορμή επανεξέτασης του τρόπου ενεργοποίησης της όλης διαδικασίας. Διαπιστώθηκε ένας απλούστερος τρόπος διαχείρισης του animation, ο οποίος χρειαζόταν μόνο το ένα από τα δυο scripts που χρησιμοποιήθηκαν στην προηγούμενη εφεύρεση. Στην προηγούμενη εφεύρεση και σε αυτή, γινόταν χρήση ενός custom script, που ενεργοποιούσε και απενεργοποιούσε το particle system και ενός δεύτερου custom script, το οποίο διαχειριζόταν το animation μέσω του εργαλείου Animator. Το εργαλείο Animator φαίνεται στην Εικόνα 6.18.



Εικόνα 6.18. Το Animator

Η διαδικασία βελτιστοποιήθηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα custom script. Συντάχθηκαν άλλα δυο custom scripts, που επανάφεραν τη μηχανή στην αρχική κατάσταση. Δηλαδή, μόλις ο μοχλός έβγαινε από την αρχική του θέση, το ένα script που έλεγχε τη θέση του μοχλού ενεργοποιούσε ένα δεύτερο script, που ασκούσε μια σταθερή δύναμη επαναφοράς. Όταν ο μοχλός επανερχόταν στην αρχική του θέση, το script που έλεγχε τη θέση του μοχλού, απενεργοποιούσε το script που ασκούσε δύναμη επαναφοράς στον μοχλό. Η προγραμματιστική λειτουργία συντάχθηκε στο Visual Studio Code σε γλώσσα C#.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας του animation ήταν η για πρώτη φορά επιβολή όριων, σε κίνηση αντικειμένου που μπορούσε να πιάσει ο χρήστης. Στην αιολόσφαιρα απλώς με ένα έτοιμο script, ο δαυλός μπορούσε να πιάνεται (grabbable) και ο χρήστης μπορούσε να τον πιάσει και να το μετακινήσει όπου ήθελε, ακόμη και να τον εξφενδονίσει. Ωστόσο, ο

μοχλός στο φλογοβόλο, θα έπρεπε να μπορεί να κινείται μόνο σε έναν άξονα και για συγκεκριμένη γωνία. Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης λειτουργίας, χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός από ειδικούς συνδέσμους του Unity. Έγινε χρήση του απλού συνδέσμου Fixed Joint και του πολυπλοκότερου συνδέσμου που προμηθεύει το Unity, του Configurable Joint. Με τη βοήθεια αυτών των συνδέσμων, κατορθώθηκε η σύνδεση του μοχλού με το πάνω μέρος του φουσητήρα και ο περιορισμός της κίνησης σε έναν άξονα, υπό συγκεκριμένη γωνία.

6.2.3.9. Δοκιμή της λειτουργίας του φλογοβόλου στο Unity

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή λειτουργίας, στο play mode του Unity, όπου τα αποτελέσματα ήταν τα αναμενόμενα. Η λειτουργία της μηχανής αξιολογήθηκε ως άριστη. Όταν ασκούταν δύναμη στον μοχλό να κινηθεί προς τα κάτω, αυτός κινούταν μόνο τόσο όσο οριζόταν από τη γωνία του Configurable Joint. Επιπρόσθετα, γινόταν πυροδότηση φωτιάς με ταυτόχρονο ήχο και ασκούταν η δύναμη που επανάφερε τον μοχλό στην αρχική του θέση. Επίσης, ο μοχλός δεν κινούταν σε κανέναν άλλο άξονα ή γωνία εκτός από τα προκαθορισμένα από το configurable joint, όση δύναμη και αν ασκούταν. Ακόμη, τα δέρματα του φουσητήρα κινούνταν, συστέλλονταν και διαστέλλονταν με φυσικό τρόπο. Τέλος, η λειτουργία μπορούσε να ενεργοποιηθεί επαναλαμβανόμενα.

6.2.3.10. Προετοιμασία του φλογοβόλου για χρήση ΠΕΕΠ και δοκιμή στο Oculus Quest

Μετά την επιτυχή δοκιμή της μηχανής στο Unity, έγιναν οι απαραίτητες ενέργειες ώστε να εισαχθεί στο Oculus Quest. Σημαντικό σημείο στην προετοιμασία, ήταν ότι λόγω της τεχνογνωσίας που έχει κατακτηθεί, χρησιμοποιήθηκε έτοιμο prefab για avatar. Το avatar είχε δημιουργηθεί κατά το αντίστοιχο στάδιο δημιουργίας της προηγούμενης εφεύρεσης. Έγινε χρήση του πρόσθετου Oculus Integration. Επίσης, ο μοχλός του φλογοβόλου μετατράπηκε σε grabbable με την προσθήκη έτοιμου script.

Κατά τη δοκιμή της μηχανής ανακαλύφθηκε ότι δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ των όσων ορίστηκαν στο Unity και του αποτελέσματος στο Oculus Quest. Πιο συγκεκριμένα, ενώ ήταν αναμενόμενο η μηχανή να λειτουργήσει στο Oculus Quest όπως στο Unity, κάτι τέτοιο απείχε πολύ από την πραγματικότητα, καθώς ναι μεν γινόταν η επαναλαμβανόμενη λειτουργία σωστά, όμως δεν λειτουργούσαν τα προκαθορισμένα joints του μοχλού. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν ότι ο χρήστης μπορούσε να πάρει τον μοχλό και να κινηθεί όπου ήθελε, με τα δέρματα να τεντώνουν και να τον ακολουθούν σε οποιοδήποτε σημείο του εικονικού κόσμου. Μόλις ο χρήστης άφηνε τον μοχλό, τότε αυτός επανερχόταν στην αρχική του θέση. Αρχικά, ελέγχθηκε

αν όντως είχαν προστεθεί τα joints. Μετά από έρευνα στο Διαδίκτυο ανακαλύφθηκε ότι όντως υπήρχε ασυμβατότητα του Unity με το Oculus Quest σε αυτό το σημείο. Αυτή ήταν μια από τις πρόσθετες δυσκολίες της δημιουργίας λογισμικών ΠΕΕΠ. Δεν αρκούσε απλώς η εξαγωγή του έργου σε αρχείο για χρήση σε Oculus Quest, όπως συνέβαινε στις υπόλοιπες πλατφόρμες (ενδεικτικά, android, pc).

6.2.3.11. Προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος με οδηγούς-tutorials

Μετά τη διαπίστωση της ασυμβατότητας των joints με το Oculus Quest, επιχειρήθηκε η επίλυση του προβλήματος με οδηγούς του Διαδικτύου. Έπειτα από προσπάθεια, δεν κατέστη δυνατή η επίλυση του προβλήματος, καθώς ο μοναδικός συμβατός οδηγός που εντοπίστηκε δεν εμφάνιζε το σύνολο της διαδικασίας, αλλά μέρος της. Τα μέρη που έλειπαν από τη διαδικασία απαιτούσαν υψηλή τεχνογνωσία χρήσης του Unity. Επιχειρήθηκε επικοινωνία με τον συντάκτη του οδηγού αλλά κάτι τέτοιο δεν κατέστη δυνατό, καθώς δεν απαντούσε στα μηνύματα μας.

6.2.3.12. Προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος με το asset Vr Starter Kit

Μετά την αποτυχία επίλυσης του προβλήματος με οδηγούς, εντοπίστηκε το πρόσθετο Vr starter kit, το οποίο, εκτός των άλλων, προσομοίωνε και τη λειτουργία μοχλού μέσω ενός script που παρείχε, με την ονομασία «Physics Helper». Όπως διαπιστώθηκε από δημοσιευμένους οδηγούς, το script αυτό όντως μπορούσε να περιορίσει την κίνηση του μοχλού. Επιπρόσθετα, η εταιρία παραγωγής, επιβεβαίωσε ότι το πρόσθετο μπορούσε να πραγματοποιήσει την επιθυμητή λειτουργία. Μετά την αγορά και εισαγωγή του πρόσθετου στη σκηνή του Unity, διαπιστώθηκε ότι μπορούσε να επιτυγχάνεται η επιδιωκόμενη λειτουργία, όμως το πρόσθετο εμφάνιζε δυο καίρια μειονεκτήματα. Πρώτον, το πρόσθετο ήταν πολύ «βαρύ», με μέγεθος γύρω στο 1 GB. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλο χρόνο εισαγωγής, πολύ μεγάλο χρόνο «switch platform» και πολύ μεγάλο χρόνο «build». Το δεύτερο και σημαντικότερο πρόβλημα, ήταν ότι με το πρόσθετο ακυρωνόταν η λειτουργία play mode του Unity. Μετά τις παραπάνω διαπιστώσεις το συγκεκριμένο asset εγκαταλείφθηκε.

6.2.3.13. Προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος με το πρόσθετο Virtual Reality Tool Kit 3.3

Μετά την αποτυχία επίλυσης του προβλήματος με το asset Vr Starter Kit, επιχειρήθηκε η χρησιμοποίηση του ελεύθερου asset Virtual Reality Tool Kit, έκδοσης 3.3. Το asset αυτό ήταν από τα περισσότερο διαδεδομένα στον χώρο της ΕΠ και ήταν διαθέσιμο στο asset store του Unity. Πλεονεκτούσε έναντι του προηγούμενου, γιατί ήταν αρκετά «ελαφρύτερο». Το

πρόβλημα που ανέκυψε στην προσπάθεια χρήσης του, ήταν ότι οι οδηγοί που περιέγραφαν την διαχείριση του ήταν πολύ παλιοί (δύο χρόνια πριν). Λόγω της χρησιμοποίησης διαφορετικής έκδοσης του Unity και του απαραίτητου πρόσθετου Oculus integration, οι οδηγοί ήταν ανεπίκαιροι. Το προϊόν αυτό δεν ήταν είναι εμπορικό και ως εκ τούτου, δεν υπήρχε επικαιροποίηση των οδηγιών. Ένα ακόμη πρόβλημα, ήταν ότι το πρόσθετο ήθελε αρκετά μεγάλη επεξεργασία και είχε σύνθετη δομή. Η σύνθετη δομή του ήταν αποτέλεσμα του γεγονότος, ότι δεν αποτελούσε πρόσθετο για Oculus Quest μόνο, αλλά κάλυπτε το σύνολο των διαδεδομένων συσκευών ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, Oculus Rift S, Steam VR) και χρειάζονταν πολλές και σύνθετες ρυθμίσεις για να μπορέσει να γίνει συμβατό με το Oculus Quest. Μετά από σχετική επιτυχία στο σετάρισμα του asset, λόγω έλλειψης υποστήριξης, αποφασιστική η χρήση της πιο σύγχρονης έκδοσης του asset, της έκδοσης 4.

6.2.3.14. Προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος με το asset Virtual Reality Tool Kit 4

Η πιο σύγχρονη έκδοση του asset ήταν η 4, ήταν όμως πειραματική (BETA) και αυτός ήταν ο λόγος που αποφεύχθηκε αρχικά. Δεν ήταν διαθέσιμη από το asset store του Unity, αλλά από το αποθετήριο GitHub. Αφού εισάχθηκε στο Unity, ακολουθήθηκαν οδηγοί για την εκμάθηση του. Το πρόβλημα που ανέκυψε, ήταν ότι οι οδηγοί προσέδιδαν έναν τρόπο κίνησης του avatar (teleport), μη συμβατό με αυτόν της εφαρμογής. Μετά από συνδυασμό πολλών διαφορετικών οδηγιών, επιτεύχθηκε το σετάρισμα του asset για Oculus Quest και ταυτόχρονα η προσθήκη επιθυμητού τρόπου κίνησης. Παρόλη την προηγούμενη επιτυχία, δεν κατέστη δυνατή η χρησιμοποίηση των μοχλών του εικονικού κόσμου.

6.2.3.15. Προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος με το asset Vr Interaction Framework for Oculus

Το καινούργιο αυτό asset φαινόταν να καλύπτει τη λειτουργία μοχλού. Πριν την αγορά του, δοκιμάστηκε μια demo έκδοση και πραγματοποιήθηκε επικοινωνία με την εταιρία παραγωγής. Σύμφωνα με την εταιρία, το πρόσθετο φαινόταν ικανό να καλύψει τις ανάγκες της εφαρμογής. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι η εταιρία δεν είχε δημοσιεύσει ακόμα οδηγούς χρήσης. Επιπρόσθετα, ανακαλύφθηκε ότι για να χρησιμοποιηθεί χωρίς προβλήματα, θα έπρεπε όλα τα αντικείμενα της σκηνής του Unity να έχουν μέγεθος 1. Αν κάτι τέτοιο δεν ίσχυε, τότε αλλοιωνόταν η λειτουργία της Physics Engine του Unity. Αυτή η τελευταία λεπτομέρεια, κατέστησε πολύ δύσκολο το πρόσθετο, λόγω της ανάγκης εισαγωγής αντικειμένων από το Blender.

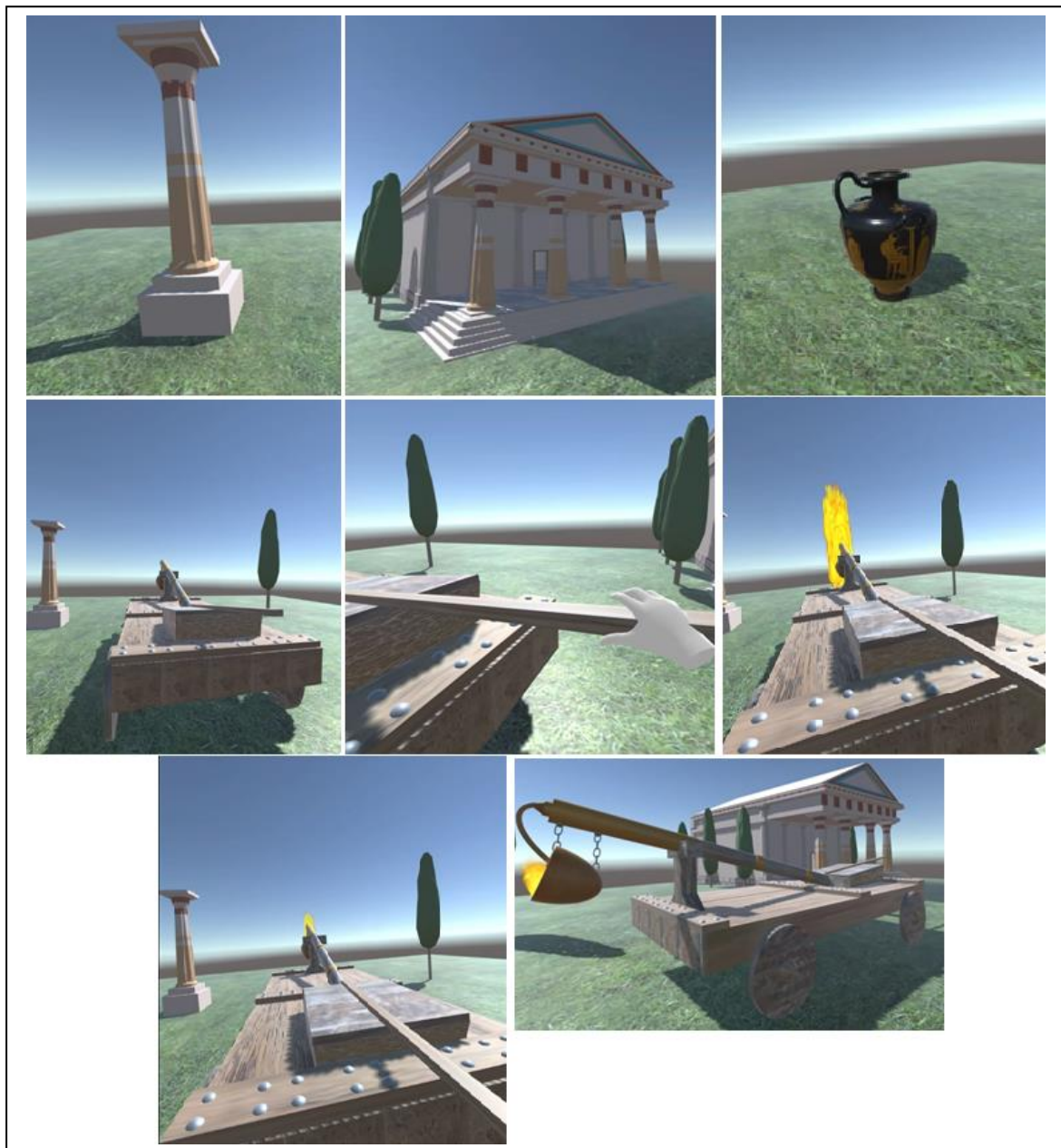
6.2.3.16. Δεύτερη προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος με οδηγούς-tutorials

Μετά την διαπίστωση ότι το προηγούμενο πρόσθετο δυσχέραινε τη δημιουργία του λογισμικού ΠΕΕΠ, αποφασίστηκε ο επαναπειραματισμός με τον οδηγό του Διαδικτύου. Ο οδηγός αυτός ήταν πρόσφατος, όμως δεν αφορούσε κίνηση-περιορισμό μοχλού, αλλά πόρτας. Μετά από πειραματισμό και κάνοντας τις απαραίτητες προσαρμογές, κατέστη δυνατή η επίλυση του προβλήματος. Υπήρξε διαφοροποίηση του αποτελέσματος αυτή τη φορά, διότι λόγω του συνεχούς πειραματισμού με τα asset, είχε αποκτηθεί η απαραίτητη τεχνογνωσία, που κάλυπτε όλα όσα δεν αποκάλυπτε ο οδηγός. Για παράδειγμα, ο οδηγός έκανε λόγο για τεχνική χωρισμού κάποιων game objects σε layers, τεχνική που ήταν πλέον γνωστή. Ο οδηγός αυτός, μέσω δημιουργίας αοράτων αντικειμένων, ειδικών ρυθμίσεων και παρεμβολής scripts, έλυνε το πρόβλημα κάνοντας τον μοχλό και το πάνω μέρος της μηχανής να «υπακούσουν» στους περιορισμούς των configurable joints.

Μάλιστα, με την τεχνογνωσία που αποκτήθηκε, πραγματοποιήθηκε βελτίωση του οδηγού, με την απαλοιφή ενός script, μέσω του ορισμού ενός ακόμα configurable joint. Μετά από πολλές δοκιμές και μικροβελτιώσεις, το τελικό αποτέλεσμα ήταν το αναμενόμενο, το φλογοβόλο λειτουργούσε ικανοποιητικά. Η επιτυχία αυτή, χωρίς τη χρησιμοποίηση κάποιου πρόσθετου VR (εκτός του Oculus Integration), ήταν ιδιαίτερα σημαντική, διότι η χρησιμοποίηση κάποιου επιπλέον πρόσθετου, σήμαινε και πολλές αλλαγές στον υπόλοιπο εικονικό κόσμο και ιδιαίτερα στο avatar.

6.2.3.17. Προσθήκη περιφερειακών αντικειμένων και δοκιμή στο Oculus Quest

Αποφασίστηκε η προσθήκη μερικών περιφερειακών αντικειμένων, έτσι ώστε να ελεγχθεί η όψη τους στον εικονικό κόσμο. Τα αντικείμενα αυτά δεν σχεδιάστηκαν, απλώς πάρθηκαν έτοιμα από το asset store του Unity. Μετά την αναγκαία προσαρμογή του μεγέθους τους, εισήχθησαν στη σκηνή του Unity. Τα αντικείμενα αυτά ήταν: υφή εδάφους, αρχαίος ελληνικός ναός, κολώνα, δένδρα και μελανόμορφο αγγείο. Το φλογοβόλο λειτούργησε πολύ καλά στο Oculus Quest. Όλες οι λειτουργίες της μηχανής αποδόθηκαν καλά. Στιγμιότυπα από τη δοκιμή της μηχανής στο Oculus, φαίνονται στην Εικόνα 6.19.



Εικόνα 6.19. Το φλογοβόλο των Βοιωτών

6.2.4. Η δημιουργία των φρυκτωριών

6.2.4.1. Προβληματισμός

Η εφεύρεση αυτή είναι ξεχωριστή, διότι εμφανίζει κοινά στοιχεία με τις σημερινές τεχνολογίες επικοινωνίας. Τα σημερινά πρωτόκολλα επικοινωνίας των ηλεκτρονικών συσκευών (ενδεικτικά, αισθητήρες, μικροελεγκτές, ηλεκτρονικοί υπολογιστές), βασίζονται σε εκπομπή ψηφιακού σήματος, που εμπεριέχει μια ακολουθία από λογικά 0 και 1 της άλγεβρας Boole (ενδεικτικά, πρωτόκολλο Modbus TCP/IP). Η ίδια αρχή λειτουργίας εφαρμοζόταν και στις αρχαίες φρυκτωρίες, όπου ο αναμμένος δαυλός αντιστοιχούσε στη λογική τιμή 1 και το σκότος

στη λογική τιμή 0. Αυτή η αλληλουχία αναμμένων και σβηστών πυρσών, ερμηνεύεται με βάση έναν πίνακα που περιείχε τα γράμματα της αλφαβήτου.

Με την επιλογή αυτή καλυπτόταν ένας σημαντικός τομέας της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας, οι τηλεπικοινωνίες. Στον τομέα αυτό, ενέπιπταν και άλλες σημαντικές αρχαίες εφευρέσεις, όπως η κρυπτεία, ο υδραυλικός και ο ακουστικός τηλεγράφος.

Επιπρόσθετα, η εφεύρεση παρουσίαζε πολύ μεγάλο βαθμό αλληλεπίδρασης με τον χρήστη. Για να τη λειτουργήσει, θα έπρεπε να αλλάζει την αλληλουχία των πυρσών.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η δημιουργία των αρχαίων φρυκτωριών σε πλαίσιο ΠΕΕΠ, συνδύαζε τη δημιουργία μιας «επίκαιρης» αρχαίας εφεύρεσης και κάλυπτε μια σημαντική περιοχή της αρχαίας τεχνολογίας. Επιπρόσθετα, επιτυγχανόταν υψηλή αλληλεπίδραση.

6.2.4.2. Σχεδίαση των φρυκτωριών στο Blender

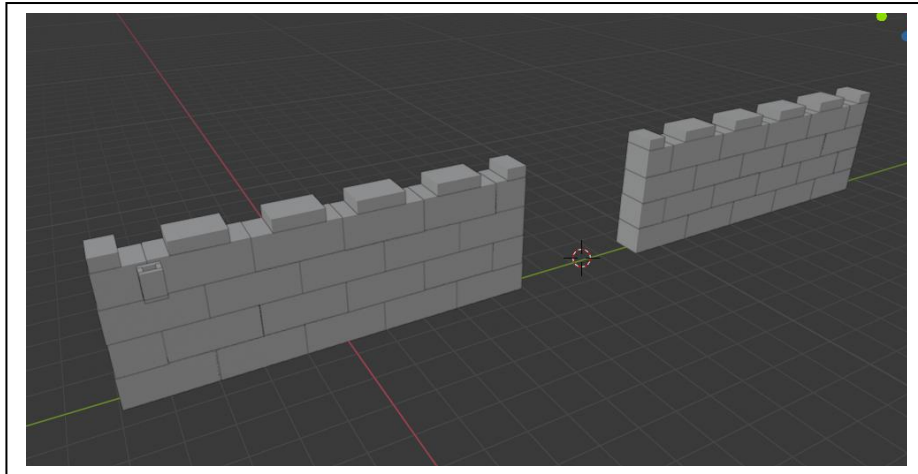
Για τη σχεδίαση της εφεύρεσης λήφθηκε υπόψιν το αρχαίο κείμενο που την περιέγραφε και ανακατασκευές της. Η περιγραφή της εφεύρεσης έχει γίνει από τον Πολύβιο τον Μεγαλοπολίτη στο έργο του Ιστορία Χ, 45-47 (Λάζος, 1997).

Από τις ανακατασκευές που ανιχνεύτηκαν, περισσότερο συγκλίνουσα με την αρχαία περιγραφή κρίθηκε η αναπαράσταση του Κώστα Κοτσανά, στο μουσείο αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας. Η ανακατασκευή (σε μινιατούρα) φαίνεται στην Εικόνα 6.20.



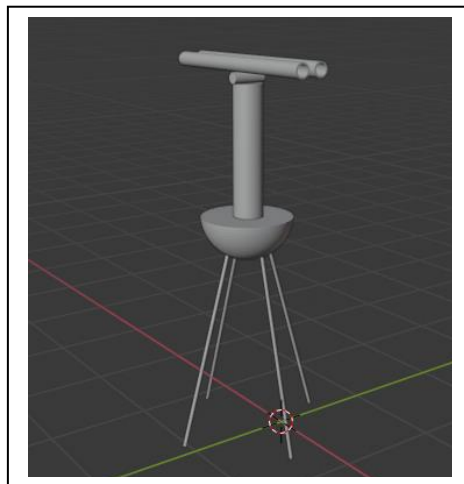
Εικόνα 6.20. Η ανακατασκευή των φρυκτωριών. Συλλογή και αρχείο μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά

Βάσει των παραπάνω, η αρχαία εφεύρεση μετά το 3D modeling ήταν όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.21.



Εικόνα 6.21. Σχεδίαση των φρυκτωριών στο Blender

Για τεχνικούς λόγους, δημιουργήθηκε μόνο μια υποδοχή για δαυλό. Στο Unity αντιγράφηκε η πρωτότυπη θέση του δαυλού και δημιουργήθηκαν άλλες 19 θέσεις. Επίσης, στο Blender δημιουργήθηκε και η διόπτρα της εφεύρεσης, με τη βοήθεια της οποίας ο φρυκτωρός ξεχώριζε τους δυο τοίχους της απέναντι φρυκτωρίας. Η σχεδίαση της διόπτρας φαίνεται στην Εικόνα 6.22.



Εικόνα 6.22. Η διόπτρα στο Blender

6.2.4.3. Δημιουργία των φρυκτωριών στο Unity

Μετά το απαιτούμενο 3D modeling των μερών στο Blender, εισάχθηκαν τα αρχεία με format fbx στο Unity και έγινε η σχεδίαση της πινακίδας. Ο σχεδιασμός ολοκληρώθηκε με την προσθήκη και παραμετροποίηση των υφών.

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης, προστέθηκαν τα στοιχεία που καθιστούσαν την εφαρμογή, εφαρμογή ΠΕΕΠ. Προστέθηκε το avatar και δαυλοί. Για avatar χρησιμοποιήθηκε αυτό των προηγούμενων εφευρέσεων. Κρίθηκε σκόπιμο να μη χρησιμοποιηθεί ο δαυλός της αιολόσφαιρας, καθώς είχε μη ικανοποιητική εμφάνιση. Για τον σκοπό αυτό, έγινε χρήση έτοιμου δαυλού από το Unity Store. Ο δαυλός παραμετροποιήθηκε κατάλληλα και έγινε αλληλεπιδραστικός, δηλαδή ο χρήστης μπορούσε να τον πιάσει, να τον τοποθετήσει στις υποδοχές και να τον πετάξει.

Σε αυτό το στάδιο της δημιουργίας, είχε δημιουργηθεί η εφεύρεση σε ένα πλήρως αλληλεπιδραστικό ΠΕΕΠ περιβάλλον. Ο χρήστης μπορούσε να τοποθετήσει και να αποτοποθετήσει τους δαυλούς στις υποδοχές λειτουργώντας την εφεύρεση, όπως και στο αρχαίο παρελθόν. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η δυνατότητα, δεν δινόταν σε καμία φυσική αναπαράσταση της εφεύρεσης, για προφανείς λόγους ασφαλείας. Επιπρόσθετα, δεν εντοπίστηκαν φυσικές αναπαραστάσεις της εφεύρεσης σε κανονικό μέγεθος, αλλά σε μινιατούρα.

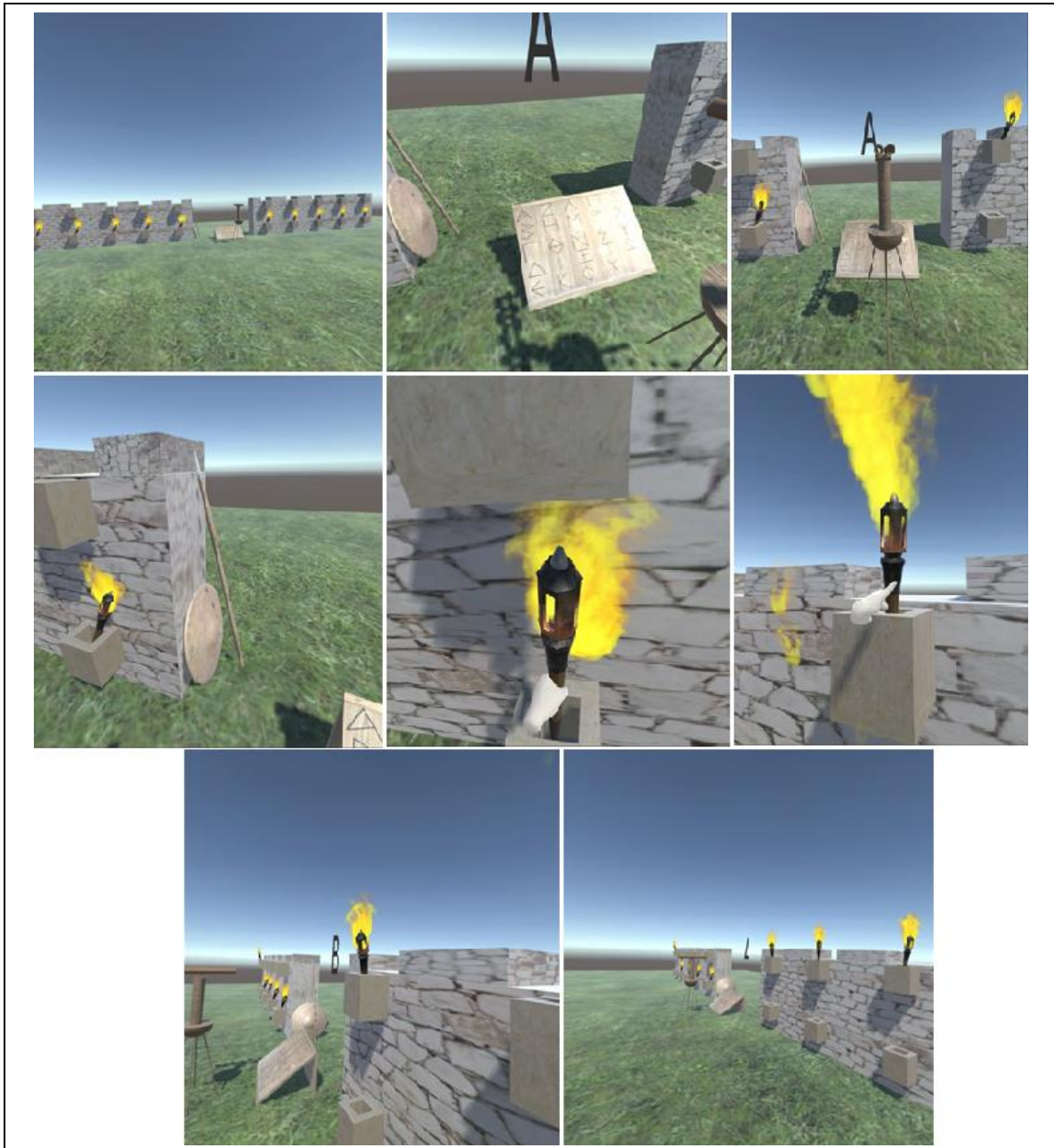
Η δημιουργία της εφεύρεσης όμως δεν περιορίστηκε μόνο σε αυτά τα πλεονεκτήματα, έναντι των φυσικών αναπαραστάσεων. Αποφασίστηκε η προσθήκη άμεσης εποπτείας της λειτουργίας. Αποφασίστηκε οι χρήστες να είναι σε θέση να βλέπουν σε πραγματικό χρόνο, το σχηματιζόμενο γράμμα που προέκυπτε από την αλληλουχία των αναμμένων πυρσών. Η προβολή του σχηματιζόμενου γράμματος, έπρεπε να είναι δυναμική, δηλαδή αλλάζοντας την αλληλουχία των πυρσών, να αλλάζει απευθείας το προβαλλόμενο γράμμα. Επιπρόσθετα, εάν συνέβαινε κάποιος συνδυασμός που δεν αντιστοιχούσε σε κάποιο γράμμα, θα έπρεπε να σταματάει η προβολή του προηγούμενου γράμματος. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος έπρεπε να δημιουργηθούν custom scripts. Το πρώτο είδος custom script αφορούσε την ανίχνευση της θέσης των πυρσών. Δηλαδή ενσωματώθηκαν στους πάνω υποδοχείς πυρσών custom scripts, τα οποία έλεγχαν συνεχώς εάν υπάρχει δαυλός μέσα στην υποδοχή.

Τα scripts ανίχνευσης των πυρσών «επικοινωνούσαν» με το κεντρικό custom script, το οποίο έλεγχε τότε η αλληλουχία των πυρσών αντιστοιχούσε σε γράμμα και τότε το πρόβαλλε. Επίσης, εάν η αλληλουχία των πυρσών δεν αντιστοιχούσε σε κάποιο γράμμα, τότε «έσβηνε»

το προβαλλόμενο γράμμα. Χρησιμοποιήθηκε η κλαστική προγραμματιστική δομή «IF-ELSE IF-ELSE» σε συνδυασμό με πράξεις της Άλγεβρας Boole.

6.2.4.4. Δοκιμή των φρυκτωριών στο Oculus Quest

Μετά τις απαραίτητες δοκιμές στο play mode του Unity όπου όλα λειτούργησαν σωστά, αποφασίστηκε η δοκιμή της εφεύρεσης στο Oculus Quest. Κατά τη δοκιμή, διαπιστώθηκε ότι η λειτουργία της εφεύρεσης ήταν ακριβώς η επιδιωκόμενη, δηλαδή τα custom scripts δούλευαν σωστά. Όμως, παρόλη τη σωστή λειτουργία, εντοπίστηκε πρόβλημα στην εμφάνιση. Πιο συγκεκριμένα, όσο η εφαρμογή βρισκόταν στο επίπεδο του H/Y, οι υφές εμφανίζονταν σωστά, όμως στο ΠΕΕΠ περιβάλλον του Oculus Quest, τρεμόπαιζαν πολύ έντονα. Αυτό το φαινόμενο επηρέαζε μόνο τις υφές πέτρας που χρησιμοποιήθηκαν για τα δυο τοιχία. Αρχικά το τρεμόπαιγμα αποδόθηκε σε ελαττωματική υφή, κακή επεξεργασία της ή κακή παραμετροποίηση. Το ενδεχόμενο αυτό ελέγχθηκε με αλληπάλληλες δοκιμές υφών και διαπιστώθηκε ότι το φαινόμενο επαναλαμβανόταν ανεξάρτητα από τις υφές. Μετά από πειραματισμό, διαπιστώθηκε ότι το πρόβλημα οφειλόταν στον σχεδιαστικό κατακερματισμό των τοιχίων. Τα τοιχία είχαν σχεδιαστεί στο Blender, υποδιαιρεμένα σε αρκετές πλάκες. Αυτό το χαρακτηριστικό, της λεπτομερειακής σχεδίασης, δημιουργούσε προβλήματα στο Oculus Quest, το οποίο δεν μπορούσε να αποδώσει πολλές υψηλής ποιότητας υφές ταυτόχρονα. Το πρόβλημα επιλύθηκε, με την αντικατάσταση των πλακών με ενιαίους τοίχους. Μετά τις τελευταίες αλλαγές, αποφασίστηκε η προσθήκη μερικών επιπλέον έτοιμων αντικειμένων στην εφαρμογή, ώστε να αξιολογηθεί η ποιότητα τους εντός της ΠΕΕΠ. Τα αντικείμενα αυτά ήταν ένα δόρυ και μια ασπίδα. Αφού έγιναν οι απαραίτητες προσθήκες υφών και παραμετροποιήσεις, εξάχθηκε το αρχείο σε format apk και δοκιμάστηκε στο Oculus Quest. Το τελικό αποτέλεσμα κρίθηκε ικανοποιητικό. Στιγμιότυπα από την ολοκληρωμένη εφεύρεση ΠΕΕΠ παρατίθενται στην Εικόνα 6.23.



Εικόνα 6.23. Φρυκτωρίες

6.2.4.5. Η δημιουργία του αυτοματισμού των θυρών του ναού-προβληματισμός

Προέκυψε προβληματισμός για το ποια θα ήταν η επόμενη εφεύρεση ΠΕΕΠ. Ήδη είχαν δημιουργηθεί τρεις εφευρέσεις, κάθε μια από τις οποίες αφορούσε διαφορετική πτυχή της αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας. Η αιολόσφαιρα του Ήρωνα εκπροσωπούσε τις ατμομηχανές. Το φλογοβόλο των Βοιωτών εκπροσωπούσε την πολεμική τεχνολογία. Οι φρυκτωρίες αποτελούσαν λαμπρό δείγμα τηλεπικοινωνιών. Η εφεύρεση που θα ακολουθούσε, έπρεπε να εμπίπτει σε διαφορετική κατηγορία χρήσης, ώστε το εκπαιδευτικό λογισμικό να καλύπτει ένα ευρύ και όσο το δυνατόν περισσότερο αντιπροσωπευτικό φάσμα της αρχαίας Ελληνικής

τεχνολογίας. Η αρχαία Ελληνική τεχνολογία, ήταν ιδιαίτερα ανεπτυγμένη και περιλάμβανε πολλούς επιμέρους τομείς. Κάποιοι από αυτούς ήταν η μεταλλουργία, η ναυπηγηκή, οι επιστήμες του πολιτικού μηχανικού (οικοδομική, έργα υποδομής) και η γεωργική τεχνολογία. Θα ήταν πολύ εύκολο να δημιουργηθεί μια εφεύρεση από τους παραπάνω τομείς. Οι εφευρέσεις αυτές, ως στατικές, δεν περιλάμβαναν κινούμενα μέρη και δεν θα προέκυπτε διάδραση κατά τη λειτουργία τους. Για παράδειγμα, ήταν ιδιαίτερα εύκολο να δημιουργηθεί μια αρκετά εντυπωσιακή δομική εφεύρεση, όπως ο μυκηναϊκός θολωτός τάφος ή μια γεωργική εφεύρεση, όπως το άροτρο. Μια τέτοια όμως εύκολη εφεύρεση, θα είχε ως αποτέλεσμα τη μη αξιοποίηση του συνόλου των δυνατοτήτων της ΠΕΕΠ. Ένα από τα διαφοροποιητικά χαρακτηριστικά της ΠΕΕΠ, είναι η αυξημένη δυνατότητα διάδρασης, μεταξύ του χρήστη και της εφεύρεσης. Αν αυτό το χαρακτηριστικό δεν λαμβανόταν υπόψιν, τότε το λογισμικό ομοιάζε περισσότερο με ένα -ας μας επιτραπεί ο όρος- «προηγμένο τεχνολογικά βίντεο». Δηλαδή ο χρήστης θα αντιλαμβανόταν το έκθεμα περίπου σαν να παρακολουθεί απλώς ένα animation. Επιπρόσθετα, προκειμένου να ενισχυθεί η προστιθέμενη αξία του λογισμικού, η εφεύρεση έπρεπε να μην είναι εύκολα προσβάσιμη για χρήση από το κοινό. Επομένως, συνοψίζοντας τα παραπάνω έπρεπε η εφεύρεση να είναι προσεκτικά επιλεγμένη με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Τη χρήση της/θεματική περιοχή που ανήκει
- Την ύπαρξη διάδρασης μεταξύ του χρήστη και της εφεύρεσης
- Την προστιθέμενη αξία του λογισμικού στη μουσειακή εκπαίδευση

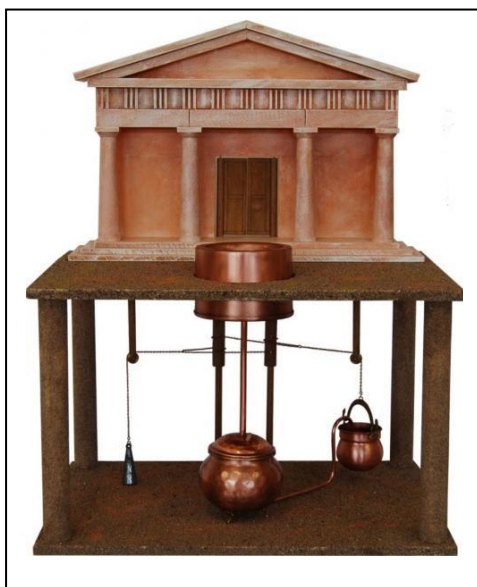
Με βάση τον παραπάνω προβληματισμό, αποφασίστηκε να δημιουργηθεί το αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού. Πρόκειται για μια εφεύρεση σύνθετη, με πολλά κινούμενα μηχανικά μέρη. Η εφεύρεση ενέπιπτε στον χώρο του αυτοματισμού, έναν χώρο ανέγγιχτο από τις μέχρι στιγμής εφευρέσεις. Ο αυτοματισμός είναι το κατεξοχήν πεδίο τεχνολογίας που αναφέρεται στην αρχαία Ελληνική μυθολογία (ενδεικτικά, ρομπότ υπηρέτριες του Ήφαιστου, Τάλως, αυτόματοι τρίποδες του Ολύμπου, αυτόματοι φυσητήρες του Ήφαιστου).

Η εφεύρεση περιλάμβανε πολλά κινούμενα μέρη και είχε αρκετά περίπλοκη λειτουργία. Η λειτουργία της εφεύρεσης, έχει περιγραφεί από τον Ήρωνα τον Αλεξανδρινό: Ένας ναός έχει κατασκευαστεί, έτσι ώστε μόλις ανάψει φωτιά στον βωμό του για να γίνει θυσία, οι πόρτες του ανοίγουν αυτόματα και μόλις σβήσει η φωτιά του βωμού κλείνουν (Woodcroft, 1851). Σε υπόγειο χώρο του ναού βρισκόταν, αόρατη από το κοινό, η εφεύρεση που εκτελούσε τον αυτοματισμό. Κάτω από το θυσιαστήριο και συνδεδεμένος με αυτό, ήταν ένας αεροστεγής σωλήνας. Το ένα άκρο του σωλήνα κατέληγε στο σασί του θυσιαστηρίου και το άλλο σε ένα κλειστό δοχείο με νερό. Με το άναμμα της φωτιάς στο θυσιαστήριο, ο αέρας που βρισκόταν

εγκλωβισμένος μέσα στον σωλήνα, θερμαινόταν και διαστελλόταν. Η θερμική διαστολή του ατμοσφαιρικού αέρα ασκούσε πίεση στην επιφάνεια του νερού, μέσα στο δοχείο στο οποίο κατέληγε ο σωλήνας. Λόγω της άσκησης πίεσης από τον αέρα, το νερό μέσα στο δοχείο πιεζόταν και έτσι ελαττωνόταν η στάθμη του. Μέρος του νερού εξερχόταν από το δοχείο, μέσω ενός σωλήνα και εισερχόταν σε ένα δεύτερο δοχείο. Λόγω της εισροής του νερού στο δεύτερο δοχείο, αυξανόταν η στάθμη του νερού και το βάρος του δοχείου. Το δοχείο αυτό ήταν αναρτημένο σε σχοινί. Καθώς αυξανόταν το βάρος του δοχείου, το σχοινί τραβιόταν προς τα κάτω και έδινε κίνηση σε έναν πολύπλοκο μηχανισμό, αποτελούμενο από περιελίξεις σχοινιών σε τροχαλίες, που μετέτρεπαν την κάθετη κίνηση σε περιστροφική και άνοιγαν τις θύρες του ναού. Το σύστημα σχοινιών-τροχαλιών περιλάμβανε κανονικές και αντίστροφες περιελίξεις, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή κατεύθυνση της περιστροφής. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις κινητές και δύο ακίνητες τροχαλίες, στις οποίες συνδέονταν τα σχοινιά. Όταν η φωτιά σταματούσε, τότε ο αέρας εντός του σωλήνα, κάτω από το θυσιαστήριο, συστελλόταν και πραγματοποιούταν η αντίστροφη διαδικασία με τη βοήθεια αντιβάρους, που ήταν αναρτημένο στο έτερο άκρο του συστήματος. Έκλειναν δηλαδή αυτόματα οι θύρες του ναού. Η παραπάνω περιληπτική παρουσίαση της λειτουργίας του αυτοματισμού των θυρών του ναού, καταδεικνύει την αυξημένη πολυπλοκότητα της.

Λόγω επικινδυνότητας της εφεύρεσης, η χρήση της στα μουσεία γινόταν με εκπτώσεις. Για παράδειγμα, στο μουσείο του Κώστα Κοτσανά και σε περιοδεύουσες εκθέσεις, η εφεύρεση δεν είχε το πραγματικό μέγεθος (κανονική θύρα), αλλά προσφερόταν για χρήση ως μακέτα. Επιπρόσθετα, εκτός από το μειονέκτημα της μεταβολής του φυσικού μεγέθους της εφεύρεσης, λόγω της ανάγκης ανάδειξης της λειτουργίας της, χρησιμοποιούταν τομή. Αυτά τα δυο στοιχεία, δημιουργούσαν αλλοίωση στη εμπύθιση του χρήστη της εφεύρεσης. Επιπρόσθετα, στον μουσειακό χώρο, ακόμα και με τομή, δεν φαίνονταν βασικά μέρη της μηχανής. Στην προκειμένη περίπτωση δεν φαινόταν η αυξομείωση των υγρών μέσα στα δοχεία.

Λόγω της εκπαιδευτικής στόχευσης του λογισμικού ΠΕΕΠ, έπρεπε να εκμεταλλεύεται στο έπακρο τόσο τις δυνατότητες διάδρασης, όσο και τις αυξημένες δυνατότητες εποπτείας της τεχνολογίας ΠΕΕΠ. Για τη δημιουργία της εφεύρεσης, εκτός από την περιγραφή του Ήρωνα, λήφθηκε υπόψιν η λειτουργική ανακατασκευή του Κώστα Κοτσανά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.24.



Εικόνα 6.24. Ο αυτοματισμός των θυρών του ναού. Συλλογή και αρχείο μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά

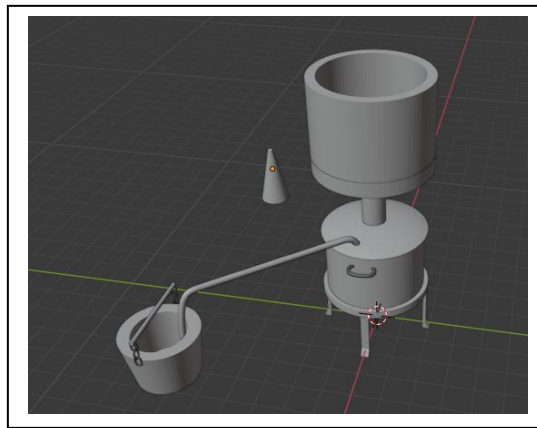
6.2.4.6. 3D modeling του αυτοματισμού των θυρών του ναού στο Blender

Η εφεύρεση δεν υπήρχε έτοιμη σε κάποιο αποθετήριο. Αυτό σήμαινε ότι ήταν απαραίτητη η διαδικασία του 3D modeling. Το λογισμικό Blender ήταν από τα καλύτερα για την επίτευξη 3D modeling και επομένως, υπήρχε η δυνατότητα του σχεδιασμού του συνόλου των μηχανικών μερών. Ωστόσο, υπήρχε αμφιβολία για το πώς θα επιτευχθούν οι απαραίτητες κινήσεις των μερών.

Υπήρχε η δυνατότητα σχεδίασης σχοινιών, τροχαλιών, δοχείων, όμως στον εικονικό κόσμο ήταν πολύ δύσκολο να επιτευχθεί η σωστή κίνησή τους. Ήταν εξαιρετικά δύσκολο να πραγματοποιηθεί animation, όπου το σχοινί να είναι προσαρμοσμένο σε άκρα, να περιελίσσεται και να αποπεριελίσσεται. Το animation και σε αυτή τη περίπτωση, απέιχε πολύ από τα συνήθη animation που χρησιμοποιούνταν στη δημιουργία παιχνιδιών (ενδεικτικά, μετακίνηση αντικειμένου, κίνηση οχήματος, εμφάνιση αντικειμένου).

Αρχικά, επιχειρήθηκε η δημιουργία των σχοινιών. Υπήρχε πλήθος οδηγιών στο Διαδίκτυο, ωστόσο αφορούσαν τον σχεδιασμό απλού σχοινιού, που δεν αλληλεπιδρούσε με άλλα μηχανικά μέρη. Επρόκειτο για ακίνητο σχοινί, ακατάλληλο για χρήση στον αυτοματισμό. Παρόλη τη φαινομενική ανεπάρκεια, έγινε αρχικά δημιουργία και έπειτα απόπειρα χρήσης του σχοινιού. Μετά από δοκιμές, φάνηκε ότι δεν ήταν δυνατή η δημιουργία του σχοινιού στο Blender, με τους όρους που ήταν απαραίτητοι.

Λόγω της παραπάνω ανεπάρκειας, αποφασίστηκε ο σχεδιασμός κάποιων μηχανικών μερών στο Blender και η προσπάθεια επίτευξης των υπολοίπων στο Unity. Στο Blender δημιουργήθηκαν οι σωληνώσεις, το θυσιαστήριο και τα δύο δοχεία με τα παρελκόμενα τους (βάση, σωληνώσεις, χειρολαβές, αλυσίδα), όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.25.



Εικόνα 6.25. Μέρη του αυτοματισμού στο Blender

6.2.4.7. Προσπάθεια σχεδιασμού μηχανικών μερών στο Unity

Ακολουθήθηκαν οδηγοί για τη δημιουργία σχοινιού στο Unity (rope physics). Οι οδηγοί ήταν κατάλληλοι για τη δημιουργία σχοινιών, όμως σε καμία περίπτωση δεν μπορούσαν να προσεγγίσουν τις αυξημένες απαιτήσεις μιας τόσο σύνθετης κίνησης περιέλιξης-αποπεριέλιξης και ταυτόχρονα σύνδεσης σε τρία σημεία. Στην καλύτερη περίπτωση, ήταν δυνατή η ευθύγραμμη μόνο (και όχι με γωνίες όπως χρειαζόταν) κίνηση του σχοινιού και ίσως η ανάρτηση ενός βάρους σε αυτό. Φάνηκε ότι η επιδιωκόμενη λειτουργία, δεν μπορούσε να καλυφθεί από το Unity. Αναζητήθηκε λύση σε εξειδικευμένα πρόσθετα λογισμικά. Μετά από έρευνα, τα υποψήφια πρόσθετα ήταν και τα δυο προϊόντα της εταιρίας Virtual Method. Το πρώτο ήταν το Obi Rope και δεύτερο το FILO. Και τα δυο asset αφορούσαν την κίνηση σχοινιών. Αποφασίστηκε η αγορά και χρήση του FILO, καθώς οι δυνατότητες του συνέκλιναν με τους επιδιωκόμενους στόχους του λογισμικού. Μετά την απόκτηση της απαραίτητης τεχνογνωσίας χρήσης του, κατέστη δυνατή σταδιακά, η δημιουργία του πολύπλοκου συστήματος σχοινιών-τροχαλιών-βάρους-αντιβάρους. Το υποσύστημα της μηχανής περιλάμβανε εκτός των σχοινιών 12 μηχανικά μέρη, 10 κινούμενα και δύο ακίνητα.

6.2.4.8. Εισαγωγή μηχανικών μερών στο Unity και προσθήκη πρόσθετων στοιχείων

Αφού έγινε εξαγωγή των μηχανικών μερών που δημιουργήθηκαν στο Blender, εισάχθηκαν στο Unity. Έπειτα, έγινε η απαραίτητη σύνδεσή τους, με αυτά που σχεδιάστηκαν στο FILO.

Πραγματοποιήθηκε έρευνα σε αποθετήρια, ώστε να βρεθούν τα υπόλοιπα αντικείμενα που θα συμπλήρωναν τη σκηνή. Το κυριότερο αντικείμενο από αυτά ήταν ο ναός. Υπήρχε μεγάλη ποικιλία έτοιμων αρχαίων ελληνικών ναών σε διάφορα αποθετήρια (ενδεικτικά, Unity Store, Turbosquid, Free3D), οι οποίοι ήταν σε πολλές περιπτώσεις ιδιαίτερα εντυπωσιακοί, καθώς αποτελούσαν έργα ειδικών σχεδιαστών. Πολλοί από αυτούς εμφάνιζαν καλλιτεχνική και λεπτομερή σχεδίαση. Περιλάμβαναν ιδιαίτερες έγχρωμες μαρμαρογλύπτες παραστάσεις με θεούς και ήρωες. Όμως παρόλη την τεχνική ευκολία της εισαγωγής ενός έτοιμου αντικειμένου μέσα στη σκηνή (απλώς με ένα «drag and drop»), ήταν απαραίτητος ο προβληματισμός που προέκυπτε από τους τεχνικούς περιορισμούς και από την ιδιαίτερη χρήση του αντικειμένου.

Όπως φάνηκε από αλληπάλληλες δοκιμές αγαλμάτων και άλλων εντυπωσιακών αντικειμένων, η εισαγωγή τους δημιουργούσε προβλήματα στο λογισμικό, καθώς επιβάρυνε την επεξεργασία δεδομένων του Oculus Quest. Πιο συγκεκριμένα, όταν προστίθονταν τέτοια λεπτομερή αντικείμενα (high poly), η κίνηση στον εικονικό κόσμο κόλλαγε, τα αντικείμενα τρεμόπαιζαν και δημιουργούνταν προβλήματα απόδοσης με την κίνηση του HMD. Επιπρόσθετα, επειδή ο ναός δεν προοριζόταν για απλή επίδειξη, αλλά για τη φιλοξενία της εφεύρεσης, έπρεπε να είναι έτσι διαμορφωμένος, ώστε με τις κατάλληλες μετατροπές, να μπορεί να φιλοξενήσει τα μηχανικά μέρη της εφεύρεσης. Για τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος ναός. Ο ναός εισάχθηκε σαν asset από το αποθετήριο Asset Store του Unity. Μετά την εισαγωγή του στη σκηνή, πραγματοποιήθηκαν εκτενείς μετατροπές, ώστε να δημιουργηθεί ο κατάλληλος χώρος (υπόγειο) χωρίς εμπόδια και να φιλοξενηθούν τα μηχανικά μέρη. Επιπλέον, προστέθηκαν και άλλα assets, μελανόμορφα αγγεία, υφή γρασιδιού, λουλούδια, διάφορα δέντρα, επιτοιχίες βάσεις πυρσών και πυρσοί. Επίσης, σχεδιάστηκε και δεύτερη είσοδος στον ναό που απέτρεπε τον εγκλωβισμό του χρήστη, όταν έκλειναν οι θύρες.

Όπως προαναφέρθηκε, ανέκυπτε πρόβλημα με την εισαγωγή λεπτομερών αντικειμένων, δηλαδή αντικειμένων που χρησιμοποιούσαν πολλά πολύγωνα (high poly). Αρχικά, προστέθηκε το άγαλμα του Δία, το οποίο αποτελούταν από 16.000 πολύγωνα και υπήρξαν αισθητά προβλήματα στην απόδοση της σκηνής από το Oculus Quest.

Μετά την εισαγωγή του αγάλματος του Δία, επιχειρήθηκε η εισαγωγή ενός αγάλματος με λιγότερα πολύγωνα. Εισάχθηκε ο δισκοβόλος Ερμής με 10.000 πολύγωνα, όμως συνέχισαν να υπάρχουν αρκετά προβλήματα. Πραγματοποιήθηκε ειδική επεξεργασία του αγάλματος στο Blender, ώστε να μειωθεί ο αριθμός των πολυγώνων, όμως πάρα την προσπάθεια, τα προβλήματα απόδοσης συνεχίστηκαν.

Μετά τις συνεχείς αποτυχίες, επιχειρήθηκε η ανεύρεση έτοιμων low poly αγαλμάτων. Εντοπίστηκαν κάποια αγάλματα, όμως το αισθητικό αποτέλεσμα δεν κρίθηκε ικανοποιητικό.

Τα προβλήματα στην απόδοση συνεχίστηκαν σε μικρότερο βαθμό, μετά τη διαγραφή των αγαλμάτων, λόγω των high poly δέντρων. Λόγω των προβλημάτων, διαγράφηκαν αρκετά δέντρα. Με την απόκτηση σχετικής τεχνογνωσίας στο Blender, ήταν δυνατή η ακριβής παραμετροποίηση, με στόχο τη μείωση των πολυγώνων του αγάλματος και παράλληλα την - όσο το δυνατόν- μικρότερη αρνητική επίδραση στο αισθητικό αποτέλεσμα.

Μετά από πολλές δοκιμές, πολλών έτοιμων μοντέλων αγαλμάτων, αποφασίστηκε η επεξεργασία και εισαγωγή του αγάλματος της Αθηνάς. Αυτό έγινε, διότι το μοντέλο του αγάλματος που ανακτήθηκε, είχε μικρότερο αριθμό πολυγώνων από τα υπόλοιπα. Επιπρόσθετα, υπήρξε πρόβλημα, διότι τα αγάλματα στα αποθετήρια εμφανίζονταν λευκά, όπως στα μουσεία. Τα αγάλματα στα μουσεία εμφανίζονταν λευκά, όχι γιατί ήταν όντως λευκά, αλλά γιατί το χρώμα τους δεν διατηρήθηκε στο πέρασμα των αιώνων. Τα αγάλματα στην αρχαία εποχή ήταν πολύχρωμα. Επομένως, το λευκό χρώμα των αγαλμάτων, ερχόταν σε αντίθεση με την ιστορική αλήθεια και επηρέαζε το τελικό ποιοτικό αποτέλεσμα. Επίσης, τα μοντέλα δεν ήταν δυνατόν να χρωματιστούν σωστά, διότι ήταν σχεδιασμένα ενιαία, χωρίς να υποδιαιρούνται σε μέρη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η οποιαδήποτε εισαγωγή υφής να είναι καθολική, σε όλη την επιφάνεια του μοντέλου. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα, επιλέχθηκε να μην χρωματιστεί το άγαλμα, αλλά να εισαχθεί μπρούτζινη υφή. Με την προσθήκη της υφής η σκηνή ήταν περισσότερο ρεαλιστική.

Από την μέχρι στιγμής διαδικασία παραγωγής λογισμικού, προέκυψε ότι οι τεχνικοί περιορισμοί στη χρήση του Oculus Quest, θα έπρεπε να ληφθούν σοβαρά υπόψιν και κατά τον μετέπειτα σχεδιασμό του λογισμικού ΠΕΕΠ, ώστε να γίνει προσεκτική διαχείριση των πόρων του συστήματος. Η παραπάνω προσπάθεια εισαγωγής πολύ υψηλής ποιότητας τρισδιάστατων αντικειμένων, επιβεβαίωσε την εμπειρία χρήσης εμπορικών εφαρμογών του Oculus Quest, οι οποίες ήταν τεχνικά και αισθητικά αξιόλογες, όμως στο σύνολό τους δεν χρησιμοποιούσαν high poly αντικείμενα.

6.2.4.9. Texturing του αυτοματισμού των θυρών του ναού στο Unity

Μετά τον ορισμό των δευτερευόντων αντικειμένων της σκηνής, πραγματοποιήθηκε η προσθήκη και παραμετροποίηση των υφών στο Unity. Χρησιμοποιήθηκαν έτοιμες υφές από το αποθετήριο Textures. Έγινε χρήση πολλών διαφορετικών υφών ξύλου, μαρμάρου, σιδήρου, σχοινιού και χαλκού για την ένδυση της μηχανής και του υπόγειου χώρου. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε, λόγω του εκπαιδευτικού προορισμού του λογισμικού, στην εποπτική αντίθεση των υφών των μηχανικών μερών με το φόντο, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η υψηλή αντίθεση των χρωμάτων (high contrast). Για παράδειγμα, επιλέχθηκε σκούρα μεταλλική υφή για τις

τροχαλίες και λευκή υφή μαρμάρου για τους τοίχους. Επιπρόσθετα, έγιναν ρυθμίσεις στις υφές, έτσι ώστε να μην επιδέχονται σκιές, με στόχο τη βέλτιστη εποπτεία του συστήματος.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό, ήταν η χρησιμοποίηση διάφανων υφών στα δυο δοχεία που περιείχαν νερό. Με αυτήν την εποπτική σχεδίαση, ο χρήστης μπορούσε να παρακολουθεί την αυξομείωση της στάθμης των δυο συνδεδεμένων δοχείων, γεγονός-κλειδί για την κατανόηση της λειτουργίας της μηχανής. Αξίζει να σημειωθεί, ότι αυτή η δυνατότητα δεν παρεχόταν στις φυσικές αναπαραστάσεις της μηχανής και αποτελούσε πλεονέκτημα της εφαρμογής ΠΕΕΠ.

Ένα σημείο στο οποίο ανέκυψε προβληματισμός, ήταν η σχεδίαση του νερού. Υπήρχε η δυνατότητα της πολύ ρεαλιστικής σχεδίασης, ώστε να φαίνεται διάφανο, όπως το πραγματικό νερό. Μια τέτοια κίνηση όμως, θα είχε αντίκτυπο στην εποπτεία της εφεύρεσης, καθώς η αυξομείωση των ποσοτήτων του νερού, θα ήταν πολύ δυσδιάκριτη από τον χρήστη. Λόγω της εκπαιδευτικής διάστασης του λογισμικού, έγινε χρήση χρώματος (μπλε), έτσι ώστε να είναι δυνατή η άμεση εποπτεία της λειτουργίας της μηχανής, σε βάρος ίσως της ρεαλιστικότητάς της.

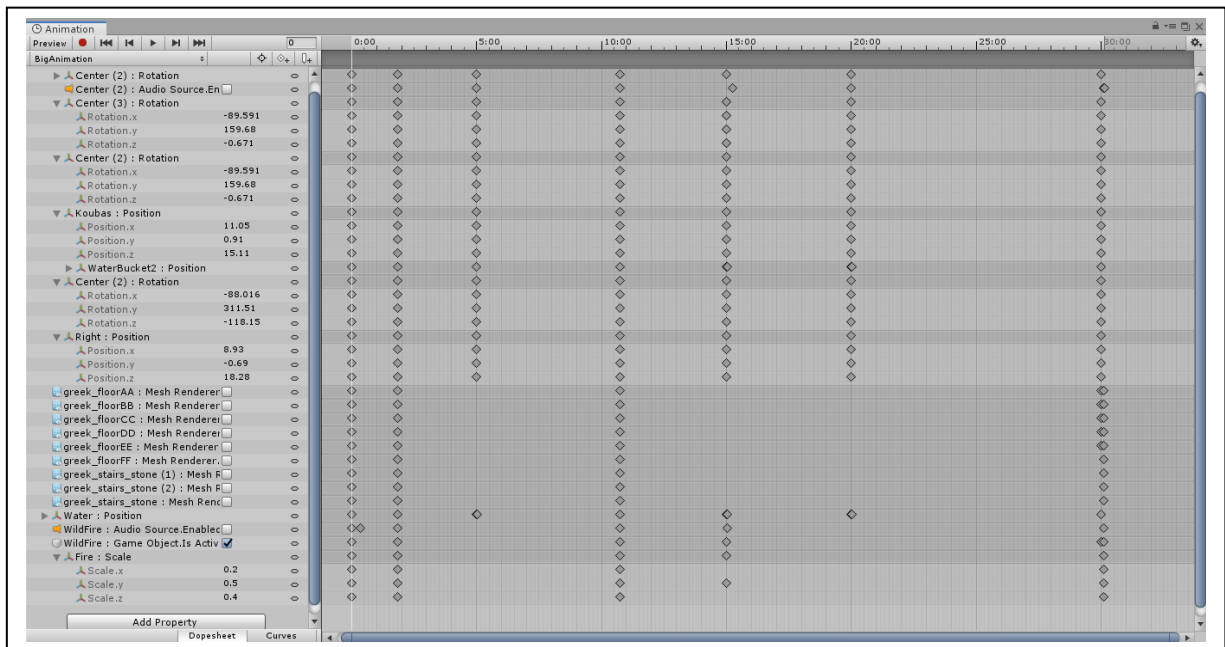
6.2.4.10. Δημιουργία του animation του αυτοματισμού των θυρών του ναού στο Unity

Μετά την προσθήκη και παραμετροποίηση των υφών, η παραγωγή του λογισμικού πέρασε στο στάδιο της δημιουργίας του animation. Αυτή τη φορά, το animation της μηχανής εμφανιζόταν πολύ συνθετότερο από ότι το animation της αιολόσφαιρας του Ήρωνα και του φλογοβόλου των Βοιωτών. Στην προκειμένη περίπτωση, ήταν απαραίτητος ο συγχρονισμός των κινήσεων 9 βασικών αντικειμένων. Τα αντικείμενα αυτά ήταν οι 4 κινούμενες τροχαλίες, στις οποίες περιελίσσονταν και αποπεριελίσσονταν τα σχοινιά, η φωτιά του θυσιαστηρίου, το δοχείο που χρησίμευε σαν βάρος, το αντίβαρο και οι δυο στάθμες του νερού στα δυο δοχεία. Μάλιστα, τα 9 αυτά αντικείμενα βρίσκονταν σε αλληλεπίδραση μεταξύ τους, καθώς η κίνηση του ενός επηρέαζε όλο το σύστημα. Εκτός των κυρίων κινούμενων αντικειμένων, υπήρχαν και κάποια κινούμενα αντικείμενα, που δεν χρειαζόταν να εισαχθούν στο animation, καθώς επρόκειτο να «δεθούν» σε άλλα κινούμενα αντικείμενα και να ακολουθήσουν την κίνηση τους. Αυτά τα αντικείμενα ήταν οι στύλοι περιστροφής των θυρών και οι θύρες, τα οποία ήταν «δεμένα» πάνω σε τροχαλίες και ακολουθούσαν ακριβώς την περιστροφή τους. Χρησιμοποιήθηκε σχετικά μεγάλη διάμετρος τροχαλιών για εποπτικούς λόγους, ώστε να φαίνεται με ακρίβεια η περιστροφή τους. Το animation λάμβανε χώρα σε δυο ημιπεριόδους. Η πρώτη ήταν κατά το άνοιγμα των θυρών και δεύτερη όταν έσβηνε η φωτιά και έκλειναν οι θύρες.

Επίσης, συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τις αναπαραστάσεις σε μακέτα, ήταν και η πρόσθετη εξαφάνιση του πατώματος και του κλιμακοστασίου, για όσο χρόνο εκτελούνταν το animation. Στόχος ήταν η άμεση εποπτεία της λειτουργίας όλων των μηχανικών μερών από τον χρήστη. Δηλαδή, μόλις ο χρήστης πυροδοτούσε με δαυλό το θυσιαστήριο, για όσο χρόνο πραγματοποιούνταν η λειτουργία της εφεύρεσης, εξαφανίζονταν τα αντικείμενα που εμπόδιζαν τον χρήστη να έχει οπτική επαφή με τη μηχανή, χωρίς όμως αυτά να συνεχίσουν να υφίστανται. Δηλαδή, ενώ εξαφανιζόταν το δάπεδο κάτω από τον χρήστη, έβλεπε τι συμβαίνει στο υπόγειο και δεν έπεφτε. Το δάπεδο και το κλιμακοστάσιο συνέχιζαν να υφίστανται, απλώς δεν τα υπολόγιζε ο renderer.

Ο χρήστης μπορούσε, ενώ ήταν σε εξέλιξη ο αυτοματισμός, να κινηθεί ελεύθερα και να παρατηρήσει τα μηχανικά μέρη υπό οποιαδήποτε γωνία. Αυτή η δυνατότητα παρατήρησης, αποτελούσε συγκριτικό πλεονέκτημα, έναντι των αναπαραστάσεων τομής, καθώς η τομή περιόριζε κατά πολύ τις οπτικές γωνίες παρατήρησης.

Στην Εικόνα 6.26. φαίνεται ο συγχρονισμός των μερών στο εργαλείο Animator του Unity, ώστε να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα:



Εικόνα 6.26. Συγχρονισμός animation

6.2.4.11. Εισαγωγή ήχων στο animation του αυτοματισμού των θυρών του ναού

Μετά τη δημιουργία του βασικού animation, το οποίο περιλάμβανε το άναμμα-σβήσιμο της φωτιάς και τις κινήσεις των σχοινιών, των μηχανικών μερών και των υγρών, προστέθηκαν τρία επιπλέον ηχητικά στοιχεία, που συνέβαλαν στην περεταίρω εμπύθιση του χρήστη στο εικονικό

περιβάλλον. Προτέθηκε ηχητικό εφέ που συνόδευε την εμφάνιση της φωτιάς. Το εφέ αυτό διαρκούσε όσο διαρκούσε η φωτιά. Επιπρόσθετα, προστέθηκε και δεύτερο ηχητικό εφέ, που ενεργοποιούταν κατά το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρών του ναού. Η προμήθεια των ηχητικών εφέ έγινε από το αποθετήριο Freesound. Επίσης, προστέθηκε και ένα κομμάτι μουσικής, από το πρόσθετο του Unity Store «Ancient Era Music», που έπαιζε σαν μουσικό χαλί στο παρασκήνιο.

Όπως και στις προηγούμενες εφευρέσεις ΠΕΕΠ, η τεχνική που επιλέχθηκε για να δομηθεί το animation, απαιτούσε συγγραφή custom scripts σε γλώσσα προγραμματισμού C#. Η τεχνική αυτή επέτρεπε την εκμετάλλευση των εποπτικών δυνατοτήτων της ΠΕΕΠ, καθώς το animation συνέβαινε σε πραγματικό χρόνο (real time) και όχι σαν βιντεοσκοπημένο (cutscene). Στον χρήση δινόταν η δυνατότητα να κινείται ελεύθερα στον χώρο, να παρατηρεί από οποιαδήποτε γωνία τις λειτουργίες της μηχανής και να διαδρά ελεύθερα με το περιβάλλον. Επιπρόσθετα, στον κώδικα που συγγράφηκε, έγινε χρήση ειδικής συνάρτησης για την επανενεργοποίηση του animation, όσες φορές επιθυμούσε ο χρήστης. Αυτό έδινε τη δυνατότητα της συνεχούς επανάληψης της λειτουργίας της μηχανής.

6.2.4.12. Ορισμός χειρισμού του αυτοματισμού των θυρών του ναού

Μετά την περάτωση του animation και του προγραμματισμού, εισάχθηκε το avatar και προστέθηκαν έτοιμα scripts στους δαυλούς, ώστε αυτοί να μπορούν να πιάνονται από τον χρήστη (grabbable). Το avatar που προστέθηκε ήταν το ίδιο με αυτό των προηγούμενων εφευρέσεων.

6.2.4.13. Δοκιμές του αυτοματισμού των θυρών του ναού στον υπολογιστή και στο Oculus Quest

Μετά την περάτωση όλων των σταδίων δημιουργίας της εφαρμογής (3D modeling, texturing, animation, ήχος, χειρισμός), έγιναν οι απαραίτητες δοκιμές σε επίπεδο ηλεκτρονικού υπολογιστή, μέσα από το play mode του Unity. Έπειτα πραγματοποιήθηκε το απαιτούμενο rendering. Δοκιμάστηκε εξαντλητικά στο Oculus Quest για τυχόν bugs. Πραγματοποιήθηκε πολλές φορές επαναλειτουργία του σύνθετου animation για τη διαπίστωση ανακρίβειών. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν κάποιες μικροβελτιώσεις σε κάποια game objects και η εφαρμογή δοκιμάστηκε ξανά.

6.2.4.14. Σύνοψη και αξιολόγηση του τελικού αποτελέσματος του αυτοματισμού των θυρών του ναού

Μετά την ολοκλήρωση του κύκλου παραγωγής, δημιουργήθηκε μια ρεαλιστική και διαδραστική εφαρμογή ΠΕΕΠ. Λόγω της απόκτησης της απαιτούμενης τεχνογνωσίας, στο

σύνολο των επιμέρους σταδίων του κύκλου παραγωγής λογισμικού (3D modeling, texturing, animation, ήχος, gameplay), ήταν δυνατή η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας ΠΕΕΠ, με στόχο αφενός την εμπύθιση του χρήστη και αφετέρου τη μέγιστη δυνατή εποπτικότητα. Η εφαρμογή εμφάνιζε πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα, σε σχέση με τις φυσικές ανακατασκευές. Περιλάμβανε διάφανες υφές, real time animation, εφέ, ειδικά asset, απτική διάδραση με αντικείμενα, ειδικά custom scripts και γενικότερα κάθε μέσο που προσφερόταν, προκειμένου να δομήσει την εμπειρία του χρήστη. Στην Εικόνα 6.27 παρουσιάζονται μερικά στιγμιότυπα από την τελική εφαρμογή:



Εικόνα 6.27. Τελική εφαρμογή αυτοματισμού των θυρών

6.2.5. Επαναδημιουργία της αιολόσφαιρας

6.2.5.1. Προβληματισμός

Από τη σύγκριση των τριών τελευταίων εφαρμογών (φλογοβόλο, φρυκτωρίες, αυτόματο άνοιγμα των θυρών) με την πρώτη εφαρμογή (αιολόσφαιρα), η πρώτη υπολειπόταν σε πολλούς τομείς όπως: σχεδίαση, animation, υφές. Αυτό συνέβη, γιατί η αιολόσφαιρα του Έρωνα αποτέλεσε την πρώτη απόπειρα ολοκληρωμένης δημιουργίας εφαρμογής και ως εκ τούτου δεν ήταν στο επίπεδο των μεταγενέστερων.

Λόγω των παραπάνω, αποφασίστηκε η εκ νέου δημιουργία της αιολόσφαιρας του Έρωνα και όχι απλώς η βελτίωση της υπάρχουσας δοκιμαστικής, με κάποιες προσθήκες και αλλαγές. Αρχικά, υπήρξε προβληματισμός για τη μορφή της μηχανής. Στη δοκιμαστική εκδοχή χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο η αιολόσφαιρα του Έρωνα, όπως αυτή είχε ανακατασκευαστεί στο μουσείο αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας του Κώστα Κοτσάνα. Η επιλογή αυτή έγινε αρχικά αυθαίρετα, γιατί απλώς έπρεπε να δημιουργηθεί ένα μοντέλο, ώστε να ολοκληρωθεί όλος ο κύκλος παραγωγής (από το 3D modeling, έως και τις δοκιμές στο ΠΕΕΠ περιβάλλον του Oculus Quest). Όπως και στη συντριπτική πλειοψηφία των αρχαίων ελληνικών εφευρέσεων, δεν υπήρχαν διαθέσιμες πληροφορίες, για λεπτομερείς προδιαγραφές. Στην περίπτωση της αιολόσφαιρας, δεν εντοπίστηκε κάποια αρχαία απεικόνιση σε κάποιο μέσο. Η πηγή πληροφόρησης, ήταν η αναφορά στο έργο του Έρωνα του Αλεξανδρινού «Πνευματικά» (Woodcroft, 1851).

Η περιγραφή της εφεύρεσης δεν περιείχε συγκεκριμένες διαστάσεις και υλικά κατασκευής. Η σχεδίαση της μηχανής, έγινε με βάση την εικόνα που επισυνάπτεται στα πνευματικά του Έρωνα, την ανακατασκευή του τεχνολογικού μουσείου Θεσσαλονίκης και του μουσείου Κοτσανά. Η ανακατασκευή της εφεύρεσης από τον Κώστα Κοτσανά, φαίνεται στην Εικόνα 6.28.



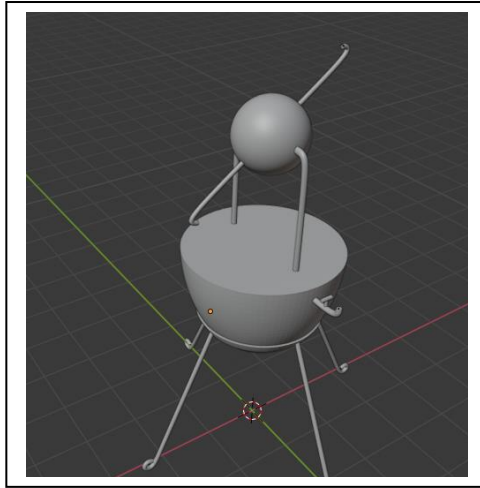
Εικόνα 6.28. Η λειτουργική ανακατασκευή της αιολόσφαιρας. Συλλογή και αρχείο μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά.

Μεγάλος αριθμός ανακατασκευών της μηχανής, πληρούσαν την περιγραφή των Πνευματικών. Η τελική μορφή της μηχανής δημιουργήθηκε με βάση το αισθητικό αποτέλεσμα.

Η σημασία της αιολόσφαιρας είναι πολύ μεγάλη διότι εμπίπτει στην κατηγορία των αρχαίων μηχανών που λειτουργούσαν με ατμό. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η ατμομηχανή ήταν μια από τις κύριες εφευρέσεις που συνετέλεσαν στη Βιομηχανική Επανάσταση.

6.2.5.2. 3D modeling της αιολόσφαιρας στο Blender

Η μηχανή άλλαξε ριζικά σε σχέση με το πειραματικό μοντέλο. Οι διαστάσεις της μηχανής ελαττώθηκαν. Δημιουργήθηκε διαφορετική βάση με διακοσμητικά, γυριστά πόδια και βάνα πλήρωσης της μηχανής με νερό. Δόθηκε ιδιαίτερη βάση στη λεπτομερή σχεδίαση των επιμέρους μηχανικών μερών (ενδεικτικά, σωλήνες εξαγωγής ατμού) και χρησιμοποιήθηκαν γεωμετρικά στερεά με μεγαλύτερο αριθμό πολυγώνων. Μετά το 3D modeling η μηχανή έλαβε τη μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 6.29:



Εικόνα 6.29. Η αιολόσφαιρα στο Blender

6.2.5.3. *Texturing της αιολόσφαιρας στο Unity*

Μετά το επιτυχές 3D modeling, το μοντέλο εξάχθηκε σε fbx format και κατόπιν εισάχθηκε στο Unity, όπου έγινε η προσθήκη και επεξεργασία των υφών. Οι υφές ανακτήθηκαν από το διαδικτυακό αποθετήριο Textures. Έγινε χρήση υφών χαλκού, σίδηρου και ξύλου. Μετά την εισαγωγή των υφών, έγιναν ειδικές ρυθμίσεις ώστε οι υφές του χαλκού και του σίδηρου να αποκτήσουν μεταλλική, γυαλιστερή όψη. Το αποτέλεσμα κρίθηκε ικανοποιητικό και η δημιουργία πέρασε στο επόμενο στάδιο.

6.2.5.4. *Animation της αιολόσφαιρας στο Unity*

Αφού ολοκληρώθηκε το texturing, εισάχθηκαν κάποια επιπλέον αντικείμενα στη σκηνή: ένα αρχαίο σπίτι και ένα υπόστεγο, που φιλοξενούσε τη μηχανή.

Τα επιπλέον αντικείμενα δεν σχεδιάστηκαν, αλλά εισάχθηκαν έτοιμα από το Asset Store του Unity. Μετά την εισαγωγή τους, έγιναν αρκετές παραμετροποιήσεις, ειδικά στο υπόστεγο, ώστε να ταιριάζουν στην υπόλοιπη σκηνή. Τα συγκριμένα αντικείμενα επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι καλαίσθητα, ιστορικά ακριβή, αλλά και με γνώμονα τον χαμηλό αριθμό πολυγώνων (low poly), με στόχο τη λογική διαχείριση των πόρων του συστήματος.

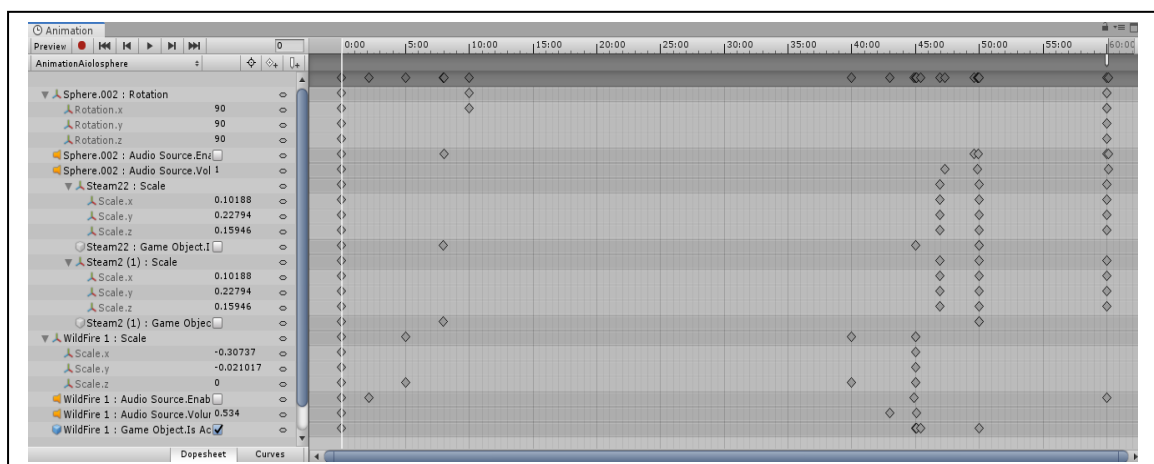
Μετά την εισαγωγή των δευτερευόντων στοιχείων στη σκηνή, έγινε αρχικά ο ορισμός του animation, μέσω του εργαλείου Animator του Unity. Το animation άρχισε με το άναμμα της φωτιάς στον χώρο κάτω από τον στάτορα της μηχανής. Έπειτα, μετά από μερικά δευτερόλεπτα, εξερχόταν ατμός (λόγω του βρασμού του νερού) από τις δυο εξαμίσεις του ρότορα της μηχανής. Μετά την εξαγωγή του ατμού, ακολουθούσε αρχικά αργή περιστροφή του ρότορα και βαθμιαία υπήρχε αύξηση της ταχύτητας μέχρι αυτή να φτάσει τη μέγιστη τιμή της. Μετά από μερικά δευτερόλεπτα η φωτιά έσβηνε, ο ρότορας συνέχιζε να περιστρέφεται

και ο ατμός συνέχιζε να εξέρχεται από τις εξατμίσεις του ρότορα. Στην επόμενη φάση λειτουργίας, ο ατμός μειωνόταν και σταματούσε να εξέρχεται. Ο ρότορας περιστρεφόταν με συνεχώς μειούμενη ταχύτητα, μέχρι να σταματήσει.

Αυτή τη φορά δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη λεπτομέρεια του animation. Όλες οι μεταβάσεις γίνονταν σταδιακά και ομαλά, σε αντίθεση με την πειραματική. Η φωτιά δεν άναβε και δεν έσβηνε απότομα, αλλά σταδιακά. Το ίδιο ίσχυε και για τον ατμό που εξερχόταν από τις εξατμίσεις. Το animation θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σύνθετο, καθώς περιείχε τη διαχείριση ατμού και φωτιάς, τα οποία χρησιμοποιούσαν σύστημα σωματιδίων (particle system). Για τα particle systems χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο Unity Particle Pack. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην εξαγωγή του ατμού για εποπτικούς λόγους, έτσι ώστε να αναδεικνύεται η αρχή λειτουργίας της μηχανής. Γι' αυτόν τον λόγο, το ίχνος του ατμού παρέμενε ορατό στον χώρο, για λίγο περισσότερο χρόνο από ότι στην πραγματικότητα.

Όπως και στα animations των προηγούμενων εφευρέσεων, έτσι και σε αυτό ο χρήστης μπορούσε να κινείται και παρακολουθεί το animation από οποιαδήποτε γωνία (real time animation). Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα από τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της εφαρμογής, έναντι των video animations και των μουσειακών εκθεμάτων. Επίσης, πλεονέκτημα της εφαρμογής, ήταν ότι ο χρήστης μπορούσε να επανακινεί τη λειτουργία της μηχανής και να την παρατηρεί.

Μετά από τις κινήσεις, εισάχθηκαν στο animation οι ήχοι όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.30. Έγινε εισαγωγή του ήχου φωτιάς και του ήχου εξαγωγής ατμού. Τα ηχητικά εφέ ανακτήθηκαν από το αποθετήριο Freesound. Και στους ήχους χρησιμοποιήθηκαν ειδικά εργαλεία, έτσι ώστε να εκκινούν και να σταματούν σταδιακά και όχι απότομα. Μετά τον συντονισμό των ήχων με το υπόλοιπο animation, αξιολογήθηκε το τελικό αποτέλεσμα και κρίθηκε ικανοποιητικό.



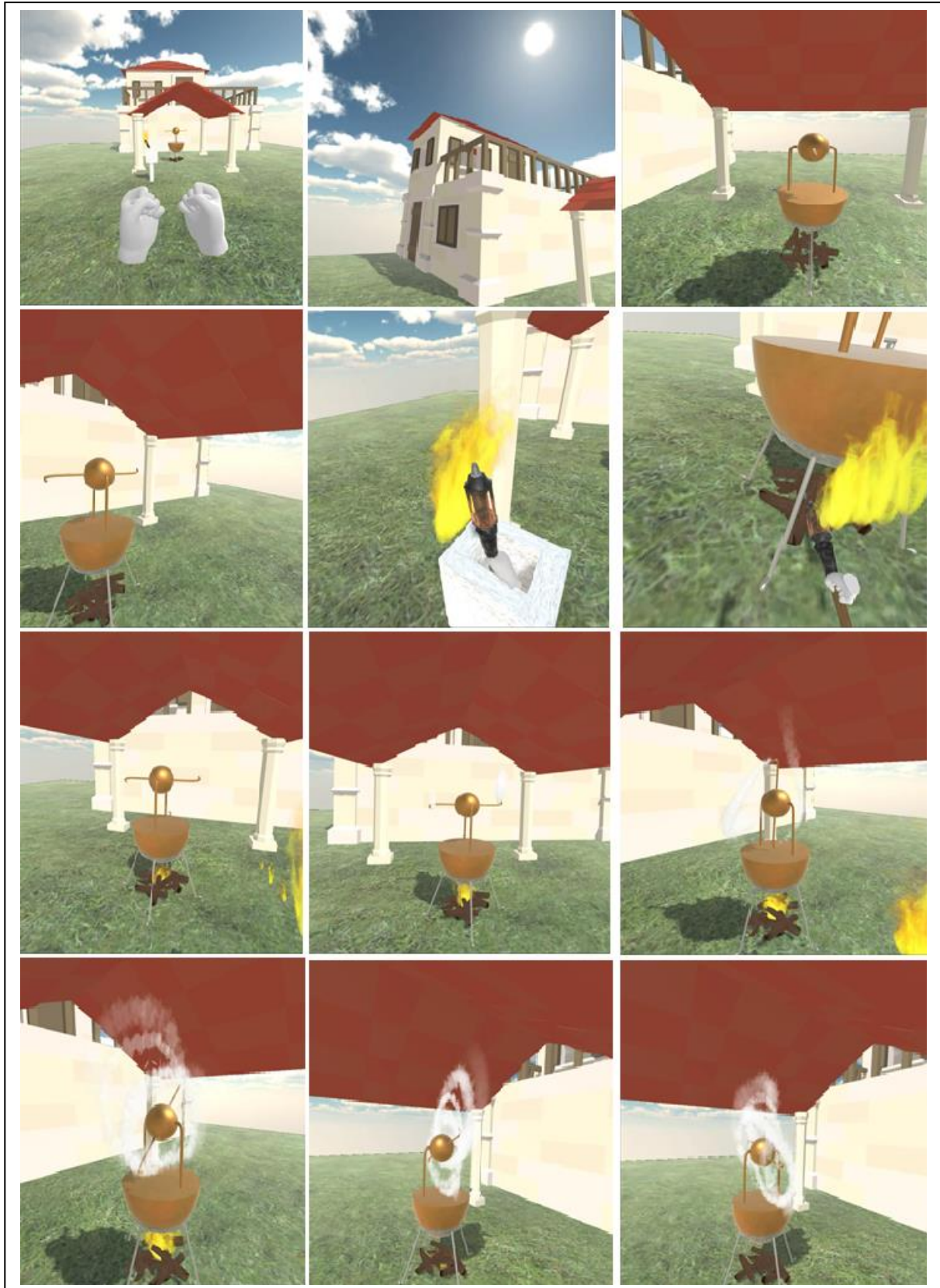
Εικόνα 6.30. Εισαγωγή ήχων στο animation

Μετά τον ορισμό του animation, η δημιουργία της μηχανής πέρασε στο στάδιο του προγραμματισμού του. Για τον προγραμματισμό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Visual Studio Code και η συγγραφή έγινε σε γλώσσα C#. Το custom script που χρησιμοποιήθηκε ήταν αρκετά όμοιο με αυτά των προηγούμενων εφευρέσεων. Όριζε την εκκίνηση του animation, όταν εισερχόταν ο δαυλός στον χώρο καύσης, Επίσης, όριζε την επαναληπτική του λειτουργία.

6.2.5.5. Εισαγωγή στοιχείων ΠΕΕΠ στην αιολόσφαιρα και δοκιμή στο Oculus Quest

Μετά τη δημιουργία του animation, έγινε προσθήκη των ΠΕΕΠ στοιχείων. Χρησιμοποιήθηκε το ήδη ρυθμισμένο prefab avatar και προστέθηκε έτοιμο script στον δαυλό, ώστε αυτός να γίνει διαδραστικός, να μπορεί δηλαδή ο χρήστης να τον πιάσει, να τον κινήσει και να τον πετάξει.

Μετά από αλλεπάλληλες δοκιμές και μικροδιορθώσεις στο play mode του Unity, έγινε εξαγωγή της εφαρμογής σε αρχείο apk και εισάχθηκε για δοκιμή στο Oculus Quest. Ύστερα από μερικές διορθώσεις, το αποτέλεσμα κρίθηκε ικανοποιητικό. Στιγμιότυπα του τελικού αποτελέσματος φαίνονται στην Εικόνα 6.31.



Εικόνα 6.31. Στιγμιότυπα του τελικού αποτελέσματος της αιολόσφαιρας

6.2.6. Δημιουργία ενός ενιαίου λογισμικού

6.2.6.1. Προβληματισμός για τη δομή του

Σε αυτό το επίπεδο ανάπτυξης, είχε επιτευχθεί η δημιουργία τεσσάρων αρχικών εφαρμογών, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχούσε σε μια αρχαία εφεύρεση. Υπήρξε προβληματισμός για το πως θα συνδυάζονταν αυτές οι τέσσερις εφαρμογές. Οι δυνατές επιλογές ήταν οι ακόλουθες:

- Συνέχεια της ανάπτυξης σε διαφορετικές εφαρμογές, με σκοπό τη δημιουργία τεσσάρων διαφορετικών εφαρμογών.
- Σύνθεση των τεσσάρων εφαρμογών σε ένα λογισμικό. Ο χρήστης θα μπορούσε να κινηθεί στις τέσσερις εφευρέσεις (ενιαίος κόσμος).
- Σύνθεση των τεσσάρων εφαρμογών σε ένα λογισμικό, όπου να δίνεται η δυνατότητα επιλογής μιας εφεύρεσης για εξερεύνηση κάθε φορά.

Η συνηθισμένη επιλογή των studios στην προκειμένη περίπτωση ήταν η τρίτη. Η πρώτη επιλογή ήταν αυτή με το λιγότερο κόστος σε εργατοώρες, όμως ήταν πρακτικά δύσκολο κατά την διενέργεια της έρευνας σε χρήστες, να φορτώνεται κάθε φορά και διαφορετική εφαρμογή. Η δεύτερη επιλογή φαινόταν αρχικά η καλύτερη, διότι ο χρήστης θα είχε συγκεντρωμένες όλες τις εφευρέσεις σε έναν ενιαίο κόσμο. Ακόμη, δεν θα χρειάζονταν πολλές παραπάνω εργατοώρες για τη δημιουργία διαφορετικών περιβαλλόντων, αντικειμένων, script αλλαγής εφεύρεσης και μενού. Η δεύτερη επιλογή θα ήταν η βέλτιστη λύση με όρους ΕΠΕΠ, όχι όμως ΠΕΕΠ. Στην ΠΕΕΠ και δη στην παρούσα πλατφόρμα εκτέλεσης (Oculus Quest), έγινε προσπάθεια όσο το δυνατόν μεγαλύτερης οικονομίας στους πόρους του συστήματος. Η εισαγωγή όλων των αντικειμένων σε ένα project, θα το επιβάρυνε πολύ και για αυτό αποφασίστηκε η τρίτη επιλογή. Πολλά επαγγελματικά λογισμικά στο Oculus Quest χρησιμοποιούσαν την ίδια δομή (ενδεικτικά, Dino Encounters). Αρχικά, πρόβαλαν τον χρήστη σε έναν χώρο αρχικού μενού, από τον οποίο επέλεγε σε ποιο από τα επιμέρους κεφάλαια της εφαρμογής θέλει να μεταβεί. Για παράδειγμα, το λογισμικό Dino Encounters, πρόβαλλε τον χρήστη σε ένα αρχικό μενού, όπου φαίνονταν σε εικόνες τα περιγράμματα διαφόρων δεινοσαύρων. Ο χρήστης διάλεγε κάθε φορά ένα από τα ζώα και μεταφερόταν στον κόσμο του. Μπορούσε να γυρίσει στο αρχικό menu επιλογής ανά πάσα στιγμή, πατώντας ένα πλήκτρο στο χειριστήριο Oculus Touch. Αυτή η δομή της εφαρμογής εξοικονομούσε πόρους του συστήματος, διότι το Oculus Quest φόρτωνε κάθε φορά μόνο τα πολύγωνα και τα script των μοντέλων που της επιμέρους σκηνής και όχι το σύνολο των πολυγώνων και των script του λογισμικού. Αποφασίστηκε λοιπόν, η δημιουργία ενός αρχικού χώρου, στον οποίο θα δινόταν η δυνατότητα επιλογής εφεύρεσης από τον χρήστη. Σε αντίθεση όμως με τις εμπορικές

εφαρμογές, όπου ο χρήστης μπορούσε με την πίεση ενός πλήκτρου να μεταβεί στο αρχικό μενού, αποφασίστηκε η δυνατότητα της άμεσης αλλαγής της εφεύρεσης, χωρίς την πίεση πλήκτρου. Δηλαδή, ο χρήστης θα προβαλλόταν αρχικά στον χώρο επιλογής, όπου θα μπορούσε να διαλέξει μια από τις τέσσερις αρχαίες εφευρέσεις (αιολόσφαιρα, φλογοβόλο, φρυκτωρίες και αυτοματισμός ανοίγματος των θυρών). Όταν θα ήθελε να αλληλεπιδράσει με κάποια άλλη εφεύρεση, δεν θα χρειαζόταν να μεταβεί στον αρχικό χώρο επιλογής. Η μετάβαση θα γινόταν μέσω αγγίγματος του χρήστη σε αντικείμενα που εικόνιζαν τις αρχαίες εφευρέσεις. Η διαφοροποίηση αυτή αποφασίστηκε, διότι σε αντίθεση με τα επαγγελματικά λογισμικά, που απευθύνονταν σε ένα κοινό μάλλον έμπειρων χρηστών, το υπό ανάπτυξη απευθυνόταν σε χρήστες χωρίς εξοικείωση με το χειρισμό του Oculus Quest. Έτσι, αυτή η διαφοροποίηση θεωρήθηκε ότι θα τους διευκόλυνε και θα βελτιώνε την ευχρηστία (usability) της εφαρμογής.

6.2.6.2. Σύνθεση των τεσσάρων εφαρμογών σε ένα λογισμικό ΠΕΕΠ

Επειδή η τεχνογνωσία δημιουργίας λογισμικού αποκτάται σταδιακά, έγινε το λάθος αρχικά οι εφευρέσεις να δημιουργούνται σε διαφορετικά projects και όχι σε ένα project με ξεχωριστές scenes, όπως είθισται στο Unity. Η διαχείριση των εφευρέσεων ως ξεχωριστά scenes είναι πολύ ευκολότερη και εξοικονομεί χρόνο συγκριτικά με τη χρησιμοποίηση διαφορετικών projects. Μέχρι το συγκεκριμένο επίπεδο ανάπτυξης, χρησιμοποιούνταν διαφορετικά projects και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να πρέπει να επαναλαμβάνεται κάθε φορά, για κάθε ένα, τόσο η εισαγωγή των απαραίτητων προσθέτων, όσο και οποιοδήποτε κοινού στοιχείου (ενδεικτικά, texture, prefab). Επιπρόσθετα, αυτή η κατάσταση επιβάρυνε χρονικά τη δημιουργία, διότι θα έπρεπε να γίνει κάθε φορά διαφορετικό build της κάθε εφαρμογής και διαφορετική παραμετροποίηση του. Τέλος, δεν υπήρχε η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών projects στο Unity, με αποτέλεσμα την αδυναμία μετάβασης (με τη χρήση script), από τη μια εφεύρεση στην άλλη.

Για να ξεπεραστεί αυτό το σφάλμα οι επιμέρους εφευρέσεις πέρασαν ως scenes μέσα σε ένα ενιαίο project. Λόγω ίσως της επικάλυψης κάποιων υφών με κάποιες άλλες, κάποια μηχανικά μέρη δεν εμφανίζονταν σωστά μετά την δημιουργία του ενιαίου project και ξανασχεδιάστηκαν.

6.2.6.3. Δημιουργία περιβαλλόντων στο λογισμικό ΠΕΕΠ

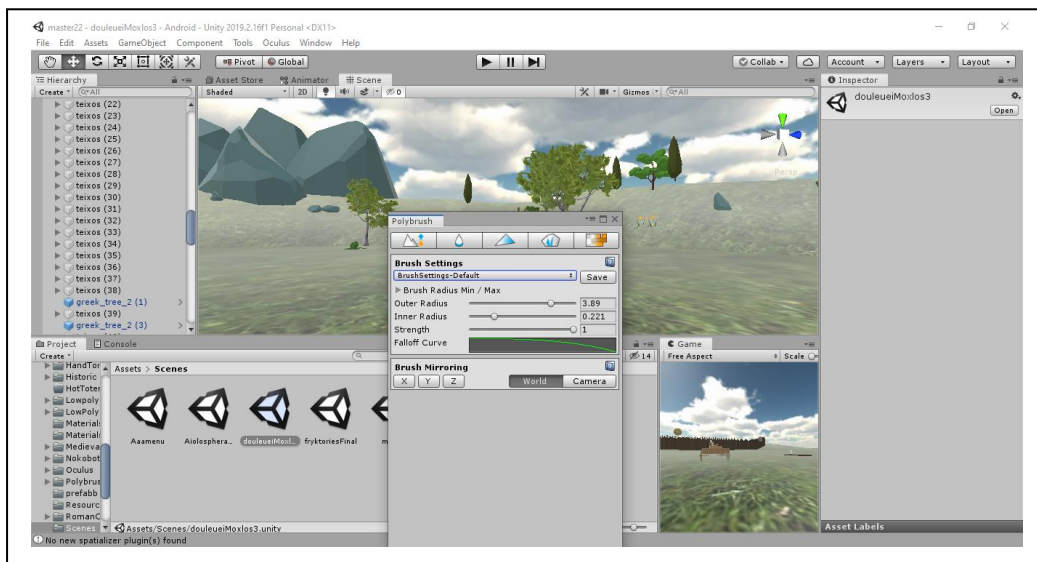
Κατά τη δημιουργία των εφευρέσεων δόθηκε έμφαση στην επίτευξη της σχεδίασης, στο animation, στα custom scripts της κάθε εφεύρεσης και όχι στα περιβάλλοντα στοιχεία. Χρησιμοποιήθηκαν πολύ λίγα περιβάλλοντα (ενδεικτικά, κτήρια, γρασίδι, άγαλμα,

μελανόμορφος αμφορέας) και δεν είχε δημιουργηθεί ένας πλήρης κόσμος, που να «αγκαλιάζει» τις εφευρέσεις. Η δημιουργία των περιβαλλόντων είναι ένα σημαντικό μέρος της δημιουργίας μιας εφαρμογής ΕΠ, διότι τα περιβάλλοντα στοιχεία συμβάλουν στην εμπύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον.

6.2.6.4. Δημιουργία terrain στο λογισμικό ΠΕΕΠ

Σε αρχικό στάδιο, έγινε προσπάθεια δημιουργίας εδάφους terrain, σε αντικατάσταση του απλού τετραγώνου (plane), που ήταν ντυμένο με υφή γρασιδιού. Το Unity διαθέτει το εργαλείο Terrain, που ήταν ειδικό για τη δημιουργία εδάφους με απλό τρόπο. Αφού ανοίχθηκε καινούργια σκηνή στο project για πειραματισμό με το εργαλείο Terrain, διαπιστώθηκε ότι τα εδάφη ήταν ακατάλληλα για την πλατφόρμα εκτέλεσης, διότι χρησιμοποιούσαν μεγάλο αριθμό πολυγώνων. Υπήρχε η τεχνογνωσία ελάττωσης πολυγώνων μέσα από το Blender, όμως η ελάττωση αυτή αφορούσε αρχεία fbx και όχι Unity projects. Μετά από έρευνα για εξεύρεση λύσης, αποφασίστηκε η χρησιμοποίηση του πρόσθετου εργαλείου Polybrush, που ήταν η συνηθισμένη λύση από τους επαγγελματίες δημιουργούς ΠΕΕΠ. Με τη βοήθεια του έγινε δυνατή η επεξεργασία βασικών αντικειμένων (ενδεικτικά, planes) με σκοπό τη διαμόρφωση εδάφους, χωρίς να περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό πολυγώνων. Δημιουργήθηκαν τέσσερα διαφορετικά εδάφη, ένα για κάθε μια εφεύρεση.

Η δημιουργία των εδαφών έγινε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπει την κίνηση του χρήστη στον χώρο παιχνιδιού, αλλά ταυτόχρονα, με τη δημιουργία υψωμάτων περιμετρικά, το οπτικό πεδίο του χρήστη να αποκόπτεται και έτσι να μην μπορεί ο χρήστης να αντιληφθεί τον κενό χώρο που υπάρχει περιμετρικά. Όταν χρειάστηκε, στο φλογοβόλο των Βοιωτών, δημιουργήθηκε θάλασσα στον ορίζοντα, διότι η τοποθεσία της μάχης του Δήλιου (Δήλεσι Βοιωτίας) ήταν κοντά στη θάλασσα. Επιπρόσθετα, το έδαφος έπαιξε μεγάλο ρόλο στις φρυκτωρίες, διότι η εφεύρεση ήταν τοποθετημένη σε ύψωμα, έτσι ώστε να μεταδίδεται το σήμα σε μεγάλες αποστάσεις. Γι' αυτόν τον λόγο, στις φρυκτωρίες διαμορφώθηκαν δύο υψώματα. Στο ένα είχε πρόσβαση ο χρήστης και εξέπεμπε το σήμα και το άλλο βρισκόταν στο βάθος, στο οποίο υποτίθεται ότι γινόταν η λήψη του σήματος. Το εργαλείο Polybrush παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.32.



Εικόνα 6.32. Το εργαλείο Polybrush

6.2.6.5. Εισαγωγή πληροφοριακών στοιχείων στο λογισμικό ΠΕΕΠ

Λόγω της εκπαιδευτικής στόχευσης του λογισμικού, αποφασίστηκε ότι ο χρήστης έπρεπε να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες αναφορικά με τις συσκευές, όπως ακριβώς θα συνέβαινε σε κάποιον μουσειακό χώρο. Μέσω της εξάντλησης των δυνατοτήτων της πλατφόρμας εκτέλεσης (Oculus Quest), αποφασίστηκε αυτή η πληροφόρηση να υπερβαίνει αυτήν του μουσειακού χώρου. Επιδιώχθηκε ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα να διαβάζει πληροφορικό κείμενο, το οποίο να αντιστοιχεί στην πινακίδα που συνοδεύει τα εκθέματα ενός μουσείου και επίσης επιδιώχθηκε η εισαγωγή αφήγησης σε κάθε εφεύρεση, που να ενεργοποιείται με άγγιγμα του χρήστη. Επιπρόσθετα, αποφασίστηκε η αφήγηση να είναι διανθισμένη με εικόνες που να εμφανίζονται και να εξαφανίζονται αυτόματα.

Για την προσθήκη των πληροφοριακών στοιχείων χρησιμοποιήθηκε ηχογράφηση ομιλίας. Δημιουργήθηκαν πέντε αρχεία ήχου, ένα για κάθε αρχαία εφεύρεση και ακόμα ένα, που χρησίμευε ως εισαγωγή στον αρχικό χώρο επιλογής εφεύρεσης (μενού). Αναφορικά με τις αφηγήσεις που συνόδευαν τις τέσσερις αρχαίες εφευρέσεις, αποφασίστηκε να περιλαμβάνουν τόσο ιστορικά-αρχαιολογικά στοιχεία, όσο και στοιχεία μηχανικής και λειτουργίας των εφευρέσεων. Επιπρόσθετα στην κατακλείδα της κάθε αφήγησης αποφασίστηκε να δίνονται οδηγίες στον χρήστη, για τον τρόπο που θα μπορούσε να διαδράσει με την κάθε εφεύρεση. Το στοιχείο αυτό συνέβαλλε στον παράγοντα της καθοδήγησης (guidance/feedback) του χρήστη. Τα κείμενα των αφηγήσεων παρατίθενται στο Παράρτημα 7.

Η ενεργοποίηση των πληροφοριακών στοιχείων, όπως έχει αναφερθεί ήδη, είχε αποφασιστεί να γίνεται με άγγιγμα του χρήστη. Θα μπορούσε να γίνεται αυτόματα, μαζί το

φόρτωμα της κάθε σκηνής, όμως έτσι ο χρήστης δεν θα είχε τον μέγιστο δυνατό έλεγχο και επίσης η εφαρμογή θα εμφάνιζε λιγότερη αλληλεπίδραση.

Ως σύμβολα πυροδότησης των πληροφοριακών στοιχείων, χρησιμοποιήθηκαν δύο αρχαία ελληνικά νομίσματα. Τα «νομίσματα» αυτά αιωρούνταν και περιστρέφονταν γύρω από τον κάθετο άξονα συμμετρίας τους, ώστε να τραβούν το ενδιαφέρον του χρήστη. Το μοτίβο των αιωρούμενων και περιστρεφόμενων αντικειμένων, αποτελούσε συνηθισμένο τρόπο προσέγγισης της προσοχής του χρήστη και χρησιμοποιούταν ευρύτατα, στα ηλεκτρονικά παιχνίδια (ενδεικτικά, Crash Bandicoot, Donkey Kong). Ο χρήστης καθώς άγγιζε κάποιο από τα δυο σύμβολα, μέσω των χειριστηρίων Oculus Touch, πυροδοτούσε είτε το γραπτό κείμενο, είτε την αφήγηση με εικόνες. Τα σύμβολα αυτά ήταν τοποθετημένα σε εμφανή σημεία μπροστά από την αρχαία εφεύρεση και βρισκόνταν στο οπτικό πεδίο του χρήστη όταν αυτός εμφανιζόταν στη σκηνή. Πάντοτε, όταν εμφανιζόταν, κοντά στο αριστερό του χέρι βρισκόταν το ασημένιο σύμβολο, με το οποίο ενεργοποιούταν απτικά το πληροφοριακό κείμενο και κοντά στο δεξί του χέρι βρισκόταν το χρυσό σύμβολο, με το οποίο ενεργοποιούταν η αφήγηση με εικόνες. Για την πυροδότηση των πληροφοριακών στοιχείων και την περιστροφική κίνηση των συμβόλων, συντάχθηκαν custom scripts σε γλώσσα C#.

Επιπρόσθετα, για τον συγχρονισμό των αφηγήσεων με τις εικόνες, δημιουργήθηκαν animations. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τόσο τα πληροφοριακά κείμενα, όσο και οι αφηγήσεις με τις εικόνες λειτουργούσαν για συγκεκριμένο χρόνο. Ο χρήστης δεν καθλωνόταν με την ενεργοποίηση των πληροφοριακών στοιχείων, καθώς είχε τη δυνατότητα να κινηθεί όπως θέλει ή και να πυροδοτήσει τη λειτουργία της εφεύρεσης. Επίσης, επειδή γενικά υπήρχαν δυσκολίες αποτύπωσης γραμματοσειρών σε ΠΕΕΠ περιβάλλον, χρησιμοποιήθηκε έντονη γραφή (bold) στα κείμενα, μεγάλο μέγεθος γραμματοσειράς και τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα σημεία, ώστε να γίνεται χρήση της αντίθεσης του χρώματος κειμένου και του περιβάλλοντος.

Στις φρυκτωρίες χρειάστηκαν επιπλέον δυο μετατροπές. Επειδή αποφασίστηκε το περιβάλλον των φρυκτωριών να είναι νυχτερινό, μιας και τα σήματα μεταδίδονταν τις νύχτες (έτσι ώστε οι πυρσοί να είναι ορατοί σε μεγάλες αποστάσεις), άλλαξε τόσο το χρώμα των εκπεμπόμενων γραμμάτων, όσο και του πληροφοριακού κειμένου (από μαύρο σε λευκό). Μετά την αλλαγή, τα γράμματα και το πληροφοριακό κείμενο ήταν πολύ ευδιάκριτα από τον χρήστη μέσα στο νυχτερινό περιβάλλον. Επιπρόσθετα, μετά από δοκιμές διαπιστώθηκε ότι οι εικόνες που εμφανίζονταν μαζί με την αφήγηση ήταν δυσδιάκριτες λόγω σκότους. Το πρόβλημα αυτό λύθηκε με την επιπλέον προσθήκη ενός φωτιστικού στοιχείου μέσα στο animation της αφήγησης, που άναβε για όσο χρόνο εμφανίζονταν οι εικόνες και μετά το πέρας τις αφήγησης έσβηνε.

6.2.6.6. Προσθήκη διαδραστικών μηχανικών μερών στο λογισμικό ΠΕΕΠ

Το επόμενο βήμα μετά την προσθήκη του πληροφοριακού υλικού, ήταν ο εμπλουτισμός του λογισμικού με μηχανικά μέρη των εφευρέσεων. Επειδή το λογισμικό αποσκοπούσε και στο γνωστικό όφελος στη μηχανική, κοντά σε κάθε μια από τις μηχανικές εφευρέσεις (αιολόσφαιρα, φλογοβόλο, αυτοματισμός θυρών) προστέθηκε ένας πάγκος που περιλάμβανε τα μηχανικά τους μέρη. Μπροστά από κάθε μηχανικό μέρος, ήταν τοποθετημένο και ένα ταμπελάκι με το όνομα του, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.33.



Εικόνα 6.33. Ο πάγκος με τα μηχανικά μέρη της αιολόσφαιρας

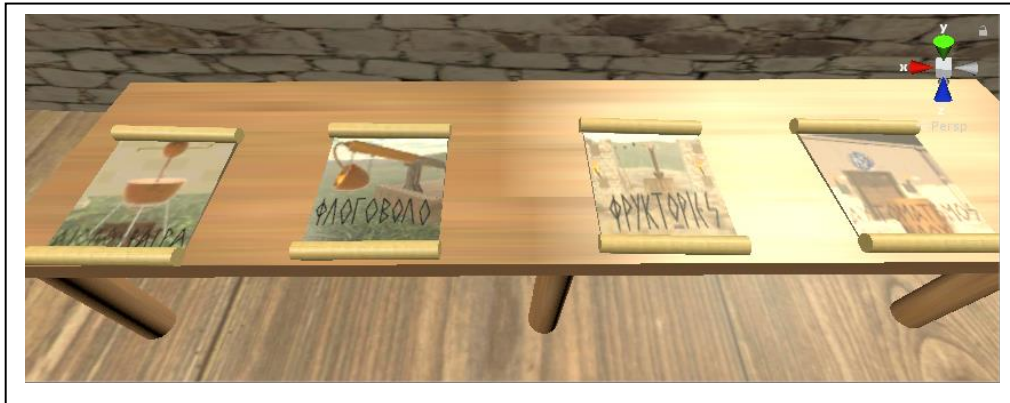
Η προσθήκη των μηχανικών μερών αναβάθμιζε την εκπαιδευτική αξία του λογισμικού και το έκανε ακόμα πιο αλληλεπιδραστικό, αφού ο χρήστης θα μπορούσε να πιάσει και τα μηχανικά μέρη. Προστέθηκε σε κάθε ένα, το έτοιμο script «Ovr Grabbable» από το πρόσθετο του Unity «Oculus Integration» και το Rigidbody Component.

6.2.6.7. Δημιουργία του χώρου επιλογής «μενού» και των αντικειμένων εναλλαγής σκηνής

Όπως προαναφέρθηκε, αποφασίστηκε το λογισμικό να περιέχει τη δυνατότητα επιλογής «μενού», ομοίως με τα εμπορικά εκπαιδευτικά λογισμικά ΠΕΕΠ. Για τον σκοπό αυτό, σχεδιάστηκε ένα δωμάτιο/εργαστήριο, μέσα στο οποίο υπήρχαν πάγκοι με διάφορα μηχανικά μέρη των αρχαίων εφευρέσεων και εργαλεία. Ένας από τους πάγκους του δωματίου, αντί για μηχανικά μέρη και εργαλεία είχε παύρους, στους οποίους εικονίζονταν οι τέσσερις αρχαίες εφευρέσεις. Για τη διευκόλυνση του χρήστη, εκτός από την εικόνα, σε κάθε πάπυρο ήταν γραμμένο και το όνομα της κάθε εφεύρεσης. Ο χρήστης μπορούσε, αγγίζοντας τον κάθε πάπυρο να τηλεμεταφέρεται στην αντίστοιχη εφεύρεση. Όταν φορτωνόταν η αρχική σκηνή-μενού, έπαιζε αυτόματα και καλωσόρισμα στον χρήστη, καθώς επίσης και η παρότρυνση να

διαλέξει μια από τις τέσσερις εφευρέσεις. Η τηλεμεταφορά από την αρχική σκηνή στις υπόλοιπες γινόταν με τη βοήθεια ενός custom script.

Ομοίως με την αρχική σκηνή, τοποθετήθηκαν πάγκοι με παπύρους σε κάθε μια σκηνή. Κατ' αυτόν τον τρόπο ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να μεταφερθεί σε οποιαδήποτε εφεύρεση από οποιαδήποτε εφεύρεση, απλώς αγγίζοντας τον κατάλληλο πάπυρο. Οι πάπυροι παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.34.



Εικόνα 6.34. Ο πάγκος με τους παπύρους τηλεμεταφοράς

6.2.6.8. Προσθήκη πρόσθετων στοιχείων περιβάλλοντος στο λογισμικό ΠΕΕΠ

Σε αυτό το στάδιο της δημιουργίας του λογισμικού, εισάχθηκαν τα δευτερεύοντα στοιχεία της σκηνής. Ήταν ένα από τα πιο εύκολα στάδια της δημιουργίας, καθώς τα περιβάλλοντα στοιχεία δεν σχεδιάστηκαν, ούτε χρησιμοποιήθηκε προγραμματισμός, αλλά απλώς εισάχθηκαν στη σκηνή από το Asset Store του Unity. Αυτό που έπρεπε να γίνει, ήταν απλώς η παραμετροποίηση των διαστάσεων των αντικειμένων και η επιλογή της θέσης τους μέσα στη σκηνή.

Γενικά, τα έτοιμα αντικείμενα (ενδεικτικά, φυτά, κτήρια, ζώα, πετρώματα) διατίθενται προς πώληση από επαγγελματίες σχεδιαστές και ως εκ τούτου το οπτικό αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακό, χωρίς να καταβληθεί η παραμικρή προσπάθεια. Μάλιστα, στα κινούμενα μοντέλα που διατίθενται προς πώληση, εκτός από το modeling και το texturing, εμπεριέχεται έτοιμο ακόμα και το rigging.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως, λόγω των περιορισμών της πλατφόρμας εκτέλεσης, δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα πολύ εντυπωσιακά πακέτα high poly έτοιμων γραφικών, διότι όπως είχε φανεί από προηγούμενα στάδια, τα high poly αντικείμενα δημιουργούσαν σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία της εφαρμογής.

Για να γίνει η καλύτερη δυνατή διαχείριση των αντικειμένων κάθε σκηνής, ακολουθήθηκε η εξής προσέγγιση: Στον κυρίως χώρο της σκηνής υπήρχαν τα λεπτομερώς σχεδιασμένα αντικείμενα με τις ρεαλιστικές υφές και στον χώρο έκτος του κυρίου, εισάγονταν τα low poly αντικείμενα. Η παραπάνω προσέγγιση είχε ως αποτέλεσμα ο χρήστης να έρχεται σε άμεση οπτική επαφή με καλοσχεδιασμένα τρισδιάστατα γραφικά, τα οποία περιλάμβαναν κυρίως τις αρχαίες εφευρέσεις, τα επιπλέον μηχανικά τους μέρη στους πάγκους, τα σύμβολα πυροδότησης πληροφοριακών στοιχείων και τους παπύρους αλλαγής σκηνής. Γύρω από αυτά τα κύρια αντικείμενα της σκηνής, τοποθετήθηκαν επίσης καλοσχεδιασμένα αντικείμενα όπως δέντρα, μελανόμορφοι αμφορείς και θάμνοι. Τα αντικείμενα αυτά πλαισίωναν τα κυρίως αντικείμενα της σκηνής. Τα μικρά αντικείμενα της κυρίως σκηνής (ενδεικτικά, λουλούδια, μανιτάρια) ήταν low poly διότι δεν ήταν εμφανείς εύκολα οι λεπτομέρειές τους. Τα κτήρια της κυρίως σκηνής είχαν σχετικά χαμηλό αριθμό πολυγώνων, διότι λόγω μεγέθους δεν ήταν δυνατόν να περιλαμβάνουν επιπρόσθετα και μεγάλο αριθμό πολυγώνων. Ο χρήστης μπορούσε να κινηθεί εντός των ορίων της κυρίως σκηνής στην οποία είχε δοθεί ικανοποιητικό μέγεθος. Τα όρια που εμπόδιζαν τον χρήστη να βγει από τον κυρίως χώρο της σκηνής ήταν αόρατοι τοίχοι. Οι τοίχοι είχαν σχεδιαστεί κανονικά εντός του Unity, όμως είχαν εξαιρεθεί από τον renderer. Επομένως και μεν βρίσκονταν στην ορισμένη τους θέση, όμως ήταν και αόρατα από τον χρήστη. Μόνο στην περίπτωση της αιολόσφαιρας του Ήρωνα, τα όρια της σκηνής ήταν ορατά (περίφραξη οικίας). Μετά τα όρια και έξω από το χώρο της κυρίως σκηνής, στο βάθος τοποθετήθηκαν low poly αντικείμενα (ενδεικτικά, δέντρα, θάμνοι, πέτρες, βουνά, γρασίδι, βάρκα). Με αυτόν τον τρόπο, τα low poly αντικείμενα γέμιζαν τη σκηνή και ταυτόχρονα η απλοϊκή τους σχεδίαση είχε τη λιγότερη δυνατή αρνητική επίδραση στην αισθητική της σκηνής, διότι ήταν σε απόσταση από τον χρήστη. Επίσης, στην ρεαλιστικότητα του λογισμικού, συνέβαλαν και τα δύο Skyboxes που χρησιμοποιήθηκαν για μέρα και νύχτα. Το μοναδικό πρόσθετο αντικείμενο σκηνής που σχεδιάστηκε στο Blender, ήταν τα ξύλινα τείχη στη σκηνή του φλογοβόλου των Βοιωτών.

Καταβλήθηκε προσπάθεια για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής εμπύθισης, το σύνολο της σκηνής να ταιριάζει με το γενικότερο ιστορικό και χρηστικό πλαίσιο της εφεύρεσης. Γι' αυτόν τον λόγο, η εισαγωγική σκηνή παρέπεμπε σε αρχαίο εργαστήριο και η σκηνή της αιολόσφαιρας παρέπεμπε σε αρχαία κατοικία. Η σκηνή του φλογοβόλου παρέπεμπε στη μάχη του Δήλιου. Στη σκηνή του φλογοβόλου, αυτό είχε τοποθετηθεί μετωπικά από τα ξύλινα τείχη του οχυρού, σαν να είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί για επίθεση. Επίσης, στο βάθος διακρινόταν η θάλασσα, διότι η τοποθεσία του Δήλιου (Δήλεσι Βοιωτίας) είναι κοντά στη θάλασσα. Στη σκηνή του φλογοβόλου τοποθετήθηκε ως παιχνιδικό στοιχείο, ένα αρχαίο

σπαθί. Ο χρήστης μπορούσε να το πιάσει και να το χρησιμοποιήσει ως κανονικό ξίφος, όπως στα παιχνίδια πρώτου προσώπου. Στη σκηνή των φρυκτωριών η τοποθεσία ήταν εξοχική, δασική, νύχτα και οι φρυκτωρίες τοποθετήθηκαν σε υψώματα. Μάλιστα, κοιτώντας μέσα από τη διόπτρα της φρυκτωρίας, ήταν ορατά τα τοιχεία της απέναντι φρυκτωρίας. Επιπρόσθετα, στο ένα τοιχίο ήταν ακουμπισμένα ένα δόρυ και μια ασπίδα που παρέπεμπαν στην πολεμική χρήση της εφεύρεσης. Η σκηνή του αυτοματισμού των θυρών του ναού ήταν τοποθετημένη σε έναν ναό της θεάς Αθηνάς. Για την προσθήκη των δευτερευόντων αντικειμένων της σκηνής χρησιμοποιήθηκαν κυρίως πρόσθετα πακέτα από το Asset Store του Unity.

Εκτός από τη δημιουργία των γραφικών, το λογισμικό περιλάμβανε και ήχο, ο οποίος έπαιξε τον δικό του ρόλο στην εμπύθιση και στη δημιουργία αίσθησης παρουσίας στον εικονικό κόσμο. Εκτός των ήδη υπαρχόντων, ήχων χρησιμοποιήθηκαν και ήχοι ως μουσικό χαλί στην κάθε σκηνή. Το μουσικό χαλί έπαιξε σε σιγανή ένταση σε κάθε σκηνή, αφενός για να μην κουράσει τον χρήστη και αφετέρου για να μην καλύπτει τις αφηγήσεις. Τα μουσικά χαλιά επιλέχθηκαν έτσι ώστε να ταιριάζουν με το θέμα της κάθε σκηνής. Για την εισαγωγική σκηνή, τη σκηνή της αιολόσφαιρας και τη σκηνή του αυτοματισμού των θυρών, χρησιμοποιήθηκαν κομμάτια μουσικής από το πρόσθετο του Unity «Ancient era music». Ως μουσικό χαλί για τη σκηνή του φλογοβόλου, χρησιμοποιήθηκε επική πολεμική μουσική, ώστε να ταιριάζει με το πολεμικό χαρακτήρα της εφεύρεσης. Τέλος, στις φρυκτωρίες χρησιμοποιήθηκε αντί για μουσική, μια συλλογή από νυχτερινούς ήχους δάσους (ambient ήχοι) όπως αέρας με ήχους κουκουβάγιας.

6.2.6.9. Τελικό αποτέλεσμα-Σύνοψη της ποιότητας και των δυνατοτήτων του ΠΕΕΠ λογισμικού

Το τελικό αποτέλεσμα της δημιουργίας του ΠΕΕΠ λογισμικού ήταν ένα λογισμικό με πέντε σκηνές, μια εισαγωγική και άλλες τέσσερις, που αντιστοιχούσαν σε τέσσερις αρχαίες Ελληνικές εφευρέσεις. Το λογισμικό περιλάμβανε λεπτομερή τρισδιάστατα γραφικά που απεικόνιζαν με ακρίβεια τις εφευρέσεις. Για τη σχεδίαση των εφευρέσεων, εκτός από το λεπτομερές 3D modeling στο λογισμικό Blender, χρησιμοποιήθηκαν και παραμετροποιήθηκαν ρεαλιστικές υφές. Μάλιστα, στην περίπτωση του φλογοβόλου, χρησιμοποιήθηκε και rigging. Λόγω της εκπαιδευτικής φύσης του λογισμικού ΠΕΕΠ, στις αρχαίες εφευρέσεις χρησιμοποιήθηκε real time animation με σκοπό την ελεύθερη κίνηση του χρήστη και την παρατήρηση της λειτουργίας της συσκευής, υπό οποιαδήποτε γωνία. Για τη δημιουργία των animations χρησιμοποιήθηκαν και συστήματα σωματιδίων (particle systems), με σκοπό τη απόδοση φωτιάς και ατμού. Επίσης, λόγω του εκπαιδευτικού προορισμού του λογισμικού, ο χρήστης πληροφορούνταν ποικιλοτρόπως για το ιστορικό πλαίσιο, τη χρήση και τη λειτουργία

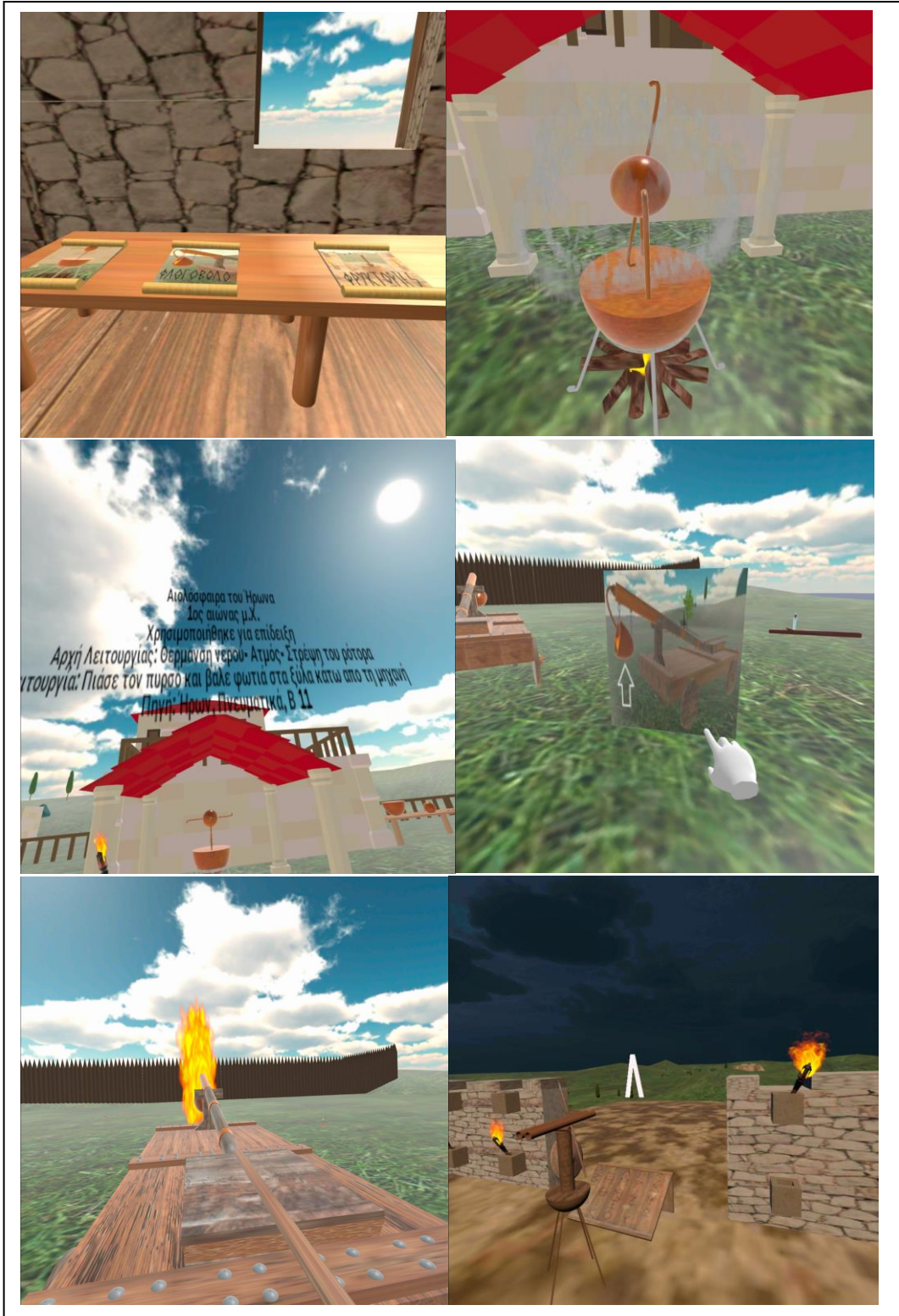
των εφευρέσεων. Για την πληροφόρηση του χρήστη χρησιμοποιήθηκαν γραπτά κείμενα και αφήγηση, διανθισμένη με εικόνες. Επιπρόσθετα, το λογισμικό προσέφερε τη δυνατότητα θέασης και διάδρασης των μηχανικών μερών των εφευρέσεων.

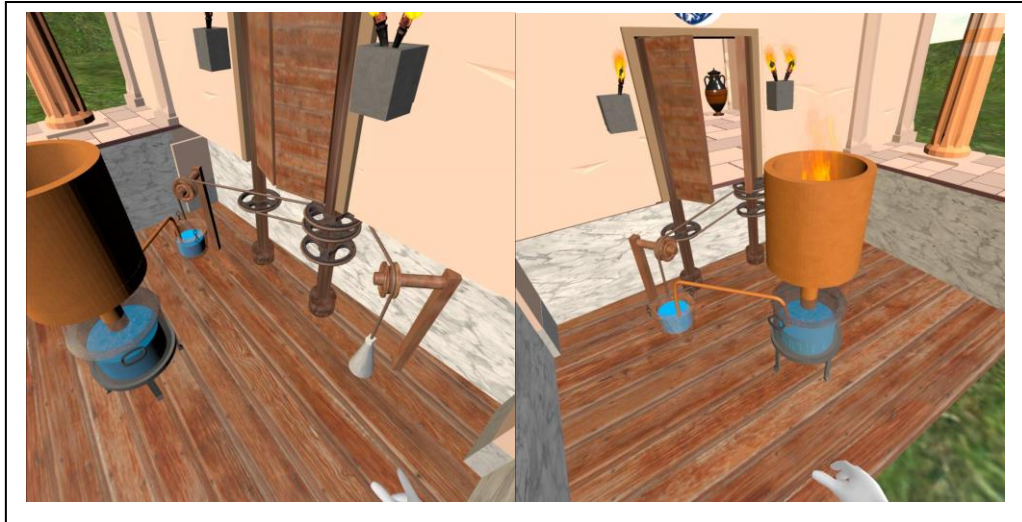
Αναφορικά με τα γραφικά του λογισμικού, παρόλο που η δημιουργία τους δεν έγινε από επαγγελματικό studio -όπως φαίνεται και από τις ενδεικτικές εικόνες που παρατίθενται παρακάτω- είναι συγκρίσιμα με γραφικά αρκετών εμπορικών εφαρμογών (ενδεικτικά, Creed, Dino Encounters, Space Pirate).

Ο ήχος του λογισμικού δεν υστερεί σε τίποτα από τον ήχο των επαγγελματικών εφαρμογών και περιλαμβάνει μουσικά κομμάτια, ήχους περιβάλλοντος, ηχογραφημένες ομιλίες και ηχητικά εφέ που συνοδεύουν τη λειτουργία των εφευρέσεων.

Ο χειρισμός του λογισμικού παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλό βαθμό απτικής διάδρασης χρήστη-περιβάλλοντος. Μέσω της απτικής διάδρασης που παρέχεται από την πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ΠΕΕΠ, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιήσει τις εφευρέσεις, να πυροδοτήσει γραπτό πληροφοριακό κείμενο και αφήγηση με εικόνες, να πιάσει και περιεργαστεί (μέχρι και να εξφενδονίσει) μηχανικά μέρη των εφευρέσεων, να αλλάξει σκηνή αγγίζοντας τον κατάλληλο πάπυρο, να πιάσει και να χρησιμοποιήσει στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου (πυρσοί, σπαθί).

Με βάση τα παραπάνω, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι η εφαρμογή κινείται στα όρια της αιχμής της σημερινής τεχνολογίας, καθώς εξαντλεί τα μέσα που της παρέχει η πλατφόρμα εκτέλεσης (ενδεικτικά, real time animation, χρησιμοποίηση εποπτικών διάφανων υφών, αυξημένη απτική διάδραση, αφήγηση με εικόνες, παιχνιδικά στοιχεία). Μικρό μέρος του τελικού αποτελέσματος φαίνεται στην Εικόνα 6.35.





Εικόνα 6.35. Η τελική εφαρμογή ΠΕΕΠ

6.3. Δημιουργία του λογισμικού ΕπΕΠ

6.3.1. Αρχικός προσανατολισμός

Μετά τη δημιουργία του λογισμικού ΠΕΕΠ, η διαδικασία παραγωγής του εκπαιδευτικού υλικού προχώρησε στο λογισμικό ΕπΕΠ. Για τη δημιουργία του λογισμικού χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια λογισμικά: Blender, Unity, Visual Studio Code. Για ερευνητικούς λόγους (μεθοδολογική προσέγγιση within subjects), αποφασίστηκε το ΕπΕΠ λογισμικό να ομοιάζει όσο περισσότερο γίνεται με το λογισμικό ΠΕΕΠ. Χρησιμοποιήθηκε avatar πρώτου προσώπου, από ειδικό πρόσθετο του Unity. Επιπρόσθετα, τα περιβάλλοντα στοιχεία αφήθηκαν ίδια με αυτά του λογισμικού ΠΕΕΠ. Το ΕπΕΠ λογισμικό περιλάμβανε τέσσερις αρχαίες ελληνικές εφευρέσεις, αντίστοιχες με αυτές που δημιουργήθηκαν στην ΠΕΕΠ. Οι εφευρέσεις αυτές ήταν: Η αιωρούμενη σφαίρα, το ατμοτηλεβόλο, ο υδραυλικός τηλεγράφος και το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη. Ως αντίστοιχο λογισμικό με το ΠΕΕΠ, αποφασίστηκε να υπάρχουν και σε αυτό ενεργοποιούμενα πληροφοριακά κείμενα και αφηγήσεις με εικόνες, που αφορούσαν ιστορικά στοιχεία, πλαίσιο χρήσης και μηχανική λειτουργία των εφευρέσεων. Επίσης, αποφασίστηκε να εκτίθενται τα μηχανικά μέρη των εφευρέσεων, όπως και στο λογισμικό ΠΕΕΠ. Φυσικά, η ενεργοποίηση των εφευρέσεων και των πληροφοριακών στοιχείων δεν μπορούσε να γίνει με απτικό τρόπο, όπως γινόταν στο Oculus Quest, αλλά ο χρήστης έπρεπε κάνει «κλικ» με το ποντίκι πάνω στην εφεύρεση ή στο σύμβολο του πληροφοριακού στοιχείου. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή αποφασίστηκε να έχει το στοιχείο της τηλεμεταφοράς, δηλαδή ο χρήστης να είναι σε θέση να μεταφέρεται σε όποια εφεύρεση επιθυμεί, με «κλικ» στον αντίστοιχο πάπυρο. Ακόμη, το μουσικό χαλί σε κάθε εφεύρεση

αποφασίστηκε να είναι το ίδιο με την αντίστοιχί της, στο λογισμικό ΠΕΕΠ. Τέλος, αναπόφευκτα, η απτική διάδραση απουσίαζε από τα εκτιθέμενα μηχανικά μέρη.

6.3.2. Η αιωρούμενη σφαίρα

6.3.2.1. Προβληματισμός

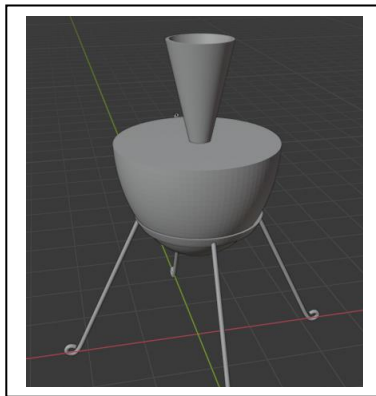
Υπήρξε προβληματισμός σχετικά με το ποια εφεύρεση θα αντιστοιχούσε στην αιολόσφαιρα του Ήρωνα. Έπρεπε η εφεύρεση αυτή να έχει την ίδια χρήση με την αιολόσφαιρα, δηλαδή να είναι μηχανή επίδειξης. Επιλέχθηκε η αιωρούμενη σφαίρα, διότι αποτελούσε και αυτή μηχανή επίδειξης και ομοίαζε στην λειτουργία της με την αιολόσφαιρα. Επίσης, η δημιουργία της αιωρούμενης σφαίρας θα είχε προστιθέμενη αξία, λόγω της επικινδυνότητας χρήσης της εφεύρεσης. Η δημιουργία της στα πλαίσια της ΕΠ καταργούσε τελείως την επικινδυνότητά της και επέτρεπε την ελεύθερη διάδραση.

6.3.2.2. 3D modeling της αιωρούμενης σφαίρας στο Blender

Η δημιουργία της αιωρούμενης σφαίρας βασίστηκε στο έργο του Ήρωνα του Αλεξανδρινού Πνευματικά (Woodcroft,1851) και στην ανακατασκευή της από τον μηχανολόγο μηχανικό Κώστα Κοτσανά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.36. Η μηχανή ομοίαζε αρκετά με την αντίστοιχη της στην ΠΕΕΠ και η σχεδίαση της βασίστηκε στο μοντέλο της αιολόσφαιρας. Τα μηχανικά μέρη που σχεδιάστηκαν στο Blender ήταν: Τα γυριστά πόδια, το στεφάνι στήριξης, η κωνική εξάτμιση και ο λέβητας. Η μορφή της εφεύρεσης μετά την ολοκλήρωση του 3D modeling, παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.37.



Εικόνα 6.36. Ανακατασκευή της αιωρούμενης σφαίρας. Συλλογή και αρχείο μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά.



Εικόνα 6.37. Η αιωρούμενη σφαίρα στο Blender

6.3.2.4. *Texturing της αιωρούμενης σφαίρας στο Unity*

Μετά τη δημιουργία του μοντέλου της αιωρούμενης σφαίρας, εξάχθηκε σε αρχείο fbx και εισάχθηκε στο Unity προκειμένου να περαστούν και να ρυθμιστούν οι υφές. Όπως και στο λογισμικό ΠΕΕΠ, οι υφές χαλκού και σίδηρου που χρησιμοποιήθηκαν, ανακτήθηκαν από το διαδικτυακό αποθετήριο Textures και ήταν οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην αιολόσφαιρα του Ήρωνα. Αφού εφαρμόστηκαν στην εφεύρεση, παραμετροποιήθηκαν ως προς τις μεταβλητές *metallic* και *smoothness*, ώστε να ομοιάζουν ακόμα περισσότερο με την όψη τους στον φυσικό κόσμο.

6.3.2.5. *Animation της αιωρούμενης σφαίρας στο Unity*

Το animation της αιωρούμενης σφαίρας ομοιάζε αρκετά με αυτό της αιολόσφαιρας. Η λειτουργία της εφεύρεσης ήταν η εξής: Αρχικά άναβε φωτιά στα ξύλα κάτω από τον λέβητα της μηχανής. Η λειτουργία της μηχανής ενεργοποιούνταν από τον χρήστη με mouse click πάνω της. Η φωτιά δεν εμφανιζόταν απότομα, αλλά σταδιακά άρχιζε από μια φλόγα μικρής έκτασης και επεκτεινόταν ως το πλήρες μέγεθος της. Σχεδόν ταυτόχρονα με την έναρξη της φωτιάς, ακουγόταν και το κατάλληλο ηχητικό εφέ της φωτιάς που έκαιγε, ίδιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στις φωτιές της εφαρμογής ΠΕΕΠ. Μετά την κορύφωση της φωτιάς άρχιζε να εξέρχεται ατμός από την εξάτμιση της μηχανής. Ο ατμός δεν εμφανιζόταν απότομα, αλλά σταδιακά. Λόγω του ατμού η σφαίρα ανυψωνόταν και αιωρούνταν. Τον ατμό συνόδευε το ίδιο ηχητικό εφέ του λογισμικού ΠΕΕΠ. Κατά την αιώρησή της η σφαίρα δεν παρέμενε ακίνητη, αλλά έκανε μικρές αναπηδήσεις. Επόμενο γεγονός στο animation ήταν η σταδιακή μείωση της φλόγας έως ότου σβήσει. Ακολουθούσε ο ατμός και η αιώρηση για κάποια δευτερόλεπτα ακόμη. Έπειτα, ο ατμός άρχιζε να μειώνεται σταδιακά και η σφαίρα κατέβαινε ομαλά στην αρχική της θέση. Για τη δημιουργία τόσο του ατμού, όσο και της φωτιάς χρησιμοποιήθηκαν

και παραμετροποιήθηκαν αντικείμενα με particle system, από το πρόσθετο του Unity Particle Pack. Για τη δημιουργία του animation χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Animator του Unity, κατά παρόμοιο τρόπο με το λογισμικό ΠΕΕΠ. Εντός του εργαλείου ορίστηκε μια μεταβλητή τύπου Boolean, με τον έλεγχο της οποίας (μέσα από script), εκκινούσε ή σταματούσε το animation της μηχανής. Το animation της αιωρούμενης σφαίρας, αλλά και τα animations όλων των εφευρέσεων του λογισμικού ΕπΕΠ αποφασίστηκε να είναι πραγματικού χρόνου (Real Time Animation), όπως και αυτά του λογισμικού ΠΕΕΠ. Ο χρήστης είχε τη δυνατότητα, καθόλη τη διάρκεια του animation, να το παρατηρήσει υπό οποιαδήποτε οπτική γωνία επιθυμούσε και να κινηθεί ελεύθερα στον χώρο. Η μη υιοθέτηση του real time animation με τη χρησιμοποίηση cutscenes, δηλαδή animations που παρακολουθούνται σαν βίντεο από συγκεκριμένες οπτικές γωνίες, αξιολογήθηκε ως υποβάθμιση της εικονικής πραγματικότητας σε ένα απλό video animation.

6.3.2.6. Προγραμματισμός της αιωρούμενης σφαίρας στο Visual Studio Code

Για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του animation συγγράφηκε custom script παρόμοιο με αυτά που δημιουργήθηκαν στην ΠΕΕΠ εφαρμογή. Η διαφορά του custom script που έλεγχε την αιωρούμενη σφαίρα, ήταν ότι λόγω της διαφοράς διεπαφής του χρήστη, χρησιμοποιήθηκε διαφορετική συνάρτηση. Και σε αυτό το custom script όπως και σε επόμενα, χρησιμοποιήθηκε ειδική χρονική συνάρτηση, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα του χρήστη να επανακινεί τη λειτουργία της μηχανής.

6.3.2.7. Δοκιμές της αιωρούμενης σφαίρας

Τα περιβάλλοντα στοιχεία της σκηνής αποφασίστηκε -για ερευνητικούς λόγους- να είναι τα ίδια με αυτά της αιολόσφαιρας του Ήρωνα. Στόχος ήταν οι προσδοκώμενες διαφορές που θα προκύψουν στην επίδραση του εκπαιδευτικού υλικού (ΠΕΕΠ και ΕπΕΠ) να οφείλονται στη διαφορά των μέσων διεπαφής των δυο τεχνολογιών ΕΠ και όχι στα γραφικά. Για τους ίδιους λόγους και το μουσικό χαλί αποφασιστικέ να είναι το ίδιο και στις δυο εφευρέσεις.

Οι δοκιμές έγιναν αρχικά στο play mode του Unity και στη συνέχεια έγινε build της εφαρμογής σε αρχείο exe, έτσι ώστε η εφαρμογή να είναι εκτελέσιμη από υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Windows. Μετά το πέρας των δοκιμών και αφού διαπιστώθηκε ότι η μηχανή λειτουργούσε σωστά, η διαδικασία παραγωγής πέρασε στο επόμενο βήμα. Στιγμιότυπο του τελικού αποτελέσματος της μηχανής σε λειτουργία φαίνεται στην Εικόνα 6.38.



Εικόνα 6.38. Η αιωρούμενη σφαίρα σε λειτουργία

6.3.3. Το ατμοτηλεβόλο του Αρχιμήδη

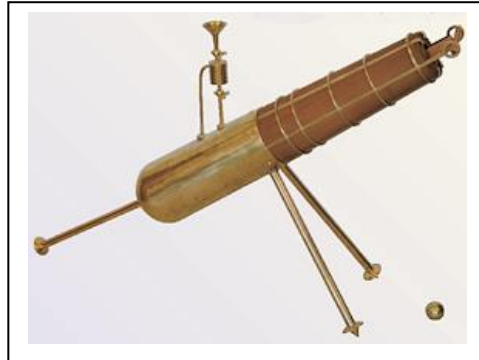
6.3.3.1. Προβληματισμός

Μετά την επιτυχή δημιουργία της αιωρούμενης σφαίρας επικράτησε προβληματισμός για το ποια θα ήταν η επόμενη εφεύρεση, αντίστοιχη του φλογοβόλου των Βοιωτών. Θα έπρεπε να είναι μια εφεύρεση, η οποία να υπάγεται στην ίδια κατηγορία χρήσης με το φλογοβόλο, δηλαδή θα έπρεπε να έχει πολεμική χρήση. Μετά από έρευνα στη βιβλιογραφία, αποφασίστηκε να δημιουργηθεί το ατμοτηλεβόλο του Αρχιμήδη. Το ατμοτηλεβόλο ενέπιπτε στην κατηγορία της πολεμικής χρήσης. Επιπρόσθετα, ο Αρχιμήδης είναι ίσως ένας από τους μεγαλύτερους επιστήμονες όλων των εποχών και η δημιουργία μιας εφεύρεσης του στα πλαίσια της ΕΠ, ήταν πρωτοφανές γεγονός. Οι εφευρέσεις του -και ιδιαίτερα το ατμοτηλεβόλο- ήταν αντικείμενο έρευνας από πολλούς επιστήμονες. Ένδειξη αυτού του ενδιαφέροντος, ήταν η αφιέρωση ενός επεισοδίου της εκπομπής «Myth Busters». Ακόμα και ο Leonardo Da Vinci ασχολήθηκε με το ατμοτηλεβόλο επανασχεδιάζοντάς το (Simms, 1988). Εκτός από το εξωτερικό, ανακατασκευές της εφεύρεσης είχαν γίνει και στην Ελλάδα. Η πρώτη ανακατασκευή, η οποία απέδειξε τη δυνατότητα του όπλου να βάλει, έγινε το 1988 παρουσία των ΜΜΕ, από τον μηχανικό κ. Ιωάννη Σακκά. Ακολούθησαν και άλλες ανακατασκευές του ατμοτηλεβόλου, όπως για παράδειγμα η ανακατασκευή κ. Κώστα Κοτσανά (Kotsanas, 2015).

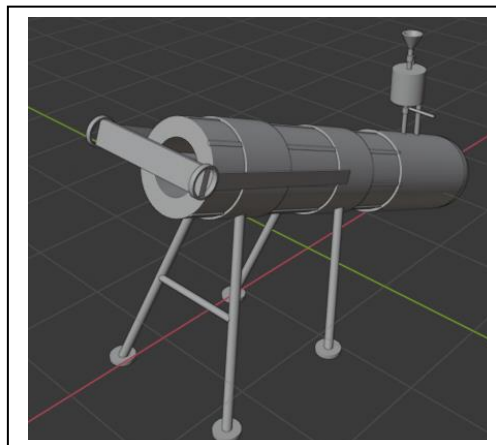
6.3.3.2. 3D modeling του ατμοτηλεβόλου στο Blender

Η δημιουργία του ατμοτηλεβόλου ήταν μια αρκετά σύνθετη διαδικασία, καθώς αυτό αποτελούταν από δεκάδες αλληλοσχετιζόμενα μηχανικά μέρη. Το 3D modeling βασίστηκε

στις ανακατασκευές του Ιωάννη Σακκά και του Κώστα Κοτσανά. Η ανακατασκευή του Κώστα Κοτσανά φαίνεται στην Εικόνα 6.39.



Εικόνα 6.39. Ανακατασκευή του ατμοτηλεβόλου. Συλλογή και αρχείο μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά



Εικόνα 6.40. Το μοντέλο του ατμοτηλεβόλου στο Blender

Τα μηχανικά μέρη του ατμοτηλεβόλου ήταν: Μεταλλικός λέβητας, ξύλινη κάνη, ήλοι, σύστημα στήριξης, λίθινη σφαίρα, ράβδος συγκράτησής, σανίδα συγκράτησης, χάλκινοι βραχίονες συγκράτησης, κώνος τροφοδοσίας νερού, βάνες, σωλήνες και δοχείο νερού. Αξιοποιήθηκε η τεχνογνωσία που είχε αποκτηθεί κατά τη σχεδίαση προηγούμενων εφευρέσεων και χρησιμοποιήθηκαν modifiers όπως ο Boolean και ο Solidify. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 6.40.

6.3.3.3. Texturing του ατμοτηλεβόλου στο Unity

Μετά το 3D modeling, η διαδικασία παραγωγής πέρασε στην εφαρμογή και παραμετροποίηση υφών. Το μοντέλο εξάχθηκε σε fbx format και εισήχθη στο Unity. Χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες υφές ξύλου και χαλκού με αυτές του φλογοβόλου των Βοιωτών. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν

υφές σίδηρου και πέτρας. Μετά την εισαγωγή και παραμετροποίηση των υφών, η δημιουργία της εφεύρεσης πέρασε στο επόμενο στάδιο.

6.3.3.4. Animation του ατμοτηλεβόλου

Το real time animation της εφεύρεσης δημιουργήθηκε με το εργαλείο του Unity Animator και η εξέλιξη του ήταν η εξής: Αρχικά περιστρεφόταν η βάνα στο πίσω μέρος του ατμοτηλεβόλου. Την περιστροφή της βάνας που έλεγχε το νερό συνόδευε ηχητικό εφέ, ώστε να είναι περισσότερο ρεαλιστική. Μετά την περιστροφή της βάνας, το νερό εντός της μηχανής αποσυμπιεζόταν και οδηγούσε σε έκρηξη σχεδόν ταυτόχρονη με την περιστροφή, η οποία εκτίναζε τη λίθινη σφαίρα μακριά. Εκτός από τη λίθινη σφαίρα εκτινάσσονταν ταυτόχρονα η ράβδος και η σανίδα συγκράτησης, που έσπαγε σε δύο ίσα μέρη. Μετά την έξοδο της σφαίρας από την ξύλινη κάννη του κανονιού, εξερχόταν ατμός για λίγα δευτερόλεπτα.

6.3.3.5. Προγραμματισμός του ατμοτηλεβόλου στο Visual Studio Code

Για την πυροδότηση και τη δυνατότητα επαναλαμβανόμενης πυροδότησης, συγγράφηκε custom script σε γλώσσα C#, παρόμοιο με αυτό της προηγούμενης εφεύρεσης. Ο χρήστης είχε τη δυνατότητα με ένα κλικ του ποντικιού πάνω στο ατμοτηλεβόλο, να ενεργοποιεί τη λειτουργία του σε real time animation. Το ατμοτηλεβόλο εισάχθηκε σε σκηνή, με στοιχεία περιβάλλοντος από το φλογοβόλο των Βοιωτών. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το ίδιο μουσικό χαλί. Τα περιβάλλοντα της σκηνής τόνιζαν τον πολεμικό χαρακτήρα της εφεύρεσης. Έγιναν δοκιμές, αρχικά στην λειτουργία play mode και εξάχθηκε αρχείο σε exe format, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες δοκιμές σε Windows PC. Μετά το πέρας των δοκιμών, η εφεύρεση αξιολογήθηκε θετικά και η διαδικασία παραγωγής λογισμικού πέρασε στην επόμενη εφεύρεση. Το ατμοτηλεβόλο του Αρχιμήδη φαίνεται στην Εικόνα 6.41.



Εικόνα 6.41. Το ατμοτηλεβόλο του Αρχιμήδη στο Unity

6.3.4. Ο υδραυλικός τηλέγραφος του Αινεία

6.3.4.1. Προβληματισμός

Μετά τη δημιουργία του ατμοτηλεβόλου του Αρχιμήδη, υπήρξε προβληματισμός σχετικά με το ποια θα ήταν η επόμενη εφεύρεση που θα λάμβανε «σάρκα και οστά». Η εφεύρεση αυτή έπρεπε να ανήκει στον χώρο των τηλεπικοινωνιών, όπως και η αντίστοιχη ΠΕΕΠ, οι φρυκτωρίες. Μετά από μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας, επιλέχθηκε ο υδραυλικός τηλέγραφος του Αινεία.

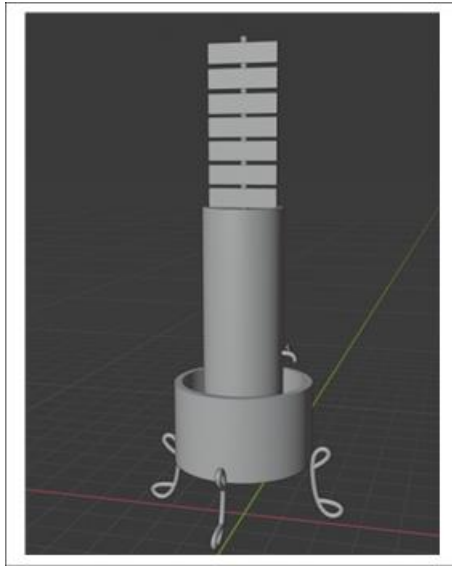
6.3.4.2. 3D Modeling του υδραυλικού τηλέγραφου στο Blender

Αρχικά δημιουργήθηκε το μοντέλο της εφεύρεσης. Για τη δημιουργία του μοντέλου λήφθηκε υπόψιν και η ανακατασκευή του κ. Κώστα Κοτσανά, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.42.



Εικόνα 6.42. Ανακατασκευή του υδραυλικού τηλέγραφου. Συλλογή και αρχείο μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε αποτελείται από τα εξής μέρη: Δύο δοχεία νερού, πλωτήρας, ράβδος, βάνα, περίτεχνα «γυριστά» πόδια βάσης και πινακίδες. Στην περίπτωση του υδραυλικού τηλέγραφου, υπήρχαν περισσότερο συγκεκριμένες πληροφορίες για τις διαστάσεις και για τα υλικά της εφεύρεσης. Ο Πολύβιος ο Μεγαλοπολίτης μας πληροφορεί ότι το δοχείο θα έπρεπε να έχει ύψος έως τρεις πήχεις και διάμετρο έως ένα πήχη. Ακόμα οριζόταν ότι το υλικό του δοχείου έπρεπε να είναι κεραμικό (Λάζος, 1997). Το τελικό αποτέλεσμα του 3D modeling φαίνεται στην Εικόνα 6.43.



Εικόνα 6.43. Ο υδραυλικός τηλέγραφος στο Blender

6.3.4.3. Texturing του υδραυλικού τηλέγραφου στο Unity

Μετά το επιτυχές τρισδιάστατο modeling, το μοντέλο εξάχθηκε σε αρχείο fbx και εισάχθηκε στο Unity για την εφαρμογή και παραμετροποίηση των υφών. Χρησιμοποιήθηκαν κεραμικές υφές, υφές σίδηρου και υφές ξύλου από το αποθετήριο Textures. Αποφασίστηκε η εφεύρεση να έχει αυξημένες δυνατότητες εποπτείας, που δεν προσφέρονται από τον φυσικό κόσμο και από τα μουσεία. Γι' αυτόν τον λόγο παραμετροποιήθηκαν υφές ώστε να εμφανίζονται διάφανες. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης ήταν σε θέση να παρατηρεί την εσωτερική λειτουργία της εφεύρεσης. Μάλιστα, στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε διπλή παραμετροποίηση υφών, ώστε ο χρήστης να μπορεί να δει μέσα από δυο διαδοχικές διάφανες υφές, τη μείωση της στάθμης του νερού.

6.3.4.4. Animation του υδραυλικού τηλέγραφου

Η λειτουργία της εφεύρεσης ήταν πολύ αλληλεπιδραστική, όπως και η αντίστοιχη ΠΕΕΠ. Σε αντίθεση με τις άλλες εφευρέσεις, που ο χρήστης απλώς τις ενεργοποιούσε, τόσο στις φρυκτωρίες, όσο και στον υδραυλικό τηλέγραφο, έπρεπε να επεμβαίνει δυναμικά, ώστε να μεταβάλλεται η εκπομπή σήματος. Δηλαδή όπως στις φρυκτωρίες, όπου ο χρήστης μπορούσε να αλλάξει το γράμμα εκπομπής, έτσι και στον υδραυλικό τηλέγραφο, θα έπρεπε να επιλέγει το μήνυμα εκπομπής. Για να γίνει εφικτό αυτό, έπρεπε να συγγραφεί ειδικό custom script.

Αποφασίστηκε η επιπρόσθετη εμφάνιση και της συσκευής του δέκτη (με χρήση διαφανειών), παράλληλα με αυτή του πομπού. Η συσκευή του δέκτη δεν εμφανιζόταν από την αρχή στον χώρο, παρά μόνο κατά την εκκίνηση της λειτουργίας της συσκευής του πομπού.

Ο στόχος του animation, όπως και στις άλλες εφευρέσεις ήταν διττός: Αφενός θα έπρεπε η λειτουργία της κάθε εφεύρεσης να αποδίδεται με τον πλέον ρεαλιστικό τρόπο και αφετέρου, λόγω της εκπαιδευτικής στόχευσης των λογισμικών, θα έπρεπε να προσφέρουν αυξημένες εποπτικές δυνατότητες και δυνατότητες αλληλεπίδρασης. Έπρεπε να τηρηθεί ισορροπία ανάμεσα στους δυο στόχους, έτσι ώστε ο ένας να μην λειτουργήσει σε βάρος του άλλου. Δηλαδή δεν θα έπρεπε οι αυξημένες εποπτικές δυνατότητες να λειτουργήσουν σε βάρος της ρεαλιστικότητας, ούτε όμως για χάρη της ρεαλιστικότητας να μην γίνεται προσπάθεια εισαγωγής εποπτικών στοιχείων. Με βάση τη στάθμιση των παραπάνω, η λειτουργία της εφεύρεσης ορίστηκε ως εξής: Ο χρήστης έκανε «κλικ» στον υδραυλικό τηλεγράφο (συσκευή πομπού) και ενεργοποιούσε τη λειτουργία του. Η βάννα του νερού άρχιζε να περιστρέφεται, συνοδευόμενη από το ανάλογο ηχητικό εφέ. Με την περιστροφή της βάννας άρχιζε το νερό να ρέει προς το δευτερεύον δοχείο. Η ροή συνοδευόταν από ανάλογο ηχητικό εφέ. Η ροή του νερού από το πρωτεύον δοχείο στο δευτερεύον, είχε ως αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης του από το πρωτεύον και την αύξηση της στο δευτερεύον. Αυτό, οδηγούσε στην κίνηση του πλωτήρα και των μηνυμάτων προς τα κάτω, μέχρι να επέμβει ο χρήστης κάνοντας «κλικ» και να σταματήσει τη διαδικασία. Μόλις ο χρήστης έκανε «κλικ» στη συσκευή του πομπού, δίπλα εμφανιζόταν και η συσκευή του δέκτη. Αυτή πραγματοποιούσε συγχρονισμένα τις ίδιες κινήσεις και είχε διάφανες υφές, για την παρατήρηση της εσωτερικής λειτουργίας. Ο χρήστης είχε τη δυνατότητα κάνοντας «κλικ» στην συσκευή του πομπού, να σταματήσει τη λειτουργία της. Τότε, οι βάνες του πομπού και του δέκτη έκλειναν ταυτόχρονα. Οι ροές του νερού σταματούσαν και ο χρήστης ήταν σε θέση να παρατηρήσει ότι η συσκευή του πομπού και του δέκτη έδειχναν το ίδιο μήνυμα. Επιπρόσθετα, δινόταν η δυνατότητα επανεκκίνησης της λειτουργίας του υδραυλικού τηλεγράφου. Ο τηλεγράφος επανεμφανιζόταν γεμάτος με νερό, στην αρχική του κατάσταση.

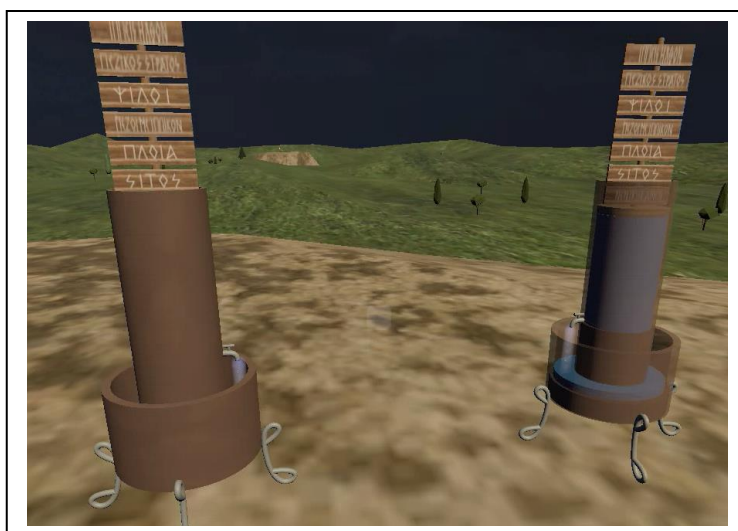
6.3.4.5. Προγραμματισμός του υδραυλικού τηλεγράφου στο Visual Studio Code

Όπως προαναφέρθηκε, τα μέχρι στιγμής custom scripts δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη λειτουργία του υδραυλικού τηλεγράφου, διότι αυτός είχε εντελώς διαφορετικό τρόπο λειτουργίας από τις προηγούμενες εφευρέσεις και υψηλό βαθμό αλληλεπίδρασης.

Για την επίτευξη της ρεαλιστικής λειτουργίας του υδραυλικού τηλεγράφου, μετά από πολλές δοκιμές, συγγράφηκε custom script που παρείχε τη δυνατότητα της δυναμικής επέμβασης στο animation κατά τη λειτουργία του και την επαναλειτουργία του.

6.3.4.6. Δοκιμές του υδραυλικού τηλέγραφου

Για ερευνητικούς λόγους χρησιμοποιήθηκε το ίδιο περιβάλλον σκηνής με αυτό των φρυκτωριών. Η συσκευή τοποθετήθηκε στον λόφο που ήταν τοποθετημένες οι φρυκτωρίες και κρατήθηκαν όλα τα επιμέρους στοιχεία του περιβάλλοντος (γραφικά, ήχος) ίδια. Μετά τη διενέργεια δοκιμών αρχικά στο play mode και κατόπιν σε Windows, η διαδικασία παραγωγής πέρασε στην επόμενη εφεύρεση. Στιγμιότυπο από τη λειτουργία της εφεύρεσης φαίνεται στην Εικόνα 6.44.



Εικόνα 6.44. Ο υδραυλικός τηλέγραφος στο Unity

6.3.5. Δημιουργία του αυτόματου σπονδείου με κερματοδέκτη

6.3.5.1. Προβληματισμός

Μετά τη δημιουργία και τις επιτυχείς δοκιμές του υδραυλικού τηλέγραφου, επικράτησε προβληματισμός για το ποια θα ήταν η τελευταία εφεύρεση. Η εφεύρεση αυτή θα έπρεπε να εμπίπτει στη ίδια κατηγορία χρήσης με την αντίστοιχη ΠΕΕΠ, το αυτόματο άνοιγμα των θυρών ενός ναού. Η κατηγορία χρήσης της εφεύρεσης ήταν ο μηχανικός αυτοματισμός. Μετά από μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας, η εφεύρεση που επιλέχθηκε ήταν το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη. Το αυτόματο σπονδείο, όπως φαίνεται και από την ονομασία του, ήταν μια συσκευή που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να επιτευχθεί αυτοματισμός. Οι δυο εφευρέσεις (ΠΕΕΠ και ΕπΕΠ) ομοιάζαν στον τρόπο λειτουργίας, καθώς και στις δυο χρησιμοποιούνταν μηχανικές κινήσεις σχοινιών, εκτροπή από θέση ισορροπίας και αλλαγή στάθμης υγρών. Ακόμα, κοινό χαρακτηριστικό των δυο εφευρέσεων ήταν η χρησιμοποίησή τους για λατρευτικούς σκοπούς.

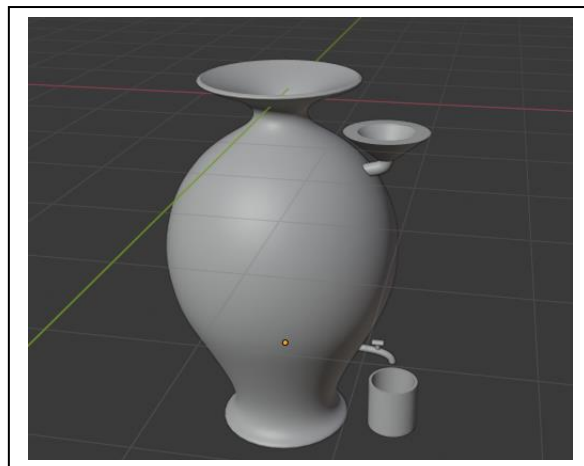
6.3.5.2. 3D modeling του αυτόματου σπονδείου με κερατοδέκτη

Για τη σχεδίαση του μοντέλου της εφεύρεσης λήφθηκε υπόψιν το βιβλίο του Ήρωνα του Αλεξανδρινού «Πνευματικά» (Woodcroft, 1851), καθώς επίσης και η ανακατασκευή της από τον Κώστα Κοτσανά στο μουσείο αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας (Kotsanas, 2015). Η ανακατασκευή παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.45.



Εικόνα 6.45. Λειτουργική ανακατασκευή του αυτόματου σπονδείου. Συλλογή και αρχείο μουσείου αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά

Η σχεδίαση της εφεύρεσης στο Blender ήταν μια αρκετά σύνθετη διαδικασία, λόγω της ακρίβειας που έπρεπε να επιτευχθεί. Το μοντέλο της μηχανής περιλάμβανε τα ακόλουθα μέρη: αγγείο, νόμισμα, μηχανισμός ζυγού, βαλβίδα, βάνα, δοχείο νερού, ποτήρι νερού. Εκτός από το μοντέλο της εφεύρεσης, δημιουργήθηκε και ένα τραπέζι που λειτουργούσε σαν βάση του σπονδείου. Το μοντέλο της εφεύρεσης φαίνεται στην Εικόνα 6.46.



Εικόνα 6.46. Το αυτόματο σπονδείο στο Blender

6.3.5.3. Texturing του αυτόματου σπονδείου στο Unity

Μετά το επιτυχές 3D modeling, έγινε εφαρμογή και παραμετροποίηση υφών. Χρησιμοποιήθηκε κεραμική υφή, υφές χαλκού, ασημιού και υφές σιδήρου. Οι μεταλλικές υφές

παραμετροποιήθηκαν ώστε να εμφανίζονται περισσότερο ρεαλιστικές. Η υφή του αγγείου ορίστηκε ως διάφανη, με στόχο την άμεση εποπτεία του εσωτερικού μέρους.

6.3.5.4. Animation του αυτόματου σπονδείου στο Unity

Η λειτουργία της εφεύρεσης ορίστηκε ως η εξής: Όταν ο χρήστης έκανε «κλικ» στην εφεύρεση, εμφανιζόταν πάνω από το αγγείο ένα ασημένιο νόμισμα. Το νόμισμα αυτό έκανε ελεύθερη πτώση, εισερχόταν εντός του αγγείου, έπεφτε μέσα στον χάλκινο σωλήνα της εφεύρεσης και καθόταν πάνω στον δίσκο του ζυγού. Η ισορροπία του ζυγού εκτρεπόταν και σηκωνόταν το άλλο άκρο του ζυγού, που ήταν συνδεδεμένη η βαλβίδα. Με την ανασήκωση του άκρου του ζυγού άνοιγε η βαλβίδα και νερό εξέρρεε από τη βάνα στο ποτήρι. Η στάθμη του νερού του ποτηριού ανέβαινε και η στάθμη του δοχείου νερού έπεφτε. Τέλος, το νόμισμα έπεφτε στον ειδικό δίσκο συλλογής. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, η κίνηση του νομίσματος συνοδευόταν από ηχητικά εφέ. Ηχητικό εφέ επίσης συνόδευε τη ροή του νερού από τη βάνα. Για τη ροή του νερού χρησιμοποιήθηκε και παραμετροποιήθηκε ειδικό prefab με σύστημα σωματιδίων (particle system) από το Unity Particle Pack.

6.3.5.5. Προγραμματισμός του αυτόματου σπονδείου στο Visual Studio Code

Η διαδικασία προγραμματισμού του σπονδείου ήταν η συνηθισμένη. Παραμετροποιήθηκε το custom script που είχε χρησιμοποιηθεί στο ατμοτηλεβόλο. Όπως και στις υπόλοιπες εφευρέσεις, ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να επανακινεί τη λειτουργία της εφεύρεσης.

6.3.5.6. Δοκιμές του αυτόματου σπονδείου

Το αυτόματο σπονδείο τοποθετήθηκε στην ίδια σκηνή με το αυτόματο άνοιγμα των θυρών. Μετά από δοκιμές τόσο στο play mode του Unity, όσο και σε Windows, διαπιστώθηκε ότι λειτουργούσε κατά τον προβλεπόμενο τρόπο και η διαδικασία δημιουργίας λογισμικού πέρασε στο επόμενο στάδιο, στον εμπλουτισμό των σκηνών με μηχανικά μέρη και πληροφοριακά στοιχεία. Στιγμιότυπο της λειτουργίας του αυτόματου σπονδείου παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.47.



Εικόνα 6.47. Το αυτόματο σπονδείο στο Unity

6.3.6. Εισαγωγή πληροφοριακών στοιχείων στο λογισμικό ΕπΕΠ

Μετά την ολοκλήρωση των αρχαίων εφευρέσεων, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή πληροφοριακών στοιχείων. Αποφασίστηκε τα πληροφοριακά στοιχεία να είναι όμοια με αυτά του ΠΕΕΠ λογισμικού, διότι στόχος ήταν τα δύο λογισμικά να διαφέρουν μόνο ως προς την τεχνολογία των μέσων διεπαφής. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, αποφασίστηκε ο εμπλουτισμός της κάθε σκηνής ΕπΕΠ με ενεργοποιούμενο από τον χρήστη γραπτό κείμενο και αφήγηση συγχρονισμένη με εικόνες. Τα ίδια μέσα πληροφορίας υπήρχαν και στο ΠΕΕΠ λογισμικό. Επίσης, η ενεργοποίηση τους από τον χρήστη αποφασίστηκε να γίνεται με τα ίδια σύμβολα (χρυσό και ασημένιο αρχαίο νόμισμα), όμως δεν ήταν δυνατόν να ενεργοποιούνται απτικά από τον χρήστη, αλλά με «κλικ». Τα κείμενα είχαν τα ίδια χαρακτηριστικά και προβάλλονταν στα ίδια σημεία, ακριβώς όπως στο λογισμικό ΠΕΕΠ. Αντιστοιχούσαν στις πινακίδες πληροφοριών που συναντώνται στους μουσειακούς χώρους. Πληροφορούσαν τον χρήστη για τη χρήση της εφεύρεσης, τον τρόπο λειτουργίας της και το ιστορικό της πλαίσιο. Τα πληροφοριακά κείμενα παρατίθενται στο Παράρτημα 7.

Τα custom scripts που χρησιμοποιήθηκαν ήταν παρόμοια με αυτά του ΠΕΕΠ λογισμικού.

Μετά την εισαγωγή των κειμένων, εισάχθηκαν στο λογισμικό οι αφηγήσεις, οι οποίες συνοδεύονταν με παράλληλη προβολή εικόνων. Ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να εκκινήσει την αφήγηση κάνοντας «κλικ» στο ειδικό σύμβολο (ασημένιο αρχαίο Ελληνικό νόμισμα), όπως και στην ΠΕΕΠ. Οι αφηγήσεις ήταν animations και δημιουργήθηκαν μέσω του εργαλείου animator του Unity.

Στην περίπτωση της αφήγησης του υδραυλικού τηλεγράφου, χρειάστηκε επιπρόσθετα η προσθήκη φωτός σε κάποια σημεία της αφήγησης, λόγω του ότι η σκηνή ήταν τοποθετημένη σε νύχτα. Η μετάδοση γινόταν νύχτα, ώστε να φαίνονται τα σινιάλα με πυρσούς που εκκινούσαν και σταματούσαν τη διαδικασία εκπομπής μηνύματος. Επίσης, εκτός από τις έτοιμες εικόνες που ανακτήθηκαν από το Διαδίκτυο και αφορούσαν πρόσωπα (ενδεικτικά Ήρων ο Αλεξανδρινός), χάρτες κ.α., χρησιμοποιήθηκαν και εικόνες που έδειχναν τη λειτουργία των εφευρέσεων. Οι εικόνες αυτές λήφθηκαν ως φωτογραφίες διαφόρων φάσεων των animation και κατόπιν επεξεργάστηκαν έτσι ώστε να αναδεικνύουν την αρχή λειτουργίας της κάθε εφεύρεσης. Η επεξεργασία τους περιλάμβανε τον κατάλληλο χρωματισμό περιοχών (ενδεικτικά, νερό, ατμός), την προσθήκη ενδεικτικών βελών κίνησης, αλλά και την προσθήκη επεξηγηματικών λέξεων (ενδεικτικά, πομπός, δέκτης). Οι λέξεις που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκε να μην γραφούν με έτοιμη γραμματοσειρά, αλλά να σχεδιαστούν «με το χέρι», έτσι ώστε τα γράμματα να φαίνονται χαραγμένα.

6.3.6. Προσθήκη μηχανικών μερών στο λογισμικό ΕπΕΠ

Για λόγους ομοιότητας των δυο λογισμικών, αποφασίστηκε η έκθεση μηχανικών μερών των εφευρέσεων σε πάγκους, όπως και στο λογισμικό ΠΕΕΠ. Τα μηχανικά μέρη συνοδεύονταν και από πίνακα που ανέγραφε την ονομασία τους. Σε αυτά τα μηχανικά μέρη δεν ήταν δυνατή η απτική διάδραση του χρήστη, όπως συνέβαινε με τα αντίστοιχα μηχανικά μέρη της ΠΕΕΠ.

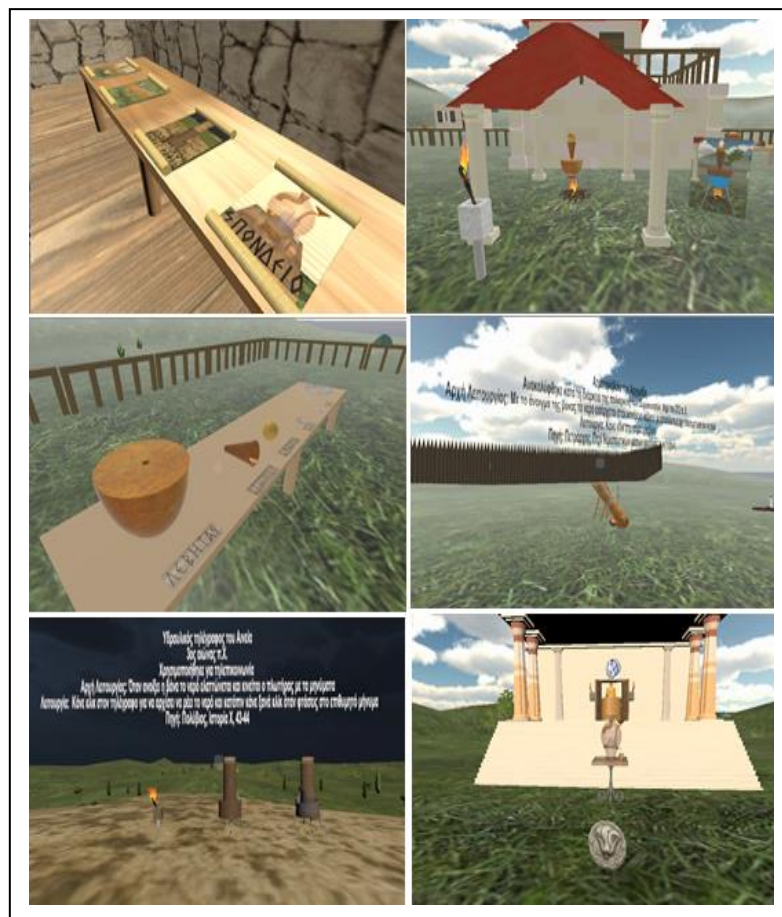
6.3.7. Δημιουργία τηλεμεταφοράς του χρήστη

Όπως και το λογισμικό ΠΕΕΠ, έτσι και το λογισμικό ΕπΕΠ αποτελείτο από πέντε σκηνές. Κάθε σκηνή αντιστοιχούσε σε μια από τις τέσσερις αρχαίες ελληνικές εφευρέσεις (αιωρούμενη σφαίρα, ατμοηλεβόλο, υδραυλικός τηλεγράφος, σπονδείο με κερματοδέκτη), συν ακόμα την σκηνή «Menu» αρχικής επιλογής. Η αρχική σκηνή ήταν πανομοιότυπη με αυτή της ΠΕΕΠ και ο χρήστης καλούνταν να επιλέξει με ποια εφεύρεση θέλει να αρχίσει η περιήγηση του. Ο χρήστης έπρεπε να κάνει «κλικ» στην επιλεγόμενη εφεύρεση. Η δυνατότητα τηλεμεταφοράς από σκηνή σε σκηνή ήταν δυνατή, όπως και στην ΠΕΕΠ. Ο χρήστης έπρεπε να επιλέξει τον κατάλληλο πάπυρο.

6.3.8. Τελικό αποτέλεσμα-σύνοψη της ποιότητας και των δυνατοτήτων του λογισμικού ΕπΕΠ

Η διαδικασία παραγωγής λογισμικού, απέδωσε ως αποτέλεσμα ένα λογισμικό ΕπΕΠ της αυτής ποιότητας με το ΠΕΕΠ. Το λογισμικό αναπαριστούσε άρτια και ρεαλιστικά τη λειτουργία τεσσάρων αρχαίων ελληνικών εφευρέσεων και μάλιστα για πρώτη φορά εντός των πλαισίων

της ΕπΕΠ. Εκτός από την real time παρακολούθηση της λειτουργίας, παρείχε εποπτικές δυνατότητες (ενδεικτικά, διάφανες υφές), οι οποίες δεν δίνονταν στον φυσικό κόσμο. Ακόμη, το λογισμικό προσέφερε πλούσιο πληροφοριακό υλικό για το ιστορικό πλαίσιο και τον τρόπο λειτουργίας της κάθε εφεύρεσης, και επέτρεπε την ελεύθερη διάδραση του χρήστη. Αξίζει να σημειωθεί ότι το λογισμικό ΕπΕΠ ομοιάζε πολύ με το λογισμικό ΠΕΕΠ. Και τα δυο λογισμικά αφορούσαν αρχαίες εφευρέσεις, είχαν τα ίδια στοιχεία περιβάλλοντος και τους ίδιους τρόπους πληροφόρησης του χρήστη. Δείγμα των περιβαλλόντων και των πληροφοριακών στοιχείων του λογισμικού παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.48.



Εικόνα 6.48. Δείγμα περιβαλλόντων και πληροφοριακών στοιχείων του ΕπΕΠ λογισμικού

6.3.9. Σύνοψη της διαδικασίας παραγωγής των δύο λογισμικών

Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής δημιουργήθηκαν δυο παρόμοια λογισμικά ΕΠ, ένα λογισμικό ΠΕΕΠ και ένα λογισμικό ΕπΕΠ. Συνολικά, τα δυο λογισμικά αναπαριστούσαν οκτώ αρχαίες ελληνικές εφευρέσεις: την αιολόσφαιρα, το φλογοβόλο, τις φρυκτωρίες, το αυτόματο άνοιγμα των θυρών ενός ναού, την αιωρούμενη σφαίρα, το ατμοτηλεβόλο, τον υδραυλικό τηλέγραφο και το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη. Τα λογισμικά αυτά επέτρεπαν την

ελεύθερη διάδραση του χρήστη με τα αρχαία τεχνουργήματα, παρείχαν πληροφοριακά στοιχεία για το ιστορικό πλαίσιο και την λειτουργία των εφευρέσεων και εξέθεταν μηχανικά τους μέρη. Επιπρόσθετα, τα λογισμικά επέτρεπαν την αυξημένη εποπτεία στη λειτουργία των εφευρέσεων. Στιγμιότυπα των δύο λογισμικών, παρατίθενται στο Παράρτημα 3.

6.4. Δημιουργία ιστοσελίδων για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία

Μετά τη δημιουργία των δυο λογισμικών άρχισε η δημιουργία του τρίτου εκπαιδευτικού υλικού, των ιστοσελίδων. Οι ιστοσελίδες περιλάμβαναν τέσσερις εφευρέσεις των αρχαίων Ελλήνων που ενέπιπταν στις ίδιες κατηγορίες χρήσης, με αυτές των λογισμικών. Οι κατηγορίες χρήσης ήταν: εφευρέσεις επίδειξης, πολεμικές εφευρέσεις, τηλεπικοινωνιακές εφευρέσεις και εφευρέσεις αυτοματισμού. Για τη δημιουργία των ιστοσελίδων χρησιμοποιήθηκε η δωρεάν διαδικτυακή πλατφόρμα Google Sites, διότι προσέφερε όλα τα εργαλεία που χρειάζονταν για τη δημιουργία ιστοσελίδων και επιπλέον ήταν εύκολη στη χρήση της. Η διεύθυνση ήταν η εξής: <https://sites.google.com/view/arxaia-elliniki-texnologia/αρχική-σελίδα?authuser=0>.

Οι ιστοσελίδες περιλάμβαναν μια αρχική-εισαγωγική σελίδα με τα περιεχόμενα και άλλες τέσσερις σελίδες, μια για κάθε αρχαία εφεύρεση. Σε κάθε μια εφεύρεση χρησιμοποιούνταν όλα τα συνηθισμένα μέσα που παρείχε ένας ιστότοπος για την πληροφόρηση του χρήστη, δηλαδή γραπτό κείμενο, εικόνες και video. Τα κείμενα περιγραφής των εφευρέσεων, οι εικόνες και τα video συγκεντρώθηκαν από άλλες ιστοσελίδες που πληροφορούσαν για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία όπως το kotsanas.com, το huffingtonpost.gr και το amfipolinews.blogspot.com. Δεν πραγματοποιήθηκε απευθείας παραπομπή σε ιστοσελίδες που αφορούσαν τις εφευρέσεις, αφενός διότι αυτές ήταν διασκορπισμένες και αφετέρου διότι κάθε ιστοσελίδα παρείχε μέρος των μέσων πληροφόρησης. Μερικές ιστοσελίδες περιείχαν μόνο κείμενα με εικόνες, ενώ άλλες μόνο video. Με τη δημιουργία των ιστοσελίδων όλο το υλικό που αφορούσε κάθε εφεύρεση ήταν συγκεντρωμένο, εύκολα προσβάσιμο και σταθμισμένο.

Η πρώτη αρχαία εφεύρεση των ιστοσελίδων έπρεπε να εμπίπτει στην κατηγορία των εφευρέσεων επίδειξης, όπως αντίστοιχα η αιολόσφαιρα και η αιωρούμενη σφαίρα. Μετά από μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας, επιλέχθηκε η ιπτάμενη περιστέρα του Αργύτα. Η εφεύρεση αυτή άνηκε στις εφευρέσεις επίδειξης και ως αρχή λειτουργίας χρησιμοποιούσε και αυτή την ατμοκίνηση.

Ομοίως, η αντίστοιχη πολεμική εφεύρεση που επιλέχθηκε ήταν ο πολυβόλος καταπέλτης του Διονυσίου του Αλεξανδρινού. Οι πολεμικές εφευρέσεις που θα μπορούσαν να επιλεγούν ήταν πάρα πολλές. Επιλέχθηκε καταπέλτης και όχι κάποια αρπάγη του Αρχιμήδη,

κάποιος κόραξ ή κάποια χελώνη, γιατί οι καταπέλτες ήταν βλητικές συσκευές, όπως και οι πολεμικές συσκευές των λογισμικών.

Στην κατηγορία των τηλεπικοινωνιών, επιλέχθηκε ο κρυπτογραφικός δίσκος του Αινεία, διότι και αυτός περιλάμβανε πρωτόκολλο επικοινωνίας, όπως οι φρυκτωρίες και ο υδραυλικός τηλεγράφος.

Τέλος, στην κατηγορία του αυτοματισμού επιλέχθηκε ο ηχητικός συναγερμός, λόγω ομοιότητας του τρόπου λειτουργίας του, με το αυτόματο άνοιγμα των θυρών και με το σπονδείο. Περιείχε ιμάντες, σύστημα ισοροπίας και νερό. Στιγμιότυπα από τις ιστοσελίδες φαίνονται στην Εικόνα 6.49.



Εικόνα 6.49. Στιγμιότυπα από τις ιστοσελίδες

Στον συγκεντρωτικό Πίνακα 23 φαίνεται το σύνολο των αρχαίων ελληνικών εφευρέσεων που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διατριβής, ανά εκπαιδευτικό υλικό και ανά κατηγορία χρήσης.

Πίνακας 23. Συγκεντρωτικός πίνακας εφευρέσεων

	Εφευρέσεις επίδειξης	Πολεμικές εφευρέσεις	Τηλεπικοινωνιακές εφευρέσεις	Εφευρέσεις αυτοματισμού
Λογισμικό ΠΕΕΠ	Αιολόσφαιρα	Φλογοβόλο	Φρυκτωρίες	Αυτόματο άνοιγμα θυρών
Λογισμικό ΕπΕΠ	Αιωρούμενη σφαίρα	Ατμοηλεβόλο	Υδραυλικός τηλέγραφος	Σπονδείο με κερματοδέκτη
Ιστοσελίδες	Ιπτάμενη περιστέρα	Πολυβόλος καταπέλτης	Κρυπτογραφικός δίσκος	Ηχητικός συναγερμός

Στιγμιότυπα των εφευρέσεων παρατίθενται στο παράρτημα 4.

6.5. Εφαρμογή της δυνατότητας χειρισμού του λογισμικού χωρίς τα Oculus Touch

Μετά τη δημιουργία του συνόλου των μέσων, διαπιστώθηκε ότι λάμβανε χώρα μια εξέλιξη στις τεχνολογίες ΠΕΕΠ. Το Oculus Quest πλέον μπορούσε να λειτουργήσει χωρίς τα χειριστήρια Oculus Touch, ανιχνεύοντας μέσω των καμερών, τις κινήσεις των φυσικών χεριών του χρήστη. Μάλιστα, όπως παρουσιάζοταν από βίντεο στο Youtube, υπήρχε η δυνατότητα απτικής διάδρασης με τα χέρια (ενδεικτικά, <https://www.youtube.com/watch?v=hX7GJfYmj7M>). Ωστόσο, παρά τις αναφερόμενες δυνατότητες υπήρξε προβληματισμός για τις πραγματικές δυνατότητες της καινούργιας τεχνολογίας. Η πηγή του προβληματισμού ήταν ότι πολύ λίγα παιχνίδια υιοθετούσαν την καινούργια τεχνολογία, ενώ η μεγάλη πλειοψηφία των καινούργιων τίτλων εξακολουθούσε να χρησιμοποιεί τα Oculus Touch χειριστήρια. Αποφασίστηκε τελικά η πειραματική προσθήκη της δυνατότητας αυτής σε μια σκηνή του ΠΕΕΠ λογισμικού. Η σκηνή που επιλέχθηκε ήταν η αιολόσφαιρα. Πράγματι, με χρήση πρόσθετου (Hand Physics Toolkit, HTPK), πραγματοποιήθηκε πολύ εύκολα η προσθήκη του hand tracking. Ωστόσο, μετά από δοκιμή της εφαρμογής, διαπιστώθηκε ότι η απτική διάδραση παρουσίαζε δύο καίρια προβλήματα:

- Ανακρίβεια στο «πιάσιμο» αντικειμένων
- Μη ρεαλιστικότητα της κίνησης πιασίματος αντικειμένων

Ενώ το hand tracking λειτουργούσε κανονικά και στο HMD απεικονίζονταν με ακρίβεια οι κινήσεις των χεριών, δεν συνέβαινε το ίδιο και με το πιάσιμο αντικειμένων (grab). Το πιάσιμο αντικειμένων ήταν ανακριβές και η κίνηση πιασίματος γινόταν με την ένωση του αντίχειρα με τον δείκτη. Η κίνηση αυτή απέκλινε πολύ από τη φυσική κίνηση πιασίματος, όπου κλείνει όλο

το χέρι. Η κίνηση αυτή αποδιδόταν πολύ καλύτερα από τα Oculus Touch. Πιθανότατα αυτοί ήταν και οι λόγοι που η πλειοψηφία των εμπορικών τίτλων, δεν υιοθετούσε το hand tracking. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, αποφασίστηκε λόγω της μεγάλης απτικής αλληλεπίδρασης που προσέφερε το λογισμικό, να μην χρησιμοποιηθεί το hand tracking. Η τεχνολογία αυτή πάντως αξιολογήθηκε ως κατάλληλη, για εφαρμογές χαμηλότερης αλληλεπίδρασης και χαμηλότερης εμπύθισης. Στιγμιότυπο από την αιολόσφαιρα με hand tracking φαίνεται στην Εικόνα 6.50.



Εικόνα 6.50. Η λειτουργία hand tracking στην αιολόσφαιρα

6.6. Συμπεράσματα

Από τη διαδικασία δημιουργίας των μέσων εξάγεται το συμπέρασμα ότι η κατοχή τεχνογνωσίας μπορεί να αποτελέσει πλεονέκτημα στην ερευνητική διαδικασία, μιας και τα εκπαιδευτικά μέσα δημιουργούνται επακριβώς, ώστε να υπηρετήσουν τη μεθοδολογική προσέγγιση. Καρπός της διαδικασίας ανάπτυξης, ήταν η δημιουργία αλληλεπιδραστικών εφευρέσεων ΕΠ (ΕπΕΠ και ΠΕΕΠ) και ιστοσελίδων. Οκτώ σπουδαίες αρχαίες εφευρέσεις, για πρώτη φορά, έλαβαν «σάρκα και οστά» στην ΕΠ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΘΟΔΟΣ

7.1. Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η δημιουργία των ερευνητικών εργαλείων και η ερευνητική διαδικασία. Η έρευνα διεξήχθη σε δυο φάσεις: Η πρώτη, πιλοτική φάση, διεξήχθη στο χειμερινό εξάμηνο σπουδών, ενώ η δεύτερη φάση της, διεξήχθη στο εαρινό εξάμηνο. Συνολικά, η έρευνα διάρκεσε σχεδόν ένα ακαδημαϊκό έτος, από τον Οκτώβρη του 2021 έως τον Μάιο του 2022. Ο ακριβής τρόπος διεξαγωγής θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα (διαδικασία). Να σημειωθεί ότι η έρευνα είχε την έγκριση της Επιτροπής Έρευνας και Δεοντολογίας του Τμήματος. Επίσης, ζητήθηκε η συγκατάθεση των συμμετεχόντων.

7.2. Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα της διατριβής είναι τα εξής:

- Η χρήση εφαρμογών ΠΕΕΠ θα επιφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα συγκριτικά με τη χρήση εφαρμογών ΕπΕΠ και ιστοσελίδων, που έχουν παρόμοιο περιεχόμενο;
- Θεωρούν οι χρήστες ότι οι εφαρμογές ΠΕΕΠ προσφέρουν καλύτερη μαθησιακή εμπειρία συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ και ιστοσελίδων, που έχουν παρόμοιο περιεχόμενο;
- Η μαθησιακή εμπειρία διαμορφώνει τα γνωστικά αποτελέσματα στις εφαρμογές ΠΕΕΠ;

7.3. Πιλοτική φάση

7.3.1. Δείγμα

Η ερευνητική διαδικασία άρχισε με τη διενέργεια πιλοτικών ερευνών, με στόχο τη δοκιμή τόσο των εκπαιδευτικών μέσων, όσο και των τεστ και του ερωτηματολογίου. Το δείγμα των πιλοτικών ερευνών ήταν 40 και 41 άτομα αντίστοιχα, για το λογισμικό ΕπΕΠ και τις ιστοσελίδες. Το λογισμικό ΠΕΕΠ δοκιμάστηκε από 10 άτομα. Το δείγμα συγκροτήθηκε από φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

7.3.2. Εργαλεία πιλοτικών ερευνών

Στην πιλοτική έρευνα που αφορούσε τις ιστοσελίδες χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο System Usability Scale (SUS) και στην πιλοτική έρευνα του λογισμικού ΕΠΕΠ χρησιμοποιήθηκαν τα τεστ γνώσεων το ερωτηματολόγιο παραγόντων της κυρίως έρευνας. Τα ερωτηματολόγια των ερευνών παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1. Στην πιλοτική έρευνα που αφορούσε το Oculus Quest και το λογισμικό ΠΕΕΠ, πραγματοποιήθηκε συζήτηση αναφορικά με την συνολική εμπειρία και ευχαριστία του συστήματος. Το ερωτηματολόγιο SUS αποτελούνταν από 10 ερωτήσεις σε κλίμακα πενταβάθμια κλίμακα Likert και στόχευε στον έλεγχο της ευχρηστίας των ιστοσελίδων. Παράδειγμα ερώτησης είναι: «Νομίζω ότι θα ήθελα να χρησιμοποιώ τον ιστότοπο για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία συχνά». Περισσότερα για τα tests γνώσεων και το ερωτηματολόγιο παραγόντων που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στην ενότητα 7.4.2. Τα πλήρη ερωτηματολόγια και τα tests παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1.

7.3.3. Διαδικασία πιλοτικών ερευνών

Διάδραση με το Oculus Quest.

Αφού καλωσορίστηκε κάθε συμμετέχοντας, του/της δόθηκαν προφορικές οδηγίες αναφορικά με το τι να περιμένουν και για το πως να αλληλεπιδράσουν με την εφαρμογή. Εφαρμόστηκαν πάνω τους τα HMD's, ρυθμίστηκαν οι μιάντες και η απόσταση των φακών, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ποιότητα εικόνας. Οι συμμετέχοντες πληροφορήθηκαν για το εύρος και τα όρια της περιοχής διάδρασης, καθώς και τον τρόπο που θα έπρεπε να αναγνωρίζουν τα όριά της. Η παρούσα προκαταρκτική φάση της διαδικασίας ήταν ιδιαίτερος σημαντική, διότι κανένας από τους συμμετέχοντες δεν είχε εμπειρία με τη χρήση συσκευών ΠΕΕΠ.

Το επόμενο βήμα ήταν η εκκίνηση του λογισμικού ΠΕΕΠ. Ο χρήστης βρισκόταν σε έναν αρχικό χώρο επιλογής εφευρέσεων. Σε αυτόν τον χώρο οι συμμετέχοντες επέλεγαν την εφεύρεση, με την οποία θα ήθελαν να αρχίσουν. Η διάδραση με κάθε εφεύρεση κρατούσε περίπου 20 λεπτά. Ο χρόνος αυτός κρίθηκε αρκετός έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί πλήρης αλληλεπίδραση και μελέτη του πληροφοριακού υλικού. Δόθηκαν περαιτέρω προφορικές οδηγίες σε συμμετέχοντες που αντιμετώπιζαν προβλήματα αλληλεπίδρασης και πλοήγησης με τον εικονικό κόσμο. Μετά τη διάδραση και με τις τέσσερις εφευρέσεις του λογισμικού ΠΕΕΠ, πραγματοποιήθηκε συζήτηση με τους συμμετέχοντες, αναφορικά με την εμπειρία χρήσης. Οι ερωτήσεις που τέθηκαν στη συζήτηση ήταν: «Πως σου φάνηκε η εμπειρία;», «Αντιμετώπισες προβλήματα στον χειρισμό;», «Πιστεύεις ότι έμαθες για τις εφευρέσεις που σου παρουσιάστηκαν;», «μήπως θα ήθελες να επισημάνεις κάποια βελτίωση;», «Τι σου άρεσε περισσότερο;» «Τι δεν σου άρεσε;». Η όλη διαδικασία κράτησε περίπου 1,5 ώρα.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα ευρύχωρο γραφείο. Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύχθηκαν τυχόν τραυματισμοί από συγκρούσεις με αντικείμενα. Επιπρόσθετα, η διάθεση χώρου αύξησε την εμπύθιση στο λογισμικό, λόγω του ότι οι χρήστες μπορούσαν να περπατήσουν στον χώρο και δεν έκαναν χρήση του μοχλού πλοήγησης.

Διάδραση με το λογισμικό ΕπΕΠ

Αφού καλωσορίστηκε κάθε συμμετέχοντας, του/της δόθηκαν προφορικές οδηγίες αναφορικά με το τι να περιμένουν και για το πως να αλληλεπιδράσουν με την εφαρμογή ΕπΕΠ. Δόθηκαν οδηγίες για τον τρόπο χειρισμού μέσω του πληκτρολογίου και του ποντικιού.

Έπειτα, ο κάθε συμμετέχοντας εκκίνησε το λογισμικό ΕπΕΠ και βρέθηκε στον αρχικό-εισαγωγικό χώρο επιλογής εφεύρεσης. Η διάδραση με την κάθε εφεύρεση διάρκεσε 20 λεπτά, χρόνος επαρκής για την πλήρη αλληλεπίδραση με την εφεύρεση και την παρακολούθηση του πληροφοριακού υλικού.

Μετά από την αλληλεπίδραση με κάθε εφεύρεση, οι συμμετέχοντες συμπλήρωναν το τεστ αξιολόγησης γνώσεων. Το ερωτηματολόγιο παραγόντων Multiverse Learning Experience Scale (MLES), χορηγήθηκε μετά την ολοκλήρωση των συνεδριών που αφορούσαν αυτό το μέσο. Η όλη διαδικασία διάδρασης και συμπλήρωσης τεστ και ερωτηματολογίου MLES, μαζί με την προκαταρκτική της φάση διάρκεσε λίγο παραπάνω από 2 ώρες. Περισσότερα για το ερωτηματολόγιο παραγόντων MLES αναφέρονται στην Ενότητα 7.4.4.2.

Διάδραση με τις ιστοσελίδες

Αφού καλωσορίστηκε κάθε συμμετέχοντας, του/της δόθηκαν προφορικές οδηγίες αναφορικά με το τι να περιμένουν και για το πως να αλληλεπιδράσουν με τις ιστοσελίδες.

Έπειτα, ο κάθε συμμετέχοντας, από την αρχική ιστοσελίδα επέλεγε μία από τις εφευρέσεις. Η διάδραση με το σύνολο των εφευρέσεων διάρκεσε περίπου 1 ώρα. Μετά από την αλληλεπίδραση, οι συμμετέχοντες συμπλήρωναν το ερωτηματολόγιο SUS για περίπου 10 λεπτά.

Τα αποτελέσματα των πιλοτικών ερευνών παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 8.

7.3.4. Ενέργειες ως αποτέλεσμα των πιλοτικών ερευνών

Από τις πιλοτικές έρευνες φάνηκε ότι τα εκπαιδευτικά μέσα ήταν εύχρηστα και επίσης ότι τα ερωτηματολόγια ήταν κατανοητά. Μια μετατροπή που πραγματοποιήθηκε κατόπιν παραπόνων από μέλη του δείγματος, ήταν η μείωση της ευαισθησίας του ποντικιού στο λογισμικό ΕπΕΠ. Όντως, το ποντίκι ήταν ρυθμισμένο σε ακραία ευαισθησία, όπως συνηθίζεται

από έμπειρους παίκτες των παιχνιδιών first person shooter. Το παίξιμο με ακραία ευαισθησία ποντικού επιτρέπει την ακριβή και πολύ γρήγορη διάδραση με το εικονικό περιβάλλον. Σε έναν έμπειρο χρήστη φαίνεται φυσιολογική και επομένως διέφυγε της προσοχής κατά τον έλεγχο του λογισμικού. Όταν όμως το λογισμικό δοκιμάστηκε από σχετικά ή καθολικά άπειρους χρήστες, τότε κατέστη προφανές, ότι υπήρχε δυσκολία κίνησης τους με την υψηλή ευαισθησία. Μετά τη δοκιμή του λογισμικού από τα πρώτα κιάλας μέλη του πιλοτικού δείγματος, διαπιστώθηκε το σφάλμα και η διαδικασία σταμάτησε. Πραγματοποιήθηκαν ρυθμίσεις της ευαισθησίας του ποντικού εντός του Unity και ξαναέγινε build του λογισμικού σε καινούργια έκδοση, με φυσιολογική ευαισθησία αυτή τη φορά.

Επιπρόσθετα, οι πιλοτικές έρευνες ανέδειξαν την αναγκαιότητα αύξησης του χρόνου εμφάνισης των λεζαντών στα δύο (ΕπΕΠ και ΠΕΕΠ) λογισμικά. Μετά τις αναγκαίες τροποποιήσεις, τα λογισμικά ήταν έτοιμα για την κυρίως έρευνα.

7.4. Κυρίως φάση

7.4.1. Δείγμα

Υπάρχουν δύο βασικές οργανώσεις της ποσοτικής έρευνας. Η πρώτη, η μεταξύ υποκειμένων (between subjects), είναι να δημιουργηθούν ομάδες που η καθεμιά θα χρησιμοποιήσει από ένα διαφορετικό μέσο και να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους. Η δεύτερη, η εντός υποκειμένων (within subjects), είναι να δημιουργηθεί μόνο μία ομάδα που θα χρησιμοποιήσει όλα τα μέσα. Μεταξύ των δύο τρόπων, ισχυρότερος θεωρείται ο δεύτερος (Charness et al., 2012).

Για την κυρίως έρευνα επιλέχθηκε η within subjects. Η επιλογή αυτή βασίστηκε σε αρκετά πλεονεκτήματα της. Αρχικά, σε σύγκριση με τον σχεδιασμό between subjects, ο σχεδιασμός within subjects απαιτεί μικρότερο δείγμα, χωρίς να διακυβεύεται η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα, οι ατομικές διαφορές των υποκειμένων (individual differences), δεν υπονομεύουν την έρευνα, διότι οι συμμετέχοντες αλληλεπιδρούν με όλα τα μέσα. Τέλος, η διακύμανση μεταξύ των ομάδων δεν δημιουργεί πρόβλημα στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων, γιατί οι συμμετέχοντες αποτελούν έλεγχο των ιδίων (Keren, 2014).

Ωστόσο, ο σχεδιασμός within subjects έχει και μειονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα αυτά συνυπολογίστηκαν στον σχεδιασμό της έρευνας, με στόχο τη βέλτιστη αντιμετώπιση τους. Για την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων των περιβαλλοντικών και χρονικών παραγόντων, οι συνεδρίες πραγματοποιήθηκαν κατά τις ίδιες μέρες και ώρες. Έλαβαν χώρα κατά τις ώρες του ημερήσιου ακαδημαϊκού προγράμματος. Αυτή η πρόβλεψη βοήθησε επίσης στην εξάλειψη επιπτώσεων εξωτερικών παραγόντων, όπως η κούραση ή η απώλεια

ενδιαφέροντος των υποκειμένων, λόγω προηγούμενων δραστηριοτήτων. Ιδιαίτερος σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό της ερευνητικής διαδικασίας έπαιξαν οι αρνητικές επιπτώσεις που οφείλονται στην επανάληψη της μελέτης του γνωστικού αντικειμένου. Είναι πιθανό η συμμετοχή σε μια συνεδρία με ένα μέσο, να επηρεάσει τα αποτελέσματα σε επόμενη με άλλο μέσο, καθώς το γνωστικό υλικό είναι ίδιο. Έτσι, οι βαθμολογίες στα τεστ αξιολόγησης, μπορεί να βελτιωθούν, λόγω της εμπειρίας που αποκτάται από προηγούμενη ενασχόληση με το γνωστικό υλικό με άλλο μέσο. Για να αποφευχθεί αυτό, το εκπαιδευτικό υλικό δεν ήταν ίδιο μεταξύ των μέσων, αλλά ήταν ισοδύναμο. Η ισοδυναμία προκύπτει από το ίδιο επίπεδο δυσκολίας, το ίδιο πλήθος εννοιών και τα ισοδύναμα ιστορικά στοιχεία (χρονολογίες, ονόματα). Επιπλέον, αποφασίστηκε οι συμμετέχοντες να χρησιμοποιήσουν κάθε μέσο τέσσερις φορές, προκειμένου να συλλεχθούν περισσότερα δεδομένα και, κατά συνέπεια, να αυξηθεί η αξιοπιστία της έρευνας. Τέλος, για την αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων διαδοχής (carry over effects) και σειράς (order effects), η χρήση των μέσων έγινε τυχαία και οι συμμετέχοντες δεν είχαν ενημερωθεί σχετικά με το ποια σειρά θα χρησιμοποιήσουν τα μέσα.

Το δείγμα της κυρίως έρευνας αποτελούταν από 103 νεαρούς ενήλικες. Η παραπάνω τιμή επιβεβαιώνεται από την ανάλυση ισχύος (power analysis) που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί ένα μέγεθος δείγματος που από τη μία να επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, κι από την άλλη να έχει ένα διαχειρίσιμο μέγεθος. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας ορισμένους, αποδεκτούς από τη βιβλιογραφία, συμβιβασμούς, υπολογίζοντας τέσσερις παραμέτρους (α) την πιθανότητα σφάλματος (α), (β) την ισχύ της ανάλυσης (power), (γ) το μέγεθος της επίδρασης που μπορεί να εντοπιστεί (f) και (δ) τη συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων. Έτσι, για $\alpha = 0,05$, power = 0,95 και $f = 0,20$ (όπου και οι τρεις τιμές είναι αρκετά πιο πάνω από τα όρια που συνήθως χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία) και βαθμό συσχέτισης από 0,3 έως 0,7, το απαιτούμενο δείγμα ήταν από 41 έως 92 άτομα.

Όπως και στις πιλοτικές έρευνες, το δείγμα ήταν φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αιγαίου και ήταν σχετικά ομοιογενές ηλικιακά, μιας και αποτελούταν από άτομα ηλικίας 18 έως 25 ετών. Για τη συγκέντρωση του δείγματος πραγματοποιήθηκαν καλέσματα στις αίθουσες και στα αμφιθέατρα διδασκαλίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου στην Ρόδο.

7.4.2. Υλικό

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν:

- Σύστημα ΠΕΕΠ Oculus Quest με HMD και χειριστήρια Oculus Touch.
- Desktop PC

- Laptop

Ένα βασικό ζήτημα που έπρεπε να επιλυθεί, αφορούσε το εκπαιδευτικό υλικό των μέσων. Στον σχεδιασμό *between subjects*, το εκπαιδευτικό υλικό είναι το ίδιο μεταξύ των ομάδων. Αυτό δεν μπορεί να γίνει στον σχεδιασμό *within subjects*, διότι οι συμμετέχοντες θα παρουσιάζουν καλύτερη επίδοση σε κάθε καινούργιο μέσο. Ένας τρόπος για ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, είναι το εκπαιδευτικό υλικό να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ισοδύναμο, σε όλα τα μέσα. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να έχει τις ίδιες δραστηριότητες, το ίδιο γνωστικό φορτίο, να διαπραγματεύεται τις ίδιες έννοιες και να έχει το ίδιο επίπεδο δυσκολίας. Το γνωστικό πεδίο της έρευνας, ήταν η αρχαία Ελληνική τεχνολογία. Σε κάθε ένα από τα τρία μέσα, είχαν αναπτυχθεί τέσσερις εφευρέσεις. Οι συνολικά 12 εφευρέσεις χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες χρήσης. Έτσι λοιπόν, κάθε ένα από τα μέσα περιείχε τέσσερις εφευρέσεις, κάθε μια εκ των οποίων αφορούσε διαφορετική κατηγορία χρήσης (ατμομηχανές επίδειξης, πολεμικές, τηλεπικοινωνιακές, αυτοματισμού). Καταβλήθηκε κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε τα μέσα να έχουν τον ίδιο βαθμό δυσκολίας. Το πληροφοριακό υλικό των εφευρέσεων αφορούσε τη λειτουργία τους και το ιστορικό πλαίσιο τους. Επειδή, όπως είναι φυσικό, από τη στιγμή που συμπεριλήφθηκαν 12 διαφορετικές εφευρέσεις ήταν αδύνατον και οι 12 να έχουν τον ίδιο βαθμό πολυπλοκότητας, αυτές που κρίθηκαν περισσότερο πολύπλοκες αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας τους, κατανεμήθηκαν εξίσου και στα τρία μέσα. Ομοίως έγινε και στις περισσότερες εύκολες εφευρέσεις. Η επιλογή της δημιουργίας των εφευρέσεων βασίστηκε αφενός στην συμπερίληψη, όσο το δυνατόν, μεγαλύτερου εύρους χρήσης, και κυρίως, στη γνωστική ισοδυναμία των τριών μέσων.

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το συνολικό μέγεθος των πληροφοριών, αλλά και η πολυπλοκότητα των εφευρέσεων στα τρία μέσα να είναι ισοδύναμες.

7.4.3. Εργαλεία

Μετά τη δημιουργία των τριών εκπαιδευτικών υλικών (λογισμικό ΠΕΕΠ, λογισμικό ΕπΕΠ και ιστοσελίδα) επιχειρήθηκε η σύνταξη των εργαλείων της κύριας έρευνας, τα οποία αποτελούν και τα εργαλεία διερεύνησης της επίδρασης των εκπαιδευτικών υλικών. Χρησιμοποιήθηκαν δύο εργαλεία:

- Test αξιολόγησης γνώσεων
- Ερωτηματολόγιο παραγόντων Εικονικής Πραγματικότητας

7.4.3.1. Test αξιολόγησης γνώσεων

Το περιεχόμενο των ερωτήσεων καθορίστηκε από τους προθεσπισμένους γενικούς γνωστικούς στόχους που λήφθηκαν υπόψιν κατά τη δημιουργία των δύο λογισμικών (ΠΕΕΠ και ΕΠΕΠ) και των ιστοσελίδων. Οι στόχοι αυτοί ήταν οι εξής:

Μετά το πέρας της αλληλεπίδρασης με το εκπαιδευτικό υλικό τα υποκείμενα να είναι σε θέση να:

- Αναφέρουν την αρχή λειτουργίας της εφεύρεσης.
- Αναφέρουν στοιχεία του ιστορικού πλαισίου της εφεύρεσης.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι οι γνωστικοί στόχοι, εκτός του ότι απετέλεσαν το εφαλτήριο πάνω στο οποίο βασίστηκε η δημιουργία γενικά των εκπαιδευτικών υλικών, σε ειδικότερο επίπεδο, καθόρισε καθολικά τα πληροφοριακά στοιχεία τόσο των λογισμικών, όσο και των ιστοσελίδων (γραπτό κείμενο, αφήγηση που συνοδεύεται από εικόνες, βίντεο, εικόνες που σημειώνουν μηχανικά μέρη, δημιουργία και έκθεση τρισδιάστατων μηχανικών μερών). Κατά τη σχεδίαση της συνολικής εκπαιδευτικής παρέμβασης δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην ευθυγράμμιση των παρακάτω:

Στοχοθεσία → δημιουργία εκπαιδευτικών υλικών → αξιολόγηση

Όπως προκύπτει από τη στοχοθεσία, τα εκπαιδευτικά υλικά αφορούν σε γνώσεις της Ιστορίας και Μηχανικής. Πιο συγκεκριμένα τα εκπαιδευτικά υλικά περιλαμβάνουν στοιχεία του ιστορικού πλαισίου της κάθε εφεύρεσης όπως: χρονολογία, εφευρέτης, ιστορικές πηγές πληροφόρησης, χρήση, σκοπός, επίδραση στην εξέλιξη της τεχνολογίας κ.α. Λόγω λοιπόν της ευθυγράμμισης στόχων-υλικού-ερωτήσεων και οι ερωτήσεις επιλέχθηκαν να καλύπτουν αυτές τις διαστάσεις του ιστορικού πλαισίου της κάθε εφεύρεσης. Εκτός από στοιχεία που αφορούσαν την Ιστορία της τεχνολογίας, η στοχοθεσία και συνακόλουθα τα εκπαιδευτικά υλικά και οι ερωτήσεις αφορούσαν και τη Μηχανική. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες εφευρέσεις (εκτός από τις φρυκτωρίες και τον κρυπτογραφικό δίσκο) αφορούν τη Μηχανολογική Μηχανική. Οι ερωτήσεις που αφορούν στο πεδίο της Μηχανικής, αναφέρονται στα μηχανικά μέρη και στον τρόπο λειτουργίας της κάθε εφεύρεσης.

Επιπρόσθετα, εκτός από τις ερωτήσεις που αφορούσαν την Ιστορία της τεχνολογίας και αυτές που αφορούσαν τη Μηχανική, προστέθηκε και μια ακόμα κατηγορία ερωτήσεων, οι «έμμεσες» ερωτήσεις, οι οποίες δεν αποσκοπούσαν στη διερεύνηση της μαθησιακής επίδρασης στις παραπάνω επιστήμες, αλλά στην επίδραση που έχει το εκπαιδευτικό υλικό στη

χωροταξική και γενικότερη εικόνα των εφευρέσεων. Οι ερωτήσεις αυτές, αφορούσαν τις διαστάσεις των εφευρέσεων, τα υλικά κατασκευής τους (υφές-textures) και τη συνολική αντίληψη της εικόνας της κάθε εφεύρεσης ως ένα ενιαίο σύνολο. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ακριβή υλικά κατασκευής και οι ακριβείς διαστάσεις των εφευρέσεων είναι άγνωστα, καθώς οι αρχαίες γραπτές πηγές δεν υπεισέρχονται σε εξονυχιστική μηχανική παρουσίαση των υλικών κατασκευής και των διαστάσεων των μηχανικών μερών, αλλά παραθέτουν τη λειτουργία της κάθε εφεύρεσης. Για παράδειγμα, η γνώση του ύψους και των υλικών κατασκευής της αιολόσφαιρας έχει χαθεί για πάντα. Τέτοιου είδους γνώση υπάρχει μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις όπου η αρχαιολογική έρευνα αποκαλύπτει κάποια εφεύρεση ή κάποια σχηματική αναπαράσταση της (ενδεικτικά, μηχανισμός των Αντικυθήρων). Επομένως, η συγκρότηση αυτού του είδους των ερωτήσεων δεν βασίζεται σε επιστημονικά δεδομένα από τον χώρο της Αρχαιολογίας ή της Μηχανικής, αλλά έχει ως σκοπό τη μελέτη της διάδρασης των υποκειμένων με τα εκπαιδευτικά υλικά.

Οι ερωτήσεις γνώσεων εξάντλησαν όλο το οπτικοακουστικό υλικό των λογισμικών και των ιστοσελίδων. Ο τύπος των ερωτήσεων που επιλέχθηκε είναι πολλαπλής επιλογής, για λόγους ευκολίας των υποκειμένων. Κάθε ερώτηση επιλέχθηκε να έχει πέντε απαντήσεις, τέσσερις λάθος και μια ορθή. Επιλέχθηκαν πέντε πιθανές απαντήσεις, προκειμένου να μειωθεί η στατιστική πιθανότητα της ορθής κατά τύχη απάντησης. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή, ώστε οι ερωτήσεις να είναι σωστά διατυπωμένες και εύκολα κατανοητές από τα υποκείμενα. Στις περισσότερες ερωτήσεις, οι πιθανές απαντήσεις γράφτηκαν έτσι ώστε να ομοιάζουν μεταξύ τους. Κάποιες πιθανές απαντήσεις είναι ολόκληρες λάθος, κάποιες είναι σωστές κατά το ήμισυ και λάθος κατά το ήμισυ και μια μόνο από τις πέντε είναι η σωστή, όπως φαίνεται στο παρακάτω ενδεικτικό παράδειγμα:

Οι πίδακες του ατμού που δημιουργούνται μέσα στην αιολόσφαιρα:

- α) εξέρχονται από τις εξατμίσεις και περιστρέφουν τον ρότορα
- β) εξέρχονται από τις εξατμίσεις και περιστρέφουν τον στάτορα
- γ) εισέρχονται μέσω των σωλήνων από τον ρότορα στο στάτορα
- δ) εισέρχονται από τις εξατμίσεις στον ρότορα και τον περιστρέφουν
- ε) θερμαίνουν τον ρότορα, ο οποίος διαστέλλεται, χαλαρώνουν οι συνδέσεις του και περιστρέφεται

Στην παραπάνω ερώτηση, που αφορά την Μηχανική, η σωστή απάντηση είναι η πρώτη (α) καθώς είναι σωστό και το πρώτο μέρος της απάντησης «εξέρχονται από τις εξατμίσεις» αλλά και το δεύτερο μέρος της απάντησης «και περιστρέφουν τον ρότορα». Η δεύτερη απάντηση είναι μόνο κατά το ήμισυ σωστή, γιατί το πρώτο μέρος είναι σωστό: «εξέρχονται

από τις εξατμίσεις», αλλά το δεύτερο μέρος είναι λάθος: «και περιστρέφουν τον στάτορα». Η επόμενη απάντηση (γ) είναι ολόκληρη λάθος (και τα δυο της μέρη). Η τέταρτη απάντηση (δ) είναι κατά το ήμισυ σωστή, καθώς το δεύτερο μέρος της είναι σωστό («στον ρότορα και τον περιστρέφουν») και το πρώτο λάθος («εισέρχονται από τις εξατμίσεις»). Η πέμπτη και τελευταία απάντηση είναι ολόκληρη λάθος (και τα δυο της μέρη).

Ο αριθμός των ερωτήσεων για κάθε εφεύρεση καθορίστηκε να είναι το ίδιο, ήτοι 10 ερωτήσεις ανά εφεύρεση, συνολικά 120 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Τα 12 πλήρη tests παρατίθενται στο Παράρτημα 1.

7.4.3.2. Ερωτήσεις παραγόντων Εικονικής Πραγματικότητας MLES

Εκτός από τα test γνώσεων, χρησιμοποιήθηκαν και ερωτηματολόγιο που αφορούσε στην ανίχνευση παραγόντων εικονικής πραγματικότητας. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε μια αρθρωτή, σταθμισμένη κλίμακα, η Multiverse Learning Experience Scale, ειδικά κατασκευασμένη για την αποτύπωση της εμπειρίας των χρηστών σε περιβάλλοντα ΠΕΕΠ (Fokides, 2023).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αξιολογήθηκαν 36 ερωτήσεις που ανίχνευαν την επίδραση των παραγόντων: Αισθητική και τεχνική αρτιότητα, γνωστικό φορτίο, ευκολία χρήσης-έλεγχος της εφαρμογής, εμπύθιση, παρουσία, ανατροφοδότηση, αλληλεπίδραση, κίνητρα χρήσης, χρησιμότητα, simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα, simulator sickness-βαριά συμπτώματα, θετικά συναισθήματα, αρνητικά συναισθήματα. Το ερωτηματολόγιο παρουσιάστηκε σε πενταβάθμια κλίμακα Likert και ήταν κοινό και στα τρία μέσα. Το ερωτηματολόγιο παρατίθενται στο Παράρτημα 1.

7.5. Ερευνητική διαδικασία

Η διαχείριση της προσέλευσης των φοιτητών γινόταν με ραντεβού. Το δείγμα της έρευνας ήταν 103 φοιτητές, οι οποίοι λόγω της μεθοδολογικής προσέγγισης within subjects ήλθαν σε επαφή και με τα τρία μέσα. Η διάδραση του δείγματος με τα μέσα έγινε, όπως αναφέρθηκε, με τυχαίο τρόπο σε τρία ραντεβού, ένα για το κάθε μέσο. Η διάδραση των χρηστών με τα μέσα ήταν ισοδύναμη και διάρκεσε 20 λεπτά για κάθε εφεύρεση. Μετά από τη χρησιμοποίηση της κάθε εφεύρεσης, οι χρήστες συμπλήρωναν το test. Το ερωτηματολόγιο χορηγήθηκε τρεις φορές, μετά την ολοκλήρωση των συνεδριών που αφορούσαν το κάθε μέσο. Η συμπλήρωση του αξιολογικού test διαρκούσε 10 λεπτά άλλα 10 λεπτά ήταν απαραίτητα για την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου.

Διάδραση με το Oculus Quest.

Αφού καλωσορίστηκε κάθε συμμετέχοντας, του/της δόθηκαν προφορικές οδηγίες αναφορικά με το τι να περιμένουν και για το πως να αλληλεπιδράσουν με την εφαρμογή. Εφαρμόστηκαν πάνω τους τα HMD's, ρυθμίστηκαν οι μιάντες και η απόσταση των φακών, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ποιότητα εικόνας. Οι συμμετέχοντες πληροφορήθηκαν για το εύρος και τα όρια της περιοχής διάδρασης, καθώς και τον τρόπο που θα έπρεπε να αναγνωρίζουν τα όριά της. Η παρούσα προκαταρκτική φάση της διαδικασίας ήταν ιδιαίτερος σημαντική, διότι κανένας από τους συμμετέχοντες δεν είχε εμπειρία με τη χρήση συσκευών ΠΕΕΠ.

Το επόμενο βήμα ήταν η εκκίνηση του λογισμικού ΠΕΕΠ. Ο χρήστης βρισκόταν σε έναν αρχικό χώρο επιλογής εφευρέσεων. Σε αυτόν τον χώρο οι συμμετέχοντες επέλεγαν την εφεύρεση, με την οποία θα ήθελαν να αρχίσουν. Η διάδραση με κάθε εφεύρεση κρατούσε περίπου 20 λεπτά. Ο χρόνος αυτός κρίθηκε αρκετός, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί πλήρης αλληλεπίδραση και μελέτη του πληροφοριακού υλικού. Δόθηκαν περαιτέρω προφορικές οδηγίες σε συμμετέχοντες που αντιμετώπιζαν προβλήματα αλληλεπίδρασης και πλοήγησης με τον εικονικό κόσμο. Μετά από την αλληλεπίδραση με κάθε εφεύρεση, οι συμμετέχοντες συμπλήρωναν το τεστ αξιολόγησης γνώσεων. Η όλη διαδικασία διάδρασης και συμπλήρωσης τεστ, μαζί με την προκαταρκτική της φάση διάρκεσε λίγο παραπάνω από δύο ώρες.

Επειδή ήταν λογικό να υπάρχουν περιπτώσεις simulator sickness, δόθηκε οδηγία στους συμμετέχοντες, ότι σε τέτοια περίπτωση θα έπρεπε να διακόψουν τη διάδραση, να βγάλουν το HMD και να ξεκουραστούν. Ωστόσο, όταν τα συμπτώματα ήταν ελαφριά, τους δόθηκε η επιλογή της συνέχισης ή της διακοπής. Όλοι οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν τα τεστ και το ερωτηματολόγιο MLES, είτε διέκοψαν, είτε όχι την αλληλεπίδραση, καθώς θεωρήθηκε ότι το simulator sickness είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν την μαθησιακή διαδικασία.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα ευρύχωρο γραφείο. Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύχθηκαν τυχόν τραυματισμοί από συγκρούσεις με αντικείμενα. Επιπρόσθετα, η διάθεση χώρου αύξησε την εμπύθιση στο λογισμικό, λόγω του ότι οι χρήστες μπορούσαν να περπατήσουν στον χώρο και δεν έκαναν χρήση του μοχλού πλοήγησης.

Διάδραση με το λογισμικό ΕπΕΠ

Αφού καλωσορίστηκε κάθε συμμετέχοντας, του/της δόθηκαν προφορικές οδηγίες αναφορικά με το τι να περιμένουν και για το πως να αλληλεπιδράσουν με την εφαρμογή ΕπΕΠ. Δόθηκαν οδηγίες για τον τρόπο χειρισμού μέσω του πληκτρολογίου και του ποντικιού.

Έπειτα, ο κάθε συμμετέχοντας εκκίνησε το λογισμικό ΕπΕΠ και βρέθηκε στον αρχικό-εισαγωγικό χώρο επιλογής εφεύρεσης. Όπως και με τα υπόλοιπα μέσα, η διάδραση με την κάθε εφεύρεση διάρκεσε 20 λεπτά, χρόνος επαρκής για την πλήρη αλληλεπίδραση με την εφεύρεση και την παρακολούθηση του πληροφοριακού υλικού.

Μετά από την αλληλεπίδραση με κάθε εφεύρεση, οι συμμετέχοντες συμπλήρωναν το τεστ αξιολόγησης γνώσεων. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, το ερωτηματολόγιο MLES χορηγήθηκε μετά την ολοκλήρωση των συνεδριών που αφορούσαν αυτό το μέσο. Η όλη διαδικασία διάδρασης και συμπλήρωσης τεστ και ερωτηματολογίου MLES, μαζί με την προκαταρκτική της φάση διάρκεσε λίγο παραπάνω από δύο ώρες.

Διάδραση με τις ιστοσελίδες

Αφού καλωσορίστηκε κάθε συμμετέχοντας, του/της δόθηκαν προφορικές οδηγίες αναφορικά με το τι να περιμένουν και για το πως να αλληλεπιδράσουν με τις ιστοσελίδες.

Έπειτα, ο κάθε συμμετέχοντας, από την αρχική ιστοσελίδα επέλεγε μία από τις εφευρέσεις. Όπως και με τα υπόλοιπα μέσα, η διάδραση με την κάθε εφεύρεση διάρκεσε 20 λεπτά, χρόνος επαρκής για την πλήρη αλληλεπίδραση με την εφεύρεση και την παρακολούθηση του πληροφοριακού υλικού.

Μετά από την αλληλεπίδραση με κάθε εφεύρεση, οι συμμετέχοντες συμπλήρωναν το τεστ αξιολόγησης γνώσεων για περίπου 10 λεπτά. Στην Εικόνα 7.1, παρουσιάζονται στιγμιότυπα της έρευνας. Περισσότερα στιγμιότυπα παρουσιάζονται στο Παράρτημα 4.



Εικόνα 7.1. Στιγμιότυπα έρευνας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

8.1. Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο σκοπό έχει να παρουσιάσει τα αποτελέσματα των ερευνών. Διαρθρώνεται σε δυο επιμέρους υπο-κεφάλαια. Το πρώτο παρουσιάζει τα αποτελέσματα των πιλοτικών ερευνών και το δεύτερο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της κύριας έρευνας.

8.2. Πιλοτικές έρευνες

8.2.1. Ποιοτικός και χρηστικός έλεγχος των ιστοσελίδων

Για τον ποιοτικό και, κυρίως, για το χρηστικό έλεγχο των εφευρέσεων που θα παρουσιάζονταν σε ιστοσελίδες, χρησιμοποιήθηκε το System Usability Scale (SUS, Brooke, 1996). Το SUS είναι ένα ευρέως διαδεδομένο εργαλείο, με το οποίο ελέγχονται εφαρμογές Πληροφορικής. Αφορά την ευχρηστία των εφαρμογών από τον χρήστη και είναι διαρθρωμένο σε ερωτήσεις όπως «Νομίζω ότι θα ήθελα να χρησιμοποιώ αυτό τον ιστότοπο συχνά». Οι 10 ερωτήσεις που περιλαμβάνει, αφού μεταφράστηκαν στα Ελληνικά, προσαρμόστηκαν (στη διατύπωσή τους) στις ανάγκες τις έρευνας. Οι ερωτήσεις παρουσιάστηκαν σε 5-βάθμια κλίμακα τύπου Likert (από το 1-διαφωνώ απόλυτα έως το 5-συμφωνώ απόλυτα). Επίσης, περιλήφθηκαν 9 ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, ώστε οι συμμετέχοντες να σχολιάσουν συγκεκριμένα σημεία και να προτείνουν βελτιώσεις. Το ερωτηματολόγιο SUS που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα παρουσιάζεται στο Παράρτημα 1.

Συμμετείχαν συνολικά 41 άτομα, μεταπτυχιακοί φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Τα υποκείμενα διέδρασαν ελεύθερα με την ιστοσελίδα για 30 λεπτά και έπειτα συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο σε χρόνο 10 λεπτών.

Η κλίμακα ελέγχθηκε για την αξιοπιστία της χρησιμοποιώντας το α του Cronbach. Αυτό βρέθηκε να είναι πάνω από το όριο του 0,70 (0,77), κάτι που υποδηλώνει κάτι παραπάνω από ικανοποιητική εσωτερική συνοχή (Taber, 2018). Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις μεταβλητές της κλίμακας παρουσιάζονται στον Πίνακα 24.

Πίνακας 24. Περιγραφικά στοιχεία για τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου SUS

Μεταβλητή/Ερώτηση	Αποτελέσματα			
	(N = 40)			
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
1. Νομίζω ότι θα ήθελα να χρησιμοποιώ τον ιστότοπο	1,00	5,00	3,10	1,03
2. Βρήκα τον ιστότοπο αδικαιολόγητα περίπλοκο	2,00	5,00	4,53	0,88
3. Σκέφτηκα ότι ο ιστότοπος ήταν εύκολος στη χρήση	1,00	5,00	3,43	1,22
4. Νομίζω ότι θα χρειαστώ βοήθεια από κάποιον τεχνικό για να είμαι σε θέση να χρησιμοποιήσω τον ιστότοπο	2,00	5,00	4,48	0,75
5. Βρήκα τις διάφορες λειτουργίες του ιστότοπου καλά οργανωμένες	1,00	5,00	4,13	1,20
6. Σκέφτηκα ότι υπήρχε μεγάλη ασυνέπεια στον ιστότοπο	2,00	5,00	4,55	0,78
7. Φαντάζομαι ότι οι περισσότεροι άνθρωποι θα μάθουν να χρησιμοποιούν τον ιστότοπο πολύ γρήγορα	3,00	5,00	4,88	0,40
8. Βρήκα τον ιστότοπο πολύ περίπλοκο/δύσκολο στη χρήση	1,00	5,00	3,90	1,10
9. Ένωσα πολύ σίγουρος/η στη χρήση του ιστότοπου	2,00	5,00	4,80	0,56
10. Χρειάστηκε να μάθω πολλά πράγματα πριν να μπορέσω να χρησιμοποιήσω τον ιστότοπο	3,00	5,00	4,73	0,51
Μέσος όρος	2,90	5,00	4,25	0,51

Σημείωση. Στις ερωτήσεις 2, 4, 6, 8 και 10 το σκορ αντιστράφηκε, καθώς έχουν αρνητική διατύπωση.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Γενικά, οι συμμετέχοντες δεν αντιμετώπισαν σημαντικά προβλήματα στη χρήση των ιστοσελίδων, μιας και ο γενικός μέσος όρος των απαντήσεών τους κυμάνθηκε πάνω από την τιμή 4 ($M = 4,25$, $SD = 0,51$), που υποδηλώνει υψηλό βαθμό ευχρηστίας.
- Εξαίρεση στην παραπάνω διαπίστωση αποτελεί η ερώτηση 3 ($M = 3,43$, $SD = 1,22$), καθώς φαίνεται να έχει σημαντική απόκλιση από τον γενικό μέσο όρο. Πιθανώς, τα αποτελέσματα σε αυτή την ερώτηση να αποτελούν ένδειξη ότι οι συμμετέχοντες θα ήθελαν απλούστερα μενού επιλογών και λιγότερες πληροφορίες.

- Η ερώτηση με το χαμηλότερο σκορ ήταν η 1 ($M = 3,10$, $SD = 1,03$), που πιθανώς υποδηλώνει ότι οι συμμετέχοντες δεν βρήκαν ενδιαφέρουσες τις ιστοσελίδες. Αυτό, μπορεί να οφείλεται στο ότι το περιεχόμενό τους δεν σχετιζόταν με τα προσωπικά τους ενδιαφέροντα.

Αναφορικά με τα σχόλια των χρηστών, σε γενικές γραμμές ήταν θετικά. Στην ερώτηση «Ποιο(α) σημείο(α) του ιστότοπου σου άρεσε περισσότερο;» οι θετικές απαντήσεις είναι διασπαρμένες σχεδόν σε όλα τα δομικά στοιχεία της ιστοσελίδας. Ενδεικτικά, κάποιες απαντήσεις ήταν: το καρουζέλ εικόνων, μου άρεσε περισσότερο που σε κάθε ενότητα έχει κείμενο εικόνες και βίντεο, τα βίντεο, τα επεξηγηματικά βίντεο, η παράθεση των βίντεο, η αρχική σελίδα, το πολυμεσικό υλικό (βίντεο, εικόνα), δομή: κείμενο-εικόνες-βίντεο, πολύ βοηθητική η χρήση πολυμέσων. Το σημείο του ιστότοπου που κυριάρχησε στα σχόλια, ήταν τα βίντεο ($N = 15$).

Στην ερώτηση «Ποιο(α) σημείο(α) του ιστότοπου θεωρείς λιγότερο σημαντικό(α);», οι απαντήσεις είναι επίσης διασπαρμένες σχεδόν σε όλα τα δομικά στοιχεία της ιστοσελίδας. Αρκετοί χρήστες απάντησαν ότι δεν βρήκαν κάτι λιγότερο σημαντικό. Ενδεικτικά, κάποιες απαντήσεις ήταν: δεν υπάρχει κάποιο σημείο που να είναι λιγότερο σημαντικό. Όλα είναι εξίσου σημαντικά, δεν βρήκα κάτι λιγότερο σημαντικό, τις εικόνες, τα περιεχόμενα γιατί υπάρχουν και στο μενού στο πάνω μέρος του ιστότοπου, η αρχική εικόνα στο background δεν έχει χρώμα και με προδιαθέτει αρνητικά, η μεγάλη έκταση ορισμένων κειμένων, η δομή των κειμένων, τα βίντεο που διαπραγματεύονται το ίδιο θέμα. Το σημείο του ιστοτόπου που κυριάρχησε ως λιγότερο σημαντικό είναι η αρχική-εισαγωγική σελίδα ($N = 11$).

Στην ερώτηση «Πόσο εύκολα προηγήθηκες στον ιστότοπο;», σχεδόν το σύνολο των απαντήσεων έχει θετικό πρόσημο ($N = 40$). Ενδεικτικά, κάποιες απαντήσεις ήταν: πάρα πολύ, πολύ εύκολα!, πολύ εύκολα, ήταν καλά οργανωμένος, πάρα πολύ εύκολα, αρκετά εύκολα αλλά έπρεπε να ξαναδώ αν υπάρχουν διαφορές στο μενού και στην αρχική σελίδα, η πλοήγηση ήταν εύκολη με τη βοήθεια των διαφόρων καρτελών, η πλοήγηση ήταν πολύ εύκολη.

Στην ερώτηση «Τι θα χαρακτήριζες ως μη λειτουργικό στον ιστότοπο;», πολλοί από τους χρήστες δεν εντόπισαν κάποιο στοιχείο ως μη λειτουργικό. Απαντήσεις που αφορούσαν μη λειτουργικότητα στοιχείων της ιστοσελίδας λήφθηκαν υπόψιν και έγιναν διορθώσεις. Οι διορθώσεις ήταν η αλλαγή του χρώματος φόντου, η αλλαγή του μεγέθους της γραμματοσειράς, η μείωση της έκτασης των κειμένων και η βελτίωση του μενού. Επίσης ανιχνεύεται αντίφαση στις απαντήσεις: ένας χρήστης σχολιάζει ότι υπάρχουν λίγες πληροφορίες και κάποιος άλλος ότι υπάρχουν πολλές. Ενδεικτικά κάποιες από τις απαντήσεις ήταν: τα μεγάλα κείμενα, δεν βρίσκω κάτι δυσλειτουργικό, τίποτα, η σελίδα που λέει περισσότερα δε χρειάζεται, τα μεγάλα

κείμενα, η πολύ μικρή γραμματοσειρά και ο μεγάλος όγκος κειμένου σε κάθε καρτέλα, η μικρού μεγέθους γραμματοσειρά. Η περισσότερο δημοφιλής απάντηση ήταν ότι δεν εντοπίζεται κάτι μη λειτουργικό ($N = 12$). Από τα στοιχεία που εντοπίστηκαν, πρώτο έρχεται το μεγάλο εύρος των κειμένων ($N = 5$).

Στην ερώτηση «Ποια αρχαία Ελληνική εφεύρεση βρήκες καλύτερα παρουσιασμένη;» οι απαντήσεις καλύπτουν το σύνολο των εφευρέσεων. Επίσης, αρκετοί από τους συμμετέχοντες απαντούν ότι όλες οι εφευρέσεις είναι εξίσου καλά παρουσιασμένες ($N = 7$). Ενδεικτικά, κάποιες από τις απαντήσεις ήταν: ο πολυβόλος καταπέλτης του Διονυσίου του Αλεξανδρινού, η ιπτάμενη περιστέρα του Αρχύτα, ο κρυπτογραφικός δίσκος, ο ηχητικός συναγερμός, όλες, όλες θεωρώ ότι είναι παρουσιασμένες με όμοιο τρόπο, όλες οι αρχαίες εφευρέσεις παρουσιάζονται με τον ίδιο τρόπο, αρκετά επεξηγηματικά. Η δημοφιλέστερη εφεύρεση σε αυτή την ερώτηση, ήταν ο πολυβόλος καταπέλτης του Διονυσίου ($N = 17$).

Στην ερώτηση «Ποια αρχαία Ελληνική εφεύρεση βρήκες λιγότερο καλά παρουσιασμένη;», αρκετοί χρήστες υποστηρίζουν ότι όλες είναι εξίσου καλά παρουσιασμένες ($N = 14$). Η λιγότερο καλά παρουσιασμένη εφεύρεση ήταν ο ηχητικός συναγερμός ($N = 8$).

Στην ερώτηση «Πως θα χαρακτήριζες συνολικά την εμπειρία σου με τον ιστότοπο;», η πλειοψηφία των απαντήσεων είχε θετικό πρόσημο. Οι περισσότεροι χρήστες βίωσαν θετικά την εμπειρία. Ωστόσο υπήρξαν ευάριθμες περιπτώσεις χρηστών που χαρακτήρισαν αρνητικά την συνολική εμπειρία. Μερικές από τις απαντήσεις είναι οι εξής: έχει ένα ενδιαφέρον, ευχάριστη, Αρκετά καλή, Συνολικά ικανοποιητική, Πολύ καλή, καλή, Πολύ καλή εμπειρία!, Μέτρια, Βαρετή-δεν κατάφερα να ολοκληρώσω την ανάγνωση όλων πληροφοριών των σελίδων. Η συνολική εμπειρία χαρακτηρίστηκε θετική ($N = 20$), μέτρια ($N = 7$) και αρνητική ($N = 6$).

Στην ερώτηση «Πως κρίνεις τα πληροφοριακά στοιχεία του ιστότοπου (κείμενα, εικόνες, βίντεο);», η περισσότερο δημοφιλής απάντηση, αφορούσε σε θετικά σχόλια ($N = 12$). Κατά τα άλλα προτείνονται πάρα πολλές -μη ρεαλιστικές- συμβουλές, όπως η βελτίωση της ανάλυσης των εικόνων και των βίντεο.

Στην ερώτηση «Ποιο(α) σημείο(α) του ιστοτόπου θεωρείς περισσότερο σημαντικό(α);», πρώτο σε δημοφιλία σημείο έρχεται το βίντεο ($N = 14$).

Στην ερώτηση «Έχεις κάποια(ες) πρόταση(εις) για τη βελτίωση του ιστοτόπου;», οι απαντήσεις είναι πολλές, αφορούν πολύ διαφορετικούς τομείς και είναι δύσκολο να ομαδοποιηθούν. Κάποιοι χρήστες πρότειναν την μείωση των κειμένων και την εισαγωγή περισσότερων και καλύτερων εικόνων ($N = 6$). Άλλες προτάσεις ήταν η βελτίωση του μενού, η εισαγωγή ειδικών βίντεο animation, που να περιγράφουν την εσωτερική λειτουργία, η

αύξηση των πληροφοριών, η επέκταση και σε άλλες εφευρέσεις της ελληνοιστικής περιόδου κ.α.

Στην ερώτηση «Δεδομένης της συνολικής σου εμπειρίας σου με τον ιστότοπο, θα τον πρότεινες σε κάποιον φίλο σου;», οι περισσότεροι χρήστες θα τον πρότειναν ($N = 21$), κάποιιοι άλλοι δεν θα τον πρότειναν ($N = 13$), ενώ οι υπόλοιπες απαντήσεις αναφέρουν ότι ίσως ή μπορεί να τον πρότειναν ($N = 7$).

8.2.2. Ποιοτικός και χρηστικός έλεγχος των εφαρμογών που παρουσιάστηκαν με ΕπΕΠ

Για τον ποιοτικό και, κυρίως, για το χρηστικό έλεγχο των εφαρμογών που αναπτύχθηκαν για να παρουσιαστούν με Επιτραπέζια ΕΠ, χρησιμοποιήθηκε ένα ερωτηματολόγιο που βασίστηκε σε ένα ήδη επικυρωμένο και ελεγμένο για την αξιοπιστία του (Fokides et al., 2019). Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας προστέθηκαν ένας αριθμός ερωτήσεων. Επιπρόσθετα, δεν ήταν δυνατή η παραγοντική και επιβεβαιωτική του ανάλυση, καθώς το δείγμα σε αυτή τη φάση ήταν μικρό. Συνεπώς, ως ένα βαθμό, υπάρχουν επιφυλάξεις για τα αποτελέσματα, έτσι όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια, και θα πρέπει να εκληφθούν ως ενδεικτικά. Σε κάθε περίπτωση, το ερωτηματολόγιο εξέτασε 10 παράγοντες με ένα σύνολο 49 ερωτήσεων. Συγκεκριμένα, η Τεχνική αρτιότητα εξετάστηκε με πέντε ερωτήσεις, το Γνωστικό φορτίο με τέσσερις, ο Έλεγχος πάνω στην εφαρμογή με τρεις, η Σύνδεση με τα προσωπικά ενδιαφέροντα με τέσσερις, η Ευκολία χρήσης με πέντε, η Απόλαυση/Διασκέδαση με επτά, η Ανατροφοδότηση με τέσσερις, η Αλληλεπίδραση με τέσσερις, τα Κίνητρα με επτά, και η Υποκειμενική αποτελεσματικότητα στη μάθηση με έξι. Οι ερωτήσεις παρουσιάστηκαν σε 5-βάθμια κλίμακα τύπου Likert (από το 1-διαφωνώ απόλυτα έως το 5-συμφωνώ απόλυτα).

Συμμετείχαν συνολικά 41 άτομα. Οι συμμετέχοντες ήταν φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Οι χρήστες αφού αλληλεπίδρασαν ελεύθερα με την εφαρμογή για 30 λεπτά, έπειτα συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο που τους δόθηκε για 10 λεπτά.

Η κλίμακα ελέγχθηκε για την αξιοπιστία της χρησιμοποιώντας το α του Cronbach. Αυτό βρέθηκε να είναι πολύ πάνω από το όριο του 0,70 (0,90), κάτι που υποδηλώνει πολύ ικανοποιητική εσωτερική συνοχή (Taber, 2018). Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν 10 νέες μεταβλητές, μία για κάθε παράγοντα που περιλάμβανε. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 25.

Πίνακας 25. Περιγραφικά στοιχεία για τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου για την ΕπΕΠ

Παράγοντας	Αποτελέσματα			
	(N = 41)			
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Τεχνική αρτιότητα	3,00	5,00	4,33	0,44
Γνωστικό φορτίο	2,00	5,00	4,26	0,68
Έλεγχος πάνω στην εφαρμογή	1,33	5,00	4,45	0,72
Σύνδεση με τα προσωπικά ενδιαφέροντα	1,00	5,00	3,86	0,91
Ευκολία χρήσης	3,60	5,00	4,64	0,41
Απόλαυση/Διασκέδαση	3,00	5,00	4,61	0,51
Ανατροφοδότηση	3,25	5,00	4,46	0,60
Αλληλεπίδραση	3,75	5,00	4,60	0,41
Κίνητρα	3,00	5,00	4,35	0,62
Υποκειμενική αποτελεσματικότητα	2,00	5,00	4,50	0,62

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Σε όλους του παράγοντες, με εξαίρεση έναν, η βαθμολογία των συμμετεχόντων ήταν υψηλή (> 4,26), κάτι που σημαίνει ότι οι συμμετέχοντες έμειναν πολύ ικανοποιημένοι από όλα τα στοιχεία που εξετάστηκαν.
- Η μόνη περίπτωση όπου ο μέσος όρος ήταν μικρότερος του 4,00 ($M = 3,86$, $SD = 0,91$) αφορούσε τον παράγοντα «Σύνδεση με τα προσωπικά ενδιαφέροντα». Αυτό, πιθανότατα οφείλεται στο ότι οι αρχαίες Ελληνικές εφευρέσεις, ως γνωστικό αντικείμενο, δεν ενέπιπταν, σε μεγάλο βαθμό, στα ενδιαφέροντα των συμμετεχόντων.
- Ο παράγοντας «Ευκολία χρήσης» είχε τον μεγαλύτερο μέσο όρο ($M = 4,64$, $SD = 0,41$). Αυτό το στοιχείο μπορεί να υποδηλώνει ότι οι συμμετέχοντες θεώρησαν εύχρηστες τις εφαρμογές.
- Το ίδιο συμπέρασμα μπορεί, έμμεσα, να εξαχθεί και από τον παράγοντα «Έλεγχος πάνω στην εφαρμογή», όπου ο μέσος όρος ήταν 4,45.
- Ο παράγοντας «Απόλαυση/Διασκέδαση» είχε τον δεύτερο μεγαλύτερο μέσο όρο ($M = 4,62$, $SD = 0,51$), κάτι που υποδηλώνει ότι οι εφαρμογές, πέρα από εύχρηστες, ήταν και διασκεδαστικές.

- Φαίνεται ότι όλα τα παραπάνω οδήγησαν τους συμμετέχοντες να θεωρήσουν ότι οι εφαρμογές τους έδωσαν κίνητρα για μάθηση ($M = 4,35, SD = 0,62$) και ότι είχαν πολύ θετική επίδραση στο τι θεώρησαν ότι έμαθαν ($M = 4,50, SD = 0,62$).

8.3. Ανάλυση δεδομένων κυρίως έρευνας

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφ. 8), στην έρευνα συμμετείχαν 103 φοιτητές. Τα δεδομένα από τα ερωτηματολόγια και των τριών μέσων εισήχθησαν στο SPSS 28 για περαιτέρω ανάλυση, η οποία έγινε σε διαδοχικές φάσεις όπως αυτές περιγράφονται στη συνέχεια. Η πλήρης ανάλυση στο SPSS, παρατίθεται στο Παράρτημα 2.

8.3.1. Έλεγχος εσωτερικής συνοχής των ερωτηματολογίων

Ο έλεγχος για την εσωτερική συνοχή των ερωτηματολογίων, τόσο συνολικά, όσο και για τους επιμέρους παράγοντες που περιλάμβαναν, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του α του Cronbach (Πίνακας 26). Διαπιστώθηκε ότι στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, η τιμή του α ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη του ορίου 0,70, κάτι που υποδηλώνει πολύ παραπάνω από ικανοποιητική εσωτερική συνοχή (Taber, 2018). Υπήρξαν τέσσερις περιπτώσεις στις οποίες η τιμή ήταν μικρότερη αυτού του ορίου, αλλά σε καμία περίπτωση κάτω από την τιμή 0,60 που θεωρείται αποδεκτή. Συνεπώς, τα ερωτηματολόγια και των τριών μέσων είχαν πολύ ικανοποιητική εσωτερική συνοχή.

Πίνακας 26. Έλεγχος εσωτερικής συνοχής των ερωτηματολογίων

Παράγοντας	Cronbach's α		
	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστος.
Συνολικά	0,96	0,93	0,95
Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα	0,87	0,90	0,93
Γνωστικό φορτίο	0,62	0,86	0,80
Ευκολία χρήσης/Έλεγχος	0,86	0,86	0,87
Εμβύθιση	0,88	0,90	0,94
Παρουσία	0,68	0,94	0,96
Ανατροφοδότηση	0,87	0,88	0,87
Αλληλεπίδραση	0,83	0,87	0,78
Κίνητρα χρήσης	0,90	0,91	0,96

Υποκειμενική αποτελεσματικότητα	0,96	0,91	0,94
Simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα	0,85	0,78	0,85
Simulator sickness-βαριά συμπτώματα	0,93	0,99	0,97
Αρνητικά συναισθήματα	0,90	0,61	0,61
Θετικά συναισθήματα	0,91	0,95	0,97

Σημείωση. Τα σκιασμένα κελιά δείχνουν παράγοντες στους οποίους το α του Cronbach βρέθηκε να είναι μικρότερο της επιθυμητής τιμής 0,70.

8.3.2. Γενικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία

Εφόσον τα δεδομένα από τα ερωτηματολόγια στην προηγούμενη φάση κρίθηκαν αποδεκτά, υπολογίστηκαν 39 νέες μεταβλητές που αντιπροσώπευαν τους μέσους όρους των παραγόντων ανά ερωτηματολόγιο (3 μέσα X 13 παράγοντες). Επίσης, υπολογίστηκαν τρεις επιπλέον μεταβλητές που αποτύπωσαν τον μέσο όρο της βαθμολογίας των συμμετεχόντων στις ερωτήσεις γνώσεων σε κάθε μέσο. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για το σύνολο των μεταβλητών της μελέτης παρουσιάζονται στους πίνακες 27 και 28.

Από τον Πίνακα 26, φαίνεται καθαρά ότι οι περισσότεροι από τους συμμετέχοντες ήταν γυναίκες μεταξύ 18 και 24 ετών. Κάτι τέτοιο ήταν απολύτως αναμενόμενο, καθώς το δείγμα της έρευνας το αποτέλεσαν φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Από τα στοιχεία του Πίνακα 28, φαίνεται ότι υπάρχουν διαφορές στα αποτελέσματα των τριών μέσων, άλλοτε μικρές και άλλοτε μεγαλύτερες. Για να διαπιστωθεί εάν αυτές είναι στατιστικά σημαντικές, διενεργήθηκε η ανάλυση του επόμενου σταδίου.

Πίνακας 27. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τους συμμετέχοντες

Μεταβλητή	Συμμετέχοντες (N = 103)	
	n	%
Άνδρας	28	27,2
Γυναίκα	75	72,8
Ηλικιακή ομάδα 1 (18-24)	87	84,5
Ηλικιακή ομάδα 2 (25-30)	5	4,9

Ηλικιακή ομάδα 3 (31-40)	10	9,7
Ηλικιακή ομάδα 4 (41-55)	1	1,0

Πίνακας 28. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις υπόλοιπες μεταβλητές της μελέτης

Μεταβλητή	ΠΕΕΠ				ΕπΕΠ				Ιστοσελίδες			
	mi	max	<i>M</i>	<i>SD</i>	min	max	<i>M</i>	<i>SD</i>	min	max	<i>M</i>	<i>SD</i>
Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα	3,0	5,00	4,51	0,62	1,67	5,00	4,11	0,80	3,00	5,00	4,51	0,62
Γνωστικό φορτίο	1,0	5,00	4,30	0,81	1,00	5,00	4,34	0,93	1,00	5,00	4,04	0,93
Ευκολία χρήσης/Έλεγχος	2,0	5,00	3,91	0,88	1,33	5,00	3,58	0,92	1,00	5,00	3,40	1,19
Εμβύθιση	1,0	5,00	3,49	1,18	1,00	5,00	2,14	1,07	1,00	5,00	1,81	1,09
Παρουσία	2,5	5,00	4,21	0,77	1,00	5,00	2,92	1,27	1,00	5,00	2,08	1,26
Ανατροφοδότηση	2,6	5,00	4,29	0,66	2,33	5,00	4,11	0,76	2,00	5,00	3,90	0,84
Αλληλεπίδραση	2,6	5,00	4,27	0,66	1,00	5,00	3,45	0,95	1,00	5,00	2,86	1,03
Κίνητρα χρήσης	1,0	5,00	4,34	0,80	2,00	5,00	3,77	0,91	1,00	5,00	3,31	1,14
Υποκειμενική αποτελεσματικότητα	1,0	5,00	3,90	0,92	2,00	5,00	3,86	0,82	1,00	5,00	3,67	0,92
Simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα	1,0	5,00	1,50	0,68	1,00	4,00	1,15	0,38	1,00	4,00	1,09	0,35
Simulator sickness-βαριά συμπτώματα	1,0	5,00	1,15	0,53	1,00	4,00	1,05	0,32	1,00	4,00	1,03	0,30
Αρνητικά συναισθήματα	1,0	5,00	1,19	0,57	1,00	4,00	1,17	0,42	1,00	3,00	1,12	0,35
Θετικά συναισθήματα	1,0	5,00	4,12	0,97	1,00	5,00	3,36	1,19	1,00	5,00	2,86	1,32

Αποτελέσματα	2,0	9,00	6,00	1,59	1,00	10,0	5,78	2,04	1,00	9,00	5,39	1,84
ερωτήσεων γνώσεων	0					0						

8.3.3. Στατιστική ανάλυση διασποράς μίας κατεύθυνσης εξαρτημένων δειγμάτων

Ανάλυση διασποράς μίας κατεύθυνσης εξαρτημένων δειγμάτων (One-way ANOVA repeated measures/within subjects) επρόκειτο να διεξαχθεί για να συγκριθούν τα αποτελέσματα των συμμετεχόντων στα τρία μέσα, τόσο αναφορικά με τις ερωτήσεις γνώσεων όσο και με τους παράγοντες του ερωτηματολογίου. Αυτό, γιατί ο ερευνητικός σχεδιασμός στηρίχθηκε στο ότι ο κάθε συμμετέχων έλαβε μέρος σε όλες τις πειραματικές συνθήκες. Με άλλα λόγια, επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις στο ίδιο σύνολο υποκειμένων και για διαφορετικές συνθήκες, σε μια προσπάθεια να εντοπιστούν τυχόν διαφορές.

Πριν γίνει η ανάλυση, ελέγχθηκε το κατά πόσο πληρούνται οι προϋποθέσεις για τη διεξαγωγή αυτού του είδους της ανάλυσης. Διαπιστώθηκε ότι:

Σε όλα τα μέσα υπήρχε ο ίδιος αριθμός συμμετεχόντων ($N = 103$).

Στη βαθμολογία των ερωτήσεων γνώσεων υπήρχαν ακραίες τιμές (outliers) που όμως δεν συνιστούν πρόβλημα αφού ήταν αναμενόμενο να υπάρξουν περιπτώσεις συμμετεχόντων που είχαν είτε καλά είτε όχι καλά αποτελέσματα.

Τα δεδομένα σε όλες τις περιπτώσεις, δεν είχαν κανονική κατανομή, όπως αυτό εκτιμήθηκε από Q-Q γραφήματα και το Shapiro-Wilk test ($p < 0,05$) (Πίνακας 29).

Ο δείκτης Mauchly's test of sphericity (έλεγχος σφαιρικότητας) ελέγχει κατά πόσο οι διακυμάνσεις των διαφορών μεταξύ κάθε ζεύγους τιμών για κάθε ζεύγος συνθηκών (μεταβλητών) δεν διαφέρουν σημαντικά (η σχέση μεταξύ ζευγών συνθηκών πρέπει να είναι παρόμοια). Το παραπάνω τεστ έδειξε ότι αυτή η προϋπόθεση παραβιάστηκε σε πάνω από τις μισές περιπτώσεις ($p < 0,05$) (Πίνακας 30).

Πίνακας 29. Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας της κατανομής

Μεταβλητή	Μέσο	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	p
Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα	ΠΕΕΠ	0,777	103	< 0,001
	ΕπΕΠ	0,900	103	< 0,001
	Ιστος.	0,943	103	< 0,001
Γνωστικό φορτίο	ΠΕΕΠ	0,793	103	< 0,001

	ΕπΕΠ	0,710	103	< 0,001
	Ιστος.	0,855	103	< 0,001
	ΠΕΕΠ	0,921	103	< 0,001
Ευκολία χρήσης/Έλεγχος	ΕπΕΠ	0,952	103	0,001
	Ιστος.	0,936	103	< 0,001
	ΠΕΕΠ	0,931	103	< 0,001
Εμβύθιση	ΕπΕΠ	0,879	103	< 0,001
	Ιστος.	0,762	103	< 0,001
	ΠΕΕΠ	0,855	103	< 0,001
Παρουσία	ΕπΕΠ	0,934	103	< 0,001
	Ιστος.	0,812	103	< 0,001
	ΠΕΕΠ	0,887	103	< 0,001
Ανατροφοδότηση	ΕπΕΠ	0,903	103	< 0,001
	Ιστος.	0,912	103	< 0,001
	ΠΕΕΠ	0,891	103	< 0,001
Αλληλεπίδραση	ΕπΕΠ	0,962	103	0,005
	Ιστος.	0,968	103	0,013
	ΠΕΕΠ	0,801	103	< 0,001
Κίνητρα χρήσης	ΕπΕΠ	0,920	103	< 0,001
	Ιστος.	0,946	103	< 0,001
	ΠΕΕΠ	0,909	103	< 0,001
Υποκειμενική αποτελεσματικότητα	ΕπΕΠ	0,927	103	< 0,001
	Ιστος.	0,922	103	< 0,001
	ΠΕΕΠ	0,711	103	< 0,001
Simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα	ΕπΕΠ	0,426	103	< 0,001
	Ιστος.	0,276	103	< 0,001
	ΠΕΕΠ	0,306	103	< 0,001
Simulator sickness-βαριά συμπτώματα	ΕπΕΠ	0,138	103	< 0,001
	Ιστος.	0,092	103	< 0,001

Αρνητικά συναισθήματα	ΠΕΕΠ	0,380	103	< 0,001
	ΕπΕΠ	0,457	103	< 0,001
	Ιστοσ.	0,399	103	< 0,001
Θετικά συναισθήματα	ΠΕΕΠ	0,840	103	< 0,001
	ΕπΕΠ	0,944	103	< 0,001
	Ιστοσ.	0,925	103	< 0,001
Αποτελέσματα ερωτήσεων γνώσεων	ΠΕΕΠ	0,947	103	< 0,001
	ΕπΕΠ	0,969	103	0,016
	Ιστοσ.	0,966	103	0,009

Πίνακας 30. Αποτελέσματα Mauchly's test of sphericity

Within Subjects Effect	Mauchly's <i>W</i>	Approx. Chi-Square	<i>df</i>	<i>p</i>
Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα	0,881	12,842	2	0,002
Γνωστικό φορτίο	0,934	6,907	2	0,032
Ευκολία χρήσης/Έλεγχος	0,825	19,409	2	<0,001
Εμβύθιση	0,775	25,687	2	<0,001
Παρουσία	0,962	3,899	2	0,142
Ανατροφοδότηση	0,973	2,774	2	0,250
Αλληλεπίδραση	0,984	1,608	2	0,448
Κίνητρα χρήσης	0,899	10,714	2	0,005
Υποκειμενική αποτελεσματικότητα	0,978	2,256	2	0,324
Simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα	0,791	23,685	2	<0,001
Simulator sickness-βαριά συμπτώματα	0,767	26,858	2	<0,001
Αρνητικά συναισθήματα	0,838	17,794	2	<0,001
Θετικά συναισθήματα	0,983	1,741	2	0,419
Αποτελέσματα ερωτήσεων γνώσεων	0,957	4,489	2	0,106

Σημείωση. Τα σκιασμένα κελιά δείχνουν τις περιπτώσεις όπου παραβιάστηκε η σφαιρικότητα.

Εφόσον υπήρχε παραβίαση της κανονικότητας της κατανομής των δεδομένων και παραβίαση του δείκτη Mauchly's test of sphericity, αποφασίστηκε η χρήση μη παραμετρικής στατιστικής μεθόδου και συγκεκριμένα του ϵ Test by Ranks (Πίνακας 31).

Πίνακας 31. Αποτελέσματα των Friedman's two-way analysis of variance by ranks τεστ για της μεταβλητές της μελέτης

	Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα			Γνωστικό φορτίο			Ευκολία χρήσης/Έλεγχος		
	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.
$N = 103, df = 2$									
Mean Rank	2,51	2,02	1,47	2,04	2,17	1,78	2,25	1,96	1,79
χ^2	72,53			11,69			13,26		
p	< 0,001			0,003			0,001		

Πίνακας 31. (συνέχεια)

	Εμβύθιση			Παρουσία			Ανατροφοδότηση		
	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.
$N = 103, df = 2$									
Mean Rank	2,65	1,86	1,50	2,69	1,94	1,36	2,25	2,01	1,73
χ^2	82,43			104,00			19,00		
p	< 0,001			< 0,001			< 0,001		

Πίνακας 31. (συνέχεια)

	Αλληλεπίδραση			Κίνητρα χρήσης			Υποκειμενική αποτελεσματικότητα		
	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστοσ.
$N = 103, df = 2$									
Mean Rank	2,64	1,96	1,40	2,53	1,90	1,57	2,13	2,06	1,81
χ^2	89,13			62,90			7,56		
p	< 0,001			< 0,001			0,023		

Πίνακας 31. (συνέχεια)

	Simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα			Simulator sickness-βαριά συμπτώματα			Αρνητικά συναισθήματα		
	$N = 103, df = 2$								

	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστος.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστος.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστος.
Mean Rank	2,46	1,83	1,71	2,10	1,95	1,95	2,01	2,03	1,96
χ^2	62,96			13,64			1,26		
p	< 0,001			0,001			0,533		

Πίνακας 31. (συνέχεια)

	Θετικά συναισθήματα			Αποτελέσματα ερωτήσεων γνώσεων		
	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστος.	ΠΕΕΠ	ΕπΕΠ	Ιστος.
$N = 103, df = 2$						
Mean Rank	2,58	1,94	1,49	2,17	2,00	1,83
χ^2	72,22			6,89		
p	< 0,001			0,32		

8.3.4. Post-hoc συγκρίσεις

Εφόσον σε όλες τις περιπτώσεις, πλην μίας, προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, για να εντοπιστούν οι διαφορές μεταξύ των μέσων, πραγματοποιήθηκαν post-hoc συγκρίσεις μεταξύ όλων των πιθανών ζευγών, χρησιμοποιώντας το Wilcoxon Signed Ranks Test που είναι επίσης μη παραμετρικό τεστ, χρησιμοποιώντας, παράλληλα, τη διόρθωση Bonferroni (που ελέγχει καλύτερα για λάθη τύπου Ι). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 32.

Πίνακας 32. Αποτελέσματα post-hoc συγκρίσεων με το Wilcoxon's Signed Ranks Test

	Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα			Γνωστικό φορτίο			Ευκολία χρήσης/Ελεγχος		
	ΕπΕΠ-ΠΕΕΠ	Ιστος.-ΠΕΕΠ	Ιστος.-ΕπΕΠ	ΕπΕΠ-ΠΕΕΠ	Ιστος.-ΠΕΕΠ	Ιστος.-ΕπΕΠ	ΕπΕΠ-ΠΕΕΠ	Ιστος.-ΠΕΕΠ	Ιστος.-ΕπΕΠ
Z	-4,90	-6,89	-5,20	-1,13	-2,39	-2,90	-3,33	-3,60	-1722
$p \text{ adj.}$	0,001	<0,001	<0,001	0,999	0,180	0,014	0,110	0,002	0,629
d_{Cohen}	1,10	1,85	1,19	0,22	0,49	0,60	0,71	0,76	0,34

Σημειώσεις. $p \text{ adj.}$ = τιμή του p με τη διόρθωση Bonferroni. Το d_{Cohen} δείχνει το μέγεθος της επίδρασης (effect size). Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, τιμή 0,20 υποδηλώνει μικρό

μέγεθος επίδρασης, 0,50 μεσαίο, 0,80 μεγάλο και τιμή 1,20 και πάνω υποδηλώνει πολύ μεγάλο μέγεθος επίδρασης.

Πίνακας 32. (συνέχεια)

	Εμβύθιση			Παρουσία			Ανατροφοδότηση		
	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ
<i>Z</i>	-7,42	-7,63	-4,10	-6,97	-8,19	-5,91	-2,38	-4,36	-2,69
<i>p adj.</i>	<0,001	<0,001	0,027	<0,001	<0,001	<0,001	0,263	0,001	0,130
<i>dCohen</i>	2,14	2,28	0,88	1,89	2,73	1,44	0,48	0,95	0,55

Πίνακας 32. (συνέχεια)

	Αλληλεπίδραση			Κίνητρα χρήσης			Υποκειμενική αποτελεσματικότητα		
	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ
<i>Z</i>	-6,50	-7,90	-4,86	-5,59	-6,67	-3,95	-0,74	-2,84	-2,13
<i>p adj.</i>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,059	0,999	0,071	0,210
<i>dCohen</i>	1,67	2,48	1,09	1,32	1,74	0,85	0,15	0,58	0,43

Πίνακας 32. (συνέχεια)

	Simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα			Simulator sickness-βαριά συμπτώματα			Αρνητικά συναισθήματα		
	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ	ΕπΕΠ- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΠΕΕΠ	Ιστοσ.- ΕπΕΠ
<i>Z</i>	-5,621	-6,006	-1,623	-2,231	-2,258	-0,365	-145	-1,312	-0,890
<i>p adj.</i>	<0,001	<0,001	0,999	0,888	0,888	0,999	0,999	0,999	0,999
<i>dCohen</i>	1,32	1,47	0,32	0,45	0,46	0,07	0,03	0,26	0,18

Πίνακας 32. (συνέχεια)

	Θετικά συναισθήματα			Αποτελέσματα ερωτήσεων γνώσεων		
	ΕπΕΠ-ΠΕΕΠ	Ιστοσ.-ΠΕΕΠ	Ιστοσ.-ΕπΕΠ	ΕπΕΠ-ΠΕΕΠ	Ιστοσ.-ΠΕΕΠ	Ιστοσ.-ΕπΕΠ
<i>Z</i>	-5,891	-7,214	-4,352	-0,799	-2,531	-1,680
<i>p adj.</i>	<0,001	<0,001	0,004	0,592	0,040	0,709
<i>dCohen</i>	1,43	2,02	0,95	0,16	0,52	0,34

8.3.5. Επιπλέον ανάλυση

Θεωρήθηκε σκόπιμο να εξεταστεί ποιοι από τους παραπάνω παράγοντες είχαν τελικά επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα των συμμετεχόντων. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δύο βημάτων (2-step multiple linear regression), μία για κάθε μέσο, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Enter. Ως εξαρτημένη μεταβλητή χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα στα τεστ γνώσεων, στο πρώτο βήμα ανεξάρτητες μεταβλητές ήταν το φύλο και η ηλικιακή ομάδα των συμμετεχόντων και στο δεύτερο βήμα ανεξάρτητες μεταβλητές ήταν οι μέσοι όροι των παραγόντων των ερωτηματολογίων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 33, 34 και 35.

Πίνακας 33. Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δύο βημάτων για τις εφαρμογές ΠΕΕΠ

Βήμα 1 σύνοψη μοντέλου	$F(2,102) = 0,65, p = 0,523, R = 0,11, R^2 = 0,01$				
Βήμα 2 σύνοψη μοντέλου	$F(15,87) = 6,20, p < 0,001, R = 0,72, R^2 = 0,52$				
Βήμα 1 ανεξ. μεταβλ.	<i>B</i>	SE B	β	<i>t</i>	<i>p</i>
Φύλο	0,386	0,355	0,108	1,090	0,278
Ηλικιακή ομάδα	-0,094	0,235	-0,040	-0,399	0,691
Βήμα 2 ανεξ. μεταβλ.	0,127	0,301	0,036	0,421	0,675
Φύλο	0,127	0,301	0,036	0,421	0,675
Ηλικιακή ομάδα	0,145	0,192	0,061	0,757	0,451
Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα	-0,781	0,280	-0,305	-2,788	0,007
Γνωστικό φορτίο	0,084	0,160	0,043	0,525	0,601
Ευκολία χρήσης/Ελεγχος	0,104	0,170	0,058	0,613	0,541

Εμβύθιση		0,448	0,154	0,331	2,920	0,004
Παρουσία		0,714	0,245	0,346	2,910	0,005
Ανατροφοδότηση		0,419	0,257	0,174	1,632	0,106
Αλληλεπίδραση		0,100	0,290	0,041	0,345	0,731
Κίνητρα χρήσης		-0,491	0,208	-0,247	-2,366	0,020
Υποκειμενική αποτελεσματικότητα		0,484	0,175	0,282	2,760	0,007
Simulator	sickness-ελαφρά συμπτώματα	0,323	0,249	0,137	1,299	0,198
Simulator	sickness-βαριά συμπτώματα	-1,202	0,314	-0,401	-3,833	<0,001
Αρνητικά συναισθήματα		-0,345	0,242	-0,122	-1,424	0,158
Θετικά συναισθήματα		0,337	0,142	0,205	2,366	0,020

Σημειώσεις. B = unstandardized beta coefficients, SE B = standard errors for B , β = standardized error coefficients, t = t test statistic, p = probability value. Τα σκιασμένα κελιά δείχνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 34. Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης 2 βημάτων για τις εφαρμογές ΕΠΕΠ

Βήμα 1 σύνοψη μοντέλου	$F(2,102) = 1,56, p = 0,215, R = 0,174, R^2 = 0,30$				
Βήμα 2 σύνοψη μοντέλου	$F(15,87) = 1,77, p = 0,56, R = 0,469, R^2 = 0,220$				
Βήμα 1 ανεξ. μεταβλ.	B	SE B	β	t	p
Φύλο	-0,393	0,451	-0,086	-0,872	0,385
Ηλικιακή ομάδα	0,472	0,299	156	1,579	0,117
Βήμα 2 ανεξ. μεταβλ.	-0,606	0,446	-0,133	-1,361	0,177
Φύλο	0,585	0,296	0,193	1,980	0,051
Ηλικιακή ομάδα	-0,021	0,315	-0,008	-0,066	0,947
Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα	0,465	0,227	0,214	2,042	0,044
Γνωστικό φορτίο	-0,105	0,295	-0,055	-0,356	0,722
Ευκολία χρήσης/Ελεγχος	-0,265	0,258	-0,165	-1,030	0,306
Εμβύθιση	0,683	0,445	0,254	1,536	0,128
Παρουσία	0,296	0,349	0,138	0,848	0,399

Ανατροφοδότηση		-0,164	0,308	-0,073	-0,533	0,595
Αλληλεπίδραση		0,229	0,360	0,092	0,637	0,526
Κίνητρα χρήσης		-0,023	0,896	-0,004	-0,025	0,980
Υποκειμενική αποτελεσματικότητα		-0,662	1046	-0,105	-0,633	0,528
Simulator συμπτώματα	sickness-ελαφρά	0,138	0,497	0,029	0,278	0,782
Simulator συμπτώματα	sickness-βαριά	-0,353	0,210	-0,205	-1,678	0,097
Αρνητικά συναισθήματα		0,683	0,445	0,254	1,536	0,128
Θετικά συναισθήματα		0,296	0,349	0,138	0,848	0,399

Πίνακας 35. Αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης 2 βημάτων για τις ιστοσελίδες

Βήμα 1 σύνοψη μοντέλου	$F(2,102) = 2,86, p = 0,062, R = 0,23, R^2 = 0,05$				
Βήμα 2 σύνοψη μοντέλου	$F(15,87) = 1,43, p = 0,152, R = 0,45, R^2 = 0,20$				
Βήμα 1 ανεξ. μεταβλ.	<i>B</i>	SE B	β	<i>t</i>	<i>p</i>
Φύλο	-0,444	0,401	-0,108	-1,107	0,271
Ηλικιακή ομάδα	0,579	0,266	0,212	2,174	0,032
Βήμα 2 ανεξ. μεταβλ.					
Φύλο	-0,368	0,427	-0,089	-0,862	0,391
Ηλικιακή ομάδα	0,483	0,277	0,177	1,744	0,085
Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα	-0,116	0,283	-0,063	-0,409	0,684
Γνωστικό φορτίο	0,210	0,207	0,106	1,010	0,315
Ευκολία χρήσης/Έλεγχος	-0,009	0,215	-0,006	-0,041	0,967
Εμβύθιση	-0,381	0,397	-0,225	-0,960	0,340
Παρουσία	-0,038	0,376	-0,026	-0,101	0,920
Ανατροφοδότηση	-0,534	0,346	-2,44	-1,546	0,126
Αλληλεπίδραση	0,101	0,329	0,056	0,307	0,760
Κίνητρα χρήσης	-0,269	0,289	-0,165	-0,931	0,355
Υποκειμενική αποτελεσματικότητα	1,046	0,323	0,521	3,235	0,002

Simulator συμπτώματα	sickness-ελαφρά	0,367	1,021	0,070	0,359	0,720
Simulator συμπτώματα	sickness-βαριά	-0,384	1,098	-0,062	-0,349	0,728
Αρνητικά συναισθήματα		0,719	0,580	0,135	1,240	0,218
Θετικά συναισθήματα		0,052	0,232	0,037	0,223	0,824

Από την παραπάνω ανάλυση, προκύπτει ότι:

Στις εφαρμογές ΠΕΕΠ, στατιστικά σημαντική επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα είχαν οι παράγοντες «Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα» ($p = 0,007$), «Εμβύθιση» ($p = 0,004$), «Παρουσία» ($p = 0,005$), «Κίνητρα χρήσης» ($p = 0,020$), «Υποκειμενική αποτελεσματικότητα» ($p = 0,007$), «Simulator sickness-βαριά συμπτώματα» ($p < 0,001$), και «Θετικά συναισθήματα» ($p = 0,020$).

Στις εφαρμογές ΕπΕΠ, στατιστικά σημαντική επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα είχε μόνο ο παράγοντας «Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα» αν και οριακά ($p = 0,044$). Οριακά, επίσης, μπορεί να θεωρηθεί ότι το φύλο έπαιξε κάποιο ρόλο ($p = 0,051$), με τους άνδρες να έχουν καλύτερα αποτελέσματα.

Στις εφαρμογές ΕπΕΠ, στατιστικά σημαντική επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα είχε μόνο ο παράγοντας «Υποκειμενική αποτελεσματικότητα» ($p = 0,002$).

8.3.6. Συμπεράσματα της ανάλυσης, επιβεβαίωση ή μη των ερευνητικών υποθέσεων

Αναφορικά με τις ερευνητικές υποθέσεις που έθεσε η παρούσα εργασία, διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

- ΕΥ1. Η χρήση εφαρμογών ΠΕΕΠ θα επιφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα συγκριτικά με τη χρήση εφαρμογών ΕπΕΠ και ιστοσελίδων, που έχουν παρόμοιο περιεχόμενο.

Από την ανάλυση το αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι η υπόθεση ισχύει μερικώς. Αυτό γιατί υπήρξαν καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,17$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,83$, $p = 0,04$, $d_{Cohen} = 0,52$ -μεσαίο), αλλά όχι συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,17$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 2,00$, $p = 0,592$, $d_{Cohen} = 0,16$ -μικρό).

- ΕΥ2. Οι χρήστες θεωρούν ότι οι εφαρμογές ΠΕΕΠ προσφέρουν καλύτερη μαθησιακή εμπειρία συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ και ιστοσελίδων, που έχουν παρόμοιο

περιεχόμενο. Για το σκοπό αυτό, μελετήθηκε σειρά παραγόντων που θεωρήθηκε ότι διαμορφώνουν τη μαθησιακή εμπειρία και προέκυψε ότι:

- Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ έχουν μεγαλύτερη αισθητική και τεχνική αρτιότητα συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,51$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 2,02$, $p = 0,001$, $d_{Cohen} = 1,10$ -πολύ μεγάλο) και τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,17$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,47$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 1,85$ -πολύ μεγάλο).
- Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ δεν επιφέρουν μεγαλύτερο γνωστικό φορτίο ούτε συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,04$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 2,17$, $p = 0,999$, $d_{Cohen} = 0,22$ -μικρό), αλλά και ούτε συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,04$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,78$, $p = 0,180$, $d_{Cohen} = 0,49$ -μεσαίο).
- Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ έχουν την ίδια ευκολία χρήσης και έλεγχο της εφαρμογής συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,25$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 1,96$, $p = 0,110$, $d_{Cohen} = 0,71$ -μεσαίο), αλλά θεωρείται ότι έχουν μεγαλύτερη ευκολία χρήσης και προσφέρουν καλύτερο έλεγχο της εφαρμογής συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,25$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,79$, $p = 0,002$, $d_{Cohen} = 0,76$ -μεσαίο).
- Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ προσφέρουν μεγαλύτερη εμπύθιση συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,65$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 1,86$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 2,14$ -πολύ μεγάλο), αλλά και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,65$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,50$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 2,28$ -πολύ μεγάλο).
- Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ προσφέρουν μεγαλύτερη αίσθηση της παρουσίας συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,69$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 1,94$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 1,89$ -πολύ μεγάλο), αλλά και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,69$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,36$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 2,73$ -πολύ μεγάλο).
- Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ προσφέρουν την ίδια ανατροφοδότηση συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,25$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 2,01$, $p = 0,263$, $d_{Cohen} = 0,48$ -μεσαίο), αλλά προσφέρουν καλύτερη ανατροφοδότηση συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,25$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,73$, $p = 0,001$, $d_{Cohen} = 0,55$ -μεσαίο).
- Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ προσφέρουν μεγαλύτερη αλληλεπίδραση τόσο συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,64$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 1,96$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 1,67$ -πολύ μεγάλο), όσο και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,64$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,40$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 2,48$ -πολύ μεγάλο).

- Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ προσφέρουν περισσότερα κίνητρα χρήσης τόσο συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,53$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 1,90$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 1,32$ -πολύ μεγάλο), όσο και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,53$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,57$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 1,74$ -πολύ μεγάλο).
- Οι χρήστες θεώρησαν ότι οι εφαρμογές ΠΕΕΠ είχαν την ίδια επίδραση στη μάθησή τους τόσο συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,13$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 2,06$, $p = 0,999$, $d_{Cohen} = 0,15$ -πολύ μικρό), όσο και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,13$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,81$, $p = 0,071$, $d_{Cohen} = 0,58$ -μεσαίο). Υποκειμενική γνωστική επίδραση
- Οι χρήστες εμφάνισαν περισσότερα ελαφρά συμπτώματα simulator sickness τόσο συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,46$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 1,83$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 1,32$ -πολύ μεγάλο), όσο και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,46$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,71$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 1,47$ -πολύ μεγάλο).
- Οι χρήστες εμφάνισαν σε ίδιο βαθμό βαριά συμπτώματα simulator sickness τόσο συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,10$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 1,95$, $p = 0,888$, $d_{Cohen} = 0,45$ -μεσαίο), όσο και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,10$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,92$, $p = 0,888$, $d_{Cohen} = 0,46$ -μεσαίο).
- Οι χρήστες είχαν τον ίδιο βαθμό αρνητικών συναισθημάτων τόσο συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,01$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 2,03$, $p = 0,999$, $d_{Cohen} = 0,03$ -πολύ μικρό), όσο και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,01$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,96$, $p = 0,999$, $d_{Cohen} = 0,26$ -μικρό).
- Οι χρήστες είχαν περισσότερα θετικά συναισθήματα τόσο συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,58$, $Mean Rank_{ΕπΕΠ} = 1,94$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 1,43$ -πολύ μεγάλο), όσο και συγκριτικά με τις ιστοσελίδες ($Mean Rank_{ΠΕΕΠ} = 2,58$, $Mean Rank_{Ιστ.} = 1,49$, $p < 0,001$, $d_{Cohen} = 2,02$ -πολύ μεγάλο).

Συνεπώς, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει, είναι ότι η ΕΥ2 επαληθεύεται, καθώς στους περισσότερους παράγοντες οι εφαρμογές ΠΕΕΠ, είχαν καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ και τις ιστοσελίδες. Συγκεκριμένα, στους παράγοντες «Αισθητική και τεχνική αρτιότητα», «Εμβύθιση», «Παρουσία», «Αλληλεπίδραση», «Κίνητρα χρήσης» και «Θετικά συναισθήματα», οι εφαρμογές ΠΕΕΠ, είχαν καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ και τις ιστοσελίδες. Ακόμα και για τον παράγοντα «Γνωστικό φορτίο», όπου όλες οι εφαρμογές θεωρήθηκε ότι έχουν το ίδιο, και αυτό, από μια πλευρά, μπορεί να θεωρηθεί θετικό στοιχείο, μιας και οι συμμετέχοντες ήρθαν για πρώτη φορά σε επαφή με εφαρμογές ΠΕΕΠ και, λογικά, κάποιος θα περίμενε ότι οι δυσκολίες χρήσης που

θα αντιμετώπιζαν θα είχαν γενικότερες αρνητικές επιδράσεις. Όμως, κάτι τέτοιο δεν επαληθεύτηκε, καθώς στον παράγοντα «Ευκολία χρήσης», οι εφαρμογές ΠΕΕΠ θεωρήθηκαν το ίδιο εύχρηστες με τις εφαρμογές ΕπΕΠ (παραδόξως θεωρήθηκε ότι είναι πιο εύχρηστες από τις ιστοσελίδες), που και αυτό είναι θετικό στοιχείο.

Επίσης, θετικό είναι το γεγονός ότι δεν υπήρξαν πολλά περιστατικά βαριών συμπτωμάτων simulator sickness, κάτι που οδήγησε στο να μην υπάρχουν διαφορές μεταξύ των μέσων. Το μόνο αρνητικό στοιχείο που προκύπτει από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι το ότι τα ελαφρά συμπτώματα simulator sickness ήταν πολύ περισσότερα στις εφαρμογές ΠΕΕΠ, αν και κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο. Στον παράγοντα «Ανατροφοδότηση» τα αποτελέσματα ήταν τα ίδια συγκριτικά με τις εφαρμογές ΕπΕΠ, αλλά καλύτερα συγκριτικά με τις ιστοσελίδες, κάτι που δείχνει την υπεροχή της ΠΕΕΠ σε σχέση με περισσότερο συμβατικά μέσα. Στον παράγοντα «Αρνητικά συναισθήματα» δεν υπήρξαν διαφορές μεταξύ των μέσων, κάτι που όμως, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, δεν ίσχυσε για τον παράγοντα «Θετικά συναισθήματα», όπου, και πάλι, οι εφαρμογές ΠΕΕΠ υπερείχαν.

Τέλος, ο παράγοντας «Υποκειμενική αποτελεσματικότητα», προκαλεί έναν προβληματισμό, καθώς φάνηκε ότι οι συμμετέχοντες θεώρησαν ότι και τα τρία μέσα τους βοήθησαν εξίσου στο να μάθουν. Το στοιχείο αυτό, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη μαζί με το γεγονός ότι, σε επίπεδο μαθησιακών αποτελεσμάτων, οι εφαρμογές ΠΕΕΠ ξεπέρασαν, μόνο τις ιστοσελίδες και αυτό οριακά. Περαιτέρω ανάλυση για αυτά τα ευρήματα θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

- ΕΥ3. Η μαθησιακή εμπειρία διαμορφώνει τα γνωστικά αποτελέσματα στις εφαρμογές ΠΕΕΠ. Από την ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης 2 βημάτων, πράγματι, προέκυψε ότι αρκετοί από τους παράγοντες που εξετάστηκαν είχαν επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα των συμμετεχόντων. Συγκεκριμένα, είχαν θετική επίδραση 6 παράγοντες «Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα» ($p = 0,007$), «Εμβύθιση» ($p = 0,004$), «Παρουσία» ($p = 0,005$), «Κίνητρα χρήσης» ($p = 0,020$), «Υποκειμενική αποτελεσματικότητα» ($p = 0,007$), και «Θετικά συναισθήματα» ($p = 0,020$). Θετικό μπορεί να χαρακτηριστεί και το γεγονός ότι ο παράγοντας «Simulator sickness-ελαφρά συμπτώματα» δεν είχε κάποια επίδραση ($p = 0,198$). Συνεπώς, η ΕΥ3 επαληθεύεται σε μεγάλο βαθμό.

Από την άλλη, ο παράγοντας «Simulator sickness-βαριά συμπτώματα» είχε αρνητική επίδραση και μάλιστα πολύ σημαντική ($p < 0,001$), αν και κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο. Επίσης, δεν είχαν καμία επίδραση οι παράγοντες «Γνωστικό φορτίο» ($p = 0,601$), «Ευκολία χρήσης/Ελεγχος» ($p = 0,541$), «Ανατροφοδότηση» ($p = 0,106$), «Αλληλεπίδραση» ($p = 0,731$)

και «Αρνητικά συναισθήματα» ($p = 0,158$). Τέλος, είναι αρκετά ενδιαφέρον το γεγονός ότι το φύλο και η ηλικιακή ομάδα των συμμετεχόντων δεν είχαν κάποια επίδραση ($p = 0,278$ και $p = 0,691$ αντίστοιχα), πράγμα που σημαίνει ότι τα παραπάνω αποτελέσματα ισχύουν ανεξάρτητα από το φύλο και την ηλικία των συμμετεχόντων.

Αναφορικά με τους παράγοντες που είχαν επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα στα άλλα μέσα, έκπληξη προκαλεί το γεγονός σχεδόν κανένας παράγοντας δεν είχε κάποια επίδραση. Συγκεκριμένα, στις εφαρμογές ΕπΕΠ, το φύλο και ο παράγοντας «Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα» φαίνεται να επηρεάζουν τη μάθηση. Αντίστοιχα, στις ιστοσελίδες, μόνο ο παράγοντας «Υποκειμενική αποτελεσματικότητα» έπαιξε κάποιο ρόλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΖΗΤΗΣΗ

9.1. Εισαγωγή

Η ανάλυση των tests και των ερωτηματολογίων, που χρησιμοποιήθηκαν για τα τρία μέσα της παρούσας έρευνας, έφεραν στο φως ευρήματα τα οποία χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης και συζήτησης. Διαρθρώνεται στα εξής μέρη: αρχικά, συζητούνται τα μαθησιακά αποτελέσματα, έπειτα οι παράγοντες εμπειρίας στην ΕΠ και, τέλος, η επίδραση των παραγόντων στα μαθησιακά αποτελέσματα. Μετά την κυρίως συζήτηση επί των ευρημάτων, ακολουθούν οι περιορισμοί και προτάσεις για μελλοντικές έρευνες και οι επιδράσεις της έρευνας στην επιστήμη και την εκπαίδευση.

9.2. Συζήτηση για τα μαθησιακά αποτελέσματα

Δεν χωρά αμφιβολία, ότι η ΠΕΕΠ επιφέρει θετικά μαθησιακά αποτελέσματα, Αυτό αποκαλύπτει ένα πλήθος εμπειρικών ερευνών (ενδεικτικά, Abichandani et al., 2019· Andreoli et al., 2016· Fanini et al., 2018· Luigini et al., 2020· Pappa et al., 2018). Το λογικό ερώτημα όμως που ανακύπτει είναι, αν και σε ποιο βαθμό είναι καλύτερη, σε σύγκριση με άλλα μέσα.

Υπάρχουν έρευνες, στις οποίες η ΠΕΕΠ υπερτερεί και άλλες, στις οποίες η ΠΕΕΠ εμφανίζεται ισοδύναμη με τα συγκρινόμενα μέσα. Για παράδειγμα, στην έρευνα των Zhao et al. (2018) που αφορούσε μουσειακή εκπαίδευση, παρόλο που η ΠΕΕΠ υπερτερούσε στην παρουσία από την εικόνα σε monitor, δεν υπήρξε διαφοροποίηση στα μαθησιακά αποτελέσματα. Κάτι αντίστοιχο διαπιστώθηκε στην έρευνα των Bittussi και Chittaro (2018) στην εκπαίδευση εκκένωσης αεροσκάφους και στην έρευνα των Cheng et al. (2017) στην εκμάθηση ιαπωνικών. Από την άλλη μεριά, σε πολλές έρευνες αποκαλύπτεται υπεροχή της ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, Checa & Bustillo, 2020: ιστορία, Checa et al., 2016: ιστορία, Ogbuanya, & Onele 2018: ηλεκτροτεχνία). Ακόμη, υπάρχουν έρευνες στις οποίες η ΠΕΕΠ εμφανίζεται να υπολείπεται συγκριτικά με τα υπόλοιπα μέσα (ενδεικτικά, Makransky et al., 2019: φυσικές επιστήμες, Moreno & Mayer, 2004: βιολογία, Parong & Mayer, 2021a: βιολογία, Parong & Mayer, 2021b: ιστορία). Μάλιστα, σε αυτές τις έρευνες γίνεται λόγος για περίσπαση του υποκειμένου από το εικονικό περιβάλλον. Όπως φαίνεται από τις ενδεικτικές έρευνες που παρατίθενται, προκύπτει ασυμφωνία των ερευνών στα γνωστικά αντικείμενα.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι δεν υπάρχει σαφής και καθολική απάντηση στο αν η ΠΕΕΠ είναι καλύτερη μαθησιακά, από άλλα μέσα. Επίσης, ένα ακόμη στοιχείο που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η πληθώρα των διαφορετικών μέσων με τα οποία συγκρίνεται η ΠΕΕΠ

(ενδεικτικά, εκπαιδευτικά video, ΕπΕΠ, φυσικός κόσμος). Αυτό το στοιχείο, καθιστά την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων περισσότερο ομιχλώδη.

Οι ασυμφωνίες των ερευνών στα αποτελέσματα, στα μέσα και στα γνωστικά αντικείμενα, φανερώουν ότι είναι σχετικά επισφαλής η στήριξη στην υφιστάμενη βιβλιογραφία. Παρόλα αυτά, για την εξαγωγή περισσότερο ασφαλών συμπερασμάτων, στην παρούσα έρευνα έγινε σύγκριση της ΠΕΕΠ με άλλα δυο μέσα, επομένως η ερευνητική βιβλιογραφία επεκτείνεται και εμπλουτίζεται.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δεδομένων, οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι οι μαθησιακές επιδράσεις των τριών μέσων, ήταν «σχετικά» ισοδύναμες. Προέκυψε μεν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση υπέρ της ΠΕΕΠ έναντι της των ιστοσελίδων, όμως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως οριακή ($p = 0,04$) και με μικρό μέγεθος επίδρασης ($d_{cohen} = 0,052$). Επίσης, μεταξύ της ΠΕΕΠ και της ΕπΕΠ, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p = 0,592$), όπως επίσης και μεταξύ της ΕπΕΠ και των ιστοσελίδων ($p = 0,709$). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με μετα-έρευνες που εντοπίζουν θετική επίδραση, αλλά με μικρό μέγεθος επίδρασης (ενδεικτικά, Coban et al., 2022· Wu et al., 2020).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα αποτελέσματα των παρόμοιων εμπειρικών ερευνών αποκλίνουν μεταξύ τους. Σε κάποιες έρευνες, η ΠΕΕΠ εμφανίζεται καλύτερη από τα υπόλοιπα μέσα, ενώ σε άλλες εμφανίζεται να έχει παρόμοια ή και χειρότερη μαθησιακή επίδραση. Η παρούσα έρευνα συγκλίνει με τις δυο πρώτες περιπτώσεις. Η ΠΕΕΠ εμφανίζεται καλύτερη, αν και οριακά, από τις ιστοσελίδες, όμως, ταυτόχρονα, δεν προκύπτει σημαντική διαφορά από την ΕπΕΠ.

Αυτή η διττή φύση των αποτελεσμάτων της έρευνας, αλλά και των ερευνών ως σύνολο, ίσως να οφείλεται στην κάθε φορά σύγκριση της ΠΕΕΠ με διαφορετικό μέσο την κάθε φορά. Για παράδειγμα, στην έρευνα των Checa et al. (2016), το άλλο μέσο ήταν ένα video, ενώ στην παρούσα έρευνα τα μέσα ήταν η ΕπΕΠ και οι ιστοσελίδες. Ακόμη, στην έρευνα των Marín-Morales et al. (2019), το έτερο μέσο ήταν η επίσκεψη στον φυσικό χώρο, ενώ στην έρευνα των Loizides et al. (2014), ήταν οθόνη με γυαλιά (passive type glasses). Επιπρόσθετα, στην έρευνα της Petrelli (2019), έγινε σύγκριση της ΠΕΕΠ με AR tablet. Ίσως λοιπόν, οι δυνατότητες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε μέσου, να επηρεάζουν τα αποτελέσματα και κάποια μέσα να υπολείπονται της ΠΕΕΠ, ενώ άλλα να παρουσιάζουν παρόμοια γνωστική επίδραση.

Τα τρία μέσα της παρούσας έρευνας (ΠΕΕΠ, ΕπΕΠ και ιστοσελίδες) διαφέρουν ως προς τον τρόπο και το πλαίσιο παρουσίασης των πληροφοριών, αλλά όχι στην ποσότητα ή την ποιότητα των πληροφοριών που παρουσιάζουν. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι στην ΠΕΕΠ το όλο πλαίσιο παρουσίασης των πληροφοριών είναι πολύ εντυπωσιακό, μιας και ο χρήστης

αποκόπτεται τελείως από το φυσικό περιβάλλον και εμβυθίζεται στον εικονικό κόσμο, ο οποίος είναι αλληλεπιδραστικός και είναι σχεδιασμένος με ρεαλιστικά τρισδιάστατα γραφικά. Λιγότερο εντυπωσιακό πλαίσιο παρουσίασης των πληροφοριών αποτελεί η ΕπΕΠ, όπου ναι μεν υπάρχει ο ίδιος τρόπος παρουσίασης των πληροφοριών (κείμενο, αφήγηση διανθισμένη με εικόνες), όμως ο χρήστης δεν εμβυθίζεται στον ίδιο βαθμό με την ΠΕΕΠ, καθώς βλέπει τον κόσμο μέσα από την οθόνη και αλληλεπιδρά μέσω πληκτρολογίου και ποντικιού. Τέλος, στις ιστοσελίδες, το πλαίσιο της παρουσίασης των πληροφοριών διαφέρει από τα άλλα δυο μέσα. Η παρουσίαση των πληροφοριών γίνεται μέσα από γραπτά κείμενα και βίντεο, μέσα από έναν «συμβατικό» χώρο ιστοσελίδων. Με βάση τα παραπάνω, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι γενικά ο καλύτερος τρόπος παρουσίασης των πληροφοριών είναι μέσω των τεχνολογιών της ΠΕΕΠ.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν, είναι η φύση του πληροφοριακού υλικού και των ερωτήσεων. Και στα τρία μέσα, το πληροφοριακό υλικό, αλλά και οι απαντήσεις αφορούσαν περισσότερο δηλωτική γνώση-απομνημόνευση και όχι δεξιότητες. Για παράδειγμα, και στα τρία μέσα, ο χρήστης ενημερωνόταν για τον αιώνα της κάθε εφεύρεσης και έπειτα, έπρεπε να απαντήσει στην αντίστοιχη ερώτηση των test. Δεν αποτελεί παράδοξο λοιπόν, ότι τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν οριακή υπεροχή της ΠΕΕΠ συγκριτικά με τις ιστοσελίδες και ισοδυναμία της ΠΕΕΠ με την ΕπΕΠ. Ενδεχομένως, εάν το πληροφοριακό υλικό και αντίστοιχα οι ερωτήσεις αφορούσαν περισσότερο δεξιότητες η ΠΕΕΠ να εμφάνιζε μεγαλύτερη διαφορά από τα άλλα μέσα. Εμπειρικές έρευνες στον χώρο της ΕΠ, αποκαλύπτουν ευεργετική επίδραση της ΠΕΕΠ στη ανάπτυξη δεξιοτήτων (ενδεικτικά, Çakiroğlu, & Gökoğlu, 2019, δεξιότητες αντιμετώπισης πυρκαγιάς, John et al., 2017, δεξιότητες οδήγησης αναπηρικού αμαξιδίου, Lohre et al., 2020, δεξιότητες ορθοπεδικού χειρουργείου, Koutitas et al., 2019, δεξιότητες οδήγησης ασθενοφόρου).

Αναφορικά με τη σύγκριση της μαθησιακής επίδρασης της ΕπΕΠ με τις ιστοσελίδες, η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας δεν δείχνει διαφοροποίηση. Αυτό το εύρημα έρχεται σε αντίθεση με πλήθος ερευνών, στις οποίες η ΕπΕΠ εμφανίζεται να υπερέχει από τα υπόλοιπα μέσα, πλην της ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, Lee & Wong, 2014· Srivastava et al., 2019· Zhao et al., 2020). Όπως όμως και με την ΠΕΕΠ, έτσι και στις συγκριτικές έρευνες της ΕπΕΠ με άλλα μέσα, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, γιατί τα μέσα αυτά διαφέρουν (ενδεικτικά, επίσκεψη στον φυσικό κόσμο, διαφάνειες PowerPoint).

9.3. Παράγοντες ΕΠ

9.3.1. Αισθητική/Τεχνική αρτιότητα

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας αποκαλύπτει ότι η ΠΕΕΠ υπερίσχυσε στον παράγοντα αισθητική/τεχνική αρτιότητα, έναντι της ΕπΕΠ ($p = 0,001$) και των ιστοσελίδων ($p < 0,001$).

Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με τα ευρήματα παρόμοιων ερευνών στον χώρο της ΕΠ, όπου αποκαλύπτεται υπεροχή της ΠΕΕΠ στην αισθητική/τεχνική αρτιότητα, έναντι των άλλων μέσων (Casu et al., 2015· Mohamed & Örmecioğlu, 2022). Με βάση λοιπόν τη βιβλιογραφία, τα ευρήματα θα μπορούσαν να θεωρηθούν αναμενόμενα. Ωστόσο, αν αναλογιστούμε τη σχεδίαση των δυο λογισμικών, η υπεροχή της ΠΕΕΠ έναντι της ΕπΕΠ, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μη αναμενόμενη.

Τα δύο λογισμικά συνέκλιναν σε μεγάλο βαθμό στον τομέα της σχεδίασης των γραφικών. Χρησιμοποιήθηκαν ακριβώς τα ίδια περιβάλλοντα γραφικά, οι ίδιοι ήχοι και τα ίδια ηχητικά εφέ. Τα λογισμικά διέφεραν από άποψη σχεδίασης μόνο στις εφευρέσεις, οι οποίες σχεδιάστηκαν στο ίδιο λογισμικό (Blender), από τον ίδιο σχεδιαστή, στον ίδιο βαθμό λεπτομέρειας. Μια πιθανή ερμηνεία αυτού του «παραδόξου» θα μπορούσε να είναι η επίδραση του παράγοντα της εμπύθισης ή και άλλων παραγόντων. Ενδεχομένως, η μεγαλύτερη εμπύθιση που επιτελείται από στο ΠΕΕΠ λογισμικό επηρεάζει (εκτός των άλλων παραγόντων) και τον παράγοντα της αισθητικής/τεχνικής αρτιότητας. Όπως θα συζητηθεί παρακάτω, όντως το λογισμικό ΠΕΕΠ υπερέχει στην εμπύθιση των χρηστών. Ίσως η μεγαλύτερη εμπύθιση στον εικονικό κόσμο, οδηγεί τον χρήστη να «βιώσει» υπό διαφορετικό πρίσμα τα τρισδιάστατα γραφικά και τη γενικότερη αισθητική του λογισμικού.

Επιπρόσθετα, η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας αποκαλύπτει υπεροχή της ΕπΕΠ έναντι των ιστοσελίδων. Το εύρημα αυτό ήταν αναμενόμενο, μιας και το λογισμικό χρησιμοποιεί τρισδιάστατα ρεαλιστικά γραφικά, ενώ οι ιστοσελίδες χρησιμοποιούν δισδιάστατα βίντεο και εικόνες.

9.3.2. Γνωστικό φορτίο

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας αποκαλύπτει ισοδυναμία της ΠΕΕΠ τόσο με τις ιστοσελίδες, όσο και με την ΕπΕΠ στον παράγοντα του γνωστικού φορτίου.

Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με τα ευρήματα παρόμοιων ερευνών στον χώρο της ΕΠ (Wenk et al. 2023). Ωστόσο, άλλες έρευνες εμφανίζουν αντίθετα ευρήματα, όπως αυτή των Breves & Stein (2022), των Juliano et al. (2022) ή των Parong & Mayer (2021), όπου

ανιχνεύεται υψηλότερο γνωστικό φορτίο στην ΠΕΕΠ. Επίσης, άλλες έρευνες, όπως η έρευνα των Huang et al. (2020), εμφανίζουν το γνωστικό φορτίο να είναι λιγότερο στην ΠΕΕΠ, σε σύγκριση με άλλα μέσα. Δυστυχώς, η ερευνητική βιβλιογραφία είναι ιδιαίτερα φτωχή στην ανίχνευση αυτού του παράγοντα. Ενώ υπάρχουν έρευνες γύρω από το γνωστικό φορτίο στην ΠΕΕΠ, η συντριπτική πλειοψηφία τους δεν κάνει σύγκριση μέσων, αλλά ερευνά τον παράγοντα μόνο στην ΠΕΕΠ. Το γεγονός αυτό απαντάται σε πολλές έρευνες, οι οποίες κάνουν χρήση μόνο ενός μέσου και όχι σύγκριση μέσων (ενδεικτικά, Albus et al., 2022· Bueno-Vesga et al., 2021· Collins et al., 2019). Κάτι τέτοιο είναι μεν λογικό, καθώς καθιστά την ερευνητική διαδικασία πολύ πιο εύκολη, λιγότερο χρονοβόρα και κοστοβόρα, όμως δημιουργείται ερευνητικό κενό, το οποίο δεν αφήνει περιθώρια εξαγωγής ασφαλών συμπερασμάτων.

Όσον αφορά την παρούσα έρευνα, λόγω καταβολής ιδιαίτερης προσπάθειας στην στάθμιση των πληροφοριών, η ισοδυναμία της ΠΕΕΠ με τα άλλα δύο μέσα δεν αποτελεί έκπληξη. Η ανάπτυξη των μέσων στόχευε στην ισοδυναμία της μαθησιακής τους επίδρασης.

Ίσως τον παράγοντα του γνωστικού φορτίου να τον επηρεάζουν και άλλοι παράγοντες, εκτός από την ισοδύναμη σχεδίαση του γνωστικού φορτίου. Ενδέχεται για παράδειγμα να υπάρχουν δυο μέσα σχεδιασμένα με ακριβώς την ίδια «ποσότητα πληροφοριών», όμως το μετρούμενο γνωστικό τους φορτίο να διαφέρει. Αυτή η διαφορά ίσως προκύπτει από τη διαφορά που έχουν τα μέσα ως προς την παρουσίαση της ίδιας πληροφορίας. Για παράδειγμα, εάν το ένα μέσο την παρουσιάζει γραπτώς και το άλλο μέσο αφηγητικά, ίσως η γραπτή πληροφορία να κουράσει περισσότερο τον χρήστη. Έκτος των παραπάνω, τα πράγματα περιπλέκονται ακόμη περισσότερο λόγω της πιθανής επίδρασης στο γνωστικό φορτίο άλλων παραγόντων της ΕΠ, όπως της εμπύθισης ή της αίσθησης παρουσίας στον εικονικό κόσμο.

Παραφωνία στην παραπάνω ισοδυναμία των μέσων, αποτελεί το αυξημένο γνωστικό φορτίο στην ΕπΕΠ, σε σύγκριση με τις ιστοσελίδες.

9.3.3. Ευκολία χρήσης/Έλεγχος

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας δεν προέκυψε διαφοροποίηση στον παράγοντα ευκολία χρήσης/έλεγχου της ΠΕΕΠ σε σύγκριση με την ΕπΕΠ και η ΠΕΕΠ υπερίσχυσε των ιστοσελίδων. Επομένως, η ΠΕΕΠ απέδωσε καλύτερα από το ένα μέσο και το ίδιο με το άλλο μέσο.

Η υπεροχή της ΠΕΕΠ συμφωνεί με την έρευνα των Miura et al., (2018) και με την έρευνα των Butt et al. (2018). Επίσης, η ισοδύναμη επίδραση ΠΕΕΠ και ΕπΕΠ συμφωνεί με την έρευνα των Pallavicini et al. (2019). Όπως και σε άλλους παράγοντες, έτσι και στον

παράγοντα της ευκολίας χρήσης/ελέγχου, η βιβλιογραφία σε συγκριτικές έρευνες της ΠΕΕΠ με άλλα μέσα είναι περιορισμένη.

Το ευρήματα της έρευνας αποτελούν θετική έκπληξη εάν αναλογιστεί κανείς, ότι η πλοήγηση και η χρήση ιστοσελίδων είναι γενικά πολύ πιο εύκολο εγχείρημα από την πλοήγηση και χρήση εφαρμογών πλήρους εμπύθισης. Μάλιστα, στην παρούσα έρευνα έλαβαν μέρος χρήστες χωρίς πρότερη εμπειρία στην ΠΕΕΠ. Από την άλλη μεριά, η βοήθεια και ο χρόνος εξοικείωσης που δόθηκε στους χρήστες, ίσως έπαιξαν καθοριστικό ρόλο. Επίσης, σε αυτό το θετικό αποτέλεσμα πιθανόν να έχουν παίξει ρόλο τρεις παράγοντες: ο συνδυασμός της πλατφόρμας εκτέλεσης με τη σχεδίαση των εφαρμογών ΠΕΕΠ και η εμπύθιση.

Η πλατφόρμα εκτέλεσης (Oculus Quest) διαθέτει τα χειριστήρια Oculus Touch, με τα οποία ο χρήστης μπορεί να προηγείται και να αλληλεπιδρά με μεγάλη ευκολία. Επιπρόσθετα, η σχεδίαση των εφαρμογών ΠΕΕΠ είναι τέτοια, που επιτρέπει την ελεύθερη πλοήγηση στον εικονικό κόσμο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περπατήσει, να σκύψει και γενικότερα να εκτελέσει οποιαδήποτε κίνηση σώματος, όπως θα έκανε και στον πραγματικό κόσμο, χωρίς να χρησιμοποιήσει τα χειριστήρια. Τα χειριστήρια πρέπει να τα χρησιμοποιήσει μόνο αν τελειώσει ο φυσικός χώρος κίνησης. Εκτός από τη φυσική κίνηση του κορμού του σώματος, η κίνηση των εικονικών χεριών ακολουθεί τη φυσική κίνηση. Ακόμη και όταν ο χρήστης πιάνει κάποιο εικονικό αντικείμενο (grab), η κίνηση που πραγματοποιεί με τα χειριστήρια Oculus Touch προσομοιάζει πολύ με αυτή του φυσικού κόσμου (κλείσιμο χεριού σε σκανδάλη). Όλα τα παραπάνω προσδίδουν -θα μπορούσαμε να πούμε- μια «φυσική κίνηση» στον χρήστη, απόλυτο έλεγχο του avatar και κατ' επέκταση της εφαρμογής.

Τέλος, όπως παρουσιάζεται και παρακάτω, στη συζήτηση για τους παράγοντες της εμπύθισης και της παρουσίας, ίσως η αυξημένη εμπύθιση στο περιβάλλον ΠΕΕΠ δημιουργεί μια «φυσικότητα», ταύτιση και ευκολία στη χρήση και τον έλεγχο των εφαρμογών ΠΕΕΠ.

Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα της έρευνας δεν αποκάλυψαν διαφορά μεταξύ της ΕπΕΠ και των ιστοσελίδων.

9.3.4. Εμπύθιση

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας αποκαλύπτει ότι η ΠΕΕΠ υπερισχύει σε σύγκριση με την ΕπΕΠ ($p < 0,001$) και σε σύγκριση με τις ιστοσελίδες ($p < 0,001$) στην εμπύθιση.

Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με τα ευρήματα παρόμοιων ερευνών στον χώρο της ΕΠ. Οι έρευνες αποκαλύπτουν ότι η ΠΕΕΠ επιτυγχάνει μεγαλύτερη εμπύθιση από τα συγκρινόμενα μέσα (ενδεικτικά, Makransky & Mayer, 2022· Nicolaidou et al., 2023· Zhao et al., 2018).

Τα ευρήματα της έρευνας δεν προκάλεσαν έκπληξη, μιας και αντανακλούν τις δυνατότητες των τριών μέσων. Δεν αποτελεί παράδοξο, η υπερίσχυση της ΠΕΕΠ έναντι των άλλων μέσων, μιας και ο χρήστης αποκόπτεται εντελώς από το φυσικό περιβάλλον και εμβυθίζεται πλήρως στον εικονικό τρισδιάστατο κόσμο. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι η ΠΕΕΠ, σε σύγκριση με άλλα μέσα, πιθανότατα προσφέρει εμπειρίες πρώτου προσώπου (Φωκίδης & Τσολακίδης, 2011).

Επίσης, δεν είναι παράδοξη η υπερίσχυση της ΕπΕΠ έναντι των ιστοσελίδων, μιας και οι ιστοσελίδες δεν διαθέτουν χαρακτηριστικά εμβύθισης (τρειςδιάστατα γραφικά, μεγάλος βαθμός αλληλεπίδρασης).

9.3.5. Παρουσία

Η αίσθηση παρουσίας του χρήστη στον εικονικό κόσμο, αποτελεί έναν από τους περισσότερο ερευνώμενους παράγοντες στον χώρο της ΕΠ. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας αποκαλύπτεται υπεροχή της ΠΕΕΠ συγκριτικά με την ΕπΕΠ ($p < 0,001$) και με τις ιστοσελίδες ($p < 0,001$).

Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με πληθώρα παρόμοιων ερευνών στον χώρο της ΠΕΕΠ, όπου αποκαλύπτεται υπεροχή της ΠΕΕΠ σε σύγκριση με τα συγκρινόμενα μέσα (ενδεικτικά, Al Alam et al., 2021· Buttussi & Chittaro, 2018· Loizides et al., 2014· Loureiro Krassmann et al., 2020· Makransky et al., 2021· Zhao et al., 2018).

Τα ευρήματα ήταν αναμενόμενα και ομοιάζουν με αυτά της εμβύθισης, που είναι συγγενής όρος. Οι τεχνολογίες της ΠΕΕΠ -όταν αναπτυχθούν σωστά- προσφέρουν αυξημένη αίσθηση παρουσίας του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Ο χρήστης εισέρχεται σε μια εγκεφαλική κατάσταση ύπαρξης στον εικονικό κόσμο, λόγω των ρεαλιστικών τρισδιάστατων γραφικών, του ρεαλιστικού ήχου, αλλά και της πλήρους αποκοπής από το φυσικό περιβάλλον. Υπάρχει σύγκλιση των αποτελεσμάτων, με τα σχόλια των χρηστών κατά την ερευνητική διαδικασία, όπου σχεδόν το σύνολο είτε εξέφραζε επιφωνήματα εντυπωσιασμού, είτε σχολίαζε προφορικά για τις εφαρμογές ΠΕΕΠ, ότι «είναι σαν να βρίσκεσαι εκεί». Δυστυχώς, αυτή η «ποιότητα» της αίσθησης παρουσίας στον εικονικό κόσμο, της ταύτισης του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον, είναι εξαιρετικά δύσκολο να περιγράψει με λέξεις ή απλώς παραθέτοντας εικόνες των εφαρμογών ΠΕΕΠ. Θα πρέπει κάποιος όντως να αλληλεπιδράσει με το λογισμικό, με όρους πλήρους εμβύθισης, για να μπορέσει να βιώσει την παρουσία.

Επιπρόσθετα, αναμενόμενη ήταν η υπεροχή της ΕπΕΠ, έναντι των ιστοσελίδων, καθώς αυτές σε αντίθεση με τα λογισμικά, δεν διαθέτουν δομικά στοιχεία (ενδεικτικά, προοπτική

πρώτου προσώπου, τρισδιάστατα γραφικά), τα οποία θα μπορούσαν να προσδώσουν στον χρήστη, αίσθηση παρουσίας στον εικονικό κόσμο.

9.3.6. Ανατροφοδότηση

Όπως αποκαλύπτει η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας, η ΠΕΕΠ υπερτερεί στην ανατροφοδότηση σε σύγκριση με τις ιστοσελίδες ($p = 0,001$), ενώ δεν ανιχνεύεται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ ΠΕΕΠ και ΕπΕΠ και μεταξύ ΕπΕΠ και ιστοσελίδων ($p = 0,263$). Επομένως, η ΠΕΕΠ υπερισχύει από το ένα μέσο και δεν ανιχνεύεται διαφοροποίηση από το άλλο. Δυστυχώς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπάρχει έλλειψη σε έρευνες παραγόντων που να συγκρίνουν μέσα. Δεν εντοπίστηκαν συγκριτικές έρευνες γι' αυτόν τον παράγοντα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως παράδοξα. Τα δύο λογισμικά είναι ομοιάζουν σε μεγάλο βαθμό και στον τομέα της ανατροφοδότησης. Είναι σχεδιασμένα ώστε να παρέχουν παρόμοιες πληροφορίες, αναφορικά με τις ενέργειες του χρήστη στον εικονικό κόσμο. Με βάση τα παραπάνω, αναμενόταν ότι όπως το ΠΕΕΠ λογισμικό, έτσι και στο ΕπΕΠ θα ανιχνευόταν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση. Από την άλλη μεριά, για τους ίδιους λόγους, η μη ανίχνευση διαφοροποίησης μεταξύ ΠΕΕΠ και ΕπΕΠ ήταν αναμενόμενη. Ίσως στις διαφορές των δυο λογισμικών, σε σύγκριση με τις ιστοσελίδες να παίζουν ρόλο άλλοι παράγοντες, στους οποίους ανιχνεύεται διαφοροποίηση, όπως η εμπύθιση και η παρουσία. Εικάζεται, ότι λόγω της μεγάλης εμπύθισης στον εικονικό κόσμο, ίσως ο χρήστης αισθάνεται να λαμβάνει μεγάλη ανατροφοδότηση, μιας και «ζει» την εμπειρία.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα της έρευνας δεν δείχνουν διαφοροποίηση στην ανατροφοδότηση μεταξύ ΕπΕΠ και ιστοσελίδων.

9.3.7. Αλληλεπίδραση

Στον παράγοντα της αλληλεπίδρασης, οι ΠΕΕΠ εφαρμογές επιτυγχάνουν καλύτερα αποτελέσματα από όλα τα μέσα. Επιπρόσθετα, οι ΕπΕΠ εφαρμογές επιτυγχάνουν καλύτερα αποτελέσματα από τις ιστοσελίδες.

Δυστυχώς, δεν εντοπίστηκαν παρόμοιες συγκριτικές έρευνες γι' αυτόν τον παράγοντα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δεν θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως παράλογα ή μη αναμενόμενα. Όπως αναλύεται στο κεφάλαιο του τεχνικού μέρους, οι εφαρμογές ΠΕΕΠ είναι δημιουργημένες έτσι ώστε να είναι εξαιρετικά αλληλεπιδραστικές. Ο σχεδιασμός τους εξαντλούσε το σύνολο των δυνατοτήτων του υλικού και του λογισμικού της

εποχής, στον τομέα της αλληλεπίδρασης. Μάλιστα, μέσω των χειριστηρίων *oculus touch*, ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να πιάσει και να σηκώσει/μετακινήσει αντικείμενα. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού, το οποίο δεν ήταν διαθέσιμο στις ΕπΕΠ εφαρμογές, ο χρήστης είχε απτική αλληλεπίδραση, τόσο με τις αρχαίες εφευρέσεις, όσο και με το περιβάλλον. Επομένως, δεν είναι παράλογο οι χρήστες να αξιολογήσουν τις ΠΕΕΠ εφαρμογές ως περισσότερο αλληλεπιδραστικές από τις ΕπΕΠ. Στις εφαρμογές ΕπΕΠ, η αλληλεπίδραση δεν γινόταν άμεσα-απτικά, αλλά με κλικ του ποντικιού στις αρχαίες εφευρέσεις και στο εικονικό περιβάλλον.

Επίσης, δεν αποτελεί παράδοξο η επίτευξη μεγαλύτερου βαθμού αλληλεπίδρασης των εφαρμογών ΕπΕΠ από τις ιστοσελίδες. Στις ιστοσελίδες δεν παρέχεται η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τις εφευρέσεις και η παρατήρηση υπό οποιαδήποτε γωνία, παρά μόνο η παρακολούθηση βίντεο. Όπως είναι φυσικό, υπάρχει τεράστια διαφορά στις δυνατότητες αλληλεπίδρασης που παρέχονται από ένα σύστημα ΠΕΕΠ, σε σύγκριση με τις ιστοσελίδες.

9.3.8. Κίνητρα χρήσης

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας, αποκαλύπτει υπεροχή της ΠΕΕΠ έναντι της ΕπΕΠ ($p < 0,001$) και των ιστοσελίδων ($p = 0,001$).

Τα ευρήματα συμφωνούν με την έρευνα των Makransky και Lilleholt (2018).

Τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα και συγκλίνουν με τις εντυπώσεις των χρηστών κατά την ερευνητική διαδικασία. Αρκετοί από τους συμμετέχοντες εξέφρασαν προφορικά την επιθυμία να ξαναχρησιμοποιήσουν το λογισμικό ΠΕΕΠ και πρότειναν την ανάπτυξη εφαρμογών ΠΕΕΠ και σε άλλα γνωστικά αντικείμενα (ενδεικτικά, φυσικές επιστήμες). Δεν είναι παράλογη η υπεροχή της ΠΕΕΠ έναντι των άλλων δυο μέσων, μιας και όπως φάνηκε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, υπερισχύσει στην αλληλεπίδραση, στην εμπύθιση, στην αισθητική/ τεχνική αρτιότητα και στην αίσθηση παρουσίας στον εικονικό κόσμο.

Ακόμη, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των κινήτρων χρήσης στην ΕπΕΠ, συγκριτικά με τις ιστοσελίδες.

9.3.9. Υποκειμενική αποτελεσματικότητα

Όπως φάνηκε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας, τα τρία μέσα δεν διαφοροποιούνται στον παράγοντα της υποκειμενικής αποτελεσματικότητας.

Τα ευρήματα συγκλίνουν με τα ευρήματα της παρόμοιας έρευνας των Makransky και Lilleholt (2018), όπου δεν προέκυψε διαφοροποίηση μεταξύ των μέσων. Ωστόσο, στις περισσότερες έρευνες αποκαλύπτεται υπεροχή της ΠΕΕΠ, έναντι των υπόλοιπων μέσων

(ενδεικτικά, Baceviciute et al., 2022· Makransky & Klingenberg, 2022· Sholihin et al., 2020· Zhao et al., 2020). Παρόλα αυτά, η εμπειρική έρευνα του Han (2020), φέρνει στο φως διαφορετικά ευρήματα. Σε αυτή την έρευνα, οι συμμετέχοντες θεωρούν ότι έμαθαν λιγότερο με την ΠΕΕΠ, από ότι με τα monitor. Όπως προκύπτει από την παραπάνω αναφερόμενη βιβλιογραφία, τα ευρήματα ποικίλουν από έρευνα σε έρευνα. Ενδεχομένως, σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τα ευρήματα των ερευνών να είναι η σύγκριση της ΠΕΕΠ με διαφορετικά μέσα.

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας ήταν αναμενόμενα, μιας και η ποιότητα και η ποσότητα των πληροφοριών ήταν σταθμισμένη σε κάθε μέσο. Ο παράγοντας της υποκειμενικής αποτελεσματικότητας συγκλίνει αρκετά -χωρίς να ταυτίζεται- με τα μαθησιακά αποτελέσματα που προέκυψαν. Βέβαια, στα μαθησιακά αποτελέσματα δεν προέκυψε καθολική ισοδυναμία των μέσων, μιας και η ΠΕΕΠ υπερίσχυσε των ιστοσελίδων. Όμως, η στατιστική διαφοροποίηση θα μπορούσε να θεωρηθεί ως οριακή ($p = 0,04$).

9.3.10. Simulator sickness

Αναφορικά με τον παράγοντα simulator sickness, στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των συμπτωμάτων σε ελαφριά και βαριά. Στα ελαφριά συμπτώματα, ανιχνεύτηκε υπεροχή της ΠΕΕΠ έναντι της ΕπΕΠ ($p < 0,001$) και έναντι των ιστοσελίδων ($p < 0,001$). Από την άλλη μεριά, στα βαριά συμπτώματα δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των τριών μέσων.

Οι περισσότερες παρόμοιες εμπειρικές έρευνες στον χώρο της ΠΕΕΠ, δεν διαχωρίζουν τα συμπτώματα σε βαριά και ελαφρά και συγκλίνουν στην στατιστικά σημαντική υπεροχή της ΠΕΕΠ, έναντι των συγκρινόμενων μέσων (ενδεικτικά, Cao et al., 2020· Kim et al., 2012· Porter et al., 2018· Selzer et al., 2019· Zhao et al., 2020).

Τα ευρήματα της βιβλιογραφίας, συμφωνούν με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας. Φαίνεται ότι η ΠΕΕΠ επιφέρει συμπτώματα ζάλης, συγκριτικά με τα συγκρινόμενα μέσα.

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας ήταν αναμενόμενα. Οι χρήστες δεν είχαν ξαναχρησιμοποιήσει σύστημα ΠΕΕΠ και επομένως δεν υπήρχε η απαραίτητη εξοικείωση με το σύστημα, που ενδεχομένως, θα επέτρεπε την απομείωση των ελαφρών συμπτωμάτων simulator sickness. Επιπρόσθετα, αναφορικά με τα βαριά συμπτώματα, δεν μπορεί να θεωρηθεί παράλογη η απουσία τους, διότι υπήρξε η κατάλληλη μέριμνα κατά τη δημιουργία των εφαρμογών ΠΕΕΠ. Οι εφαρμογές ΠΕΕΠ ήταν δημιουργημένες, έτσι ώστε ο χρήστης να κινείται με τα πόδια στον εικονικό κόσμο. Αντίστοιχη πρόβλεψη υπήρξε και κατά την

ερευνητική διαδικασία, όπου χρησιμοποιήθηκε χώρος που επιτρέπει τη φυσική κίνηση του χρήστη και ελαχιστοποιεί την κίνηση με τους μοχλούς των Oculus Touch χειριστηρίων.

9.3.11. Θετικά συναισθήματα

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας αποκαλύπτει υπεροχή της ΠΕΕΠ έναντι της ΕπΕΠ ($p < 0,001$) και των ιστοσελίδων ($p < 0,001$).

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών στον χώρο της ΠΕΕΠ (ενδεικτικά, Büssing et al., 2022· Makransky & Lilleholt, 2018· Makransky & Mayer, 2022· Pallavicini & Pepe, 2019· Parong & Mayer, 2021).

Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα μιας και ομοιάζουν με άλλους παράγοντες που ερευνήθηκαν, όπως η παρουσία. Ήταν αναμενόμενο η ΠΕΕΠ να υπερισχύσει στη δημιουργία θετικών συναισθημάτων (χαρά, ικανοποίηση, ενθουσιασμός, χαλάρωση, συναρπασμός), μιας και η συνολική εμπειρία χρήσης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ανώτερη από τα υπόλοιπα μέσα. Επίσης, ήταν αναμενόμενα αυτά τα αποτελέσματα, γιατί ταιριάζουν με τα προφορικά σχόλια και επιφωνήματα των χρηστών, κατά τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας. Η πλειοψηφία των χρηστών εξέφρασε τον εντυπωσιασμό της με φράσεις και με επιφωνήματα.

Ένα ακόμη αναμενόμενο αποτέλεσμα ήταν και η υπεροχή της ΕπΕΠ, έναντι των ιστοσελίδων, μιας και όπως φάνηκε από την έρευνα σε προηγούμενους παράγοντες, η ΕπΕΠ υπερισχύει.

9.3.12. Αρνητικά συναισθήματα

Στον παράγοντα των αρνητικών συναισθημάτων (στρες, νευρικότητα, ανία, απογοήτευση, εκνευρισμός), η ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας έδειξε ότι τα τρία μέσα δεν διαφοροποιούνται.

Τα ευρήματα της έρευνας συμφωνούν με αυτά των Filter et al. (2020), όπου επίσης δεν προέκυψε διαφοροποίηση μεταξύ των μέσων. Επίσης, συμφωνούν εν μέρη με την έρευνα των Chirico και Gaggioli (2019), όπου δεν προέκυψε διαφοροποίηση των αρνητικών συναισθημάτων, πλην ενός. Ωστόσο, στην έρευνα των Parong και Mayer (2021) η χρήση της ΠΕΕΠ συνδέεται με την εμφάνιση λιγότερων αρνητικών συναισθημάτων σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέσα.

Δυστυχώς, απαντώνται ευάριθμες έρευνες στον χώρο της ΠΕΕΠ, που να συγκρίνουν διαφορετικά μέσα αναφορικά με την επίδραση αρνητικών συναισθημάτων. Επομένως, λόγω

των μικτών ευρημάτων και των λίγων παρόμοιων ερευνών, το βιβλιογραφικό πεδίο εμφανίζεται σκιώδες και καθίσταται σχετικά επισφαλής η στήριξη σε αυτό.

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας στον παράγοντα των αρνητικών συναισθημάτων ήταν αναμενόμενα, καθώς μπορεί το λογισμικό ΠΕΕΠ πρωτίστως και το λογισμικό ΕπΕΠ δευτερευόντως να ενέχουν εντυπωσιακά χαρακτηριστικά (ενδεικτικά, τρισδιάστατα γραφικά, μεγάλο βαθμό αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον), όμως και οι ιστοσελίδες ήταν προσεκτικά σχεδιασμένες και λειτουργικές. Και τα τρία μέσα ήταν απόλυτα λειτουργικά και καλαίσθητα και έτσι θα αποτελούσε έκπληξη η δημιουργία αρνητικών συναισθημάτων.

9.3.13. Σύνοψη της επίδρασης των παραγόντων

Όπως φαίνεται από την παραπάνω συζήτηση, η ΠΕΕΠ υπερισχύει στους περισσότερους παράγοντες, έναντι της ΕπΕΠ και των ιστοσελίδων. Πιο συγκεκριμένα, από το σύνολο των 13 παραγόντων, στους επτά η ΠΕΕΠ υπερισχύει και από τα δύο συγκρινόμενα μέσα (αισθητική/τεχνική αρτιότητα, εμπύθιση, παρουσία, αλληλεπίδραση, κίνητρα χρήσης, simulator sickness ελαφριά συμπτώματα, θετικά συναισθήματα), ενώ σε δύο υπερισχύει μόνο έναντι των ιστοσελίδων (ευκολία χρήσης/έλεγχος, ανατροφοδότηση). Η επίδραση του συνόλου των παραπάνω παραγόντων έχει θετική συμβολή στην συνολική εμπειρία του χρήστη, πλην του παράγοντα simulator sickness. Ακόμη, δεν ανιχνεύτηκε διαφορά των τριών μέσων στην επίδραση τεσσάρων παραγόντων (γνωστικό φορτίο, υποκειμενική αποτελεσματικότητα, simulator sickness βαριά συμπτώματα, αρνητικά συναισθήματα).

9.3.14. Σχέση των παραγόντων εμπειρίας με τη μουσειακή εκπαίδευση

Όπως φάνηκε στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης (βλ. κεφάλαιο 5), τα λογισμικά ΠΕΕΠ που χρησιμοποιούνται στη μουσειακή εκπαίδευση, έχουν ευεργετική επίδραση σε ένα πλήθος παραγόντων (ενδεικτικά, παρουσία, εμπύθιση, ευχαρίστηση, κίνητρα) (ενδεικτικά, Andreoli et al., 2017· Argyriou et al., 2020· Battisti & Stefano, 2018).

Τα θετικά αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών, συμφωνούν με τα αποτελέσματα της παρούσας συγκριτικής έρευνας, όπου φαίνεται ότι η ΠΕΕΠ υπερισχύει στους περισσότερους παράγοντες και από τα δυο άλλα μέσα (αισθητική/τεχνική αρτιότητα, εμπύθιση, παρουσία, αλληλεπίδραση, κίνητρα χρήσης, simulator sickness ελαφριά συμπτώματα, θετικά συναισθήματα). Επομένως, φαίνεται να υπάρχει σύνδεση μεταξύ των παραγόντων εμπειρίας, με τη μουσειακή εκπαίδευση.

Στα πλαίσια της μουσειακής εκπαίδευσης, δεν είναι σημαντικές μόνο οι γνώσεις που οικοδομεί ο επισκέπτης του μουσειακού χώρου με τη δική του βούληση. Σημαντικό ρόλο παίζει και η συνολική εμπειρία που βιώνει σε ένα μουσείο. Τα προλεγόμενα υποδεικνύουν την καταλληλότητα χρήσης του λογισμικού για δράσεις που αφορούν τη μουσειακή εκπαίδευση.

9.4. Επίδραση παραγόντων στα μαθησιακά αποτελέσματα

Όπως προκύπτει από την ως τώρα συζήτηση, η ΠΕΕΠ υπερισχύει στα μαθησιακά αποτελέσματα έναντι των ιστοσελίδων και στους περισσότερους παράγοντες από τα υπόλοιπα μέσα. Η καλύτερη μαθησιακή επίδραση της ΠΕΕΠ συγκριτικά με τις ιστοσελίδες, μπορεί να οφείλεται στην επίδραση των παραγόντων. Η εικασία αυτή, ενισχύεται από τα ευρήματα της παρούσας έρευνας, όπου για το ΠΕΕΠ λογισμικό, ανιχνεύεται επίδραση παραγόντων εμπειρίας στα μαθησιακά αποτελέσματα.

Πιο συγκεκριμένα, στατιστικά σημαντική επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα είχαν παρακάτω 6 παράγοντες: αισθητική/τεχνική αρτιότητα ($p = 0,007$), εμπύθιση ($p = 0,004$), παρουσία ($p = 0,005$), κίνητρα χρήσης ($p = 0,020$), υποκειμενική αποτελεσματικότητα ($p = 0,007$) και θετικά συναισθήματα ($p = 0,020$). Όλοι οι προαναφερόμενοι παράγοντες είχαν θετικό αντίκτυπο στα μαθησιακά αποτελέσματα. Επίσης, θετικό γεγονός αποτελεί ότι ο παράγοντας simulator sickness-ελαφριά συμπτώματα, δεν είχε κάποια επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα.

Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με έρευνες στον χώρο της ΕΠ, που συσχετίζουν παράγοντες με θετικά μαθησιακά αποτελέσματα. Ειδικά για την εμπύθιση, απαντάται πλήθος ερευνών, το οποίο συσχετίζει θετικά τη μάθηση με τον βαθμό εμπύθισης (ενδεικτικά, Kim & Ahn, 2021· Makransky & Mayer, 2022 · Nicolaidou et al., 2023· Zhao et al., 2018). Για παράδειγμα, η μετα-έρευνα των Wu et al. (2020), η οποία εξετάζει τα ευρήματα 35 εμπειρικών ερευνών, καταλήγει στο ότι ο υψηλότερος βαθμός εμπύθισης, οδηγεί σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα. Επίσης, εκτός των εμπειρικών ερευνών, συσχέτιση των παραγόντων εμφανίζεται και σε θεωρητικά μοντέλα ερμηνείας του φαινομένου της μάθησης και της εμπειρίας στην ΕΠ, όπως το μοντέλο Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL), όπου τα μαθησιακά αποτελέσματα συσχετίζονται με ένα πλήθος παραγόντων (ενδεικτικά, εμπύθιση, έλεγχος, παρουσία, κίνητρα, γνωστικό φορτίο) (Makransky & Petersen, 2021).

Εκτός από την εμπύθιση, αρκετές έρευνες στοχεύουν στη συσχέτιση της παρουσίας με τα μαθησιακά αποτελέσματα. Η πλειοψηφία των ερευνών, όπως και τα αποτελέσματα της

παρούσας έρευνας, κάνουν λόγο για θετική συσχέτιση του παράγοντα παρουσία, με τα μαθησιακά αποτελέσματα (ενδεικτικά, Alhalabi, 2016· Checa & Bustillo, 2020· Parong et al., 2020). Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, απαντώνται και έρευνες, όπου ανιχνεύεται αρνητική συσχέτιση ή και μη συσχέτιση μεταξύ παρουσίας και μάθησης (ενδεικτικά, Alhalabi, 2016· Checa & Bustillo, 2020· Parong et al., 2020).

Αναφορικά με τον παράγοντα «κίνητρα χρήσης», λίγες έρευνες στον χώρο της ΠΕΕΠ συσχετίζουν τα κίνητρα με τη μάθηση (ενδεικτικά, Di Natale et al., 2020· Parong & Mayer, 2018). Τα αποτελέσματα αυτών συγκλίνουν με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας όπου αποκαλύπτεται θετική συσχέτιση μεταξύ κινήτρων και των μαθησιακών αποτελεσμάτων.

Από τη βιβλιογραφία σχεδόν απουσιάζουν έρευνες -στα πλαίσια της ΠΕΕΠ- που να ασχολούνται με τη συσχέτιση της των παραγόντων υποκειμενικής αποτελεσματικότητας και μάθησης. Μάλιστα, σπάνια αυτοί οι δυο παράγοντες εξετάζονται στην ίδια έρευνα. Για παράδειγμα, στην έρευνα του Torda (2020) εξετάζονται και οι δύο παράγοντες, χωρίς να διερευνάται τυχόν συσχέτιση τους. Η υποκειμενική αποτελεσματικότητα ήταν αρκετά υψηλή, ενώ οι μαθησιακές επιδόσεις των υποκειμένων μέτριες.

Ομοίως, από τη βιβλιογραφία σχεδόν απουσιάζουν έρευνες στον χώρο της ΠΕΕΠ, που να συσχετίζουν (correlations) τα μαθησιακά αποτελέσματα με τα θετικά και τα αρνητικά συναισθήματα.

Από την άλλη μεριά, ο παράγοντας simulator sickness-βαριά συμπτώματα, όπως ήταν αναμενόμενο, είχε πολύ σημαντική αρνητική επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα ($p < 0,001$). Μελέτες έχουν αποκαλύψει αρνητική επίδραση του στη μάθηση (ενδεικτικά, Bailey & Witmer, 1994· Hsin et al., 2022· Johnson, 1997· Maraj et al., 2017). Ενδεχομένως, με ακόμα καλύτερη σχεδίαση των εφαρμογών ΠΕΕΠ, ώστε να περιοριστεί και άλλο αυτός ο παράγοντας, θα προέκυπταν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα.

Αναφορικά με τους υπόλοιπους παράγοντες, δεν ανιχνεύτηκε συσχέτισή τους στα μαθησιακά αποτελέσματα (ευκολία χρήσης/έλεγχος, ανατροφοδότηση, αλληλεπίδραση, αρνητικά συναισθήματα. Περαιτέρω βελτίωση της σχεδίασης των εφαρμογών ΠΕΕΠ, ίσως επιδρούσε θετικά στους υπόλοιπους παράγοντες και ενδεχομένως να επιτυγχάνονταν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα συγκριτικά με τα άλλα μέσα. Πάντως, από τη βιβλιογραφία σχεδόν απουσιάζουν έρευνες στον χώρο της ΠΕΕΠ συσχετίσεις (correlations) αυτών των παραγόντων με τα μαθησιακά αποτελέσματα. Μια από τις λίγες έρευνες που επιχειρεί κάποιου είδους συσχέτιση, είναι η έρευνα των Sunday et al. (2020). Η έρευνα αφορά τον παράγοντα ευκολία χρήσης και κάνει λόγο για υψηλή ευχρηστία του ΠΕΕΠ λογισμικού

και για υψηλή υποκειμενική αποτελεσματικότητα (και όχι μαθησιακά αποτελέσματα) από τους χρήστες.

Εξαίρεση στην παραπάνω γενική εικόνα αποτελεί η έρευνα του Fokides (2023). Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, σε αυτή τη μεγάλης έκτασης έρευνα, δεν προκύπτει συσχέτιση των ερευνώμενων παραγόντων (κίνητρα, simulator sickness, εμπύθιση, γνωστικό φορτίο, γραφικά, θετικά συναισθήματα, έλεγχος, αλληλεπίδραση, ανατροφοδότηση) με τα μαθησιακά αποτελέσματα.

9.5. Περιορισμοί και μελλοντικές έρευνες

Η υπαγωγή μιας έρευνας σε περιορισμούς αποτελεί αναπόφευκτο γεγονός. Έτσι λοιπόν και η παρούσα έρευνα δεν θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση. Καταρχήν το δείγμα της θα μπορούσε να είναι ακόμα μεγαλύτερο, αφού ως γνωστόν «όσο περισσότερο, τόσο το καλύτερο».

Ένας ακόμα περιορισμός είναι η ομάδα-στόχος του δείγματος, μιας και πρόκειται για φοιτητές. Το δείγμα ήταν μεν κατάλληλο για την ποιότητα και ποσότητα των πληροφοριών που εκτέθηκε, όμως ήταν περιορισμένο σε ηλικίες άνω των 18 ετών. Μια επέκταση της έρευνας θα μπορούσε να είναι η εμπλοκή μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης ή και ατόμων μεγαλύτερης ηλικίας, μιας και οι πληροφορίες και η γενικότερη αλληλεπίδραση (παρακολούθηση λειτουργίας, αρπαγή μηχανικών μερών) κρίνεται ότι βρίσκεται εντός της Ζώνης Επικείμενης Ανάπτυξης τους. Επιπρόσθετα, η έρευνα υπόκειται σε τεχνικούς περιορισμούς που δύναται να επηρεάζουν τα αποτελέσματά της.

Η ποιότητα των μέσων που δημιουργήθηκαν θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πολύ καλή και ίσως συγκρίσιμη με κάποια επαγγελματικά λογισμικά, όμως δεν αποτελεί προϊόν επαγγελματιών σχεδιαστών 3D modeling, σχεδιαστών παιχνιδιών και προγραμματιστών, αλλά ενός δημιουργού. Πιθανότατα, η εμπλοκή κάποιου επαγγελματικού studio με ομάδα ειδικών να επιτύχανε ένα καλύτερο ποιοτικά αποτέλεσμα, ειδικά για τα δύο λογισμικά, μιας η δημιουργία τους είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και απαιτεί πολλές εξειδικευμένες γνώσεις. Πιθανότατα, καλύτερα λογισμικά να επέφεραν θετικότερες μαθησιακές επιδράσεις και καλύτερη εμπειρία χρήσης. Επομένως, μια πιθανή επέκταση της έρευνας, θα ήταν η εμπλοκή ομάδας επαγγελματιών ειδικών επιστημόνων, για τη δημιουργία των λογισμικών.

Το εκπαιδευτικό υλικό που αναπτύχθηκε και η εκπαιδευτική έρευνα, αφορούσε σε περιορισμένα αντικείμενα της τεχνολογίας και της αρχαιολογίας. Μια πιθανή μελλοντική έρευνα, θα ήταν η ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού και άλλων γνωστικών αντικειμένων και η διερεύνηση των επιδράσεων του, εντός των πλαισίων των Α.Π.

Επιπρόσθετα, αν και ο χρόνος που διατέθηκε για χρήση των μέσων ήταν επαρκής, δεν αναπτύχθηκε εκπαιδευτικό υλικό, ούτε έγινε έρευνα σε μεγαλύτερη κλίμακα. Θα ήταν ενδιαφέρουσα μια επέκταση της έρευνας, με διάθεση περισσότερων ωρών και σχεδιασμό μεγαλύτερης κλίμακας εκπαιδευτικού υλικού. Αυτή η επέκταση, εκτός των άλλων, θα διαφώτιζε περισσότερο την επίδραση του simulator sickness, λόγω της μεγαλύτερης εξοικείωσης του χρήστη με τα εικονικά περιβάλλοντα.

Στην έρευνα χρησιμοποιήθηκε ένας τρόπος πλοήγησης του χρήστη (μέσω περπατήματος ή χρήσης μοχλού από το χειριστήριο). Μια επέκταση θα ήταν η ανάπτυξη πολλαπλών τρόπων πλοήγησης για την εξεύρεση του βέλτιστου.

Έναν ακόμη περιορισμό αποτελούν τα εργαλεία της έρευνας (ερωτηματολόγια, tests γνώσεων). Μια ακόμα πρόταση για μελλοντική έρευνα, είναι ο συνδυασμός αυτών των ποσοτικών εργαλείων και με άλλα «συμβατικά» εργαλεία (ενδεικτικά, συνεντεύξεις) ή -και γιατί όχι- χρησιμοποίηση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Επίσης, θα μπορούσαν να επεκταθούν τα ερωτηματολόγια, ανιχνεύοντας επιδράσεις και άλλων παραγόντων εμπειρίας (ενδεικτικά, σύγκλιση με τα προσωπικά ενδιαφέροντα του χρήστη, αυτοαποτελεσματικότητα).

Επιπρόσθετα, η έρευνα πραγματοποιήθηκε με συσκευή Meta Quest. Μια ενδιαφέρουσα επέκταση της έρευνας θα ήταν η εμπλοκή περισσότερο προηγμένων συσκευών (ενδεικτικά, Meta Quest 3) με δυνατότητες Μεικτής Πραγματικότητας.

9.6. Επιδράσεις στην επιστήμη και την εκπαίδευση

Ενώ η ανάπτυξη και οι έρευνες επιδράσεων λογισμικών ΠΕΕΠ πραγματοποιούνται εδώ και δεκαετίες, η στήριξη στην ερευνητική βιβλιογραφία, καθίσταται σχετικά επισφαλής. Αυτό συμβαίνει, όπως έχει ήδη αναφερθεί, λόγω πλήθους παραγόντων όπως η χρήση διαφορετικών μέσων σύγκρισης, η αποφυγή σύγκρισης των λογισμικών ΠΕΕΠ με άλλα μέσα και η ανάπτυξη σε διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα.

Η παρούσα έρευνα, αποτελεί μια προσπάθεια προς τον εμπλουτισμό και τη βελτίωση της ερευνητικής βιβλιογραφίας. Επιδρά ποικιλοτρόπως τόσο στην επιστήμη, όσο και στην εκπαίδευση. Αρχικά, εκτός από τη δεδομένη πρωτοτυπία του θέματος, μιας και πρόκειται για διδακτορική διατριβή, δεν εντοπιστικέ προηγούμενο στη δημιουργία τόσων πολλών εφαρμογών ΕΠ (οκτώ), ακόμα και όταν η δημιουργία πραγματοποιήθηκε από τμήμα Πληροφορικής. Μάλιστα, από τις βιβλιογραφικές επισκοπήσεις, προκύπτει ότι ο μέγιστος αριθμός εφαρμογών που δημιουργούνται -εντός των πλαισίων της ΠΕΕΠ- είναι δύο.

Εκτός από την Πληροφορική στην εκπαίδευση, επηρεάζεται και η μουσειακή εκπαίδευση, καθώς μετά από αιώνες, για πρώτη φορά με τη βοήθεια των τεχνολογιών της ΕΠ, «λαμβάνει σάρκα και οστά» πλήθος σπουδαίων τεχνουργημάτων του αρχαίου κόσμου (ενδεικτικά, ατμοτηλεβόλο του Αρχιμήδη) τα οποία προσφέρονται για παρατήρηση, αλλά και για αλληλεπίδραση. Τα λογισμικά αυτά μπορούν να ενταχθούν και σε τυπική μαθησιακή διαδικασία, σε σενάρια μαθημάτων, τόσο στη Διδακτική της Ιστορίας, όσο και στη Διδακτική της τεχνολογίας και των Φ.Ε. Επομένως, η έρευνα επηρεάζει τη γενικότερη συζήτηση, για ένταξη των συστημάτων ΕΠ στην εκπαίδευση.

Επιπρόσθετα, φωτίζονται τεχνικές πτυχές της ανάπτυξης λογισμικού ΠΕΕΠ, που προστίθενται στην γενικότερη προσπάθεια μείωσης του simulator sickness και εξεύρεσης βέλτιστων τρόπων πλοήγησης στον εικονικό κόσμο.

Ίσως οι σημαντικότερες επιδράσεις της διατριβής αφορούν γενικότερα την Πληροφορική στην Εκπαίδευση, τις τεχνολογίες εμπύθισης και ειδικότερα την ΠΕΕΠ και την ΕΠΕΠ, γιατί ερευνώνται συγκριτικά οι μαθησιακές επιδράσεις και η εμπειρία χρήσης τριών μέσων Πληροφορικής, γεγονός που δεν απαντάται συχνά στην ερευνητική βιβλιογραφία και την επεκτείνει.

Τέλος, η υπερίσχυση της ΠΕΕΠ, στην πλειοψηφία των ερευνώμενων παραγόντων εμπειρίας χρήσης σε συνδυασμό με την ευεργετική μαθησιακή της επίδραση, δημιουργεί προϋποθέσεις για την ανάπτυξη περισσότερων εκπαιδευτικών λογισμικών ΠΕΕΠ και έρευνας των επιδράσεων τους, από μελλοντικούς ερευνητές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν τρία εκπαιδευτικά μέσα. Δημιουργήθηκε ένα λογισμικό ΠΕΕΠ και ένα λογισμικό ΕΠΕΠ, τα οποία αποτελούνται από τέσσερις επιμέρους εφαρμογές το καθένα. Το τρίτο εκπαιδευτικό μέσο που δημιουργήθηκε ήταν οι ιστοσελίδες. Οι ιστοσελίδες δημιουργήθηκαν με χρήση του περιβάλλοντος Google sites και περιλάμβαναν τέσσερις αρχαίες εφευρέσεις.

Η δημιουργία των λογισμικών στηρίχθηκε στις αρχαίες αναφορές των εφευρέσεων και στις ανακατασκευές τους από μουσεία αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας. Η διαδικασία ανάπτυξης λογισμικού περιλάμβανε αρχικά τη σχεδίαση των αρχαίων τεχνουργημάτων (3D modeling) στο λογισμικό Blender, τη δημιουργία του εικονικού κόσμου στο λογισμικό Unity και τη συγγραφή script αντικειμενοστραφή προγραμματισμού σε γλώσσα C#, με τη βοήθεια του λογισμικού Visual studio code.

Η πλατφόρμα εκτέλεσης του λογισμικού ΠΕΕΠ ήταν το σύστημα Oculus Quest. Το λογισμικό ΠΕΕΠ θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερος αλληλεπιδραστικό και ρεαλιστικό, καθώς ο χρήστης είχε τη δυνατότητα παρακολούθησης της λειτουργίας των αρχαίων εφευρέσεων μέσω real time animation και έγινε χρήση ρεαλιστικών τρισδιάστατων γραφικών. Επίσης, είχε τη δυνατότητα απτικής αλληλεπίδρασης και χειρισμού των εφευρέσεων καθώς και αρπαγή (grab) των μηχανικών τους μερών και υποσυστημάτων. Επιπρόσθετα, το λογισμικό παρείχε αφηγήσεις συγχρονισμένες με εικόνες και γραπτά κείμενα, για το ιστορικό πλαίσιο και τη λειτουργία των εφευρέσεων. Τα παραπάνω πληροφοριακά στοιχεία πυροδοτούνταν απτικά από τον χρήστη.

Για το ΕΠΕΠ λογισμικό δημιουργήθηκαν ίδιας ποιότητας τρισδιάστατα γραφικά. Ομοίως με το ΠΕΕΠ λογισμικό, ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να παρακολουθήσει τη λειτουργία των εφευρέσεων μέσω real time animation και είχε αφηγήσεις συγχρονισμένες με εικόνες και γραπτά κείμενα. Ωστόσο, όπως είναι αναμενόμενο, ήταν λιγότερο αλληλεπιδραστικό και ρεαλιστικό καθώς χρησιμοποιήθηκαν συμβατικά μέσα διεπαφής και εικόνας (πληκτρολόγιο, ποντίκι, monitor).

Με χρήση των ιστοσελίδων, οι χρήστες πληροφορούνταν για τη λειτουργία των εφευρέσεων και το ιστορικό τους πλαίσιο μέσα από videos, κείμενα και φωτογραφίες.

Η μεθοδολογική προσέγγιση ήταν η within subjects και έγινε κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε τα μέσα να είναι σταθμισμένα ως προς την ποσότητα και την ποιότητα των πληροφοριών που περιείχαν.

Από τις βιβλιογραφικές επισκοπήσεις, προκύπτει ότι απαντώνται παρόμοια λογισμικά μουσειακής εκπαίδευσης, τα οποία θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως άρτια σε τεχνικό επίπεδο, ωστόσο συνήθως δεν ερευνώνται οι μαθησιακές τους επιδράσεις ή και όταν ερευνώνται, η έρευνα παρουσιάζει μεθοδολογικές αδυναμίες (ενδεικτικά, μικρό δείγμα, μη σύγκριση διαφορετικών μέσων, λίγοι ερευνώμενοι παράγοντες). Επιπρόσθετα, ενώ εντοπίστηκαν λογισμικά, δεν εντοπίστηκε κάποια έρευνα στην ΠΕΕΠ για την αρχαία Ελληνική τεχνολογία.

Μετά τη δημιουργία των λογισμικών και των ιστοσελίδων συγκροτήθηκαν τα ερευνητικά εργαλεία: ερωτηματολόγια και tests γνώσεων. Τα ερωτηματολόγια είχαν σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης μιας σειράς παραγόντων που απαντώνται στη διεθνή ερευνητική βιβλιογραφία για την ΕΠ (εμβύθιση, αλληλεπίδραση, παρουσία, κίνητρα χρήσης, υποκειμενική αποτελεσματικότητα, αισθητική/τεχνική αρτιότητα, γνωστικό φορτίο, ευκολία χρήσης/έλεγχος, ανατροφοδότηση, simulator sickness, θετικά συναισθήματα, αρνητικά συναισθήματα). Τα tests γνώσεων είχαν ως στόχο τη διερεύνηση της μαθησιακής επίδρασης

των μέσων. Το δείγμα της έρευνας ήταν 103 φοιτητές του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Οι χρήστες ήλθαν σε επαφή με το σύνολο των μέσων, μέσω προγραμματισμένων ραντεβού.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας έδειξε ότι οι μαθησιακές επιδράσεις των τριών μέσων ήταν «σχετικά» ισοδύναμες. Προέκυψε μεν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση υπέρ της ΠΕΕΠ σε σύγκριση με τις ιστοσελίδες, όμως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως οριακή και με μικρό μέγεθος επίδρασης. Επίσης, μεταξύ της ΠΕΕΠ και της ΕπΕΠ, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά, όπως επίσης και μεταξύ της ΕπΕΠ και των ιστοσελίδων.

Αναφορικά με την επίδραση των παραγόντων εμπειρίας, η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας έδειξε ότι η ΠΕΕΠ υπερίσχυσε στους περισσότερους παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, από το σύνολο των 13 παραγόντων, στους επτά η ΠΕΕΠ υπερίσχυσε και από τα δύο συγκρινόμενα μέσα (αισθητική/τεχνική αρτιότητα, εμπύθιση, παρουσία, αλληλεπίδραση, κίνητρα χρήσης, simulator sickness ελαφριά συμπτώματα, θετικά συναισθήματα), ενώ σε δύο υπερίσχυσε μόνο έναντι των ιστοσελίδων (ευκολία χρήσης/έλεγχος, ανατροφοδότηση). Η επίδραση του συνόλου των παραπάνω παραγόντων είχε θετική συμβολή στη συνολική εμπειρία του χρήστη, πλην του παράγοντα simulator sickness. Ακόμη, δεν ανιχνεύτηκε διαφορά των τριών μέσων στην επίδραση τεσσάρων παραγόντων (γνωστικό φορτίο, υποκειμενική αποτελεσματικότητα, simulator sickness βαριά συμπτώματα, αρνητικά συναισθήματα).

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας διερεύνησε και την επίδραση των παραγόντων εμπειρίας στα μαθησιακά αποτελέσματα. Πράγματι, ανιχνεύτηκαν επιδράσεις. Πιο συγκεκριμένα, στατιστικά σημαντική επίδραση στα μαθησιακά αποτελέσματα είχαν παρακάτω έξι παράγοντες: αισθητική/τεχνική αρτιότητα, εμπύθιση, παρουσία), κίνητρα χρήσης, υποκειμενική αποτελεσματικότητα και θετικά συναισθήματα. Επίσης, θετικό γεγονός αποτελεί ότι ο παράγοντας simulator sickness-ελαφριά συμπτώματα, δεν είχε κάποια επίδραση.

Συμπερασματικά, αυτό που διαφαίνεται από την παρούσα διατριβή είναι ότι η ΠΕΕΠ υπερισχύσει στην εμπειρία χρήσης και έχει παρόμοια γνωστική επίδραση με τα άλλα δυο μέσα. Η διατριβή επίσης συνεισφέρει στη μουσειακή εκπαίδευση, καθώς δημιουργήθηκε εκπαιδευτικό υλικό ΕΠ για την εκμάθηση αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι με την παρούσα δημιουργία λογισμικών και την έρευνα επιδράσεων, δεν καλύπτεται πλήρως ο χώρος της μουσειακής εκπαίδευσης, καθώς είναι ανεξάντλητος και πολυποίκιλος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Abeelee, V. V., Spiel, K., Nacke, L., Johnson, D., & Gerling, K. (2020). Development and validation of the player experience inventory: A scale to measure player experiences at the level of functional and psychosocial consequences. *International Journal of Human-Computer Studies*, 135, 102370. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.102377>
- Abeyssekera, L., & Dawson, P. (2015). Motivation and cognitive load in the flipped classroom: definition, rationale and a call for research. *Higher education research & development*, 34(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/07294360.2014.934336>
- Abichandani, P., McIntyre, W., Fligor, W., & Lobo, D. (2019). Solar Energy Education Through a Cloud-Based Desktop Virtual Reality System. *IEEE Access*, 7, 147081-147093. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945700>
- Akamca, G. Ö., Yildirim, R. G., & Ellez, A. M. (2017). An Alternative Educational Method in Early Childhood: Museum Education. *Educational Research and Reviews*, 12(14), 688-694. <https://doi.org/10.5897/ERR2017.3145>
- Al Alam, R. T., & Dibben, N. (2021, March). A comparison of presence and emotion between immersive virtual reality and desktop displays for musical multimedia. In *Future Directions of Music Cognition 2021 Virtual Conference Proceedings*. Ohio State University Libraries. <http://eprints.whiterose.ac.uk/172355/>
- Al Zayer, M., MacNeilage, P., & Folmer, E. (2018). Virtual locomotion: a survey. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 26(6), 2315-2334. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2887379>
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers & Education*, 166, 104154. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154>
- Alhalabi, W. (2016). Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. *Behaviour & Information Technology*, 35(11), 919-925. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1212931>
- Alizadehsalehi, S., Hadavi, A., & Huang, J. C. (2019). Virtual Reality for Design and Construction Education Environment. *AEI 2019 1*, 193-203. <https://doi.org/10.1061/9780784482261.023>
- Allcoat, D., & von Mühlhnen, A. (2018). Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement. *Research in Learning Technology*, 26. <https://doi.org/10.25304/rlt.v26.2140>

- Alqahtani, A. S., Daghestani, L. F., & Ibrahim, L. F. (2017). Environments and system types of virtual reality technology in STEM: A survey. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 8(6). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.080610>
- Anamisa, D. R., Yusuf, M., Mufarroha, F. A., & Rohmah, N. (2020). Design of Virtual Reality Application for Taharah Using 3D Blender. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1569, No. 2, p. 022071). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/2/022071>
- Anastasovitis, E., & Roumeliotis, M. (2017). Virtual museum for the antikythera mechanism. In *14th EuroVR International Conference, EuroVR* (pp. 8-9).
- Anastasovitis, E., Ververidis, D., Nikolopoulos, S., & Kompatsiaris, I. (2017, June). Digiart: Building new 3D cultural heritage worlds. In *2017 3DTV Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/3DTV.2017.8280406>
- Andre, L., Durksen, T., & Volman, M. L. (2017). Museums as avenues of learning for children: A decade of research. *Learning Environments Research*, 20(1), 47-76. <https://doi.org/10.1007/s10984-016-9222-9>
- Andreoli, R., Corolla, A., Faggiano, A., Malandrino, D., Pirozzi, D., Ranaldi, M., ... & Scarano, V. (2017). A framework to design, develop, and evaluate immersive and collaborative serious games in cultural heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 11(1), 1-22. <https://doi.org/10.1145/3064644>
- Angelakis, A. N., & Spyridakis, S. V. (2013). Major urban water and wastewater systems in Minoan Crete, Greece. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(3), 564-573. <https://doi.org/10.2166/WS.2013.091>
- Angelakis, A. N., De Feo, G., Laureano, P., & Zourou, A. (2013). Minoan and Etruscan hydro-technologies. *Water*, 5(3), 972-987. <https://doi.org/10.3390/w5030972>
- Angelakis, A. N., Savvakis, Y. M., & Charalampakis, G. (2006). Minoan aqueducts: a pioneering technology. In *1st IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations, Heraklion, Greece* (pp. 423-429).
- Anthes, C., García-Hernández, R. J., Wiedemann, M., & Kranzlmüller, D. (2016, March). State of the art of virtual reality technology. In *2016 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1-19). IEEE. <https://doi.org/10.1109/aero.2016.7500674>

- Antonopoulos, P., & Skoumios, M. (2019). The effect of a stem teaching intervention on the development of practices for planning investigations. *European Journal of Education Studies* 6(7), 270-282. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3517090>
- Argyriou, L., Economou, D., & Bouki, V. (2020). Design methodology for 360 immersive video applications: the case study of a cultural heritage virtual tour. *Personal and Ubiquitous Computing*, 24(6), 843-859. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01373-8>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International journal of social research methodology*, 8(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Armougum, A., Orriols, E., Gaston-Bellegarde, A., Joie-La Marle, C., & Piolino, P. (2019). Virtual reality: A new method to investigate cognitive load during navigation. *Journal of Environmental Psychology*, 65, 101338. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101338>
- Atsikpasi, P., & Fokides, E. (2021). A scoping review of the educational uses of 6DoF HMDs. *Virtual Reality*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00556-9>
- Avilova, L. I. (2009). Models of metal production in the near east. *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 37(3), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.aear.2009.11.005>
- Baceviciute, S., Cordoba, A. L., Wismer, P., Jensen, T. V., Klausen, M., & Makransky, G. (2022). Investigating the value of immersive virtual reality tools for organizational training: An applied international study in the biotech industry. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(2), 470-487. <https://doi.org/10.1111/jcal.12630>
- Bailenson, J., Patel, K., Nielsen, A., Bajscy, R., Jung, S. H., & Kurillo, G. (2008). The effect of interactivity on learning physical actions in virtual reality. *Media Psychology*, 11(3), 354-376.
- Bailey, J. H., & Witmer, B. G. (1994, October). Learning and transfer of spatial knowledge in a virtual environment. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 38, No. 18, pp. 1158-1162). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Battisti, F., & Di Stefano, C. (2018, November). Virtual Reality meets Degas: an immersive framework for art exploration and learning. In *2018 7th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EUVIP.2018.8611753>

- Baudisch, P. (2015). Virtual reality in your living room: technical perspective. *Communications of the ACM*, 58(6), 92-92. <https://doi.org/10.1145/2754393>
- Bharathi, A. K. B. G., & Tucker, C. S. (2015). Investigating the impact of interactive immersive virtual reality environments in enhancing task performance in online engineering design activities. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 57106, p. V003T04A004). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/DETC2015-47388>
- Blain, J. M. (2016). *The complete guide to Blender graphics: computer modeling & animation*. CRC Press.
- Boas, Y. A. G. V. (2013). *Overview of virtual reality technologies*. https://static1.squarespace.com/static/537bd8c9e4b0c89881877356/t/5383π.X.16e4b0π.X.0d91a758a6/1401142294892/yavb1g12_25879847_finalpaper.pdf
- Boletsis, C. (2020, September). A User Experience Questionnaire for VR Locomotion: Formulation and Preliminary Evaluation. In *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics* (pp. 157-167). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58465-8_11
- Bolkas, D., Chiampi, J., Chapman, J., & Pavill, V. F. (2020). Creating a virtual reality environment with a fusion of sUAS and TLS point-clouds. *International journal of image and data fusion*, 11(2), 136-161. <https://doi.org/10.1080/19479832.2020.1716861>
- Bondar M. (2018). Prehistoric innovations: Wheels and wheeled vehicles. *Acta Archeologica* 69, 271-297.
- Borrego, A., Latorre, J., Alcañiz, M., & Llorens, R. (2018). Comparison of Oculus Rift and HTC Vive: Feasibility for Virtual Reality-Based Exploration, Navigation, Exergaming, and Rehabilitation. *Games for Health Journal*, 7(3), 151-156. <https://doi.org/10.1089/g4h.2017.0114>
- Bowman, D. A., & Hodges, L. F. (1999). Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments. *Journal of Visual Languages & Computing*, 10(1), 37-53.
- Boyer, S. (2009). A virtual failure: Evaluating the success of Nintendo's Virtual Boy. *The Velvet Light Trap*, (64), 23-33. <https://doi.org/10.5555/vlt.2009.64.23>

- Breves, P., & Stein, J. P. (2022). Cognitive load in immersive media settings: the role of spatial presence and cybersickness. *Virtual Reality*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00697-5>
- Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 189(194), 4-7.
- Bruguera, M. B., Ilk, V., Ruber, S., & Ewald, R. (2019). Use of Virtual Reality for astronaut training in future space missions-Spacecraft piloting for the Lunar Orbital Platform-Gateway (LOP-G). In *70th International Astronautical Congress*.
- Bryson, S., & Levit, C. (1992). The virtual wind tunnel. *IEEE Computer graphics and Applications*, 12(4), 25-34.
- Bueno-Vesga, J. A., Xu, X., & He, H. (2021, March). The effects of cognitive load on engagement in a virtual reality learning environment. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 645-652). IEEE. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103603>
- Burdea, G., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology (2nd ed.)*. John Wiley. <https://doi.org/10.1162/105474603322955950>
- Büssing, A. G., Thomsen, D., & Braun, N. (2022). Linking technology usage to instructional quality: Immersive virtual reality increases presence, positive emotions, and cognitive activation. https://www.researchgate.net/profile/Alexander-Buessing-2/publication/365615356_Linking_technology_usage_to_instructional_quality_Immersive_virtual_reality_increases_presence_positive_emotions_and_cognitive_activation/links/637b3d4237878b3e87cccb23/Linking-technology-usage-to-instructional-quality-Immersive-virtual-reality-increases-presence-positive-emotions-and-cognitive-activation.pdf
- Butt, A. L., Kardong-Edgren, S., & Ellertson, A. (2018). Using game-based virtual reality with haptics for skill acquisition. *Clinical Simulation in Nursing*, 16, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2017.09.010>
- Buttussi, F., & Chittaro, L. (2017). Effects of different types of virtual reality display on presence and learning in a safety training scenario. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 24(2), 1063-1076. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2653117>
- Çakiroğlu, Ü., & Gökoğlu, S. (2019). Development of fire safety behavioral skills via virtual reality. *Computers & Education*, 133, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.01.014>

- Campbell, D. (2011). Ancient catapults: Some hypotheses reexamined. *Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens* 80 (4), 677-700.
- Cao, S., Nandakumar, K., Babu, R., & Thompson, B. (2020). Game play in virtual reality driving simulation involving head-mounted display and comparison to desktop display. *Virtual Reality*, 24, 503-513. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00412-x>
- Caputo, A., Borin, F., & Giachetti, A. (2019). A Comparison of Navigation Techniques in a Virtual Museum Scenario. In *GCH* (pp. 51-58). <https://doi.org/10.2312/gch20191348>
- Caputo, F. M., Ciortan, I. M., Corsi, D., De Stefani, M., & Giachetti, A. (2016, June). Gestural Interaction and Navigation Techniques for Virtual Museum Experiences. In *AVI* CH* (pp. 32-35). <https://ceur-ws.org/Vol-1621/paper6.pdf>
- Carbonell-Carrera, C., & Saorin, J. L. (2017). Virtual learning environments to enhance spatial orientation. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(3), 709-719. <https://doi.org/10.12973/ejmste/79171>
- Caro, V., Carter, B., Dagli, S., Schissler, M., & Millunchick, J. (2018, October). Can virtual reality enhance learning: A case study in materials science. In *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/fie.2018.8659267>
- Casu, A., Spano, L. D., Sorrentino, F., & Scateni, R. (2015, October). RiftArt: Bringing Masterpieces in the Classroom through Immersive Virtual Reality. In *STAG* (pp. 77-84). <http://dx.doi.org/10.2312/stag.20151294>
- Cecotti, H., Day-Scott, Z., Huisinga, L., & Gordo-Pelaez, L. (2020, June). Virtual Reality for Immersive Learning in Art History. In *2020 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)* (pp. 16-23). IEEE. <https://doi.org/10.23919/iLRN47897.2020.9155108>
- Cerasoli, C. P., Alliger, G. M., Donsbach, J. S., Mathieu, J. E., Tannenbaum, S. I., & Orvis, K. A. (2018). Antecedents and outcomes of informal learning behaviors: A meta-analysis. *Journal of Business and Psychology*, 33(2), 203-230. <https://doi.org/10.1007/s10869-017-9492-y>
- Chane, C. S., Mansouri, A., Marzani, F. S., & Boochs, F. (2013). Integration of 3D and multispectral data for cultural heritage applications: Survey and perspectives. *Image and Vision Computing*, 31(1), 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2012.10.006>
- Charness, G., Gneezy, U., & Kuhn, M. A. (2012). Experimental methods: Between-subject and within-subject design. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 81(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.08.009>

- Chattha, U. A., Janjua, U. I., Anwar, F., Madni, T. M., Cheema, M. F., & Janjua, S. I. (2020). Motion sickness in virtual reality: An empirical evaluation. *IEEE Access*, 8, 130486-130499. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007076>
- Checa, D., & Bustillo, A. (2020). Advantages and limits of virtual reality in learning processes: Briviesca in the fifteenth century. *virtual reality*, 24(1), 151-161. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00389-7>
- Checa, D., Alaguero, M., Arnaiz, M. A., & Bustillo, A. (2016, June). Briviesca in the 15 th c.: a virtual reality environment for teaching purposes. In *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics* (pp. 126-138). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40651-0_11
- Checa, D., Ramon, L., & Bustillo, A. (2019, June). Virtual Reality Travel Training Simulator for People with Intellectual Disabilities. In *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics* (pp. 385-393). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25965-5_29
- Chen, M., Kolko, B. E., Cuddihy, E., & Medina, E. (2011, June). Modeling but NOT measuring engagement in computer games. In *Proceedings of the 7th international conference on Games+ Learning+ Society Conference* (pp. 55-63). <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.5555/2206376.2206383>
- Cheng, A., Yang, L., & Andersen, E. (2017, May). Teaching language and culture with a virtual reality game. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 541-549).
- Cheng, M. T., She, H. C., & Annetta, L. A. (2015). Game immersion experience: its hierarchical structure and impact on game-based science learning. *Journal of computer assisted learning*, 31(3), 232-253. <https://doi.org/10.1111/jcal.12066>
- Cheon, J., & Grant, M. M. (2012). The effects of metaphorical interface on germane cognitive load in web-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 60(3), 399-420. <https://doi.org/10.1007/s11423-012-9236-7>
- Chesher, C. (1994). Colonizing virtual reality: construction of the discourse of virtual reality. *Cultronix*, 1(1), 1-27.
- Chessa, M., Maiello, G., Borsari, A., & Bex, P. J. (2019). The perceptual quality of the oculus rift for immersive virtual reality. *Human-computer interaction*, 34(1), 51-82. <https://doi.org/10.1080/07370024.2016.1243478>
- Chiluisa, M. G., Mullo, R. D., & Andaluz, V. H. (2018, November). Training in Virtual Environments for Hybrid Power Plant. *Proceedings of the International Symposium on*

- Visual Computing*, 193-204. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03801-4_18
- Chin, C. S., Kamsani, N. B., Zhong, X., Cui, R., & Yang, C. (2018, July). Unity3D serious game engine for high fidelity virtual reality training of remotely-operated vehicle pilot. In *2018 10th international Conference on Modelling, identification and Control (iCMiC)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICMIC.2018.8529900>
- Chirico, A., & Gaggioli, A. (2019). When virtual feels real: Comparing emotional responses and presence in virtual and natural environments. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(3), 220-226. <https://doi.org/10.1089/cyber.2018.0393>
- Chondros, T. G. (2010). *Archimedes life works and machines. Mechanism and Machine Theory*, 45(11), 1766–1775. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2010.05.009>
- Christofi, M., Kyrlitsias, C., Michael-Grigoriou, D., Anastasiadou, Z., Michaelidou, M., Papamichael, I., & Pieri, K. (2018). A tour in the archaeological site of choirokoitia using virtual reality: a learning performance and interest generation assessment. In *Advances in digital cultural heritage* (pp. 208-217). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75789-6_15
- Chu, P. Y., Chen, L. C., Kung, H. W., & Su, S. J. (2017, July). A study on the differences among M3D, S3D and HMD for students with different degrees of spatial ability in design education. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 293-299). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58750-9_41
- Coban, M., Bolat, Y. I., & Goksu, I. (2022). The potential of immersive virtual reality to enhance learning: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 36, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100452>
- Cohen, L. (1938). Evidence for the Ram in the Minoan Period. *American Journal of Archaeology*, 42(4), 486-494.
- Collins, J., Regenbrecht, H., Langlotz, T., Can, Y. S., Ersoy, C., & Butson, R. (2019, October). Measuring cognitive load and insight: A methodology exemplified in a virtual reality learning context. In *2019 IEEE International symposium on mixed and augmented reality (ISMAR)* (pp. 351-362). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2019.00033>
- Cooper, N., Milella, F., Pinto, C., Cant, I., White, M., & Meyer, G. (2018). The effects of substitute multisensory feedback on task performance and the sense of presence in a virtual reality environment. *PloS one*, 13(2), e0191846. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191846>

- Coulter, R., Saland, L., Caudell, T., Goldsmith, T. E., & Alverson, D. (2007). The effect of degree of immersion upon learning performance in virtual reality simulations for medical education. *In Medicine Meets Virtual Reality, 15*, 155.
- Cranmer, A., Ericson, J. D., Broughel, A. E., Bernard, B., Robicheaux, E., & Podolski, M. (2020). Worth a thousand words: Presenting wind turbines in virtual reality reveals new opportunities for social acceptance and visualization research. *Energy Research & Social Science, 67*, 101507. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101507>
- Creem-Regehr, S. H., Stefanucci, J. K., Thompson, W. B., Nash, N., & McCardell, M. (2015, September). Egocentric distance perception in the oculus rift (dk2). In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception* (pp. 47-50). <https://doi.org/10.1145/2804408.2804422>
- Crespo, R., García, R., & Quiroz, S. (2015). Virtual reality application for simulation and off-line programming of the Mitsubishi Movemaster RV-M1 robot integrated with the oculus rift to improve students training. *Procedia Computer Science, 75*, 107-112. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.226>
- Dalley S., & Oleson J. (2003). Sennacherib, Archimedes, and the Water Screw: The Context of Invention in the Ancient World. *Technology and Culture, 44*(1), 1-26.
- Dang, S. (2018). *The design of a smartphone-based AR application to support the experiential quality of life-like in a museum*. Diva portal. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1223540/FULLTEXT01.pdf>
- Davis, S., Nesbitt, K., & Nalivaiko, E. (2014, December). A systematic review of cybersickness. In *Proceedings of the 2014 conference on interactive entertainment* (pp. 1-9). <https://doi.org/10.1145/2677758.2677780>
- Davis, S., Nesbitt, K., & Nalivaiko, E. (2015, January). Comparing the onset of cybersickness using the Oculus Rift and two virtual roller coasters. In *Proceedings of the 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment (IE 2015)* (Vol. 27, p. 30).
- De Solla Price, D. (1974). Gears from the Greeks. The Antikythera mechanism: a calendar computer from ca. 80 B.C.. *Transactions of the American Philosophical Society, 64*(7), 1-70.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2010). Intrinsic motivation. *The corsini encyclopedia of psychology*, 1-2. <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0467>
- Dehghani, M., Lee, S. H. M., & Mashatan, A. (2020). Touching holograms with windows mixed reality: Renovating the consumer retailing services. *Technology in Society, 63*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101394>

- Desai, P. R., Desai, P. N., Ajmera, K. D., & Mehta, K. (2014). A review paper on oculus rift-a virtual reality headset. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 13(4), 175-179. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1408.1173>
- Desvallées, A., & Mairesse, F. (2014). *Βασικές έννοιες της μουσειολογίας, μτφ. Λάμπας Σ. I.C.O.M. Διεθνές Συμβούλιο Μουσείων-Ελληνικό Τμήμα.*
- Di Natale, A. F., Repetto, C., Riva, G., & Villani, D. (2020). Immersive virtual reality in K-12 and higher education: A 10-year systematic review of empirical research. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2006-2033. <https://doi.org/10.1111/bjet.13030>
- Dias, P., Silva, R., Amorim, P., Lains, J., Roque, E., Serôdio, I., ... & Santos, B. S. (2019). Using virtual reality to increase motivation in poststroke rehabilitation. *IEEE computer graphics and applications*, 39(1), 64-70. <https://doi.org/10.1109/MCG.2018.2875630>
- Dickinson, O. (1999). *Η προέλευση του Μυκηναϊκού πολιτισμού.* Αθήνα: Καρδαμίτσα.
- Dickinson, O. (2003). *Αιγαίο-Εποχή του Χαλκού.* Αθήνα: Καρδαμίτσα.
- Dickson, P. E., Block, J. E., Echevarria, G. N., & Keenan, K. C. (2017). An experience-based comparison of unity and unreal for a stand-alone 3D game development course. In *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* (pp. 70-75). <https://doi.org/10.1145/3059009.3059013>
- Dinis, F. M., Martins, J. P., Carvalho, B. R., & Guimarães, A. S. (2018). *Disseminating civil engineering through virtual reality: An immersive interface.* Repositorio aberto. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/112038/2/267142.pdf>
- Diodato, R. (2012). *Aesthetics of the Virtual.* SUNY Press.
- Donovan, J. (2017). *Mastering Oculus Rift Development.* Packt Publishing Ltd.
- Doran, J. P., Sherif, W., & Whittle, S. (2019). *Unreal Engine 4. x Scripting with C++ Cookbook: Develop quality game components and solve scripting problems with the power of C++ and UE4.* Packt Publishing Ltd.
- Duer, Z., Ogle, T., Hicks, D., Fralin, S., Tucker, T., & Yu, R. (2020). Making the Invisible Visible: Illuminating the Hidden Histories of the World War I Tunnels at Vauquois Through a Hybridized Virtual Reality Exhibition. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 40(4), 39-50. <https://doi.org/10.1109/MCG.2020.2985166>
- Dużmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A. (2018). Can simulator sickness be avoided? A review on temporal aspects of simulator sickness. *Frontiers in psychology*, 9, 2132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132>
- Earnshaw, R. A. (Ed.). (2014). *Virtual reality systems.* Academic press.

- Economou, M. (2015). Heritage in the digital age. *A companion to heritage studies*, 15, 215-228. <https://doi.org/10.1002/9781118486634>
- Egea-Vivancos, A., & Arias-Ferrer, L. (2021). Principles for the design of a history and heritage game based on the evaluation of immersive virtual reality video games. *E-Learning and Digital Media*, 18(4), 383-402. <https://doi.org/10.1177/20427530209801>
- Elden, M. K. (2017). *Implementation and initial assessment of VR for scientific visualisation: Extending Unreal Engine 4 to visualise scientific data on the HTC Vive* (Master's thesis).
- Elkin, E. (2019). Porting your VR title to oculus quest. In *ACM SIGGRAPH 2019 Talks* (pp. 1-2). <https://doi.org/10.1145/3306307.3328202>
- Enough for youNijs, L., Coussement, P., Moens, B., Amelinck, D., Lesaffre, M., & Leman, M. (2012). Interacting with the Music Paint Machine: Relating the constructs of flow experience and presence. *Interacting with Computers*, 24(4), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2012.05.002>
- Fabola, A., Kennedy, S., Miller, A., Oliver, I., McCaffery, J., Cassidy, C., ... & Vermehren, A. (2017, June). A virtual museum installation for time travel. In *International Conference on Immersive Learning* (pp. 255-270). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60633-0_21
- Fanini, B., Pagano, A., & Ferdani, D. (2018). A novel immersive vr game model for recontextualization in virtual environments: The μ vrmodel. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(2), 20. <https://doi.org/10.3390/mti2020020>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Fernandez, M. (2017). Augmented virtual reality: How to improve education systems. *Higher Learning Research Communications*, 7(1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.18870/hlrc.v7i1.373>
- Ferrone, H. (2019). *Learning C# by Developing Games with Unity 2019: Code in C# and build 3D games with Unity*. Packt Publishing Ltd.
- Festa, G., Andreani, C., D'Agostino, F., Forte, V., Nardini, M., Scherillo, A., ... & Romano, L. (2019). Sumerian pottery technology studied through neutron diffraction and chemometrics at Abu Tbeirah (Iraq). *Geosciences*, 9(2), 74. <https://doi.org/10.3390/geosciences9020074>
- Fields, N. (2006a). *Ancient Greek Fortifications 500-300 BC*. Oxford: Osprey Publishing.

- Fields, N. (2006b). *Brongze Age War Chariots*. Oxford: Osprey Publishing.
- Filter, E., Eckes, A., Fiebelkorn, F., & Büssing, A. G. (2020). Virtual reality nature experiences involving wolves on YouTube: Presence, emotions, and attitudes in immersive and nonimmersive settings. *Sustainability*, *12*(9), 3823. <https://doi.org/10.3390/su12093823>
- Fokides, E. (2017). *A model for explaining primary school students' learning outcomes when they use multi-user virtual environments*. *Journal of Computers in Education*, *4*(3), 225–250. <https://doi.org/10.1007/s40692-017-0080-y>
- Fokides, E. (2023). Development and testing of a scale for examining factors affecting the learning experience in the Metaverse. *Computers & Education: X Reality*, *2*, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100025>
- Fokides, E., & Atsikpasi, P. (2018). Development of a model for explaining the learning outcomes when using 3D virtual environments in informal learning settings. *Education and Information Technologies*, *23*(5), 2265-2287. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9719-1>
- Fokides, E., Atsikpasi, P., Kaimara, P., & Deliyannis, I. (2019). Factors Influencing the Subjective Learning Effectiveness of Serious Games. *Journal of Information Technology Education*, *18*. <https://doi.org/10.28945/4441>
- Fokides, E., Kaimara, P., Deliyannis, I., & Atsikpasi, P. (2019). Development of a scale for measuring the learning experience in serious games. Preliminary results. In *Proceedings of 1st International Conference on Digital Culture & AudioVisual Challenges* (pp. 1-2). http://195.251.189.83/publications/2018_conf_Kaimara_Fokides_INARTS_EN.pdf
- Fokides, E., Mastrokourkou, A., & Atsikpasi, P. (2017). Teaching basic astronomy concepts to pre-service teachers using 3D virtual environments: Results of a study in Greece. *Handbook of research on technology-centric strategies for higher education administration*, 175-194. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2548-6.ch011>
- Fonseca, D., Valls, F., Redondo, E., & Villagrasa, S. (2016). Informal interactions in 3D education: Citizenship participation and assessment of virtual urban proposals. *Computers in Human Behavior*, *55*, 504-518. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.05.032>
- Foss Clini, P., Ruggeri, L., Angeloni, R., & Sasso, M. (2018). Interactive immersive virtual museum: Digital documentation for virtual interaction. *International Archives of the*

- Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(2).
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-251-2018>
- Freeman, D. (2008). Studying and treating schizophrenia using virtual reality: a new paradigm. *Schizophrenia bulletin*, 34(4), 605-610.
<https://doi.org/10.1093/schbul/sbn020>
- Friberg, J. (2000). Mathematics at Ur in the Old Babylonian period. *Revue d'assyriologie et d'archéologie orientale*, 94(2), 97-188. <https://www.jstor.org/stable/23281940>
- Fu, F. L., Su, R. C., & Yu, S. C. (2009). EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. *Computers & Education*, 52(1), 101-112.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.07.004>
- Gallagher, M., & Ferrè, E. R. (2018). Cybersickness: a multisensory integration perspective. *Multisensory research*, 31(7), 645-674. <https://doi.org/10.1163/22134808-20181293>
- Garaeva, E., & Bikmullina, E. (2019). Comparative analysis of 3D Blender and 3ds Max modeling methods. *ITTCS*. http://ceur-ws.org/Vol-2525/ITTCS-19_paper_14.pdf
- Garcia, A. D., Schlueter, J., & Paddock, E. (2020). Training astronauts using hardware-in-the-loop simulations and virtual reality. In *AIAA Scitech 2020 Forum* (p. 0167).
<https://doi.org/10.2514/6.2020-0167>
- Garcia, C. A., Naranjo, J. E., Alvarez-M, E., & Garcia, M. V. (2019, June). Training virtual environment for teaching simulation and control of pneumatic systems. In *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics* (pp. 91-104). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25965-5_8
- Gestwicki, P. (2019). Unreal engine 4 for computer scientists. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 35(5), 109-110.
- Ghani, I., Rafi, A., & Woods, P. (2016, October). Sense of place in immersive architectural virtual heritage environment. In *2016 22nd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM)* (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VSMM.2016.7863169>
- Ghani, I., Rafi, A., & Woods, P. (2020). The effect of immersion towards place presence in virtual heritage environments. *Personal and Ubiquitous Computing*, 24(6), 861-872.
<https://doi.org/10.1007/s00779-019-01352-8>
- Gómez-López, P., Simarro, F. M., & Bonal, M. T. L. (2019, June). Analysing the UX scope through its definitions. In *Proceedings of the XX International Conference on Human Computer Interaction* (pp. 1-4). <https://doi.org/10.1145/3335595.3335648>

- Gounaris, G. (1980). *Anneau astronomique solaire portative antique, dcouvert philippes **. *Annali dell'Istituto e Museo Di Storia Della Scienza Di Firenze*, 5(2), 3–18. <https://doi.org/10.1163/221058780x00331>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, 26(2), 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Griffin, N. N., & Folmer, E. (2019, November). Out-of-body locomotion: Vectionless navigation with a continuous avatar representation. In *25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (pp. 1-8). <https://doi.org/10.1145/3359996.3364243>
- Gromer, D., Madeira, O., Gast, P., Nehfischer, M., Jost, M., Müller, M., ... & Pauli, P. (2018). Height simulation in a virtual reality CAVE system: validity of fear responses and effects of an immersion manipulation. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 372. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00372>
- Grömer, K. (2016). *The Prehistoric Art of Textile Making*. Vienna: Natural History Museum.
- Gunawardena, C. N., & Zittle, F. J. (1997). Social presence as a predictor of satisfaction within a computer-mediated conferencing environment. *American journal of distance education*, 11(3), 8-26. <https://doi.org/10.1080/08923649709526970>
- Habgood, J., Moore, D., Alapont, S., Ferguson, C., & van Oostendorp, H. (2018, September). The REVEAL educational environmental narrative framework for PlayStation VR. In *Proceedings of the 12th European conference on game-based learning* (pp. 175-183).
- Habgood, M. J., Wilson, D., Moore, D., & Alapont, S. (2017). Hci lessons from playstation vr. In *Extended abstracts publication of the annual symposium on computer-human interaction in play* (pp. 125-135). <https://doi.org/10.1145/3130859.3131437>
- Hacker, B. C. (1968). Greek catapults and catapult technology: Science, technology, and war in the ancient world. *Technology and Culture*, 9(1), 34-50.
- Hai, H., Lo, W. H., Ng, H. H., Brailsford, T., & O'Malley, C. (2018). Enhancing reflective learning experiences in museums through interactive installations. *Rethinking Learning in the Digital Age: Making the Learning Sciences Count Volume 2*, 2. <https://uwe-repository.worktribe.com/output/867382>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis: International version* (7th ed.). Pearson.
- Häkkinilä, J., Hannula, P., Luiro, E., Launne, E., Mustonen, S., Westerlund, T., & Colley, A. (2019, November). Visiting a virtual graveyard: designing virtual reality cultural

- heritage experiences. In *Proceedings of the 18th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (pp. 1-4). <https://doi.org/10.1145/3365610.3368425>
- Han, I. (2020). Immersive virtual field trips in education: A mixed-methods study on elementary students' presence and perceived learning. *British Journal of Educational Technology*, 51(2), 420-435. <https://doi.org/10.1111/bjet.12842>
- Hayes, W. C. (1964). Most Ancient Egypt: Chapter III. The Neolithic and Chalcolithic Communities of Northern Egypt. *Journal of Near Eastern Studies*, 23(4), 217-272. <https://doi.org/10.1086/371778>
- Health, T. (2002). *The Works of Archimedes*. New York: Dover.
- Hein, G. E. (2010). Museum Education. *A Companion to Museum Studies*, 33, 340-352.
- Hendriyani, Y., & Amrizal, V. A. (2019, November). The Comparison Between 3D Studio Max and Blender Based on Software Qualities. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1387, No. 1, p. 012030). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1387/1/012030>
- Hillmann, C. (2019). Comparing the gear vr, oculus go, and oculus quest. In *Unreal for Mobile and Standalone VR* (pp. 141-167). Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4360-2_5
- Hoenig, W., Milanes, C., Scaria, L., Phan, T., Bolas, M., & Ayanian, N. (2015). Mixed reality for robotics. In *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 5382-5387). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IROS.2015.7354138>
- Högberg, J., Hamari, J., & Wästlund, E. (2019). Gameful Experience Questionnaire (gamefulquest): an instrument for measuring the perceived gamefulness of system use. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 29(3), 619-660. <https://doi.org/10.1007/s11257-019-09223-w>
- Hsin, L. J., Chao, Y. P., Chuang, H. H., Kuo, T. B., Yang, C. C., Huang, C. G., ... & Lee, L. A. (2022). Mild simulator sickness can alter heart rate variability, mental workload, and learning outcomes in a 360° virtual reality application for medical education: a post hoc analysis of a randomized controlled trial. *Virtual Reality*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00688-6>
- Hsu, Y. C. (2020). Exploring the learning motivation and effectiveness of applying virtual reality to high school mathematics. *Universal Journal of Educational Research*, 8(2), 438-444. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080214>
- Huang, C. L., Luo, Y. F., Yang, S. C., Lu, C. M., & Chen, A. S. (2020). Influence of students' learning style, sense of presence, and cognitive load on learning outcomes in an

- immersive virtual reality learning environment. *Journal of Educational Computing Research*, 58(3), 596-615. <https://doi.org/10.1177/0735633119867>
- Huang, Y. C., Backman, S. J., Backman, K. F., McGuire, F. A., & Moore, D. (2019). An investigation of motivation and experience in virtual learning environments: a self-determination theory. *Education and Information Technologies*, 24(1), 591-611. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9784-5>
- Ibili, E., & Billingham, M. (2019). Assessing the relationship between cognitive load and the usability of a mobile augmented reality tutorial system: A study of gender effects. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6(3), 378-395. <https://doi.org/10.21449/ijate.594749>
- IJsselsteijn, W. A., de Kort, Y. A., & Poels, K. (2013). The Game Experience Questionnaire. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. In *Proceedings of the first ACM SIGCHI annual symposium on Computer-human interaction in play* (pp. 161-169).
- IJsselsteijn, W. A., De Ridder, H., Freeman, J., & Avons, S. E. (2000, June). Presence: concept, determinants, and measurement. In *Human vision and electronic imaging V* (Vol. 3959, pp. 520-529). SPIE.
- Jackson, S. A., & Marsh, H. W. (1996). Development and validation of a scale to measure optimal experience: The Flow State Scale. *Journal of sport and exercise psychology*, 18(1), 17-35. <https://doi.org/10.1123/jsep.18.1.17>
- Jacobson, J. (2011). Digital dome versus desktop display in an educational game: Gates of Horus. *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations (IJGCMS)*, 3(1), 13-32. <https://doi.org/10.4018/jgcms.2011010102>
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., & Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International journal of human-computer studies*, 66(9), 641-661. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004>
- Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.
- John, N. W., Pop, S. R., Day, T. W., Ritsos, P. D., & Headleand, C. J. (2017). The implementation and validation of a virtual environment for training powered wheelchair manoeuvres. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 24(5), 1867-1878. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2700273>
- Johnson, D. M. (1997). *Learning in a synthetic environment: The effect of visual display, presence, and simulator sickness* (Vol. 1057). US Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.

- Józsa, L. G. (2011). Obesity in the paleolithic era. *Hormones*, 10(3), 241-244. <https://doi.org/10.14310/horm.2002.1315>
- Juliano, J. M., Schweighofer, N., & Liew, S. L. (2022). Increased cognitive load in immersive virtual reality during visuomotor adaptation is associated with decreased long-term retention and context transfer. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1), 1-14. <https://doi.org/10.1111/jcal.12688>
- Jurnet, A. & Maldonado, J. (2010). Influence of Personality and Individual Abilities on the Sense of Presence Experienced in Anxiety Triggering Virtual Environments, *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(10), 788–801.
- Kaul, O. B., Meier, K., & Rohs, M. (2017, September). Increasing presence in virtual reality with a vibrotactile grid around the head. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 289-298). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68059-0_19
- Kebric, R. B. (2019). The Colossus of Rhodes: Some Observations about Its Location. *Athens Journal of History*, 5(2), 83-114.
- Keller, J. M. (2006). *Development of two measures of learner motivation*. Unpublished Manuscript in progress. Florida State University. <https://studylib.net/doc/7446614/development-of-two-measures-of-learner-motivation>
- Keren, G. (2014). Between-or within-subjects design: A methodological dilemma. In G. Keren & C. Lewis (Eds.), *A handbook for data analysis in the behavioral sciences* (pp. 257-272). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315799582-14>
- Kern, F., Winter, C., Gall, D., Käthner, I., Pauli, P., & Latoschik, M. E. (2019, March). Immersive virtual reality and gamification within procedurally generated environments to increase motivation during gait rehabilitation. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 500-509). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797828>
- Khan, M., Trujano, F., & Maes, P. (2018, June). Mathland: Constructionist mathematical learning in the real world using immersive mixed reality. In *International Conference on Immersive Learning* (pp. 133-147). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93596-6_9
- Kim, H. K., Park, J., Choi, Y., & Choe, M. (2018). Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied ergonomics*, 69, 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.016>

- Kim, H., An, S., Keum, S., & Woo, W. (2015, August). H-treasure hunt: a location and object-based serious game for cultural heritage learning at a historic site. In *International Conference on Learning and Collaboration Technologies* (pp. 561-572). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20609-7_53
- Kim, K., Rosenthal, M. Z., Zielinski, D., & Brady, R. (2012, March). Comparison of desktop, head mounted display, and six wall fully immersive systems using a stressful task. In *2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW)* (pp. 143-144). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2012.6180922>
- Kim, Y. J., & Ahn, S. Y. (2021). Factors influencing nursing students' immersive virtual reality media technology-based learning. *Sensors*, *21*(23), 8088. <https://doi.org/10.3390/s21238088>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F., & Zambrano, J. (2018). From cognitive load theory to collaborative cognitive load theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, *13*(2), 213-233. <https://doi.org/10.1007/s11412-018-9277-y>
- Klepsch, M., & Seufert, T. (2020). Understanding instructional design effects by differentiated measurement of intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Instructional Science*, *48*(1), 45-77. <https://doi.org/10.1007/s11251-020-09502-9>
- Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in psychology*, *8*, 1997. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
- Klopfer, E., Perry, J., Squire, K., Jan, M. F., & Steinkuehler, C. (2017). Mystery at the museum—A collaborative game for museum education. In *Computer Supported Collaborative Learning 2005: The Next 10 Years!* (pp. 316-320). Routledge.
- Knauss, J. (1991). Arkadian and Boiotian Orchomenos, centres of Mycenaean hydraulic engineering. *Irrigation and Drainage Systems*, *5*(4), 363-381.
- Konstantakis, M., & Caridakis, G. (2020). Adding culture to UX: UX research methodologies and applications in cultural heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, *13*(1), 1-17. <https://doi.org/10.1145/3354002>
- Kontovourki, S., Garoufallou, E., Ivarsson, L., Klein, M., Korkeamaki, R. L., Koutsomiha, D., ... & Virkus, S. (2017). *Digital literacy in the early years: Practices in formal settings, teacher education, and the role of informal learning spaces: A review of the literature*. <https://repository.afs.edu.gr/bitstream/6000/367/4/Digital%20Literacy%20in%20the%20Early%20Years%20Practices%20in%20Formal%20Settings,%20Teacher%20Education,%20and%20the%20Role%20of%20Informal%20Learning%20Spaces.pdf>

- Kosmopoulos, D., & Tzortzi, K. (2021, June). Visitor Behavior Analysis for an Ancient Greek Technology Exhibition. In *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations* (pp. 487-495). Springer, Cham.
- Kot, T., & Novák, P. (2018). Application of virtual reality in teleoperation of the military mobile robotic system TAROS. *International journal of advanced robotic systems*, 15(1), <https://doi.org/10.1177/1729881417751545>
- Kotsanas, K. (2015). *The inventions of the Ancient Greeks*. Pyrgos. Private Edition
- Koutitas, G., Smith, K. S., Lawrence, G., Metsis, V., Stamper, C., Trahan, M., & Lehr, T. (2019). A virtual and augmented reality platform for the training of first responders of the ambulance bus. Proceedings of the 12th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '19. <https://doi.org/10.1145/3316782.3321542>
- Kreimeier, J., Hammer, S., Friedmann, D., Karg, P., Bühner, C., Bankel, L., & Götzelmann, T. (2019, June). Evaluation of different types of haptic feedback influencing the task-based presence and performance in virtual reality. In *Proceedings of the 12th acm international conference on pervasive technologies related to assistive environments* (pp. 289-298). <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102717>
- Kristinsdóttir, A. (2017). Toward sustainable museum education practices: confronting challenges and uncertainties. *Museum Management and Curatorship*, 32(5), 424-439. <https://doi.org/10.1080/09647775.2016.1250104>
- Krueger, M. W., Gionfriddo, T., & Hinrichsen, K. (1985). VIDEOPLACE—an artificial reality. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 35-40). <https://doi.org/10.1145/317456.317463>
- Kuang, Y., & Bai, X. (2018). The research of virtual reality scene modeling based on unity 3D. In *2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)* (pp. 1-3). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2018.846868>
- Kushner, D. (2014). *Virtual reality's moment*. *IEEE Spectrum*, 51(1), 34–37. <https://doi.org/10.1109/mspec.2014.670142>
- Kwon, K., & Cho, D. (2020). Developing trainers for a changing business environment: The role of informal learning in career development. *Journal of Career Development*, 47(3), 310-327. <https://doi.org/10.1177/0894845317730641>
- Kyriakou, P., & Hermon, S. (2019). Can I touch this? Using natural interaction in a museum augmented reality system. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 12, e00088. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00088>

- Laamarti, F., Eid, M., & El Saddik, A. (2014). An overview of serious games. *International Journal of Computer Games Technology*, 2014(11). <https://doi.org/10.1155/2014/358152>
- Lal, R. (2007). Evolution of the plow over 10000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*, 93, 1-12.
- Lanier, J. (2017). *Dawn of the new everything: A journey through virtual reality*. Random House.
- Lee, E. A. L., & Wong, K. W. (2014). Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. *Computers & Education*, 79, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.010>
- Lee, E. L., Wong, K. W., & Fung, C. C. (2009). Learning effectiveness in a desktop virtual reality-based learning environment. In *17th International Conference on Computers in Education, ICCE 2009* (pp. 832-839). Asia-Pacific Society for Computers in Education.
- Lee, Y. C. (2018). When technology, science and culture meet: insights from ancient Chinese technology. *Cultural Studies of Science Education*, 13(2), 485-515. <https://doi.org/10.1007/s11422-017-9805-5>
- Leppink, J., Paas, F., Van Gog, T., van Der Vleuten, C. P., & Van Merriënboer, J. J. (2014). Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. *Learning and Instruction*, 30, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.12.001>
- Lewis, J. R. (2018). The system usability scale: past, present, and future. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(7), 577-590. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1455307>
- Linowes, J. (2015). *Unity virtual reality projects*. Packt Publishing Ltd.
- Linowes, J. (2018). *Unity Virtual Reality Projects: Learn Virtual Reality by Developing More Than 10 Engaging Projects with Unity 2018*. Packt Publishing Ltd.
- Liu, M., Horton, L., Olmanson, J., & Toprac, P. (2011). A study of learning and motivation in a new media enriched environment for middle school science. *Educational technology research and development*, 59(2), 249-265.
- Liu, X., Zhang, J., Hou, G., & Wang, Z. (2018, July). Virtual reality and its application in military. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 170, No. 3, p. 032155). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/170/3/03>

- Llamazares De Prado, J. E., & Arias Gago, A. R. (2020). *Education and ICT in Inclusive Museums Environments. International Journal of Disability, Development and Education*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/1034912X.2020.1856350>
- Lohre, R., Bois, A. J., Athwal, G. S., & Goel, D. P. (2020). Improved complex skill acquisition by immersive virtual reality training: a randomized controlled trial. *JBJS*, 102(6), e26. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00982>
- Loizides, F., El Kater, A., Terlikas, C., Lanitis, A., & Michael, D. (2014, November). Presenting cypriot cultural heritage in virtual reality: A user evaluation. In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 572-579). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0_57
- Loureiro Krassmann, A., Melo, M., Peixoto, B., Pinto, D., Bessa, M., & Bercht, M. (2020). Learning in virtual reality: Investigating the effects of immersive tendencies and sense of presence. In *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Industrial and Everyday Life Applications: 12th International Conference, VAMR 2020, Held as Part of the 22nd HCI International Conference, HCII 2020, Copenhagen, Denmark, July 19–24, 2020, Proceedings, Part II 22* (pp. 270-286). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49698-2_18
- Luigini, A., Parricchi, M. A., Basso, A., & Basso, D. (2020). Immersive and participatory serious games for heritage education, applied to the cultural heritage of South Tyrol. *Interaction Design and Architecture (s)*, (43), 42-67. <https://hdl.handle.net/10863/14619>
- Lukito, A. D., Sanjaya, R., & Prasetya, H. (2017). Virtual Reality Game Education to Learn Traffic Regulation. *Sisforma*, 4(1), 7-11. <https://doi.org/10.24167/sisforma.v4i1.1037>
- MacDonald, E., Johnson, V., Gillies, M., & Johnston, D. (2017). The impact of a museum-based hazard education program on students, teachers and parents. *International journal of disaster risk reduction*, 21, 360-366. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.01.010>
- Machidon, O. M., Duguleana, M., & Carrozzino, M. (2018). Virtual humans in cultural heritage ICT applications: A review. *Journal of Cultural Heritage*, 33, 249-260. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.01.007>
- Mack, K., & Ruud, R. (2019). *Unreal Engine 4 Virtual Reality Projects: Build Immersive, Real-world VR Applications Using UE4, C++, and Unreal Blueprints*. Packt Publishing Ltd.

- Makransky, G., & Klingenberg, S. (2022). Virtual reality enhances safety training in the maritime industry: An organizational training experiment with a non-WEIRD sample. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(4), 1127-1140. <https://doi.org/10.1111/jcal.12670>
- Makransky, G., & Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1141-1164. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9581-2>
- Makransky, G., & Mayer, R. E. (2022). Benefits of taking a virtual field trip in immersive virtual reality: Evidence for the immersion principle in multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 34(3), 1771-1798. <https://doi.org/10.1007/s10648-022-09675-4>
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- Makransky, G., Andreasen, N. K., Baceviciute, S., & Mayer, R. E. (2021). Immersive virtual reality increases liking but not learning with a science simulation and generative learning strategies promote learning in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 113(4), 719. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225-236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- Mandal, S. (2013). Brief introduction of virtual reality & its challenges. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(4), 304-309.
- Manis, K. T., & Choi, D. (2019). The virtual reality hardware acceptance model (VR-HAM): Extending and individuating the technology acceptance model (TAM) for virtual reality hardware. *Journal of Business Research*, 100, 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.021>.
- Mansor, N. R., Zakaria, R., Rashid, R. A., Arifin, R. M., Abd Rahim, B. H., Zakaria, R., & Razak, M. T. A. (2020, September). A Review Survey on the Use Computer Animation in Education. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 917, No. 1, p. 012021). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/917/1/012021>

- Manzur, A., & Marques, G. (2018). *Godot Engine Game Development in 24 Hours, Sams Teach Yourself: The Official Guide to Godot 3.0*. Sams Publishing.
- Maraj, C. S., Badillo-Urquiola, K. A., Martinez, S. G., Stevens, J. A., & Maxwell, D. B. (2017). Exploring the impact of simulator sickness on the virtual world experience. In *Advances in Human Factors, Business Management, Training and Education: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors, Business Management and Society, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA* (pp. 635-643). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42070-7_59
- Maran, J. (2012). *Νεολιθική και Εποχή του Χαλκού*. Αθήνα: Μέλισσα.
- Marín-Morales, J., Higuera-Trujillo, J. L., de Juan, C., Llinares, C., Guixeres, J., Iñarra, S., & Alcañiz, M. (2018, July). Presence and navigation: a comparison between the free exploration of a real and a virtual museum. In *Proceedings of the 32nd International II.X.S Human Computer Interaction Conference 32* (pp. 1-10). <https://doi.org/10.14236/ewic/HCI2018.45>
- Marín-Morales, J., Higuera-Trujillo, J. L., De-Juan-Ripoll, C., Llinares, C., Guixeres, J., Iñarra, S., & Alcañiz, M. (2019). Navigation comparison between a real and a virtual museum: time-dependent differences using a head mounted display. *Interacting with Computers, 31*(2), 208-220. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwz018>
- Marín-Morales, J., Higuera-Trujillo, J. L., De-Juan-Ripoll, C., Llinares, C., Guixeres, J., Iñarra, S., & Alcañiz, M. (2019). Navigation comparison between a real and a virtual museum: time-dependent differences using a head mounted display. *Interacting with Computers, 31*(2), 208-220. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwz018>
- Marín-Morales, J., Higuera-Trujillo, J. L., Greco, A., Guixeres, J., Llinares, C., Gentili, C., ... & Valenza, G. (2019). Real vs. immersive-virtual emotional experience: Analysis of psycho-physiological patterns in a free exploration of an art museum. *PLoS one, 14*(10), e0223881. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223881>
- Mazuryk, T., & Gervautz, M. (1996). *Virtual reality-history, applications, technology and future*. Academia. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36958593/TR-186-2-96-06Paper-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1667384865&Signature=bQI3-VnEliHkdlWoE-nz8f7T94fEqNkGUVT-LPkPP-G18IBiqCyDZVnVwSMwr8wI1OyWlrfcwPITN0BvP1Q~J0H~iCvR1ViLD7Ie1BYaEwPhKlJvJ7uVYWDk0fdOJvBYcPBHE8qgOrW4z5aSgblnaabRaV-03oSZhhTQnL7mN4MYE~xjd5WaVjO5HtoNpP8vIg2UcXLeFLB1g3BN5u4NJBVs8xvAkMy1xxrJXww357YIF45R4frBLVNUvhPM8q8~K4XWZuXEX->

[9O6bazruE5K2SL9djeUoAB3RQa89dGLnCS87S8Mqin~1DTQRLZcZmFoX28HuhO
OI8HEkX0EhW2Kw &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001995)

- McJunkin, J. L., Jiramongkolchai, P., Chung, W., Southworth, M., Durakovic, N., Buchman, C. A., & Silva, J. R. (2018). Development of a mixed reality platform for lateral skull base anatomy. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 39(10), 1137-1142. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001995>
- McLellan, S., Muddimer, A., & Peres, S. C. (2012). The effect of experience on System Usability Scale ratings. *Journal of usability studies*, 7(2), 56-67.
- Meldrum, D., Glennon, A., Herdman, S., Murray, D., & McConn-Walsh, R. (2012). Virtual reality rehabilitation of balance: assessment of the usability of the Nintendo Wii® Fit Plus. *Disability and rehabilitation: assistive technology*, 7(3), 205-210. <https://doi.org/10.3109/17483107.2011.616922>
- Messmann, G., Segers, M., & Dochy, F. (2018). *Informal learning at work*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315441962>
- Mestre, D. R., Ewald, M., & Maiano, C. (2011). Virtual reality and exercise: behavioral and psychological effects of visual feedback. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine 2011*, 122-127. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-766-6-122>
- Michailidis, L., Balaguer-Ballester, E., & He, X. (2018). Flow and immersion in video games: The aftermath of a conceptual challenge. *Frontiers in Psychology*, 9, 1682. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01682>
- Milisauskas, S. (Ed.). (2011). *European prehistory: A survey*. Springer Science & Business Media.
- Mirnig, A. G., Meschtscherjakov, A., Wurhofer, D., Meneweger, T., & Tscheligi, M. (2015, April). A formal analysis of the ISO 9241-210 definition of user experience. In *Proceedings of the 33rd annual ACM conference extended abstracts on human factors in computing systems* (pp. 437-450). <https://doi.org/10.1145/2702613.2732511>
- Miura, T., Ando, G., Onishi, J., Matsuo, M., Sakajiri, M., & Ono, T. (2018, July). Virtual museum for people with low vision: comparison of the experience on flat and head-mounted displays. In *International Conference on Computers Helping People with Special Needs* (pp. 246-249). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94274-2_34

- Mohamed, A., & Örmecioglu, H. T. (2022). Immersive Virtual Reality IVR, and The Appreciation of Architectural Aesthetics. In *2nd International Architecture Symposium Special Issue* (pp. 195-207). <https://doi.org/10.35674/kent.1014036>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Prisma Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS medicine*, *6*(7), e1000097. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Moreno, R., & Mayer, R. (2004). Personalized messages that promote science learning in virtual environments. *Journal of Educational Psychology*, *96*(1), 165-173. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.1.165>
- Mountjoy, P. A. (1998). *Μυκηναϊκή Γραπτή Κεραμική, Οδηγός Ταύτησης*. Εκδόσεις Καρδαμίτσα.
- Muhanna, M. A. (2015). Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, *27*(3), 344-361. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023>
- Munn, Z., Peters, M. D., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC medical research methodology*, *18*(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- Murray, J. W. (2017). *Building virtual reality with Unity and Steam VR*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429295850>
- Mütterlein, J. (2018, January). The three pillars of virtual reality? Investigating the roles of immersion, presence, and interactivity. In *Proceedings of the 51st Hawaii international conference on system sciences*. <http://hdl.handle.net/10125/50061>
- Mütterlein, J., & Hess, T. (2017). Immersion, presence, interactivity: Towards a joint understanding of factors influencing virtual reality acceptance and use. In *AMCIS 2017 Proceedings: Adoption and Diffusion of Information Technology (SIGADIT)*. <https://core.ac.uk/download/pdf/301371675.pdf>
- Nicolaidou, I., Pissas, P., & Boglou, D. (2023). Comparing immersive virtual reality to mobile applications in foreign language learning in higher education: A quasi-experiment. *Interactive Learning Environments*, *31*(4), 2001-2015. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1870504>

- Nordahl, R., & Nilsson, N. C. (2014). The sound of being there: presence and interactive audio in immersive virtual reality. In *The Oxford handbook of interactive audio*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199797226.013.013>
- Novak, E., Daday, J., & McDaniel, K. (2018). Assessing intrinsic and extraneous cognitive complexity of e-textbook learning. *Interacting with Computers*, 30(2), 150-161. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwy001>
- Nunez, D. (2004). How is presence in non-immersive, non-realistic virtual environments possible? *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa*, 83-86. ACM. <https://doi.org/10.1145/1029949.1029964>
- Ogbuanya, T. C., & Onele, N. O. (2018). Investigating the effectiveness of desktop virtual reality for teaching and learning of electrical/electronics technology in universities. *Computers in the Schools*, 35(3), 226-248. <https://doi.org/10.1080/07380569.2018.1492283>
- Oleson, J. (1979). Research on Greek and Roman Pumping Technology. *Current Anthropology*, 20(3), 655-656.
- Onyesolu, M. O., & Eze, F. U. (2011). Understanding virtual reality technology: advances and applications. In M. Schmidt (Ed.), *Advances in computer science and engineering* (pp. 53-70). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/15529>
- Paas, F., & Sweller, J. (2012). An evolutionary upgrade of cognitive load theory: Using the human motor system and collaboration to support the learning of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 24(1), 27-45.
- Paas, F., & Sweller, J. (2014). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 27, 27-42.
- Pagano, A., Palombini, A., Bozzelli, G., De Nino, M., Cerato, I., & Ricciardi, S. (2020). Arkaevision vr game: User experience research between real and virtual paestum. *Applied Sciences*, 10(9), 3182. <https://doi.org/10.3390/app10093182>
- Pallavicini, F., & Pepe, A. (2019, October). Comparing player experience in video games played in virtual reality or on desktop displays: Immersion, flow, and positive emotions. In *Extended abstracts of the annual symposium on computer-human interaction in play companion extended abstracts* (pp. 195-210). <https://doi.org/10.1145/3341215.3355736>
- Pallavicini, F., Pepe, A., & Minissi, M. E. (2019). Gaming in virtual reality: What changes in terms of usability, emotional response and sense of presence compared to non-

- immersive video games?. *Simulation & Gaming*, 50(2), 136-159.
<https://doi.org/10.1177/1046878119831420>
- Papachristos, N. M., Vrellis, I., & Mikropoulos, T. A. (2017, July). A comparison between oculus rift and a low-cost smartphone VR headset: immersive user experience and learning. In *2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (pp. 477-481). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.145>
- Papadogiannis, A. S., Papadogianni, N. S., Carabelas, A., Tsitomeneas, S., Kyraggelos, P., & Chondros, T. G. (2009). The Mirror Weapon in Archimedes Era. In *Proceedings of EUROMES 08* (pp. 29-36). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8915-2_4
- Pappa, G., Ioannou, N., Christofi, M., & Lanitis, A. (2018). Preparing student mobility through a VR application for cultural education. In *Advances in digital cultural heritage* (pp. 218-227). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75789-6_16
- Parnell, M. J., Berthouze, N., & Brumby, D. (2009). Playing with scales: Creating a measurement scale to assess the experience of video games. *University College London, London, UK*, 1-90.
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2021a). Cognitive and affective processes for learning science in immersive virtual reality. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(1), 226-241. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2108563>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2021b). Learning about history in immersive virtual reality: does immersion facilitate learning?. *Educational Technology Research and Development*, 69(3), 1433-1451. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09999-y>
- Parong, J., Pollard, K. A., Files, B. T., Oiknine, A. H., Sinatra, A. M., Moss, J. D., ... & Khooshabeh, P. (2020). The mediating role of presence differs across types of spatial learning in immersive technologies. *Computers in human behavior*, 107, 106290. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106290>
- Peatfield, A. et al., (1996) *Aegean Cultures στο The Oxford Companion to Archaeology*, Brian M. Fagan, (ed.). Oxford University Press.

- Pedro, A., Le, Q. T., & Park, C. S. (2016). Framework for integrating safety into construction methods education through interactive virtual reality. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, 142(2), 04015011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000261](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000261)
- Peixoto Valentino, K., Christian, K., & Joelianto, E. (2017). Virtual reality flight simulator. *Internetworking Indonesia Journal*, 9(1), 21-25.
- Peixoto, B., Pinto, D., Krassmann, A., Melo, M., Cabral, L., & Bessa, M. (2019, April). Using virtual reality tools for teaching foreign languages. In *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 581-588). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16187-3_56
- Pérez, L., Diez, E., Usamentiaga, R., & García, D. F. (2019). Industrial robot control and operator training using virtual reality interfaces. *Computers in Industry*, 109, 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.05.001>
- Perret, J., & Vander Poorten, E. (2018, June). Touching virtual reality: a review of haptic gloves. In *ACTUATOR 2018; 16th International Conference on New Actuators* (pp. 1-5). VDE.
- Pescarin, S., d'Annibale, E., Fanini, B., & Ferdani, D. (2018, October). Prototyping on site Virtual Museums: The case study of the co-design approach to the Palatine hill in Rome (Barberini Vineyard) exhibition. In *2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018)* (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2018.8810135>
- Peterson, J., Pearce, P. F., Ferguson, L. A., & Langford, C. A. (2017). Understanding scoping reviews: Definition, purpose, and process. *Journal of the American Association of Nurse Practitioners*, 29(1), 12-16. <https://doi.org/10.1002/2327-6924.12380>
- Petrelli, D. (2019). Making virtual reconstructions part of the visit: An exploratory study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 15, e00123. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00123>
- Phan, M. H., Keebler, J. R., & Chaparro, B. S. (2016). The development and validation of the game user experience satisfaction scale (GUESS). *Human factors*, 58(8), 1217-1247. <https://doi.org/10.1177/001872081666964>
- Piovesan, S. D., Passerino, L. M., & Pereira, A. S. (2012). *Virtual Reality as a Tool in the Education*. International Association for Development of the Information Society. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED542830.pdf>

- Porter III, J., Boyer, M., & Robb, A. (2018, October). Guidelines on successfully porting non-immersive games to virtual reality: a case study in minecraft. In *Proceedings of the 2018 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play* (pp. 405-415). <https://doi.org/10.1145/3242671.3242677>
- Prachyabrued, M., & Robert, O. P. (2018, October). Development of Attack Helicopter Simulator. In *2018 5th Asian Conference on Defense Technology (ACDT)* (pp. 31-36). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ACDT.2018.8592944>
- Quevedo, W. X., Sánchez, J. S., Arteaga, O., Álvarez V, M., Zambrano, V. D., Sánchez, C. R., & Andaluz, V. H. (2017, June). Virtual reality system for training in automotive mechanics. In *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics* (pp. 185-198). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_14
- Rafiee, A., Van der Male, P., Dias, E., & Scholten, H. (2017). Developing a wind turbine planning platform: Integration of «sound propagation model–GIS–game engine» triplet. *Environmental Modelling & Software*, 95, 326-343. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.019>
- Rajanen, D., Clemmensen, T., Iivari, N., Inal, Y., Rızvanoğlu, K., Sivaji, A., & Roche, A. (2017, September). UX professionals' definitions of usability and UX—A comparison between Turkey, Finland, Denmark, France and Malaysia. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 218-239). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68059-0_14
- Rangelova, S., Flutura, S., Huber, T., Motus, D., & André, E. (2019, July). Exploration of physiological signals using different locomotion techniques in a VR adventure game. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 601-616). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23560-4_44
- Rodríguez, J. L., Morga, G., & Cangas-Moldes, D. (2019). Geometry teaching experience in virtual reality with NeoTrie VR. *Psychology, Society & Education*, 11(3), 355-366. <http://orcid.org/0000-0002-2237-2513>
- Rodriguez, N. (2016, July). Teaching virtual reality with affordable technologies. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 89-97). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39510-4_9
- Rorres, C., & Harris, H. G. (2001). A formidable war machine: Construction and operation of Archimedes' iron hand. *Sympos. Extraordinary Machines Structures in Antiquity, August 19–24, 2001—Olympia, Greece*, 1-18.

- Rossi, S., Viola, I., Toni, L., & Cesar, P. (2015). From 3-DoF to 6-DoF: New Metrics to Analyse Users Behaviour in Immersive Applications. *Journal of latex class files* 14(8), 1-13. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.09402>
- Rothbaum, B. O., Hodges, L., Alarcon, R., Ready, D., Shahar, F., Graap, K., ... & Baltzell, D. (1999). Virtual reality exposure therapy for PTSD Vietnam veterans: A case study. *Journal of Traumatic Stress: Official Publication of The International Society for Traumatic Stress Studies*, 12(2), 263-271. <https://doi.org/10.1023/A:1024772308758>
- Rudi, J. (2021). Designing Soundscapes for Presence in Virtual Reality Exhibitions: A Study of Visitor Experiences. *Visitor Studies*, 24(2), 121-136. <https://doi.org/10.1080/10645578.2021.1907151>
- Rupp, M. A., Kozachuk, J., Michaelis, J. R., Odette, K. L., Smither, J. A., & McConnell, D. S. (2016, September). The effects of immersiveness and future VR expectations on subjective-experiences during an educational 360 video. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 60, No. 1, pp. 2108-2112). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. <https://doi.org/10.1177/1541931213601477>
- Rusu, C., Rusu, V., Roncagliolo, S., & González, C. (2015). Usability and user experience: what should we care about?. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach (IJITSA)*, 8(2), 1-12. <https://doi.org/10.4018/ijitsa.2015070101>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101860. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>
- Ryan, R. M., Rigby, C. S., & Przybylski, A. (2006). The motivational pull of video games: A self-determination theory approach. *Motivation and emotion*, 30(4), 344-360. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9051-8>
- Sallnäs, E. L. (1999, April). Presence in multimodal interfaces. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Presence* (pp. 6-7).
- Santucci, F., Frenguelli, F., De Angelis, A., Cuccaro, I., Perri, D., & Simonetti, M. (2020, July). An Immersive Open Source Environment Using Godot. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 784-798). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58820-5>
- Sattar, M. U., Palaniappan, S., Lokman, A., Hassan, A., Shah, N., & Riaz, Z. (2019). Effects of Virtual Reality training on medical students' learning motivation and competency. *Pakistan journal of medical sciences*, 35(3), 852. <https://doi.org/10.12669/pjms.35.3.44>

- Sedláček, D., Okluský, O., & Zara, J. (2019, September). Moon base: A serious game for education. In *2019 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VS-Games.2019.8864540>
- Sedova, N. A., & Dyomin, A. A. (2017). 3D-modeling of a surface vessel in cinema 4d environment and programming waves simulation in unreal engine. *Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education*, 6(2), 68-73.
- See, Z. S., Santano, D., Sansom, M., Fong, C. H., & Thwaites, H. (2018, October). Tomb of a Sultan: a VR digital heritage approach. In *2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2018.8810083>
- Selzer, M. N., Gazcon, N. F., & Larrea, M. L. (2019). Effects of virtual presence and learning outcome using low-end virtual reality systems. *Displays*, 59, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2019.04.002>
- Shelstad, W. J., Smith, D. C., & Chaparro, B. S. (2017, September). Gaming on the rift: How virtual reality affects game user satisfaction. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 61, No. 1, pp. 2072-2076). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. <https://doi.org/10.1177/1541931213602001>
- Sherif, W. (2015). *Learning C++ by creating Games with UE4*. Packt Publishing Ltd.
- Sholihin, M., Sari, R. C., Yuniarti, N., & Ilyana, S. (2020). A new way of teaching business ethics: The evaluation of virtual reality-based learning media. *The International Journal of Management Education*, 18(3), 100428. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2020.100428>
- Simms, D. (1977). Archimedes and the Burning Mirrors of Syracuse. *Technology and Culture*, 18(1), 1-24.
- Simms, D. L. (1987). Archimedes and the Invention of Artillery and Gunpowder. *Technology and culture*, 28(1), 67-79.
- Simms, D. L. (1988). Archimedes' weapons of war and Leonardo. *The British Journal for the History of Science*, 21(2), 195-210.
- Slater, M. (1999). Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire. *Presence*, 8(5), 560-565. <https://doi.org/10.1162/105474699566477>
- Slater, M. (2009). Place Illusion and Plausibility Can Lead to Realistic Behaviour in Immersive Virtual Environments, *Philosophical Trans. Royal Soc. London*, 364(1535), 3549–3557

- Slater, M., Navarro, X., Valenzuela, J., Oliva, R., Beacco, A., Thorn, J., & Watson, Z. (2018). Virtually being lenin enhances presence and engagement in a scene from the russian revolution. *Frontiers in Robotics and AI*, 5, 91. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00091>
- Slater, M., Navarro, X., Valenzuela, J., Oliva, R., Beacco, A., Thorn, J., & Watson, Z. (2018). Virtually being lenin enhances presence and engagement in a scene from the russian revolution. *Frontiers in Robotics and AI*, 5, 91. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00091>
- Šmíd, A. (2017). Comparison of unity and unreal engine. *Czech Technical University in Prague*, 41-61. <https://core.ac.uk/download/pdf/84832291.pdf>
- Smith, J. R., Byrum, A., McCormick, T. M., Young, N., Orban, C., & Porter, C. D. (2017). A controlled study of stereoscopic virtual reality in freshman electrostatics. Arxiv. <https://arxiv.org/pdf/1707.01544.pdf>
- Speicher, M., Hall, B. D., & Nebeling, M. (2019, May). What is mixed reality?. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-15). <https://doi.org/10.1145/3290605.3300767>
- Srivastava, P., Rimzhim, A., Vijay, P., Singh, S., & Chandra, S. (2019). Desktop VR is better than non-ambulatory HMD VR for spatial learning. *Frontiers in Robotics and AI*, 6, 50. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00050>
- Stain, S. (1999). *Archimedes: What did he do besides cry Eureka?* Washington: Mathematical Association of America.
- Steed, A., Pan, Y., Zisch, F., & Steptoe, W. (2016, March). The impact of a self-avatar on cognitive load in immersive virtual reality. In *2016 IEEE virtual reality (VR)* (pp. 67-76). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2016.7504689>
- Steuer, J. S. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence, *Journal of Communication*, 4, 73-93
- Sudharshan, D. (2020). Virtual Reality (VR). In *Marketing in Customer Technology Environments*. Emerald Publishing Limited.
- Sukmawati, A. D. (2018). VR and AR: the future of language documentation dissemination. In *Proceedings of International Conference on Documentation and Information* (Vol. 1, pp. 1-12). <https://doi.org/10.14203/icdi.v1i.48>
- Sundaram, S., Khanna, A., Gupta, D., & Mann, R. (2020). Assisting Students to Understand Mathematical Graphs Using Virtual Reality Application. In *Advanced Computational*

- Intelligence Techniques for Virtual Reality in Healthcare* (pp. 49-62). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-35252-3_3
- Sunday, K., Oyelere, S. S., Agbo, F. J., Aliyu, M. B., Balogun, O. S., & Bouali, N. (2022). Usability evaluation of imikode virtual reality game to facilitate learning of object-oriented programming. *Technology, Knowledge and Learning*, 1-32.
<https://doi.org/10.1007/s10758-022-09634-6>
- Sutherland, I. (1965). *The ultimate display*.
<http://papers.cumincad.org/data/works/att/c58e.content.pdf>
- Sweller, J. (2016). Working memory, long-term memory, and instructional design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(4), 360-367.
<https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002>
- Sweller, J. (2017). The role of independent measures of load in cognitive load theory. In R. Zheng (Ed.), *Cognitive load measurement and application* (pp. 3-7). Routledge.
- Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>
- Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education*, 48(6), 1273-1296.
<https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- Takac, M. (2020, October). Application of Web-based Immersive Virtual Reality in Mathematics Education. In *2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCC49264.2020.9257276>
- Tan, C. T., Leong, T. W., Shen, S., Dubravs, C., & Si, C. (2015, October). Exploring gameplay experiences on the Oculus Rift. In *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play* (pp. 253-263).
<https://doi.org/10.1145/2793107.2793117>
- Tassios, T.P. (2008). Mycenaean Technology. In: Paipetis, S.A. (eds) *Science and Technology in Homeric Epics. History of Mechanism and Machine Science, vol 6*. (pp. 3-33). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8784-4_1
- Tedlock, B. (1993). Mayans and Mayan Studies from 2000 B.C. to AD 1992. *Latin American Research Review*, 28(3), 153–173. <http://www.jstor.org/stable/2503616>
- Tha <https://doi.org/10.1109/tpc.2018.2804238>, J., Duin, A. H., Gee, L., Ernst, N., Abdelqader, B., & McGrath, M. (2018). Understanding virtual reality: Presence, embodiment, and professional practice. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 61(2), 178-195.
[10.1109/tpc.2018.2804238](https://doi.org/10.1109/tpc.2018.2804238)

- Tohidi, H., & Jabbari, M. M. (2012). The effects of motivation in education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 31, 820-824. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.148>
- Torda, A. (2020). CLASSIE teaching—using virtual reality to incorporate medical ethics into clinical decision making. *BMC Medical Education*, 20, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02217-y>
- Tsai, Y. T., Jhu, W. Y., Chen, C. C., Kao, C. H., & Chen, C. Y. (2021). Unity game engine: Interactive software design using digital glove for virtual reality baseball pitch training. *Microsystem Technologies*, 27(4), 1401-1417. <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04302-9>
- Twiss, K. C., Bogaard, A., Bogdan, D., Carter, T., Charles, M. P., Farid, S., ... & Yeomans, L. (2008). Arson or accident? The burning of a Neolithic house at Çatalhöyük, Turkey. *Journal of Field Archaeology*, 33(1), 41-57. <https://doi.org/10.1179/009346908791071358>
- Tzanavari, A., Charalambous-Darden, N., Herakleous, K., & Poullis, C. (2015, July). Effectiveness of an Immersive Virtual Environment (CAVE) for teaching pedestrian crossing to children with PDD-NOS. In *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 423-427). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2015.85>
- Valder, J. (2015). Comparison between Vizard VR Toolkit and Unreal Engine 4 as platforms for virtual experiments in pedestrian dynamics using the Oculus Rift. *Fachhochschule Aachen Campus Jülich. Term paper Mat*, (4006095). <https://juser.fz-juelich.de/record/280982/files/Main%20Paper.pdf>
- Valentino, K., Christian, K., & Joelianto, E. (2017). Virtual reality flight simulator. *Internetworking Indonesia Journal*, 9(1), 21-25.
- Vallianatos, E. (2012). Deciphering and Appeasing the Heavens: The History and Fate of an Ancient Greek Computer. *Leonardo* 45(3), 250-257.
- Van der Kleij, F. M., Feskens, R. C., & Eggen, T. J. (2015). Effects of feedback in a computer-based learning environment on students' learning outcomes: A meta-analysis. *Review of educational research*, 85(4), 475-511. <https://doi.org/10.3102/0034654314564881>
- Vermeule, E. (1983). *Ελλάς, εποχή του χαλκού μπρρ. Ξένος Θεόδωρος*. Αθήνα: Καρδαμίτσα.
- Viciano-Abad, R., Lecuona, A. R., & Poyade, M. (2010). The influence of passive haptic feedback and difference interaction metaphors on presence and task performance. *Presence*, 19(3), 197-212. <https://doi.org/10.1162/pres.19.3.197>

- Vorderer, P., Wirth, W., Gouveia, F. R., Biocca, F., Saari, T., Jäncke, F., ... & Jäncke, P. (2004). MEC spatial presence questionnaire (MEC-SPQ): Short documentation and instructions for application. *Report to the European community, project presence: MEC (IST-2001-37661)*, 3, 5-3.
- Vovk, A., Wild, F., Guest, W., & Kuula, T. (2018, April). Simulator sickness in augmented reality training using the Microsoft HoloLens. In *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-9). <https://doi.org/10.1145/3173574.3173783>
- Voyles, D. (2013). *UnrealScript game programming cookbook*. Packt Publishing Ltd.
- Webster, R. (2016). Declarative knowledge acquisition in immersive virtual learning environments. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1319-1333. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.994533>
- Webster, R., & Dues, J. F. (2017). System Usability Scale (SUS): Oculus Rift® DK2 and Samsung Gear VR®. In *2017 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings* (pp. 2-12). <https://doi.org/10.18260/1-2—28899>
- Weiner, E., Trangenstein, P., McNew, R., & Gordon, J. (2016). Using the virtual reality world of second life to promote patient engagement. *Studies in health technology and informatics*, 225, 198. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-588-4-615>
- Weiss, M. (2020). The Plough and its Parts in Western Europe, στο Romain Garnier (επιμ.), *Loanwords and Substrata*. In *Proceedings of the Colloquium Held in Limoges (5th-7th June, 2018) Innsbruck: Institut für Sprachwissenschaft* (p.p 481-500).
- Wenk, N., Penalver-Andres, J., Buetler, K. A., Nef, T., Müri, R. M., & Marchal-Crespo, L. (2023). Effect of immersive visualization technologies on cognitive load, motivation, usability, and embodiment. *Virtual Reality*, 27(1), 307-331. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00565-8>
- Wiebe, E. N., Lamb, A., Hardy, M., & Sharek, D. (2014). Measuring engagement in video game-based environments: Investigation of the User Engagement Scale. *Computers in Human Behavior*, 32, 123-132. <https://doi.org/10.21449/ijate.594749>
- Wong, A., Leahy, W., Marcus, N., & Sweller, J. (2012). Cognitive load theory, the transient information effect and e-learning. *Learning and instruction*, 22(6), 449-457. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.05.004>
- Woodcroft, B. (Ed.). (1851). *The Pneumatics of Hero of Alexandria: From the Original Greek*. Charles Whittingham.

- Wright, M. (2005). Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων. Η κατασκευή οργάνων στην αρχαιότητα. *Αρχαιολογία και Τέχνες*, 95, 54-60.
- Wu, B., Yu, X., & Gu, X. (2020). Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 1991-2005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13023>
- Xie, H., Wei, L., & Li, P. (2020, June). Application of Computer Virtual Reality Technology in Design. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1575, No. 1, p. 012123). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1575/1/012123>
- Xie, Y., Ryder, L., & Chen, Y. (2019). Using interactive virtual reality tools in an advanced Chinese language class: A case study. *TechTrends*, 63(3), 251-259. <https://doi.org/10.1007/s11528-019-00389-z>
- Yu, I., Mortensen, J., Khanna, P., Spanlang, B. & Slater, M. (2012). Visual Realism Enhances Realistic Response in an Immersive Virtual Environment, *IEEE Computer Graphics & Applications*, 32(6), 36-45
- Zachara, M., & Zagal, J. P. (2009, October). Challenges for success in stereo gaming: a Virtual Boy case study. In *Proceedings of the international conference on Advances in Computer Entertainment Technology* (pp. 99-106). <https://doi.org/10.1145/1690388.1690406>
- Zafeiropoulos, V., & Kalles, D. (2018, November). Quantitative liquid simulation in an interactive 3D virtual laboratory. In *Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics* (pp. 219-224). <https://doi.org/10.12973/ejmste/79171>
- Zekai, Ş. E. N. (2016). Technology and its Place In Islamic Civilization. *Afro Eurasian Studies*, 5(1-2), 70-89.
- Zhang, L., Bowman, D. A., & Jones, C. N. (2019, September). Exploring effects of interactivity on learning with interactive storytelling in immersive virtual reality. In *2019 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)* (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VS-Games.2019.8864531>
- Zhao, J., LaFemina, P., Carr, J., Sajjadi, P., Wallgrün, J. O., & Klippel, A. (2020, March). Learning in the field: Comparison of desktop, immersive virtual reality, and actual field trips for place-based STEM education. In *2020 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (pp. 893-902). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR46266.2020.00012>

- Zhao, Y., Forte, M., & Kopper, R. (2018, March). VR touch museum. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 741-742). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446581>
- Αντωνόπουλος, Π. (2019). *Ανάπτυξη και αξιολόγηση εκπαιδευτικού υλικού με τη διδακτική προσέγγιση φυσικές επιστήμες, τεχνολογία, μηχανική και μαθηματικά (STEM) για μετεωρολογικό σταθμό* (Master Thesis). <http://hdl.handle.net/11610/18835>
- Αντωνόπουλος, Π., & Φωκίδης, Ε. (2021). Δημιουργία εφαρμογής πλήρους εμβυθισμένης εικονικής πραγματικότητας για τη διδασκαλία στοιχείων της Αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας. *1ο Διεθνές Διαδικτυακό Εκπαιδευτικό Συνέδριο Από τον 20ο στον 21ο αιώνα μέσα σε 15 ημέρες*, (1), 618-627. <https://doi.org/10.12681/online-edu.3273>
- Βέμη, Μ. & Νάκου, Ε. (επιμ.) (2010). *Μουσεία και εκπαίδευση*. Αθήνα: Νήσος
- Βλάχος, Α. (1968). *Θουκιδίδου Ιστορία του Πελοποννησιακού Πολέμου*. Εκδόσεις Γαλαξίας
- Δανός, Μ. (1982). *Η τέχνη της κεραμικής*. Αθήνα: Ε.Ο.Μ.Μ.Ε.Χ.
- Δήμα, Κ., & Ηγουμένου, Ν. (2014). *Εικονική πραγματικότητα* (Batselor Thesis).
https://apothetirio.lib.uoi.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/197/tlp_000133A.pdf?sequence=1
- Θεοδωρακοπούλου, Α. (2023). *Εισαγωγή στην εποχή του Λίθου: Αρχαιολογία και παλαιοπεριβάλλον στις κοινωνίες της Ανατολικής Μεσογείου*. Αθήνα: Κάλλιπος.
- Θεοχάρης, Δ. (1973). *Νεολιθική Ελλάδα*. Αθήνα: Εθνική Τράπεζα Ελλάδος.
- Θεοχάρης, Δ.Ρ.Θ. (1981). *Νεολιθικός Πολιτισμός*. Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης.
- Καλλιγερόπουλος, Δ. (1996). *Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία- Η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων: Αυτοματοποιητική Ήρωνα του Αλεξανδρινού*. Αθήνα: Φοινίκη.
- Κανελλόπουλος, Α. Α., & Κουτσούμπα, Μ. (2017). Συνδέοντας την Ανοικτή και εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση, τις Νέες Τεχνολογίες και τις Μορφές Μάθησης. Η περίπτωση των MOOCs. *Διεθνές Συνέδριο για την Ανοικτή & εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση*, 9(4A), 123-135. <http://orcid.org/0000-0001-7998-7204>
- Κόκοτας, Π., & Πλακίτση, Κ. (2005). *Μουσειοπαιδαγωγική και εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες*. Πατάκη
- Λάζος, Χ. (1997). *Τηλεπικοινωνίες των Αρχαίων Ελλήνων*. Αίολος.
- Λέκκα, Α. Θ. Μ. (2017). *Η παιδαγωγική αξιοποίηση των ψηφιακών παιχνιδιών στην τυπική και άτυπη εκπαίδευση* (Doctoral dissertation, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Σχολή Επιστημών Αγωγής. Τμήμα Νηπιαγωγών).
<https://olympias.lib.uoi.gr/jspui/bitstream/123456789/28883/1/%ce%94.%ce%94.%20%ce%9b%ce%95%ce%9a%ce%9a%ce%91%20%ce%91%ce%a3%ce%a0%ce%91%>

[ce%a3%ce%99%ce%91%20%ce%98%ce%95%ce%9c%ce%99%ce%a3%20%ce%9c%ce%95%ce%a1%ce%9f%ce%a0%ce%97%202017.pdf](#)

- Μουσάς, Ξ. (2017). Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: από τα Κυκλαδικά τηγανόσχημα στο αρχαιότερο ταμπλετ. *Ναζικά Χρονικά*, 1-56
- Μουσείο κυκλαδικής τέχνης. (2021. 17 Δεκεμβρίου). *Οι Κυκλάδες και ο κυκλαδικός πολιτισμός*. <http://repository-mca.ekt.gr/mca/bitstream/20.500.12040/42/1/%CE%9A%CE%A5%CE%9A%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A3%20%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%99%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A3%201%CE%BF%CF%82%20%CE%9F%CE%A1%CE%9F%CE%A6%CE%9F%CE%A3%20%CE%9C%CE%9A%CE%A4.pdf>
- Μουστάκας, Σ. Ι. (2012). *Αναπαράσταση λειτουργίας αρχαίων υδραυλικών έργων στην περιοχή της Κωπαΐδας* (Bachelor's thesis).
- Μουτσάτσου, Γ. (2020). *Τεχνολογία και επικοινωνία διαχρονικά. Η περίπτωση του μουσείου αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας Κώστα Κοτσανά* (Master Thesis). <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/48693>
- Μπονόβας Ν., Τζίτζιμπάση Α. (επιμ.) (2011). *Βυζάντιο και Άραβες. Κατάλογος έκθεσης, Οκτώβριος 2011-Ιανουάριος 2012*. Θεσσαλονίκη: Μουσείο Βυζαντινού Πολιτισμού.
- Μπουράς, Χ. (1980). *Μαθήματα ιστορίας της αρχιτεκτονικής*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Νάκου, Ε. (2001). *Μουσεία: Εμείς, τα πράγματα και ο πολιτισμός*. Νήσος
- Νικονάνου, Ν., Μπούνια, Α., Φιλίππουπολίτη, Α., Χουρμουζιάδη, Α., & Γιαννούτσου, Ν. (2016). *Μουσειακή μάθηση και εμπειρία στον 21ο αιώνα*. Κάλλιπος. <http://83.212.175.100/jspui/bitstream/11419/712/7/NIKONANOY.pdf>
- Νοδάρου, Ε. (2010). *Ανάλυση αρχαίας κεραμικής: Χαρακτηρισμός, προέλευση, τεχνολογία. Αρχαιο-υλικά*. Αθήνα: Παπαζήση.
- Ντίνου, Μ. Μ. (2019). *Αξιολόγηση της μουσειακής μάθησης: η εφαρμογή του εργαλείου των γενικών μαθησιακών αποτελεσμάτων στο μουσείο παιδείας του πανεπιστημίου Αθηνών* (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Φιλοσοφική. Τμήμα Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής και Ψυχολογίας). <https://doi.org/10.12681/eadd/45193>
- Ορλάνδος, Α. (2004). *Τα υλικά δομής των αρχαίων Ελλήνων και οι τρόποι εφαρμογής αυτών κατά τους συγγραφείς, τας επιγραφάς και τα μνημεία*. Αθήνα: Π. Μπουλουκού-Φ. Πιρπινια Ο.Ε.

- Ορφανός, Π. (1999). *Ησιόδου: Έργα και Ημέραι*. Λευκωσία: Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών.
- Πουλιανός, Ν. (2005). *Εισαγωγή στη Παλαιολιθική Τεχνολογία και Τυπολογία*. Αθήνα: Καρδαμίτσα.
- Σάμψων Α. (2010). *Μεσολιθική Ελλάδα 9000-6500 π.Χ.* Αθήνα: Ίων.
- Σάμψων, Α. (2007). *Προϊστορική Αρχαιολογία της Μεσογείου*. Αθήνα: Καρδαμίτσα.
- Σειραδάκης, Ι. (2016). *Ο Μηχανισμός των Αντικηθύρων: Βασικά Στοιχεία και Πρόσφατα Αποτελέσματα» στο Λαγογιάννη-Γεωργακαράκου Μ. (επιμ.) 2016. Οδύσσειες*. Αθήνα: Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων και Απαλλοτριώσεων.
- Στρατάκη, Δ. (2020). *Το εικονικό μουσείο και η διδακτική αξιοποίησή του στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση* (Master Thesis). <http://hdl.handle.net/10889/13573>
- Τζάλας, Χ. (2003). *Τα πλοία των Ελλήνων: από τις σχεδίες και τα μονόξυλα των προϊστορικών χρόνων*. Helios. <https://helios-eie.ekt.gr/EIE/bitstream/10442/8109/1/M01.32.03.pdf>
- Τζάλας, Χ. (2003). *Το ταξίδι: από τους αρχαίους έως τους νεότερους χρόνους*. Αθήνα: ΕΙΕ.
- Τζαχίλη, Ι. (2005). Η υφαντική τέχνη στην Εποχή του Χαλκού. *Αρχαιολογία και Τέχνες*, 94, 67-70.
- Τσώνη, Ρ. (2017). Γνωστικό φορτίο και πολυμορφικό διδακτικό υλικό στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση. *Διεθνές Συνέδριο για την Ανοικτή & εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση*, 9(3Α), 42-51. <https://doi.org/10.12681/icodl.1143>
- Φωκίδης, Ε., Ατσικπάση, Π., &. (2022). *(Πλήρως Εμβυθισμένη) Εικονική Πραγματικότητα Μάθηση και Εκπαίδευση*. Εκδόσεις Ζυγός.
- Φωκίδης, Ε., Τσολακίδης, Κ., &. (2011). *Η εικονική πραγματικότητα στην εκπαίδευση θεωρία και πράξη*. Εκδόσεις Διάδραση.
- Χολέβα, Μ. (2018). *Παράγοντας έναν τεχνίτη για τον τροχό στο προϊστορικό Αιγαίο της 3ης χιλιετίας π.Χ. Προς μια κοινωνική θεώρηση της τεχνικής πράξης στο Κρίση-Εξαμηνιαία Επιστημονική Επιθεώρηση 2018*. Αθήνα: Τόπος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ TESTS ΕΡΕΥΝΑΣ

Κυρίως έρευνα

Tests γνώσεων για το ΠΕΕΠ λογισμικό:

1) Αιολόσφαιρα

1.1) Η αιολόσφαιρα :

- α) είναι έργο του Αρχιμήδη τον 2^ο μ.Χ. αιώνα
- β) είναι έργο του Αρχιμήδη τον 1^ο π.Χ. αιώνα
- γ) είναι έργο του Ήρωνα τον 2^ο π.Χ. αιώνα
- δ) είναι έργο του Ήρωνα τον 1^ο μ.Χ. αιώνα
- ε) είναι έργο του Κτησίβιου τον 3^ο π.Χ. αιώνα

1.2) Για να εκκινήσει η αιολόσφαιρα θα πρέπει:

- α) Να περιέχει ικανή ποσότητα νερού και να ανάψει φωτιά κάτω της
- β) Να ανάψει φωτιά από κάτω της και να της δοθεί ώθηση με το χέρι
- γ) Να περιέχει ικανή ποσότητα νερού και να τραβηχτεί ο μοχλός
- δ) Να ανάψει φωτιά από κάτω της και να τραβηχτεί ο μοχλός
- ε) Να της δοθεί ώθηση με το χέρι και να περιέχει ικανή ποσότητα νερού

1.3) Η αιολόσφαιρα χρησιμοποιήθηκε με σκοπό:

- α) την έλξη φορτίων
- β) την εξύψωση βαρών
- γ) την επίδειξη
- δ) το άνοιγμα των θυρών
- ε) την κίνηση τροχών

1.4) Η λειτουργία της αιολόσφαιρας βασίζεται:

- α) στην κίνηση με ιμάντες
- β) σε κώδικα επικοινωνίας
- γ) στη χρήση αντιβάρους

- δ) στην πίεση του αέρα
- ε) στην κίνηση με ατμό

1.5) Μηχανικά μέρη της αιολόσφαιρας είναι:

- α) ο ρότορας, ο στάτορας και η εξάτμιση
- β) η βάση, ο στάτορας και το αντίβαρο
- γ) ο φυσητήρας, ο ρότορας και ο στάτορας
- δ) ο ρότορας, ο στάτορας και το ελατήριο
- ε) ο κοίλος κορμός, ο ρότορας και ο στάτορας

1.6) Η αιολόσφαιρα περιγράφεται στο έργο:

- α) «Πνευματικά» του Ήρωνα
- β) «Ιστορία» του Αρχιμήδη
- γ) «Περί πνευματικής» του Ήρωνα
- δ) «Υπομνήματα μηχανικά» Αρχιμήδη
- ε) «Πνευματικά» του Δημόκλειτου

1.7) Η λειτουργία της αιολόσφαιρας σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να περιγράψει με το παρακάτω διάγραμμα:

- α) ατμός → στρέψη του στάτορα → στρέψη του ρότορα
- β) θέρμανση νερού → στρέψη του ρότορα → ατμός
- γ) στρέψη του ρότορα → ώθηση με το χέρι → ατμός
- δ) θέρμανση νερού → ατμός → κίνηση ιμάντα
- ε) θέρμανση νερού → ατμός → στρέψη του ρότορα

1.8) Οι πίδακες του ατμού που δημιουργούνται μέσα στην αιολόσφαιρα:

- α) εξέρχονται από τις εξατμίσεις και περιστρέφουν τον ρότορα
- β) εξέρχονται από τις εξατμίσεις και περιστρέφουν τον στάτορα
- γ) εισέρχονται μέσω των σωλήνων από τον ρότορα στο στάτορα
- δ) εισέρχονται από τις εξατμίσεις στον ρότορα και τον περιστρέφουν
- ε) θερμαίνουν τον ρότορα, ο οποίος διαστέλλεται, χαλαρώνουν οι συνδέσεις του και περιστρέφεται

1.9) Κατά τη λειτουργία της η αιολόσφαιρα:

- α) εκκινεί απότομα

- β) κινείται όσο εξέρχεται καπνός από τις εξατμίσεις
- γ) κινείται και αφού σταματήσει να εξέρχεται ατμός από τις εξατμίσεις
- δ) σταματά απότομα
- ε) κινείται με σταθερή ταχύτητα περιστροφής, όσο εξέρχεται ατμός από τις εξατμίσεις

1.10) Υλικά με τα οποία κατασκευάστηκε η αιολόσφαιρα είναι:

- α) η πέτρα και ο χαλκός
- β) ο χαλκός και το ξύλο
- γ) το σίδηρο και το ξύλο
- δ) ο χαλκός και το σίδηρο
- ε) ο μόλυβδος και το σίδηρο

2) Το φλογοβόλο των Βοιωτών

2.1) Το φλογοβόλο των Βοιωτών χρησιμοποιήθηκε στην μάχη:

- α) του Δήλιου το 424 π.Χ.
- β) των Θερμοπυλών το 424 π.Χ.
- γ) των Πλαταιών το 242 π.Χ.
- δ) των Θερμοπυλών το 244 π.Χ.
- ε) του Δήλιου το 242 π.Χ.

2.2) Η λειτουργία του φλογοβόλου των Βοιωτών βασίζεται:

- α) στην πίεση του ατμού
- β) στην πίεση του αέρα ο οποίος εκτοξεύει τη φωτιά
- γ) στην εκτόξευση φορτίου με χρήση αντιβάρους
- δ) στην πίεση που ασκεί ο διαστελλόμενος αέρος
- ε) στην περιστροφική κίνηση του ρότορα

2.3) Για το φλογοβόλο των Βοιωτών μας πληροφορεί ο:

- α) Πausανίας στο έργο του «Περί φλογοβόλων»
- β) Ιώσηπος στο έργο του «Ιστορίαι»
- γ) Ηρόδοτος στο έργο του «Περί φλογοβόλων»
- δ) Θουκυδίδης στο έργο του «Περί φλογοβόλων»
- ε) Θουκυδίδης στο έργο του «Ιστορίαι»

2.4) Για να ρίξει το φλογοβόλο θα πρέπει:

- α) να υπάρχει αναμμένη φωτιά στο καζάνι και να τραβηχτεί ο μοχλός
- β) να υπάρχει αναμμένη φωτιά στο καζάνι και να ανάψει επιπλέον φωτιά στο πίσω μέρος του φλογοβόλου
- γ) να τραβηχτεί πρώτα η αλυσίδα και μετά ο μοχλός
- δ) να τραβηχτεί πρώτα ο μοχλός και μετά η αλυσίδα
- ε) να υπάρχει αναμμένη φωτιά στο καζάνι και να τραβηχτεί ο ιμάντας

2.5) Η λειτουργία του φλογοβόλου σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να περιγράψει με την παρακάτω φράση:

- α) Η πίεση του φυσητήρα σπρώχνει τον αέρα, ο οποίος εκτοξεύει τη φωτιά
- β) Ο αέρας πιέζει τον φυσητήρα και εκτοξεύεται η φωτιά
- γ) Η φωτιά εκτοξεύεται και έτσι πιέζεται ο αέρας μέσα στον φυσητήρα
- δ) Η πίεση του φυσητήρα προκαλεί έκρηξη και εκτόξευση της φωτιάς
- ε) Η φωτιά πιέζεται να βγει εκτός του φυσητήρα

2.6) Το φλογοβόλο των Βοιωτών

- α) αποτελεί το δεύτερο φλογοβόλο της Ιστορίας μετά το φλογοβόλο του Αρχιμήδη
- β) αποτελεί το πρώτο φλογοβόλο που χρησιμοποιήθηκε εναντίων των Σπαρτιατών
- γ) αποτελεί το πρώτο φλογοβόλο της Ιστορίας
- δ) ένα από τα πρώτα φλογοβόλα των αρχαίων Ελλήνων
- ε) μαζί με το φλογοβόλο των Αθηναίων αποτελούν τα πρώτα φλογοβόλα της Ιστορίας

2.7) Το φλογοβόλο των Βοιωτών θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν:

- α) τροχήλατο φλογοβόλο
- β) κανόνι που ρίχνει φωτιά
- γ) τροχήλατος καταπέλτης
- δ) φλογοβόλος καταπέλτης
- ε) τροχήλατος καταπέλτης

2.8) Υλικά με τα οποία κατασκευάστηκε το φλογοβόλο των Βοιωτών είναι:

- α) ο μόλυβδος και το δέρμα
- β) το ξύλο και η πέτρα

- γ) το σίδηρο και ο μόλυβδος
- δ) το ξύλο και ο χαλκός
- ε) το κεραμικό και ο μόλυβδος

2.9) Μηχανικά μέρη του φλογοβόλου αποτελούν:

- α) το καζάνι, ο σωλήνας και ο κοίλος κορμός
- β) το καζάνι, ο γεμιστήρας και ο κοίλος κορμός
- γ) ο γεμιστήρας, ο σωλήνας και ο κοίλος κορμός
- δ) το ελατήριο, ο γεμιστήρας και ο σωλήνας
- ε) το δοχείο ατμού, το ελατήριο και ο σωλήνας

2.10) Το φλογοβόλο των Βοιωτών έχει μήκος:

- α) περισσότερο από δύο επιβατικά αυτοκίνητα
- β) περίπου σαν επιβατικό αυτοκίνητο
- γ) μεταξύ μεγάλης μηχανής μοτοσυκλέτας και αυτοκινήτου
- δ) μικρότερο από μοτοσυκλέτα
- ε) περισσότερο από επιβατικό αυτοκίνητο

3) Οι Φρυκτωρίες

3.1) Στις Φρυκτωρίες:

- α) οι πυρσοί άναβαν τη νύχτα για να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ορατότητα
- β) οι πυρσοί δεν άναβαν τη νύχτα για να μην γίνουν αντιληπτοί από τον εχθρό
- γ) η επικοινωνία γινόταν την μέρα για να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ορατότητα
- δ) οι πυρσοί άναβαν τη νύχτα για θρησκευτικούς λόγους
- ε) οι πυρσοί άναβαν στο ημίφως ώστε να μην γίνονται αντιληπτοί από πολύ μακριά, από τα εχθρικά κράτη

3.2) Για τις Φρυκτωρίες μας πληροφορεί:

- α) ο Ηρόδοτος στο έργο του «Ιστορία»
- β) ο Πολύβιος στο έργο του «Περί επικοινωνιών»
- γ) ο Ηρόδοτος στο έργο του «Περί επικοινωνιών»
- δ) ο Πολύβιος στο έργο του «Ιστορία»
- ε) ο Ιώσηπος στο έργο του «Ιστορικά ζητήματα»

3.3) Τις Φρυκτωρίες τις επινόησαν οι:

- α) Δημοκλείτος και Κλεοξένος τον 2^ο π.Χ. αιώνα
- β) Αρχιμήδης και Ήρωνας τον 3^ο π.Χ. αιώνα
- γ) Ικτίνος και Καλλικράτης τον 2^ο π.Χ. αιώνα
- δ) Δημοκλείτος και Κλεοξένος τον 3^ο π.Χ. αιώνα
- ε) Αρχιμήδης και Ήρωνας τον 3^ο π.Χ. αιώνα

3.4) Η διόπτρα ήταν μια συσκευή που:

- α) επέτρεπε την παρατήρηση του γύρω εδάφους για την πρόληψη κινδύνων
- β) επέτρεπε την οπτική ένωση του δεξιού με το αριστερό τοίχιο
- γ) επέτρεπε την οπτική μεγέθυνση του δεξιού και του αριστερού τοιχίου
- δ) επέτρεπε την οπτική απομόνωση του δεξιού από το αριστερό τοίχιο
- ε) επέτρεπε την καλύτερη ανάγνωση επιστολών

3.5) Ο φρυκτωρός ήταν:

- α) αυτός που έστελνε μηνύματα
- β) αυτός που έχτιζε Φρυκτωρίες
- γ) αυτός που διοικούσε τις Φρυκτωρίες
- δ) ο εφευρέτης των Φρυκτωριών
- ε) Ο χορηγός που μεριμνούσε για την κατασκευή Φρυκτωριών

3.6) Η συνεννόηση των Φρυκτωριών βασιζόταν:

- α) σε προσυμφωνημένο κώδικα που βρίσκεται ανάμεσα στα τοίχια
- β) σε προσυμφωνημένο κώδικα που αντιστοιχεί τους πυρσούς σε αριθμούς
- γ) σε προσυμφωνημένο κώδικα που αποκρυπτογραφούταν με τη χρήση της κρυπτείας
- δ) στα ταχυδρομικά περιστέρια
- ε) σε προσυμφωνημένο κώδικα που αντιστοιχούσε τις σαλπίσεις σε γράμματα

3.7) Η διόπτρα ήταν τοποθετημένη:

- α) πάνω σε ξύλινη πινακίδα
- β) αριστερά από τα τοίχια
- γ) δεξιά από τα τοίχια
- δ) πάνω στα τοίχια

ε) ανάμεσα στα τοιχία

3.8) Υλικά με τα οποία κατασκευάστηκε το σύστημα των φρυκτωριών είναι:

- α) η πέτρα και το ξύλο
- β) η πέτρα και ο χαλκός
- γ) το ξύλο και ο ορείχαλκος
- δ) η πέτρα και το κεραμικό
- ε) το ξύλο και ο μόλυβδος

3.9) Τα τοιχία των φρυκτωριών έχουν ύψος:

- α) περίπου αναστήματος ανδρός
- β) πάνω από δυο μέτρα
- γ) περίπου ένα μέτρο
- δ) μεταξύ δύο και τριών μέτρων
- ε) πάνω από τρία μέτρα

3.10) Οι φρυκτωρίες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν σαν:

- α) τοιχία περίφραξης
- β) τοιχία με πολεμίστρες
- γ) τοιχία οικίας
- δ) τοιχία ανακτόρου
- ε) τοιχία ναού

4) Το αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού

4.1) Το αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού είναι μια επινόηση του: ίδια

- α) Ήρωνα τον 1^ο μ.Χ. αιώνα
- β) Αρχιμήδη τον 1^ο π.Χ. αιώνα
- γ) Ήρωνα τον 2^ο π.Χ. αιώνα
- δ) Αρχιμήδη τον 2^ο μ.Χ. αιώνα
- ε) Κτησίβιου τον 3^ο π.Χ. αιώνα

4.2) Η σπουδαιότητα του αυτόματου ανοίγματος των θυρών είναι πολύ μεγάλη:

- α) γιατί αποτελεί τον πρώτο αυτοματισμό για κτήρια στην Ιστορία
- β) γιατί αποτελεί τον πρώτο αυτοματισμό των ελληνιστικών χρόνων
- γ) γιατί αποτελεί τον πρώτο πολύπλοκο αυτοματισμό στην Ιστορία
- δ) γιατί αποτελεί τον πρώτο ελληνικό αυτοματισμό στην Ιστορία
- ε) γιατί αποτελεί τον πρώτο αυτοματισμό του Κτησίβιου

4.3) Μηχανικά μέρη του αυτόματου ανοίγματος των θυρών του ναού αποτελούν:

- α) ο σωλήνας, η δοκός, ο μοχλός και ο λέβητας
- β) το αντίβαρο, το δοχείο νερού, ο μοχλός και ο λέβητας
- γ) το αντίβαρο, το δοχείο νερού, ο σωλήνας και η δοκός
- δ) ο κοίλος κορμός, το αντίβαρο, η δοκός και το δοχείο νερού
- ε) ο κοίλος κορμός, το δοχείο νερού, ο σωλήνας και η δοκός

4.4) Η λειτουργία του αυτόματου ανοίγματος των θυρών του ναού βασίζεται:

- α) στη διαστολή θερμού αέρα ο οποίος εκκινεί τον μηχανισμό
- β) στην παραγωγή ατμού
- γ) στην περιστροφική κίνηση του ρότορα
- δ) στην πίεση του αέρα από τον φυσητήρα (φυσερό)
- ε) στον βρασμό του νερού

4.5) Το αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού περιγράφεται στο έργο:

- α) «Πνευματικά» του Δημόκλειτου
- β) «Ιστορία» του Αρχιμήδη
- γ) «Περί Πνευματικής» του Ήρωνα
- δ) «Υπομνήματα μηχανικά» Αρχιμήδη
- ε) «Πνευματικά» του Ήρωνα

4.6) Για να εκκινήσει ο αυτοματισμός των θυρών:

- α) θα πρέπει να τραβηχτεί ο μυστικός μοχλός
- β) θα πρέπει να ανάψει φωτιά πλησίον του αγάλματος της Αθηνάς
- γ) θα πρέπει να ανάψει φωτιά στον βωμό
- δ) θα πρέπει να κινηθούν οι θύρες με τα χέρια
- ε) θα πρέπει να ανοιχτεί η βάνα εκκίνησης

4.7) Όταν σβήσει η φωτιά τότε ο αέρας κάτω από το βωμό κρυνώνει:

- α) συστέλλεται και οι πόρτες του ναού παραμένουν ανοιχτές
- β) διαστέλλεται και οι πόρτες του ναού κλείνουν
- γ) συστέλλεται και οι πόρτες του ναού κλείνουν
- δ) συστέλλεται και οι πόρτες του ναού ανοίγουν
- ε) διαστέλλεται και οι πόρτες του ναού ανοίγουν

4.8) Υλικά με τα οποία είναι κατασκευασμένος ο μηχανισμός του αυτόματου ανοίγματος των θυρών είναι:

- α) το σίδηρο και το κεραμικό
- β) το ξύλο και η πέτρα
- γ) ο χαλκός και το σίδηρο
- δ) ο χαλκός και ο μόλυβδος
- ε) το ξύλο και το κεραμικό

4.9) Το θυσιαστήριο του ναού έχει ύψος:

- α) περισσότερο από ενάμιση μέτρο
- β) περίπου μισό μέτρο
- γ) περίπου ενάμιση μέτρο
- δ) περίπου ένα μέτρο
- ε) λιγότερο από μισό μέτρο

4.10) Το αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν:

- α) πολύπλοκο μηχανικό σύστημα
- β) σύστημα γранаζιών
- γ) σύστημα ατμολέβητα
- δ) απλό σύστημα
- ε) μηχανικό σύστημα με καλλιτεχνικά στοιχεία

Tests γνώσεων για για το ΕπΕΠ λογισμικό

1) Αιωρούμενη σφαίρα

1.1) Η αιωρούμενη σφαίρα :

- α) είναι έργο του Αρχιμήδη τον 2^ο μ.Χ. αιώνα
- β) είναι έργο του Αρχιμήδη τον 1^ο π.Χ. αιώνα
- γ) είναι έργο του Ήρωνα τον 2^ο π.Χ. αιώνα
- δ) είναι έργο του Ήρωνα τον 1^ο μ.Χ. αιώνα
- ε) είναι έργο του Κτησίβιου τον 3^ο π.Χ. αιώνα

1.2) Για να εκκινήσει η αιωρούμενη σφαίρα θα πρέπει:

- α) Να περιέχει ικανή ποσότητα νερού και να τραβηχτεί ο μοχλός
- β) Να ανάψει φωτιά από κάτω της και να της δοθεί ώθηση με το χέρι
- γ) Να περιέχει ικανή ποσότητα νερού και να ανάψει φωτιά κάτω της
- δ) Να ανάψει φωτιά από κάτω της και να τραβηχτεί ο μοχλός
- ε) Να της δοθεί ώθηση με το χέρι και να περιέχει ικανή ποσότητα νερού

1.3) Η αιωρούμενη σφαίρα χρησιμοποιήθηκε με σκοπό:

- α) την κίνηση τροχών
- β) την εξύψωση βαρών
- γ) την έλξη φορτίων
- δ) το άνοιγμα των θυρών
- ε) την επίδειξη

1.4) Η λειτουργία της αιωρούμενης σφαίρας βασίζεται:

- α) σε κώδικα επικοινωνίας
- β) στην κίνηση με ατμό
- γ) στη χρήση αντιβάρους
- δ) στην πίεση του αέρα
- ε) στην κίνηση με ιμάντες

1.5) Μηχανικά μέρη της αιωρούμενης σφαίρας είναι:

- α) ο λέβητας, η εξάτμιση, η σφαίρα και η βάνα
- β) ο λέβητας, η εξάτμιση, ο ρότορας και το αντίβαρο
- γ) ο φυσητήρας, ο ρότορας, ο λέβητας και η εξάτμιση,
- δ) ο ρότορας, ο στάτορας, η σφαίρα και η βάνα
- ε) ο κούλος κορμός, ο ρότορας, η σφαίρα και η βάνα

1.6) Η αιωρούμενη σφαίρα περιγράφεται στο έργο:

- α) «Πνευματικά» του Δημόκλειτου
- β) «Ιστορία» του Αρχιμήδη
- γ) «Περί πνευματικής» του Ήρωνα
- δ) «Υπομνήματα μηχανικά» Αρχιμήδη
- ε) «Πνευματικά» του Ήρωνα

1.7) Η λειτουργία της αιωρούμενης σφαίρας σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να περιγράψει με το παρακάτω διάγραμμα:

- α) αιώρηση σφαίρας → ώθηση με το χέρι → ατμός
- β) θέρμανση νερού → αιώρηση σφαίρας → ατμός
- γ) θέρμανση νερού → ατμός → αιώρηση σφαίρας
- δ) θέρμανση νερού → αιώρηση σφαίρας → κίνηση ιμάντα
- ε) ατμός → στρέψη του ρότορα → αιώρηση σφαίρας

1.8) Οι πίδακες του ατμού που δημιουργούνται μέσα στην μηχανή:

- α) εξέρχονται από την εξάτμιση και ανυψώνουν τη σφαίρα
- β) εξέρχονται από τις εξάτμιση της μηχανής και σπρώχνουν τη σφαίρα πάνω στην εξάτμιση
- γ) εισέρχονται μέσω της εξάτμισης μέσα στο λέβητα
- δ) εισέρχονται στο λέβητα και ανυψώνουν τη σφαίρα
- ε) θερμαίνουν το ελατήριο, το οποίο διαστέλλεται και ανυψώνει τη σφαίρα

1.9) Κατά τη λειτουργία της η αιωρούμενη σφαίρα:

- α) αιωρείται και μετά τη διακοπή του ατμού
- β) αιωρείται για όσο εξέρχεται καπνός από την εξάτμιση
- γ) σταματάει να αιωρείται μόλις σβήσει η φωτιά στη βάση
- δ) αιωρείται και αφού σταματήσει να καίει η φωτιά στη βάση
- ε) αιωρείται και μετά τη διακοπή του καπνού

1.10) Υλικά με τα οποία κατασκευάστηκε η αιωρούμενη σφαίρα είναι:

- α) ο χαλκός και το ξύλο
- β) ο χαλκός και το σίδηρο
- γ) το σίδηρο και το ξύλο
- δ) η πέτρα και ο χαλκός

ε) ο χαλκός και το κεραμικό

2) Το ατμοτηλεβόλο του Αρχιμήδη

2.1) Το ατμοτηλεβόλο ανακαλύφθηκε:

α) κατά τη διάρκεια της πολιορκίας των Συρακουσών περίπου το 212 π.Χ.

β) κατά τη διάρκεια της πολιορκίας της Τύρου περίπου το 212 π.Χ.

γ) κατά τη διάρκεια της πολιορκίας των Συρακουσών περίπου το 122 π.Χ.

δ) κατά τη διάρκεια της πολιορκίας των Αθηνών περίπου το 122 μ.Χ.

ε) κατά τη διάρκεια της πολιορκίας της Τύρου περίπου το 212 μ.Χ.

2.3) Η λειτουργία του ατμοτηλεβόλου βασίζεται:

α) στην πίεση που ασκεί ο διαστελλόμενος αέρος

β) στην περιστροφική κίνηση του ρότορα

γ) στην εκτόξευση φορτίου με χρήση αντιβάρους

δ) στην πίεση του ατμού

ε) στην πίεση του αέρα ο οποίος εκτοξεύει τη φωτιά

2.4) Για το ατμοτηλεβόλο μας πληροφορεί ο:

α) Αρχιμήδης στο έργο του «περί θεραπευτικών μέσων εκατέρας των τυχών»

β) Ιώσηπος στο έργο του «περί θεραπευτικών μέσων εκατέρας των τυχών»

γ) Ηρόδοτος στο έργο του «περί όπλων ατμού»

δ) Πετράρχης στο έργο του «περί όπλων ατμού»

ε) Πετράρχης στο έργο του «περί θεραπευτικών μέσων εκατέρας των τυχών»

2.5) Το ατμοτηλεβόλο το επανασχεδίασε ο:

α) Leonardo Da Vinci και το ονόμασε «αρχιτρόνιτο»

β) Nicola Tesla και το ονόμασε «αρχιβόλητο»

γ) Michelangelo και το ονόμασε «αρχιτρόνιτο»

δ) Leonardo Da Vinci και το ονόμασε «αρχιβόλητο»

ε) Raffaello και το ονόμασε «αρχιβόλητο»

2.6) Μηχανικά μέρη του ατμοτηλεβόλου αποτελούν:

α) ο λέβητας, το δοχείο νερού, το ελατήριο και ο ιμάντας

- β) ο λέβητας, το δοχείο νερού, η ράβδος και η κάννη
- γ) ο γεμιστήρας πυρίτιδας, το ελατήριο, η ράβδος και η κάννη
- δ) η ράβδος, η κάννη, το ελατήριο και η σφαίρα
- ε) ο γεμιστήρας πυρίτιδας, η ράβδος, η κάννη και το δοχείο νερού

2.7) Για ρίξει το ατμοτηλεβόλο θα πρέπει:

- α) να ανοίξει η βάνα στο δοχείο νερού
- β) να πατηθεί η σκανδάλη
- γ) να ανοίξει η βάνα της κάννης
- δ) να πατηθεί το ελατήριο
- ε) να τραβηχτεί ο ιμάντας

2.8) Το ατμοτηλεβόλο αποτελεί:

- α) το πρώτο πολεμικό όπλο που εκτοξεύει λίθινες σφαίρες
- β) την πρώτη εφεύρεση του Αρχιμήδη
- γ) το πρώτο πολεμικό όπλο που λειτουργεί με ατμό
- δ) το πρώτο πολεμικό όπλο που επινόησε ο Αρχιμήδης
- ε) το μοναδικό πολεμικό όπλο που επινόησε ο Αρχιμήδης

2.9) Όταν το νερό εισέρχεται στο λέβητα της μηχανής:

- α) λόγω της υψηλής θερμοκρασίας δημιουργείται απότομα αποσυμπίεση
- β) λόγω της μεγάλης ταχύτητας δημιουργείται απότομα αποσυμπίεση
- γ) λόγω της υψηλής θερμοκρασίας δημιουργείται απότομα εξάχνωση
- δ) λόγω της μεγάλης ταχύτητας δημιουργείται απότομα εξάχνωση
- ε) λόγω της μεγάλης ταχύτητας δημιουργείται απότομα έκρηξη

2.10) Η σφαίρα εξφενδονίζεται:

- α) από την ξύλινη κάννη συμπαρασύροντας τη ράβδο και τη σανίδα συγκράτησης
- β) από τη μεταλλική κάννη συμπαρασύροντας τη ράβδο και τη σανίδα συγκράτησης
- γ) από την ξύλινη κάννη συμπαρασύροντας τον ιμάντα και τη σανίδα συγκράτησης
- δ) από την μεταλλική κάννη συμπαρασύροντας τον ιμάντα και τη σανίδα συγκράτησης
- ε) από την μεταλλική κάννη συμπαρασύροντας τη σανίδα συγκράτησης και το ελατήριο

3) Ο υδραυλικός τηλεγράφος του Αινεία

3.1) Ο υδραυλικός τηλεγράφος χρησιμοποιήθηκε πολύ:

- α) στην Μυκηναϊκή αυτοκρατορία
- β) στην αρχαία Αθήνα
- γ) στην αρχαία Σπάρτη
- δ) στην αυτοκρατορία του Μεγάλου Αλεξάνδρου
- ε) στις Συρακούσες

3.2) Μηχανικό μέρος του υδραυλικού τηλεγράφου είναι:

- α) ο λέβητας, το αντίβαρο, ο πλωτήρας και ο ιμάντας
- β) ο λέβητας, το αντίβαρο, το δοχείο νερού και βάση
- γ) η βάννα, ο πλωτήρας, ο λέβητας, το αντίβαρο
- δ) το αντίβαρο, η βάννα, ο πλωτήρας και ο ιμάντας
- ε) η βάννα, ο πλωτήρας, το δοχείο νερού και βάση

3.3) Για τον υδραυλικό τηλεγράφο μας πληροφορεί:

- α) ο Αρχιμήδης τον 4^ο π.Χ. αιώνα
- β) ο Αινείας ο Τακτικός τον 1^ο π.Χ. αιώνα
- γ) ο Αινείας ο Τακτικός τον 4^ο π.Χ. αιώνα
- δ) ο Κτησίβιος τον 4^ο π.Χ. αιώνα
- ε) ο Κτησίβιος τον 1^ο π.Χ. αιώνα

3.5) Για τον υδραυλικό τηλεγράφο διέσωσε στο έργο του:

- α) Ιστορικά ο Ήρωνας
- β) Περί τηλεγράφων ο Πολύβιος
- γ) Πνευματικά ο Ήρωνας
- δ) Ιστορία ο Πολύβιος
- ε) Υπομνήματα μηχανικά ο Πολύβιος

3.6) Η λειτουργία του υδραυλικού τηλεγράφου βασίζεται:

- α)) σε κώδικα επικοινωνίας
- β) στην συγχρονισμένη κίνηση των πλωτήρων του πομπού και του δέκτη
- γ) στην κίνηση με ατμό
- δ) στον βρασμό του νερού

ε) στην περιστροφική κίνηση του πλωτήρα

3.7) ο υδραυλικός τηλεγράφος αφορούσε τη μετάδοση:

- α) προσυμφωνημένων μηνυμάτων
- β) γραμμάτων
- γ) κρυπτογραφημένων μηνυμάτων
- δ) αριθμών που αντιστοιχούσαν σε γράμματα
- ε) γραμμάτων που αντιστοιχούσαν σε αριθμούς

3.8) Όταν επρόκειτο να σταλεί μήνυμα με τον τηλεγράφο:

- α) Ο πομπός ανύψωνε έναν πυρσό αφού πρώτα ανύψωνε έναν πυρσό ο δέκτης
- β) Ο πομπός ανύψωνε έναν πυρσό και ο δέκτης ανύψωνε δυο πυρσούς
- γ) Ο πομπός ανύψωνε έναν πυρσό και ο δέκτης έκανε το ίδιο ως ένδειξη ετοιμότητας
- δ) Ο πομπός ανύψωνε δυο πυρσούς και ο δέκτης έκανε το ίδιο ως ένδειξη ετοιμότητας
- ε) Ο δέκτης ανύψωνε έναν πυρσό ως ένδειξη ετοιμότητας αφού άκουγε το κέρασ

3.9) Η διαδικασία μετάδοσης μηνυμάτων περιλάμβανε:

- α) το ταυτόχρονο άνοιγμα της βάνας του πομπού και του δέκτη
- β) το ταυτόχρονο κατέβασμα των πυρσών του πομπού και του δέκτη
- γ) το ταυτόχρονο κατέβασμα του πυρσού του δέκτη και το άνοιγμα της βάνας του πομπού
- δ) το ταυτόχρονο κατέβασμα του πυρσού του δέκτη και το άνοιγμα της βάνας του δέκτη
- ε) το ταυτόχρονο άνοιγμα της βάνας του πομπού και του δέκτη μετά το σάλπισμα

3.10) Όταν ο πομπός φτάνει στο επιθυμητό μήνυμα:

- α) κλείνει τη βάνα και ανεβοκατεβάζει τον πυρσό
- β) ανοίγει τη βάνα και ανυψώνει τον πυρσό του
- γ) κλείνει τη βάνα και κατεβάζει τον πυρσό του
- δ) ανοίγει τη βάνα και ανυψώνει τον πυρσό του
- ε) του κλείνει τη βάνα και ανυψώνει τον πυρσό του

4) Το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη

4.1) Το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη είναι μια επινόηση του:

- α) Ήρωνα τον 1^ο μ.Χ. αιώνα
- β) Αρχιμήδη τον 1^ο μ.Χ. αιώνα
- γ) Κτησίβιου τον 1^ο π.Χ. αιώνα
- δ) Ήρωνα τον 1^ο π.Χ. αιώνα
- ε) Κτησίβιου τον 1^ο π.Χ. αιώνα

4.2) Το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη είναι:

- α) ο πρώτος αυτόματος πωλητής της Ιστορίας
- β) η πρώτη εφεύρεση που λειτουργεί σε ναό
- γ) η πρώτη εφεύρεση που λειτουργεί με μηχανισμό ισορροπίας
- δ) η πρώτη υδραυλική εφεύρεση
- ε) η πρώτη μηχανή που λειτουργεί με βάση την πίεση υγρού

4.3) Μηχανικά μέρη του αυτόματου σπονδείου αποτελούν:

- α) ο λέβητας, ο ρότορας, ο μηχανισμός ζυγού και η βάνα
- β) το αγγείο, ο μοχλός, ο μηχανισμός ζυγού και η αλυσίδα
- γ) το αγγείο, ο σωλήνας, ο μηχανισμός ζυγού και η βάνα
- δ) το αγγείο, ο μοχλός, ο λέβητας και ο ρότορας
- ε) η βάνα, ο μηχανισμός ζυγού, το αγγείο και ο μοχλός

4.4) Η λειτουργία του αυτόματου σπονδείου με κερματοδέκτη βασίζεται:

- α) στην πίεση του αέρα από τον φυσητήρα (φυσερό)
- β) στην κίνηση των δοκών
- γ) στην περιστροφική κίνηση του ρότορα
- δ) στην εκτροπή της ισορροπίας του ζυγού
- ε) στην κίνηση του ιμάντα

4.5) Το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη περιγράφεται στο έργο:

- α) «Αυτοματοποιητική» του Αρχιμήδη
- β) «Ιστορία» του Κτησίβιου
- γ) «Περί πνευματικής» του Ήρωνα
- δ) «Υπομνήματα μηχανικά» του Αρχιμήδη
- ε) «Πνευματικά» του Ήρωνα

4.6) Το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη προμήθευε:

- α) αγιασμό με τη ρίψη ενός πενταδράχμου
- β) νερό με τη ρίψη ενός πενταδράχμου
- γ) κρασί με τη ρίψη μιας δραχμής
- δ) νερό με τη ρίψη μιας δραχμής
- ε) αγιασμό με τη ρίψη μιας δραχμής

4.7) Στο αυτόματο σπονδείο, όταν το κέρμα πέφτει μέσα στο αγγείο

- α) πέφτει πάνω στο ελατήριο του μοχλού και ανυψώνει την αλυσίδα
- β) κάθεται πάνω στο δίσκο και αυτός ανοίγει τη βάνα
- γ) πέφτει πάνω στον ιμάντα και εκτρέπει την ισορροπία του ζυγού
- δ) κάθεται πάνω στο δίσκο και εκτρέπει την ισορροπία του ζυγού
- ε) κάθεται πάνω στο αντίβαρο του ζυγού και εκτρέπει την ισορροπία του ζυγού

4.8) Η ρίψη του νομίσματος προκαλεί:

- α) την άνοδο της μιας πλευράς του ζυγού η οποία είναι συνδεδεμένη με τη βαλβίδα
- β) την άνοδο της αλυσίδας στην μια πλευρά του δίσκου
- γ) την άνοδο της μιας πλευράς του ζυγού η οποία είναι συνδεδεμένη με τη βάνα
- δ) την άνοδο της αλυσίδας η οποία είναι συνδεδεμένη με τη βαλβίδα
- ε) την άνοδο της μιας πλευράς του μηχανισμού η οποία τραβάει τη βάνα

4.9) Η εκροή του υγρού είναι αποτέλεσμα:

- α) του αυτόματου ανοίγματος της βάνας
- β) του αυτόματου ανοίγματος της βαλβίδας
- γ) της αυτόματης κλίσης του δοχείου νερού
- δ) του αυτόματου μηχανισμού που στέφει τον σωλήνα
- ε) της αυτόματης ανύψωσης του δίσκου

4.10) Το αυτόματο σπονδείο περιλαμβάνει

- α) ένα σωλήνα και μια βάνα δύο
- β) σωλήνες και μια βάνα
- γ) δύο σωλήνες και δυο βάνες
- δ) μια σωλήνα και δυο βάνες
- ε) τρεις σωλήνες και μια βάνα

Tests γνώσεων για τις ιστοσελίδες

1) Ιπτάμενη περιστέρα

1.1) Ο εφευρέτης της ιπτάμενης περιστέρας ήταν:

- α) ο Αρχύτας από τη Αλεξάνδρεια
- β) ο Ήρωνας από την Αλεξάνδρεια
- γ) ο Αρχύτας από τη Σικελία
- δ) ο Αρχιμήδης από τη Σικελία
- ε) ο Αρχιμήδης από την Αλεξάνδρεια

1.2) Ο εφευρέτης της ιπτάμενης περιστέρας ήταν φίλος του:

- α) Ευκλείδη και οπαδός του Πλάτωνα
- β) Πυθαγόρα και οπαδός του Πλάτωνα
- γ) Αριστοτέλη και οπαδός του Πυθαγόρα
- δ) Πλάτωνα και οπαδός του Ευκλείδη
- ε) Πλάτωνα και οπαδός του Πυθαγόρα

1.3) Ο εφευρέτης της ιπτάμενης περιστέρας κατάφερε να λύσει το πρόβλημα:

- α) του διπλασιασμού του κύβου, ένα από τα τρία άλυτα γεωμετρικά προβλήματα
- β) του διπλασιασμού του τετραγώνου, ένα από τα τρία άλυτα γεωμετρικά προβλήματα
- γ) του τετραγωνισμού του κύκλου, ένα από τα τρία άλυτα γεωμετρικά προβλήματα
- δ) του τετραγωνισμού του κύκλου, ένα από τα τρία άλυτα αλγεβρικά προβλήματα
- ε) του διπλασιασμού του κύβου, ένα από τα τρία άλυτα αλγεβρικά προβλήματα

1.4) Ο Πλάτωνας πίστευε ότι:

- α) η γεωμετρία πρέπει να προορίζεται για μηχανική χρήση γιατί έχει ως σκοπό τη θέαση αιώνιων αληθειών
- β) η γεωμετρία δεν πρέπει να προορίζεται για μηχανική χρήση, γιατί δεν αποτυπώνει τις αιώνιες αλήθειες
- γ) η γεωμετρία πρέπει να προορίζεται για μηχανική χρήση, γιατί η χρήση της επιτρέπει την κατασκευή σύνθετων μηχανών

- δ) η γεωμετρία του Ευκλείδη του δεν πρέπει να προορίζεται για μηχανική χρήση, γιατί για μηχανική χρήση είναι κατάλληλη η μη Ευκλείδεια γεωμετρία
- ε) η γεωμετρία δεν πρέπει να προορίζεται για μηχανική χρήση, αλλά να έχει ως σκοπό τη θέαση αιώνιων αληθειών

1.5) Ο εφευρέτης της ιπτάμενης περιστέρας:

- α) ήταν γιός του Μνήσαρχου και έζησε τον 4^ο με 3^ο αιώνα π.Χ.
- β) ήταν γιός του Διογένη Λαέρτιου και έζησε τον 4^ο με 3^ο αιώνα π.Χ.
- γ) ήταν γιός του Μνήσαρχου και έζησε τον 2^ο με 1^ο αιώνα π.Χ.
- δ) ήταν γιός του Διογένη Λαέρτιου και έζησε τον 2^ο με 1^ο αιώνα π.Χ.
- ε) ήταν γιός του Πλάτωνα και έζησε τον 3^ο με 2^ο αιώνα π.Χ.

1.6) Η ιπτάμενη περιστέρα αποτελεί:

- α) την πρώτη αυτόνομη μηχανική συσκευή της αρχαιότητας
- β) την πρώτη αυτόνομη πτητική συσκευή της αρχαιότητας
- γ) την πρώτη αρχαία συσκευή που χρησιμοποιούσε τη φωτιά
- δ) την πρώτη αρχαία εφεύρεση που χρησιμοποιούσε αεροδυναμικό σχήμα
- ε) την πρώτη αυτόνομη πτητική συσκευή της ελληνιστικής περιόδου

1.7) Η ιπτάμενη περιστέρα αποτελούταν από:

- α) ένα κέλυφος που είχε σχεδιασμένο πάνω του ένα περιστέρι και έφερε εσωτερικά κύστη ζώου
- β) ένα κέλυφος που είχε τη μορφή περιστεριού και έφερε εσωτερικά ένα μεταλλικό δοχείο
- γ) ένα κέλυφος που είχε τη μορφή περιστεριού και έφερε εσωτερικά ένα δοχείο με νερό
- δ) ένα κέλυφος που είχε τη μορφή περιστεριού και έφερε εσωτερικά κύστη ζώου
- ε) ένα κέλυφος που είχε σχεδιασμένο πάνω του ένα περιστέρι και έφερε εσωτερικά ένα μεταλλικό δοχείο

1.8) Στην ιπτάμενη περιστέρα:

- α) όταν η πίεση του ατμού υπερέβαινε τη μηχανική αντοχή της σύνδεσης, τότε η περιστέρα εκτοξευόταν
- β) όταν η πίεση του καπνού υπερέβαινε τη μηχανική αντοχή της σύνδεσης, τότε η περιστέρα εκτοξευόταν

γ) όταν πίεση του ατμού υπερέβαινε τη μηχανική αντοχή της σύνδεσης, τότε η περιστέρα τροχοδρομούσε

δ) όταν η πίεση του ατμού υπερέβαινε τη μηχανική αντοχή του ελατηρίου, τότε η περιστέρα εκτοξευόταν

ε) όταν η πίεση του καπνού υπερέβαινε τη μηχανική αντοχή του ελατηρίου, τότε η περιστέρα τροχοδρομούσε

1.9) Για την ιπτάμενη περιστέρα μας πληροφορεί:

α) Ο Αρχιμήδης στο έργο του «Περί πετομηχανής»

β) Ο Αύλος Γέλλιος στο έργο του «Περί πετομηχανής»

γ) Ο Αρχιμήδης στο έργο του «Αττικάί νύκται»

δ) Ο Αύλος Γέλλιος στο έργο του «Αττικάί νύκται»

ε) Ο Αρχύτας στο έργο του «Ιπτάμενη περιστέρα»

1.10) Υλικά με τα οποία είναι κατασκευασμένη η ιπτάμενη περιστέρα είναι:

α) το ξύλο και ο χαλκός

β) το δέρμα και το ξύλο

γ) ο χαλκός και το σίδηρο

δ) το κεραμικό και ο χαλκός

ε) ο μόλυβδος και το κεραμικό

2) Ο ηχητικός συναγερμός

2.1) Οι αρχαίοι προστάτευαν τις οικίες τους:

α) με τη δημιουργία ειδικών πατωμάτων και τη στερέωση εύθραυστων αντικειμένων πίσω από πόρτες

β) με τη χωροθέτηση τους και τη στερέωση εύθραυστων αντικειμένων πίσω από πόρτες

γ) με τη χωροθέτηση τους και τη δημιουργία ειδικών πατωμάτων

δ) με τη χωροθέτηση τους και τη δημιουργία μηχανικών παγίδων

ε) με τη δημιουργία ειδικών πατωμάτων και μηχανικών παγίδων

2.2) Τα μέτρα που έπαιρναν οι αρχαίοι για τη φύλαξη των οικιών τους στόχευαν συνήθως:

α) στην ειδοποίηση των αρχών

β) στον τραυματισμό του εισβολέα

- γ) στην ενίσχυση της ακουστικότητας
- δ) στον θάνατο του εισβολέα
- ε) στην αποτροπή του εισβολέα να πλησιάσει την οικία

2.3) Ο ηχητικός συναγερμός επινοείται:

- α) παράλληλα με τους ευφρείς αυτοματισμούς της ελληνιστικής εποχής
- β) πριν από τους ευφρείς αυτοματισμούς της ελληνιστικής εποχής
- γ) μετά τους ευφρείς αυτοματισμούς της ελληνιστικής εποχής
- δ) παράλληλα με τους ευφρείς αυτοματισμούς της κλασσικής εποχής
- ε) πριν από τους ευφρείς αυτοματισμούς της κλασσικής εποχής

2.4) Ο ηχητικός συναγερμός περιγράφεται στο έργο:

- α) «Πνευματικά» του Ήρωνα
- β) «Ιστορία» του Αρχιμήδη
- γ) «Περί πνευματικής» του Ήρωνα
- δ) «Υπομνήματα μηχανικά» Αρχιμήδη
- ε) «Πνευματικά» του Δημόκλειτου

2.5) Ο ηχητικός συναγερμός αποτελεί:

- α) τον αρχαιότερο αυτόματο μηχανισμό μετά το ατμοτηλεβόλο
- β) τον αρχαιότερο αυτοματισμό της Ιστορίας
- γ) την αρχαιότερη μηχανική επινοήση της Ιστορίας
- δ) τον αρχαιότερο αυτόματο μηχανικό συναγερμό προειδοποίησης της Ιστορίας
- ε) την αρχαιότερη συσκευή παραγωγής ήχων στην Ιστορία

2.6) Μέρη του ηχητικού συναγερμού αποτελούν:

- α) η σάλπιγγα, το αντίβαρο, το σχοινί και το δοχείο
- β) ο λέβητας, το αντίβαρο, η αλυσίδα και το δοχείο
- γ) το ελατήριο, ο φυσητήρας, το σχοινί και το δοχείο
- δ) η σάλπιγγα, το αντίβαρο, ο φυσητήρας και το δοχείο
- ε) το αντίβαρο, το κέρασ, το δοχείο και την αλυσίδα

2.7) Το δοχείο του ηχητικού συναγερμού:

- α) είναι κοίλο και κωνικό

- β) είναι επίπεδο και συμπαγές
- γ) είναι κοίλο και σφαιρικό
- δ) είναι κοίλο και ημισφαιρικό
- ε) είναι επίπεδο και τετραγωνικό

2.8) Το δοχείο του ηχητικού συναγερμού:

- α) ήταν κολλημένο με τον μοχλό
- β) αναρτιόταν άμεσα από την θύρα
- γ) ήταν επάνω από μια αρθρωμένη ράβδο
- δ) αναρτιόταν από μια αρθρωμένη ράβδο
- ε) ήταν μηχανικά μανδαλωμένο με την θύρα

2.9) Η λειτουργία του ηχητικού συναγερμού θα μπορούσε να περιγραφεί με βάση το παρακάτω διάγραμμα:

- α) άνοιγμα θύρας → ευθυγράμμιση της ράβδου → άνοδος σάλπιγγας
- β) άνοιγμα θύρας → κλίση της ράβδου → άνοδος σάλπιγγας
- γ) άνοιγμα θύρας → ευθυγράμμιση της ράβδου → κάθοδος σάλπιγγας
- δ) άνοιγμα θύρας → κλίση της ράβδου → κάθοδος σάλπιγγας
- ε) άνοιγμα θύρας → ευθυγράμμιση της ράβδου → περιστροφή σάλπιγγας

1.10) Το δοχείο του ηχητικού συναγερμού έχει διάμετρο:

- α) μεταξύ πορτοκαλιού και μπάλας μπάσκετ
- β) περίπου ίση με ένα μπαλάκι του τένις
- γ) μεγαλύτερη από μπάλας μπάσκετ
- δ) μικρότερη από όση ένα μπαλάκι του τένις
- ε) περίπου ίση με ενός νομίσματος

3) Ο Πολυβόλος καταπέλτης

3.1) Ο πολυβόλος καταπέλτης αποτελεί εφεύρεση του:

- α) Διονυσίου του Ταραντίνου
- β) Διονυσίου του Αλεξανδρινού
- γ) Αρχιμήδη του Σικελιανού

- δ) Αρχιμήδη του Αλεξανδρινού
- ε) Ήρωνα του Αλεξανδρινού

3.2) Για τον πολυβόλο καταπέλτη μας πληροφορεί ο:

- α) Ήρων στο έργο του «Πνευματικά»
- β) Φίλων στο έργο του "Καταπελτικά»
- γ) Φίλων στο έργο του «Βελοποιητικά»
- δ) Ήρων στο έργο του «Βελοποιητικά»
- ε) Διόνυσος στο έργο του «Πολυβόλος καταπέλτης»

3.3) Ο πολυβόλος καταπέλτης αποτελεί το κορυφαίο επίτευγμα της αρχαιοελληνικής:

- α) καταπελτικής μηχανικής
- β) μηχανολογικής μηχανικής
- γ) πολεμικής μηχανικής
- δ) μοχλικής τεχνολογίας
- ε) μηχανικής τεχνολογίας

3.4) Ο πολυβόλος καταπέλτης αποτελεί την πρώτη εφαρμογή της:

- α) επίπεδης αλυσοκίνησης παγκοσμίως και χρησιμοποιήθηκε από τους Ρόδιους
- β) επίπεδης αλυσοκίνησης παγκοσμίως και χρησιμοποιήθηκε από τους Αλεξανδρινούς
- γ) κατακόρυφης αλυσοκίνησης παγκοσμίως και χρησιμοποιήθηκε από τους Αλεξανδρινούς
- δ) επίπεδης αλυσοκίνησης παγκοσμίως και χρησιμοποιήθηκε από τους Θεσπρωτείς
- ε) κατακόρυφης αλυσοκίνησης παγκοσμίως και χρησιμοποιήθηκε από τους Θεσπρωτείς

3.5) Μέρη του πολυβόλου καταπέλτη αποτελούν:

- α) ο ιμάντας, η διώστρα, η βάση και ο σωλήνας
- β) η θήκη, η διώστρα, το ελατήριο και η σκανδάλη
- γ) το αντίβαρο, η διώστρα, η βάση και ο χειρομοχλός
- δ) η διώστρα, ο κύλινδρος, το ελατήριο και το αντίβαρο
- ε) η θήκη, η διώστρα, η βάση, ο χειρομοχλός

3.6) Ο καταπέλτης ήταν εξοπλισμένος με:

- α) έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο που έφερε δυο εγκοπές

- β) έναν ανυψούμενο κύλινδρο που έφερε δυο εγκοπές
- γ) έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο που έφερε τέσσερις εγκοπές
- δ) έναν ανυψούμενο κύλινδρο που έφερε τέσσερις εγκοπές
- ε) έναν βυθιζόμενο κύλινδρο που έφερε τέσσερις εγκοπές

3.7) Ο καταπέλτης έφερε:

- α) πεντάγωνους αλυσοτροχούς που συνδέονταν με ξύλινη αλυσίδα
- β) πεντάγωνους αλυσοτροχούς που συνδέονταν με σιδερένια αλυσίδα
- γ) εξάγωνους αλυσοτροχούς που συνδέονταν με ξύλινη αλυσίδα
- δ) εξάγωνους αλυσοτροχούς που συνδέονταν με σιδερένια αλυσίδα
- ε) εξάγωνους αλυσοτροχούς που συνδέονταν με χάλκινη αλυσίδα

3.8) Μέρος της λειτουργίας του καταπέλτη θα μπορούσε να περιγραφεί από το διάγραμμα:

- α) Κίνηση διώστρας μπροστά → Τροφοδοσία βέλους από τον κύλινδρο → Αρπαγή χορδής
- β) Κίνηση διώστρας μπροστά → Αρπαγή χορδής → Τροφοδοσία βέλους από τον κύλινδρο
- γ) Κίνηση κυλίνδρου μπροστά → Τροφοδοσία βέλους από την διώστρα → Αρπαγή χορδής
- δ) Τροφοδοσία βέλους από τον κύλινδρο → Κίνηση διώστρας μπροστά → Αρπαγή χορδής
- ε) Αρπαγή χορδής → Κίνηση διώστρας μπροστά → Τροφοδοσία βέλους από τον κύλινδρο

3.9) Για να εκτοξεύει βέλη ο καταπέλτης θα πρέπει ο χειριστής:

- α) να περιστρέφει τον χειρομοχλό
- β) να περιστρέφει τον χειρομοχλό και κατόπιν να πατάει τη σκανδάλη
- γ) να πατάει τη σκανδάλη και κατόπιν να περιστρέφει τον χειρομοχλό
- δ) να πατάει τη σκανδάλη μόλις ο χειρομοχλός κοντένει να τερματίσει
- ε) να περιστρέφει τον χειρομοχλό και να γεμίζει με βέλη

3.10) Υλικά από τα οποία κατασκευάστηκε ο πολυβόλος καταπέλτης είναι:

- α) ο χαλκός και το ξύλο
- β) το σίδηρο και το ξύλο
- γ) ο χαλκός και το κεραμικό
- δ) το ξύλο και ο μόλυβδος
- ε) το ξύλο και η πέτρα

4) Ο κρυπτογραφικός δίσκος

4.1) Για τον κρυπτογραφικό δίσκο μας πληροφορεί ο:

- α) Αινείας στο έργο του «Κρυπτογραφικά»
- β) Αινείας στο έργο του «Πολιορκητικά»
- γ) Πολύβιος στο έργο του «Ιστορία»
- δ) Πολύβιος στο έργο του «Πολιορκητικά»
- ε) Πολύβιος στο έργο του «Κρυπτογραφικά»

4.2) Ο κρυπτογραφικός δίσκος είναι μια εφεύρεση που περιγράφεται τον:

- α) 4^ο αιώνα π.Χ. και δεν υπάρχει κάποιο στοιχείο χρήσης του κατά τη Ρωμαϊοκρατία
- β) 3^ο αιώνα π.Χ. και χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στη Ρωμαϊοκρατία
- γ) 4^ο αιώνα π.Χ. και χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στη Ρωμαϊοκρατία
- δ) 3^ο αιώνα π.Χ. και δεν υπάρχει κάποιο στοιχείο χρήσης του κατά τη Ρωμαϊοκρατία
- ε) 2^ο αιώνα π.Χ. και δεν υπάρχει κάποιο στοιχείο χρήσης του κατά τη Ρωμαϊοκρατία

4.3) Ο κρυπτογραφικός δίσκος είχε πάχος:

- α) 2-3 χιλιοστά και διάμετρο 8-10 εκατοστά
- β) 2-3 εκατοστά και διάμετρο 8-10 εκατοστά
- γ) 6-7 χιλιοστά και διάμετρο 8-10 εκατοστά
- δ) 8-10 χιλιοστά και διάμετρο 2-3 εκατοστά
- ε) 8-10 εκατοστά και διάμετρο 6-7 εκατοστά

4.4) Ο Κρυπτογραφικός δίσκος είχε:

- α) 23 περιμετρικές οπές και μια κεντρική οπή
- β) 24 περιμετρικές οπές και μια κεντρική οπή
- γ) 23 περιμετρικές οπές και δυο κεντρικές οπές
- δ) 24 περιμετρικές οπές και δυο κεντρικές οπές
- ε) 22 περιμετρικές οπές και δύο κεντρικές οπές

4.5) Ο καθορισμός του πρώτου γράμματος του αλφαβήτου γινόταν με:

- α) χάραξη σημαδιού το οποίο απείχε περίπου 2 εκατοστά από το κέντρο
- β) την ενδιάμεση οπή η οποία απείχε περίπου 2 εκατοστά από το κέντρο
- γ) την ενδιάμεση οπή η οποία απείχε περίπου 2 εκατοστά από την περιφέρεια
- δ) χάραξη σημαδιού το οποίο απείχε περίπου 2 εκατοστά από την περιφέρεια
- ε) τη δημιουργία κόμπου ο οποίος απείχε περίπου 2 εκατοστά από το κέντρο

4.6) Για να γραφεί το μήνυμα ένα κορδόνι περνούσε:

- α) διαδοχικά από τις οπές και κάθε μια οπή αντιστοιχούσε σε ένα γράμμα
- β) διαδοχικά από τις οπές και κάθε μια οπή αντιστοιχούσε σε έναν αριθμό
- γ) αντίστροφα από τις οπές, γράφοντας το μήνυμα ανάποδα και κάθε μια οπή αντιστοιχούσε σε ένα γράμμα
- δ) αντίστροφα από τις οπές, γράφοντας το μήνυμα ανάποδα και κάθε μια οπή αντιστοιχούσε σε έναν αριθμό
- ε) αντίστροφα από τις οπές και κάθε γράμμα αντιστοιχούσε σε έναν κόμπο

4.7) Εάν ένα γράμμα επαναλαμβανόταν δυο φορές:

- α) το κορδόνι περνούσε δύο φορές από την ίδια οπή
- β) το κορδόνι δενόταν κόμπο πάνω από την αντίστοιχη οπή
- γ) το κορδόνι δενόταν κόμπο δυο φορές πάνω από την αντίστοιχη οπή
- δ) το κορδόνι περνούσε από την οπή και σηματοδεύονταν ο χώρος δίπλα στην οπή
- ε) το κορδόνι δενόταν κόμπο τόσο πριν, όσο και μετά τη διέλευση του εντός της οπής

4.8) Όταν ο δίσκος έφτανε στον παραλήπτη του γινόταν:

- α) ξετύλιγμα του κορδονιού και ανάγνωση του μηνύματος από την αρχή προς το τέλος
- β) ξετύλιγμα του κορδονιού και ανάγνωση του μηνύματος από το τέλος προς την αρχή
- γ) ανάγνωση του μηνύματος με το κορδόνι πάνω στο δίσκο από το τέλος προς την αρχή
- δ) ανάγνωση του μηνύματος με το κορδόνι πάνω στο δίσκο από την αρχή προς το τέλος
- ε) ανάγνωση του μηνύματος με το κορδόνι να περιελίσσεται στο δίσκο ανάνωσης

4.9) Για τον κρυπτογραφικό δίσκο γνωρίζουμε:

- α) ότι δεν υπάρχουν στοιχεία για τη χρήση του στο Βυζάντιο, όπου υπάρχει ανάπτυξη διαφόρων συστημάτων επικοινωνίας
- β) ότι χρησιμοποιήθηκε και στο Βυζάντιο, όπου υπάρχει ανάπτυξη διαφόρων συστημάτων επικοινωνίας
- γ) ότι δεν υπάρχουν στοιχεία για τη χρήση του στο Βυζάντιο, όπου δεν χρησιμοποιούνται συστήματα επικοινωνίας
- δ) ότι χρησιμοποιήθηκε και στο Βυζάντιο, αν και δεν χρησιμοποιούνται πολλά συστήματα επικοινωνίας

ε) επανασχεδιάστηκε βελτιωμένο στο Βυζάντιο, χωρίς όμως να κατασκευαστεί από τον Λέων τον μαθηματικό

4.10) Ο κρυπτογραφικός δίσκος είχε μέγεθος περίπου:

- α) μπάλας του μπάσκετ
- β) πήχη
- γ) ρολογιού τοίχου
- δ) κεφαλιού
- ε) παλάμης

Ερωτηματολόγιο Παραγόντων

Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε για τον ποιοτικό έλεγχο των εφαρμογών που αναπτύχθηκαν για Επιτραπέζια Εικονική Πραγματικότητα.

Παράγοντας	Ερώτηση
Αισθητική και τεχνική αρτιότητα	Η εφαρμογή ήταν αισθητικά ευχάριστη Απόλαυσα τα γραφικά της εφαρμογής Η εφαρμογή ήταν οπτικά ελκυστική
Γνωστικό φορτίο	Οι πολλές πληροφορίες εμπόδιζαν την απομνημόνευση σημαντικών στοιχείων* Η προσπάθεια να μελετήσω τις πληροφορίες που μου έδινε η εφαρμογή, με κούρασε νοητικά*
Ευκολία χρήσης, έλεγχος της εφαρμογής	Χρησιμοποίησα/έλεγα την εφαρμογή με ευκολία Είχα τον πλήρη έλεγχο στο τι έκανα Όταν χρησιμοποιούσα την εφαρμογή δεν είχα κανένα πρόβλημα να κάνω ό,τι ήθελα
Εμβύθιση	Ξέχασα/αγνόησα τα πάντα γύρω μου Έχασα την αίσθηση του πού είμαι Έχασα την αίσθηση του χρόνου
Παρουσία	Έμοιαζε σαν να ήμουν μέσα στον εικονικό κόσμο Το εικονικό περιβάλλον μου έδωσε την αίσθηση ότι "βρισκόμουν εκεί"
Ανατροφοδότηση	Συνολικά οι στόχοι της εφαρμογής παρουσιάστηκαν ξεκάθαρα Η εφαρμογή μου έδινε χρήσιμη ανατροφοδότηση Οι πληροφορίες που παρέχονταν στην εφαρμογή (π.χ. μηνύματα οθόνης, βοήθεια) ήταν ξεκάθαρες
Αλληλεπίδραση	Μπορούσα να αλληλεπιδράσω πολύ με τον εικονικό κόσμο Ο εικονικός κόσμος ανταποκρινόταν καλά στις δράσεις μου Η αλληλεπίδραση με την εφαρμογή ήταν παρόμοια με την αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου
Κίνητρα χρήσης	Μου παρακινήθηκε το ενδιαφέρον να δω το τι πριέχεται στην εφαρμογή

	Νιώθω παρακινημένος/η να συνεχίσω να χρησιμοποιώ την εφαρμογή Ήθελα να εξερευνήσω την εφαρμογή
Χρησιμότητα	Κατανόησα τις βασικές ιδέες/θέματα που μου παρουσιάστηκαν μέσα στην εφαρμογή Έμαθα μέσω της εφαρμογής Το περιεχόμενο αύξησε τη γνώση μου και την κατανόηση του αντικειμένου που παρουσίαζε
Simulator sickness Ελαφρά συμπτώματα (Σε πιο βαθμό ένιωσες...)	Ζάλη;* Βαρύ το κεφάλι σου;* Ίλιγγο;*
Simulator sickness Βαριά συμπτώματα (Σε πιο βαθμό ένιωσες...)	Ναυτία;* Το στομάχι σου να ανακατεύεται;*
Θετικά συναισθήματα (Σε πιο βαθμό ένιωσες...)	Χαρά; Ικανοποίηση; Ενθουσιασμό; Συναρπαστικά;
Αρνητικά συναισθήματα συναισθήματα (Σε πιο βαθμό ένιωσες...)	Στρες; Νευρικότητα;

Πιλοτικές έρευνες

Πιλοτική έρευνα ΕπΕΠ

Παράγοντας	Ερώτηση
Τεχνική αρτιότητα	Η εφαρμογή ήταν αισθητικά ευχάριστη Η αισθητική της εφαρμογής μου ήταν αδιάφορη* Απόλαυσα τα γραφικά της εφαρμογής Απόλαυσα τα ηχητικά εφέ της εφαρμογής Η εφαρμογή ήταν οπτικά ελκυστική
Γνωστικό φορτίο	Το γνωστικό φορτίο της εφαρμογής ήταν λογικό Τα γνωστικά αντικείμενα που περιείχε η εφαρμογή ήταν πολύπλοκα* Οι πολλές πληροφορίες εμπόδιζαν την απομνημόνευση σημαντικών στοιχείων* Η προσπάθεια να μελετήσω τις πληροφορίες που μου έδινε η εφαρμογή, με κούρασε νοητικά*
Έλεγχος	Ένιωσα ελεύθερος να χρησιμοποιήσω την εφαρμογή με τον δικό μου τρόπο Είχα τον πλήρη έλεγχο στο τι έκανα Ένιωσα ότι μπορούσα να κάνω ό,τι ήθελα

Σύνδεση με προσωπικά ενδιαφέροντα	<p>Το περιεχόμενο της εφαρμογής ήταν σχετικό με τα ενδιαφέροντά μου</p> <p>Είχα ήδη ένα ενδιαφέρον για το θέμα της εφαρμογής</p> <p>Είχα ήδη μια έλξη για το θέμα της εφαρμογής προτού να έρθω σε επαφή με αυτό μέσω της εφαρμογής</p> <p>Παρόμοια θέματα με αυτά της εφαρμογής μου είχαν ελκύσει το ενδιαφέρον στο παρελθόν</p>
Ευκολία χρήσης	<p>Η εφαρμογή ήταν εύκολη στη χρήση</p> <p>Ένωσα άνετα με τον τρόπο χειρισμού της εφαρμογής</p> <p>Ο χειρισμός της εφαρμογής ήταν πολύπλοκος*</p> <p>Ήταν εύκολο να μάθω τα χειριστήρια της εφαρμογής</p> <p>Μπορούσα να κινήσω ή να χειριστώ αντικείμενα αρκετά καλά στο εικονικό περιβάλλον</p>
Απόλαυση/Διασκέδαση	<p>Απόλαυσα το εικονικό περιβάλλον</p> <p>Απόλαυσα το να χρησιμοποιώ την εφαρμογή</p> <p>Η εφαρμογή ήταν διασκεδαστική</p> <p>Απόλαυσα το να μελετώ με αυτήν την εφαρμογή</p> <p>Όταν χρησιμοποιούσα την εφαρμογή, ένιωσα σαν να έπαιζα παρά ότι μάθαινα</p> <p>Ήταν μια απολαυστική μαθησιακή εμπειρία</p> <p>Απόλαυσα το μαθησιακό περιεχόμενο</p>
Ανατροφοδότηση	<p>Λάμβανα αμέσως ανατροφοδότηση για τις δράσεις μου</p> <p>Συνολικά οι στόχοι της εφαρμογής παρουσιάστηκαν ξεκάθαρα</p> <p>Η εφαρμογή μου έδινε χρήσιμη ανατροφοδότηση</p> <p>Οι πληροφορίες που παρέχονταν στην εφαρμογή (π.χ. μηνύματα οθόνης, βοήθεια) ήταν ξεκάθαρες</p>
Αλληλεπίδραση	<p>Μπορούσα να αλληλεπιδράσω πολύ με τον εικονικό κόσμο</p> <p>Ο εικονικός κόσμος ανταποκρινόταν καλά στις δράσεις μου</p> <p>Τα γεγονότα στον εικονικό κόσμο ανταποκρίνονταν στις δράσεις μου</p> <p>Η αλληλεπίδραση με την εφαρμογή ήταν παρόμοια με την αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου</p>
Κίνητρα	<p>Θέλω να μάθω περισσότερα σχετικά με όσα είδα στην εφαρμογή</p> <p>Παρακινήθηκα να διαβάσω παραπάνω ή να ερευνήσω τα θέματα που παρουσιάστηκαν στην εφαρμογή</p> <p>Απόλαυσα το περιεχόμενο τόσο πολύ που θα ήθελα να μάθω περισσότερα σχετικά με αυτό το θέμα</p> <p>Το περιεχόμενο είχε πράγματα που παρακίνησαν την περιέργειά μου</p> <p>Νιώθω παρακινήμενος να συνεχίσω να χρησιμοποιώ την εφαρμογή</p> <p>Μου παρακινήθηκε το ενδιαφέρον να δω το πώς θα εξελιχθούν τα γεγονότα μέσα στην εφαρμογή</p> <p>Ήθελα να εξερευνήσω την εφαρμογή</p>
Υποκειμενική αποτελεσματικότητα	<p>Κατανόησα τις βασικές ιδέες/θέματα που μου παρουσιάστηκαν μέσα στην εφαρμογή</p> <p>Η εφαρμογή ήταν μια χρήσιμη μαθησιακή εμπειρία</p> <p>Έμαθα μέσω της εφαρμογής</p>

Το περιεχόμενο αύξησε τη γνώση μου και την κατανόηση του αντικειμένου που παρουσίαζε
Η εφαρμογή ενεργοποίησε τη σκέψη μου
Το περιεχόμενο της εφαρμογής δεν μπόρεσε να ωφελήσει τη μάθησή μου*

Σημείωση. * = ερώτηση της οποίας το σκορ αντιστράφηκε

Πιλοτική έρευνα ιστοσελίδων

1. Νομίζω ότι θα ήθελα να χρησιμοποιώ τον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία συχνά
2. Βρήκα τον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία αδικαιολόγητα περίπλοκο
3. Σκέφτηκα ότι τον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία ήταν εύκολο στη χρήση
4. Νομίζω ότι θα χρειαστώ βοήθεια από κάποιον τεχνικό για να είμαι σε θέση να χρησιμοποιήσω τον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία
5. Βρήκα τις διάφορες λειτουργίες του ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία καλά ολοκληρωμένες
6. Σκέφτηκα ότι υπήρχε μεγάλη ασυνέπεια στον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία
7. Φαντάζομαι ότι οι περισσότεροι άνθρωποι θα μάθουν να χρησιμοποιούν τον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία πολύ γρήγορα
8. Βρήκα τον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία πολύ περίπλοκο/δύσκολο στη χρήση
9. Ένιωσα πολύ σίγουρος/η χρησιμοποιώντας τον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία
10. Χρειάστηκε να μάθω πολλά πράγματα πριν να μπορέσω να ξεκινήσω με τον ιστότοπο για την αρχαία ελληνική τεχνολογία
11. Ποιο(α) σημείο(α) του ιστότοπου σου άρεσε περισσότερο;
12. Ποιο(α) σημείο(α) του ιστότοπου θεωρείς λιγότερο σημαντικό(α);
13. Πόσο εύκολα προηγήθηκες στον ιστότοπο;
14. Τι θα χαρακτήριζες ως μη λειτουργικό στον ιστότοπο;
15. Ποια αρχαία ελληνική εφεύρεση βρήκες καλύτερα παρουσιασμένη;
16. Ποια αρχαία ελληνική εφεύρεση βρήκες λιγότερο λιγότερο καλά παρουσιασμένη;
17. Πως θα χαρακτήριζες συνολικά την εμπειρία σου με τον ιστότοπο;
18. Πως κρίνεις τα πληροφοριακά στοιχεία του ιστότοπου (κείμενα, εικόνες, βίντεο);
19. Ποιό(α) σημείο(α) του ιστοτόπου θεωρείς περισσότερο σημαντικό(α);

20. Έχεις κάποια(ες) πρόταση(εις) για τη βελτίωση του ιστότοπου;

21. Δεδομένης της συνολικής σου εμπειρίας σου με τον ιστότοπο, θα τον πρότεινες σε κάποιον φίλο σου;

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ SPSS

Reliability

Scale: ALL VARIABLES VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.888	34

Scale: Aesthetics VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.870	3

Scale: Cog load VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.618	2

Scale: Control VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.865	3

Scale: Immersion VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.880	3

Scale: Presence VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.684	2

Scale: Feedback VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.872	3

Scale: Interaction VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.832	3

Scale: Motivation VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.901	3

Scale: Effectiveness VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.956	3

Scale: Sim sick mild VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.848	3

Scale: Sim sick severe VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.934	2

Scale: Feel pos VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.909	4

Scale: Fell neg VR

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.901	2

Scale: ALL VARIABLES PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.929	36

Scale: Aesthetics PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.902	3

Scale: Cog load PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.861	2

Scale: Control PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.860	3

Scale: Immersion PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.903	3

Scale: Presence PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.941	2

Scale: Feedback PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.877	3

Scale: Interaction PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.826	3

Scale: Motivation PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.914	3

Scale: Effectiveness PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.906	3

Scale: Sim sick mild PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.780	3

Scale: Sim sick severe PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
1.000	2

Scale: Feel neg PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.607	2

Scale: Feel pos PC

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.950	4

Scale: ALL VARIABLES Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.949	36

Scale: Aesthetics Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.930	3

Scale: Cog load Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.796	2

Scale: Control Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.869	3

Scale: Immersion Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.940	3

Scale: Presence Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.956	2

Scale: Feedback Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.874	3

Scale: Interaction Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.777	3

Scale: Motivation Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.959	3

Scale: Effectiveness Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.941	3

Scale: Sim sick mild Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.849	3

Scale: Sim sick severe Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.973	2

Scale: Feel neg Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.612	2

Scale: Feel pos Web

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.965	4

Descriptives

Descriptive Statistics

	N Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean Statistic	Std. Deviation Statistic	Skewness Statistic	Std. Error	Kurtosis Statistic
Test_VR	103	2.00	9.00	5.9903	1.59346	-.206	.238	-.530
Graphics_VR_AVG	103	3.00	5.00	4.5113	.62066	-1.086	.238	-.011
Cog_load_VR_AVG	103	1.00	5.00	4.3010	.80847	-1.755	.238	4.262
Control_VR_AVG	103	2.00	5.00	3.9159	.88157	-.373	.238	-.835
Immersion_VR_AVG	103	1.00	5.00	3.4919	1.17698	-.473	.238	-.805
Presence_VR_AVG	103	2.50	5.00	4.2087	.77182	-.470	.238	-1.016
Feedback_VR_AVG	103	2.67	5.00	4.2848	.65912	-.577	.238	-.605
Interaction_VR_AVG	103	2.67	5.00	4.2686	.66019	-.505	.238	-.741
Motivation_VR_AVG	103	1.00	5.00	4.3430	.80095	-1.358	.238	2.154
Effectiveness_VR_AVG	103	1.00	5.00	3.8997	.92747	-.509	.238	-.343
Sim_sick_mild_VR_AVG	103	1.00	5.00	1.5016	.67781	2.497	.238	8.322
Sim_sick_severe_VR_AVG	103	1.00	5.00	1.1456	.53151	5.233	.238	31.436
Feel_neg_VR_AVG	103	1.00	5.00	1.1893	.56498	4.653	.238	25.599
Feel_pos_VR_AVG	103	1.00	5.00	4.1165	.97129	-1.288	.238	1.580
Test_PC	103	1.00	10.00	5.7767	2.04332	.161	.238	-.410
Graphics_PC_AVG	103	1.67	5.00	4.1100	.79540	-.807	.238	.351
Cog_load_PC_AVG	103	1.00	5.00	4.3447	.93941	-1.935	.238	3.393
Control_PC_AVG	103	1.33	5.00	3.5825	.92026	-.023	.238	-.830
Immersion_PC_AVG	103	1.00	5.00	2.1359	1.06891	.973	.238	.127
Presence_PC_AVG	103	1.00	5.00	2.9272	1.26880	.141	.238	-1.080
Feedback_PC_AVG	103	2.33	5.00	4.1100	.75895	-.331	.238	-1.056
Interaction_PC_AVG	103	1.00	5.00	3.4531	.95413	-.327	.238	-.125
Motivation_PC_AVG	103	2.00	5.00	3.7605	.90558	-.109	.238	-.994
Effectiveness_PC_AVG	103	2.00	5.00	3.8576	.82394	-.166	.238	-.812
Sim_sick_mild_PC_AVG	103	1.00	4.00	1.1456	.38112	4.854	.238	31.375
Sim_sick_severe_PC_AVG	103	1.00	4.00	1.0485	.32475	8.005	.238	69.382
Feel_neg_PC_AVG	103	1.00	4.00	1.1699	.42330	3.830	.238	19.844
Feel_pos_PC_AVG	103	1.00	5.00	3.3568	1.18539	-.349	.238	-.801
Test_Web	103	1.00	9.00	5.3883	1.84302	-.006	.238	-.459
Graphics_Web_AVG	103	1.00	5.00	3.5502	1.00295	-.154	.238	-.663
Cog_load_Web_AVG	103	1.00	5.00	4.0388	.93329	-1.277	.238	1.660
Control_Web_AVG	103	1.00	5.00	3.4013	1.19034	-.322	.238	-.793
Immersion_Web_AVG	103	1.00	5.00	1.8091	1.08826	1.417	.238	1.356

Presence_Web_AVG	103	1.00	5.00	2.0777	1.25588	.941	.238	-.304
Feedback_Web_AVG	103	2.00	5.00	3.9029	.84228	-.107	.238	-1.206
Interaction_Web_AVG	103	1.00	5.00	2.8641	1.02945	.144	.238	-.502
Motivation_Web_AVG	103	1.00	5.00	3.3107	1.13497	-.033	.238	-.914
Effectiveness_Web_AVG	103	1.00	5.00	3.6699	.91763	-.045	.238	-.603
Sim_sick_mild_Web_AVG	103	1.00	4.00	1.0906	.34990	6.434	.238	48.848
Sim_sick_severe_Web_AVG	103	1.00	4.00	1.0340	.29920	9.776	.238	97.387
Feel_neg_Web_AVG	103	1.00	3.00	1.1214	.34631	3.788	.238	16.388
Feel_pos_Web_AVG	103	1.00	5.00	2.8568	1.32223	.191	.238	-1.226
Valid N (listwise)	103							

Descriptive Statistics

	Kurtosis Std. Error
Test_VR	.472
Graphics_VR_AVG	.472
Cog_load_VR_AVG	.472
Control_VR_AVG	.472
Immersion_VR_AVG	.472
Presence_VR_AVG	.472
Feedback_VR_AVG	.472
Interaction_VR_AVG	.472
Motivation_VR_AVG	.472
Effectiveness_VR_AVG	.472
Sim_sick_mild_VR_AVG	.472
Sim_sick_severe_VR_AVG	.472
Feel_neg_VR_AVG	.472
Feel_pos_VR_AVG	.472
Test_PC	.472
Graphics_PC_AVG	.472
Cog_load_PC_AVG	.472
Control_PC_AVG	.472
Immersion_PC_AVG	.472
Presence_PC_AVG	.472
Feedback_PC_AVG	.472
Interaction_PC_AVG	.472
Motivation_PC_AVG	.472
Effectiveness_PC_AVG	.472

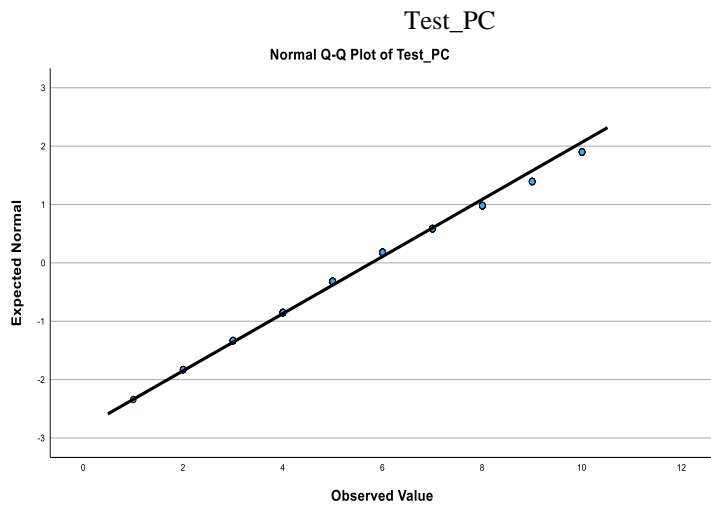
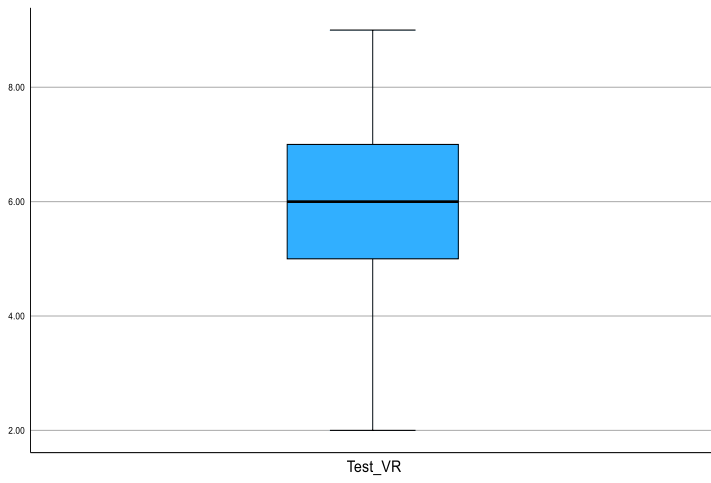
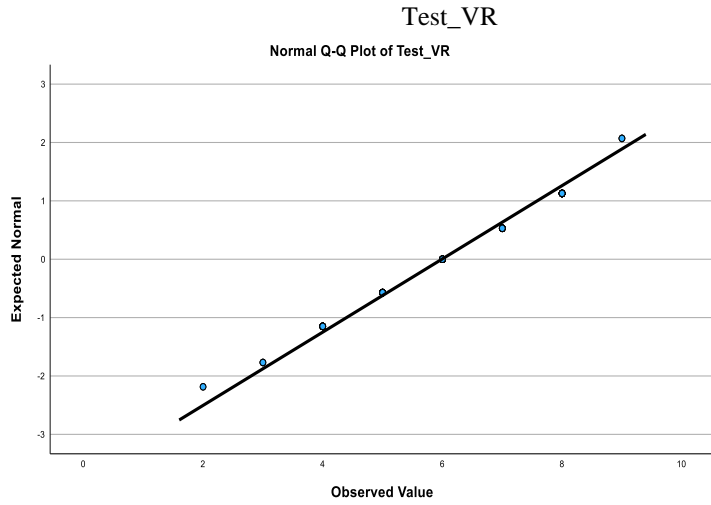
Sim_sick_mild_PC_AVG	.472
Sim_sick_severe_PC_AVG	.472
Feel_neg_PC_AVG	.472
Feel_pos_PC_AVG	.472
Test_Web	.472
Graphics_Web_AVG	.472
Cog_load_Web_AVG	.472
Control_Web_AVG	.472
Immersion_Web_AVG	.472
Presence_Web_AVG	.472
Feedback_Web_AVG	.472
Interaction_Web_AVG	.472
Motivation_Web_AVG	.472
Effectiveness_Web_AVG	.472
Sim_sick_mild_Web_AVG	.472
Sim_sick_severe_Web_AVG	.472
Feel_neg_Web_AVG	.472
Feel_pos_Web_AVG	.472
Valid N (listwise)	

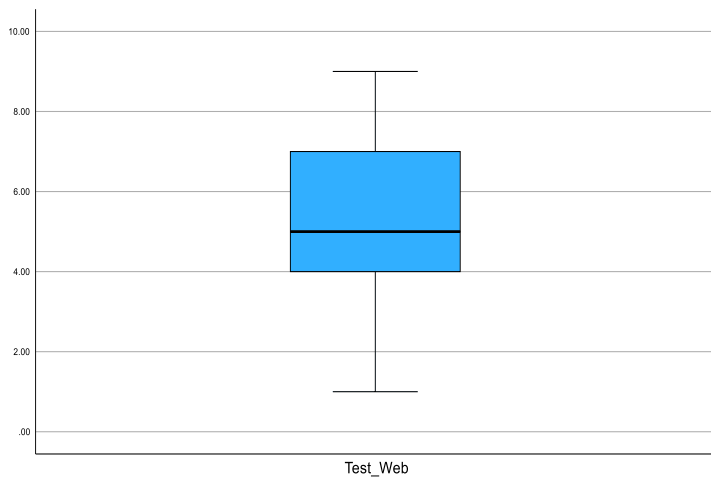
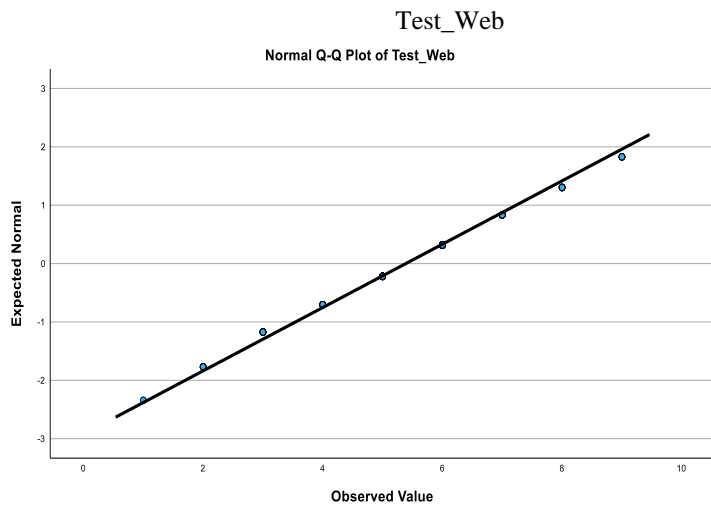
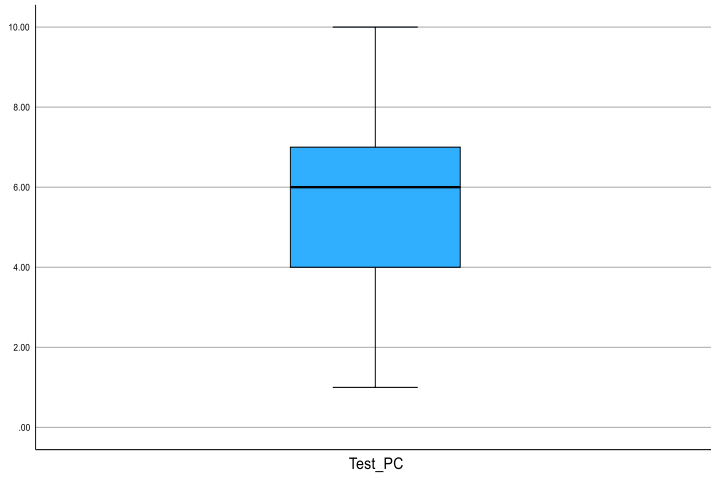
Explore

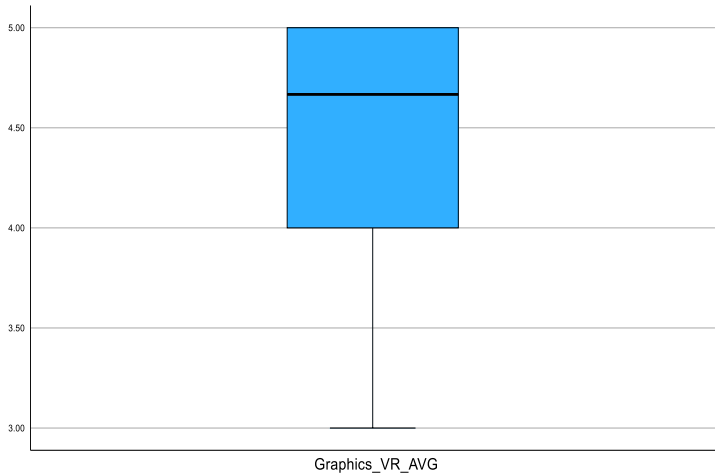
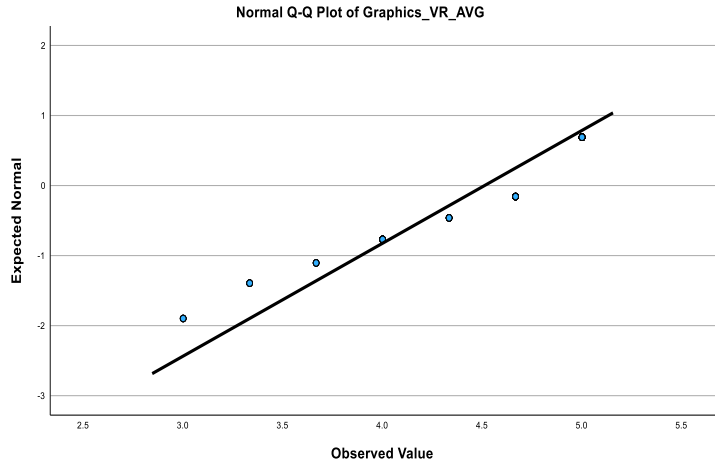
Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Test_VR	.133	103	<.001	.947	103	<.001
Test_PC	.134	103	<.001	.969	103	.016
Test_Web	.116	103	.002	.966	103	.009
Graphics_VR_AVG	.270	103	<.001	.777	103	<.001
Graphics_PC_AVG	.144	103	<.001	.900	103	<.001
Graphics_Web_AVG	.136	103	<.001	.943	103	<.001
Cog_load_VR_AVG	.219	103	<.001	.793	103	<.001
Cog_load_PC_AVG	.265	103	<.001	.710	103	<.001
Cog_load_Web_AVG	.202	103	<.001	.855	103	<.001
Control_VR_AVG	.133	103	<.001	.921	103	<.001
Control_PC_AVG	.125	103	<.001	.952	103	<.001
Control_Web_AVG	.103	103	.009	.936	103	<.001
Immersion_VR_AVG	.143	103	<.001	.931	103	<.001
Immersion_PC_AVG	.211	103	<.001	.879	103	<.001
Immersion_Web_AVG	.257	103	<.001	.762	103	<.001
Presence_VR_AVG	.236	103	<.001	.855	103	<.001
Presence_PC_AVG	.136	103	<.001	.934	103	<.001
Presence_Web_AVG	.222	103	<.001	.812	103	<.001
Feedback_VR_AVG	.172	103	<.001	.887	103	<.001
Feedback_PC_AVG	.166	103	<.001	.903	103	<.001
Feedback_Web_AVG	.140	103	<.001	.913	103	<.001
Interaction_VR_AVG	.173	103	<.001	.892	103	<.001
Interaction_PC_AVG	.105	103	.007	.963	103	.005
Interaction_Web_AVG	.100	103	.013	.968	103	.013
Motivation_VR_AVG	.250	103	<.001	.801	103	<.001
Motivation_PC_AVG	.149	103	<.001	.921	103	<.001
Motivation_Web_AVG	.106	103	.006	.946	103	<.001
Effectiveness_VR_AVG	.144	103	<.001	.909	103	<.001
Effectiveness_PC_AVG	.123	103	<.001	.927	103	<.001
Effectiveness_Web_AVG	.165	103	<.001	.923	103	<.001
Sim_sick_mild_VR_AVG	.248	103	<.001	.710	103	<.001
Sim_sick_severe_VR_AVG	.482	103	<.001	.306	103	<.001
Sim_sick_mild_PC_AVG	.416	103	<.001	.426	103	<.001
Sim_sick_severe_PC_AVG	.530	103	<.001	.138	103	<.001
Sim_sick_mild_Web_AVG	.466	103	<.001	.277	103	<.001
Sim_sick_severe_Web_AVG	.526	103	<.001	.092	103	<.001
Feel_neg_VR_AVG	.447	103	<.001	.380	103	<.001
Feel_neg_PC_AVG	.452	103	<.001	.457	103	<.001
Feel_neg_Web_AVG	.482	103	<.001	.399	103	<.001
Feel_pos_VR_AVG	.182	103	<.001	.840	103	<.001
Feel_pos_PC_AVG	.095	103	.024	.944	103	<.001
Feel_pos_Web_AVG	.130	103	<.001	.925	103	<.001

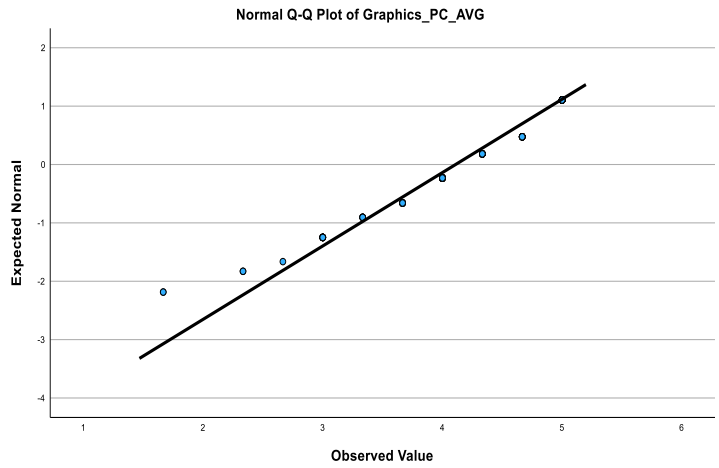
a. Lilliefors Significance Correction

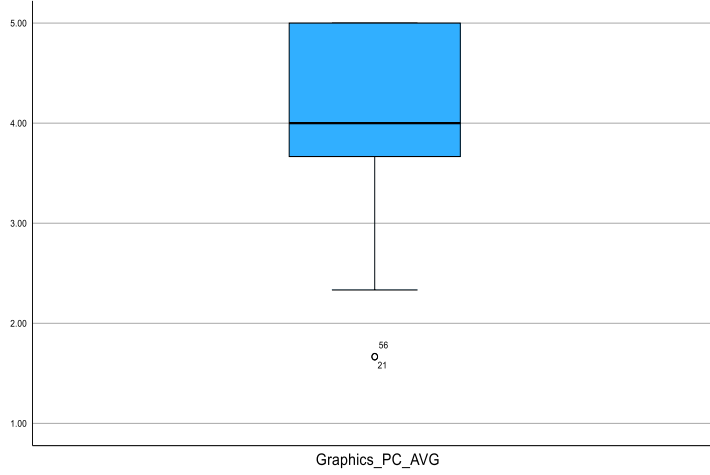




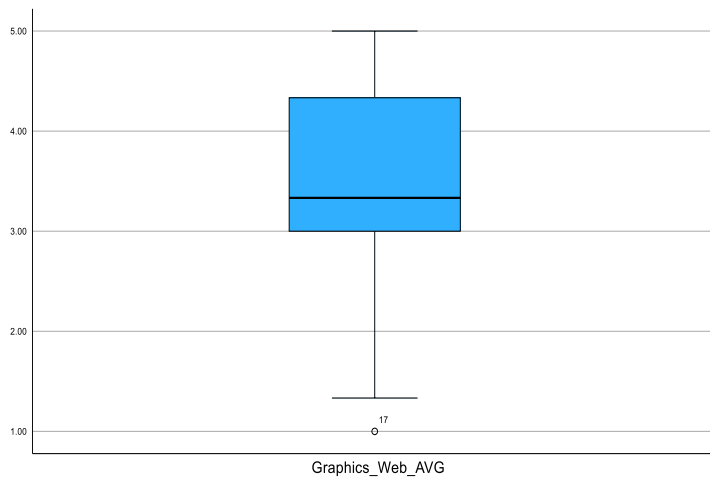
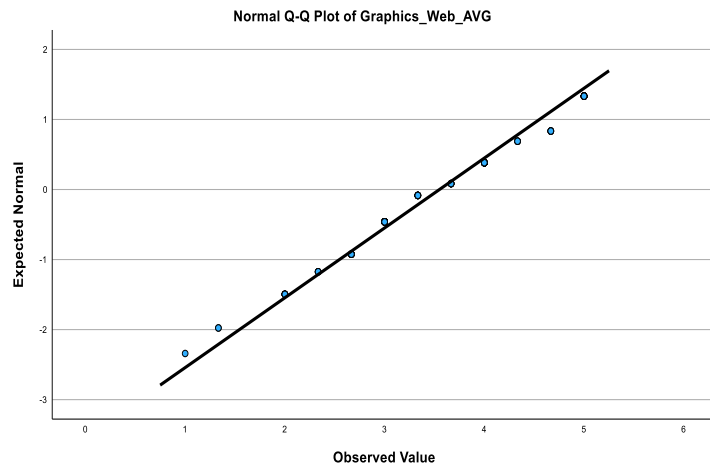


Graphics_PC_AVG

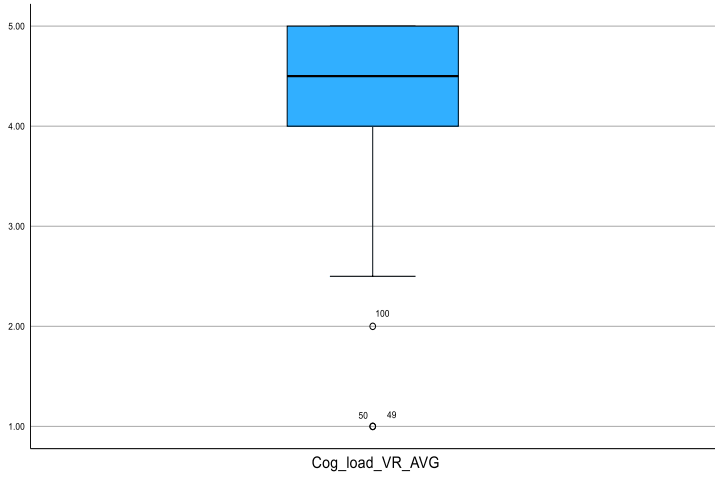
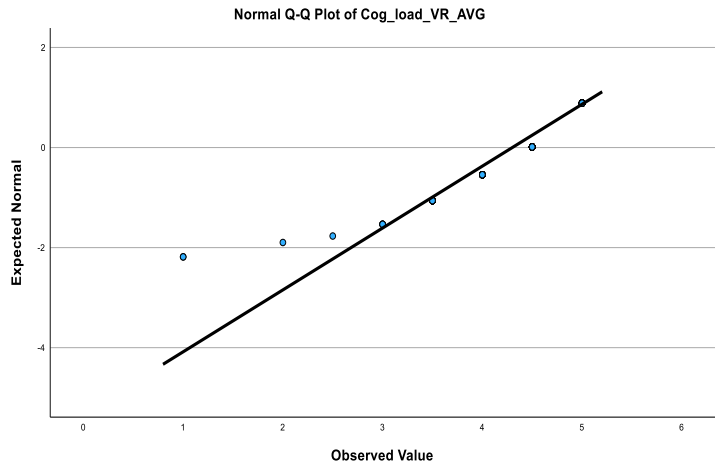




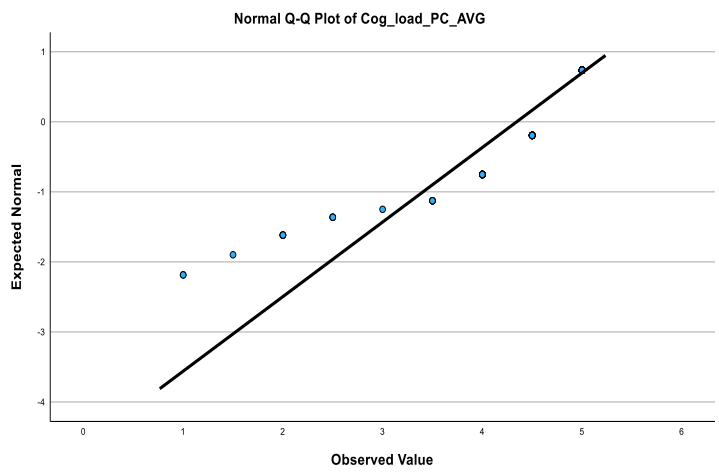
Graphics_Web_AVG

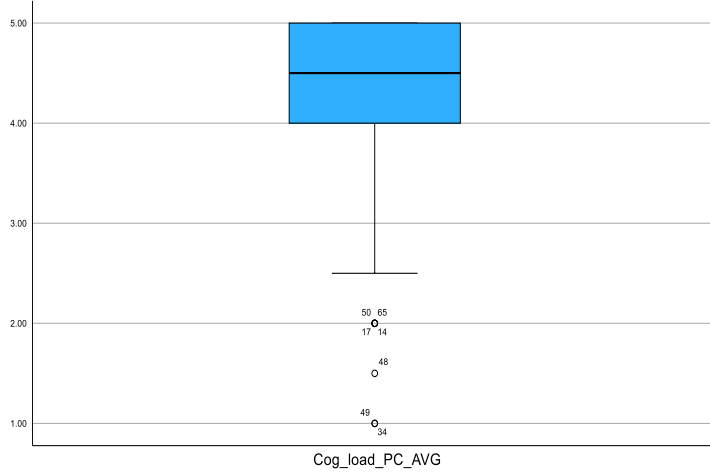


Cog_load_VR_AVG

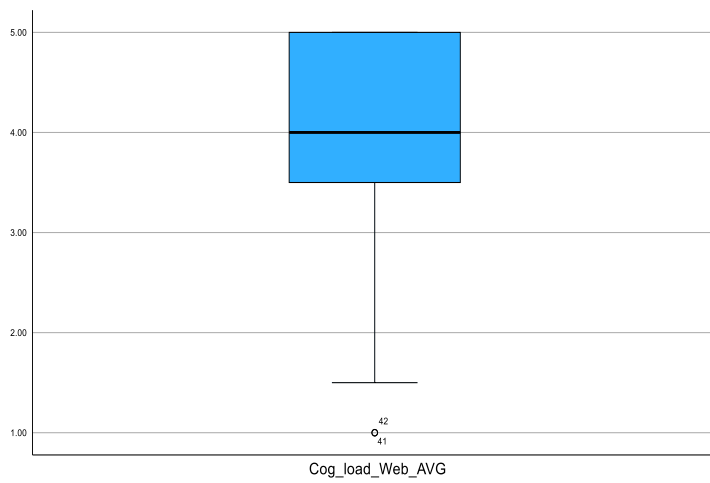
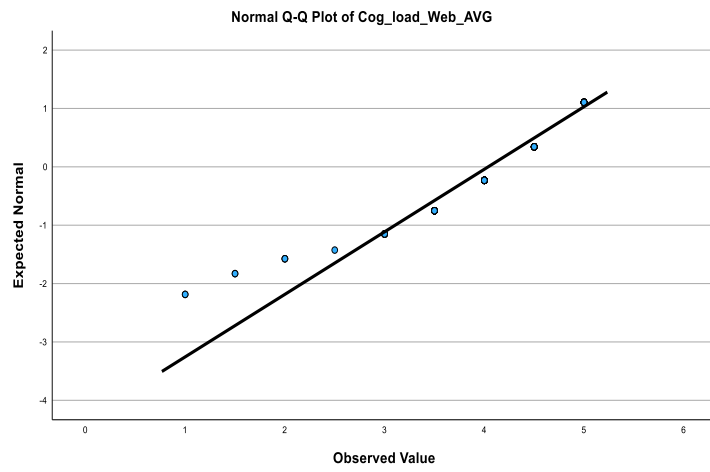


Cog_load_PC_AVG

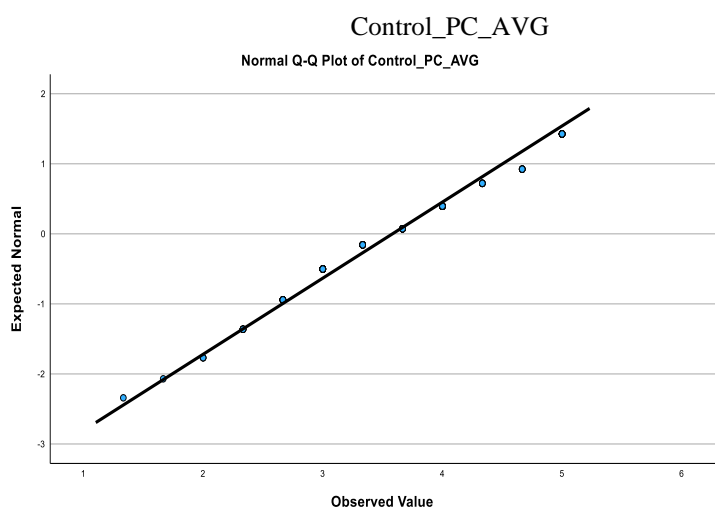
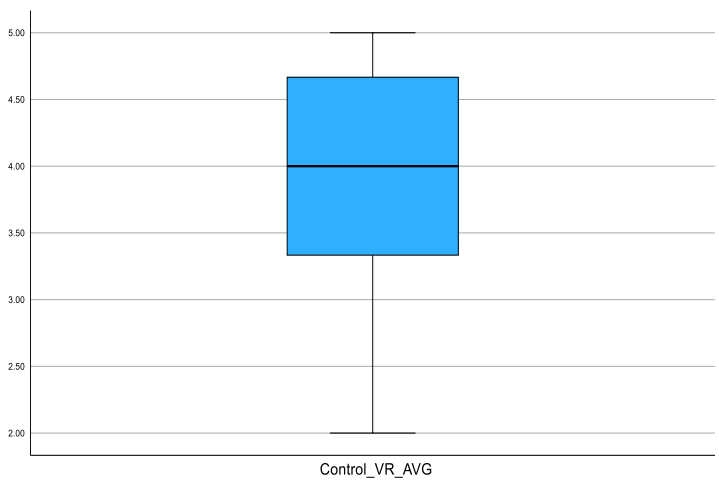
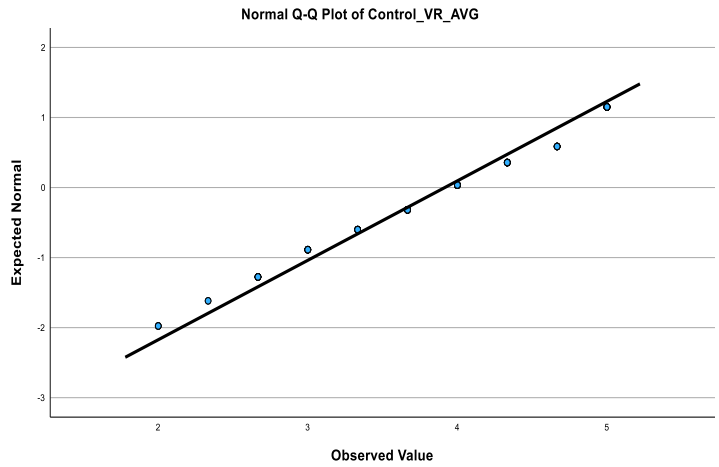


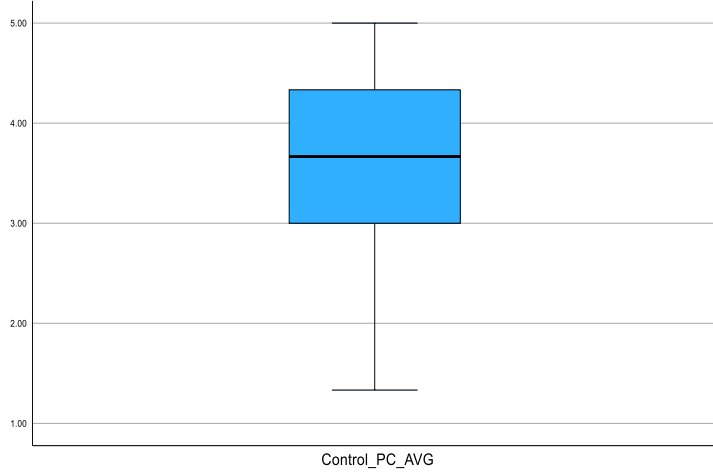


Cog_load_Web_AVG

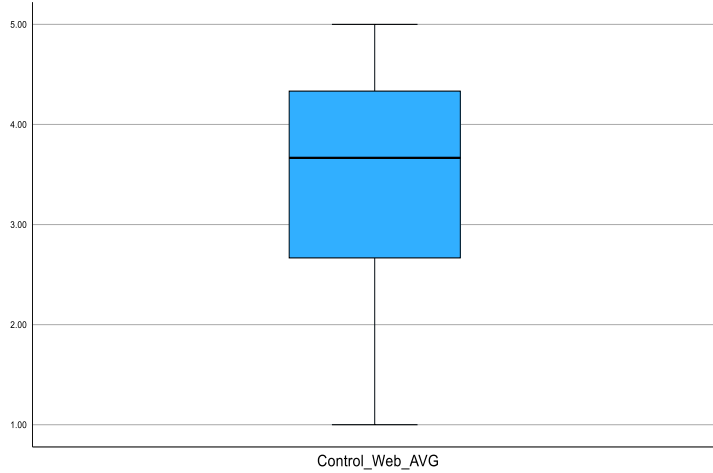
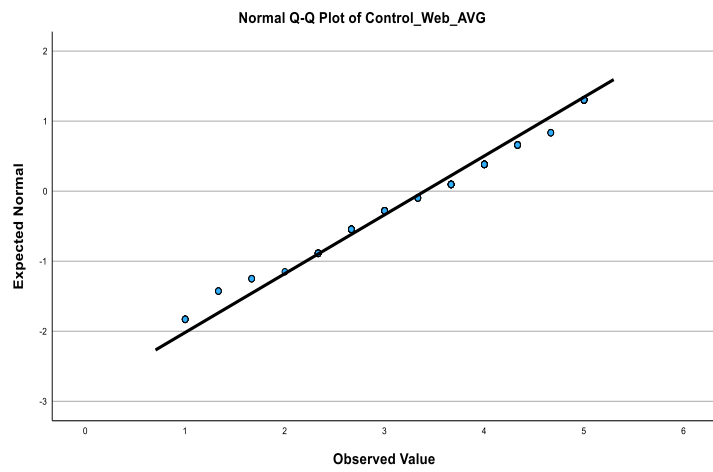


Control_VR_AVG

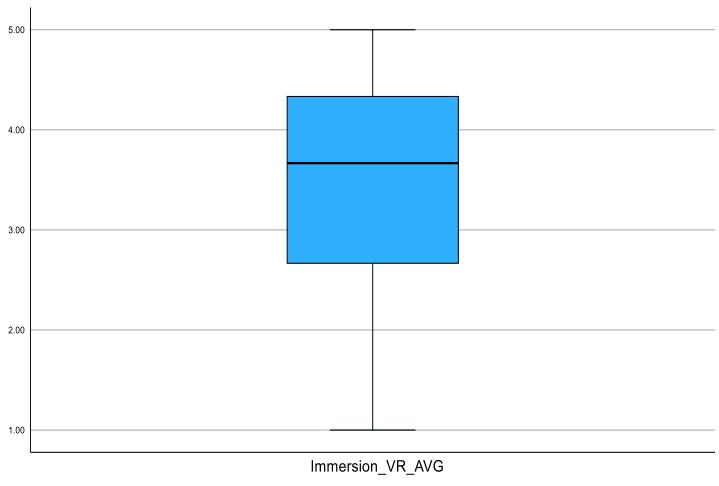
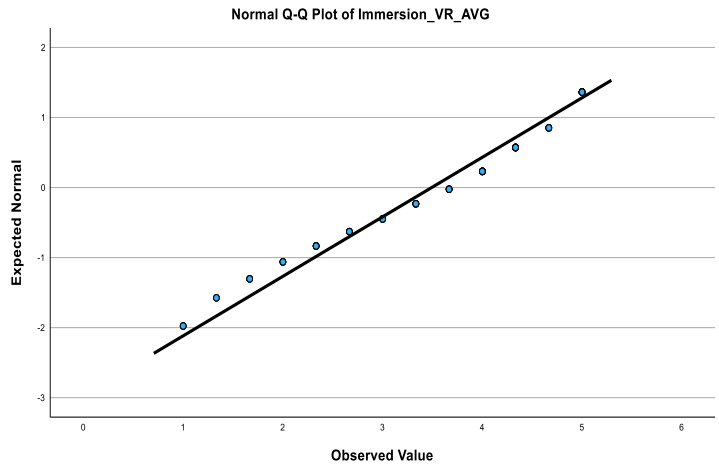




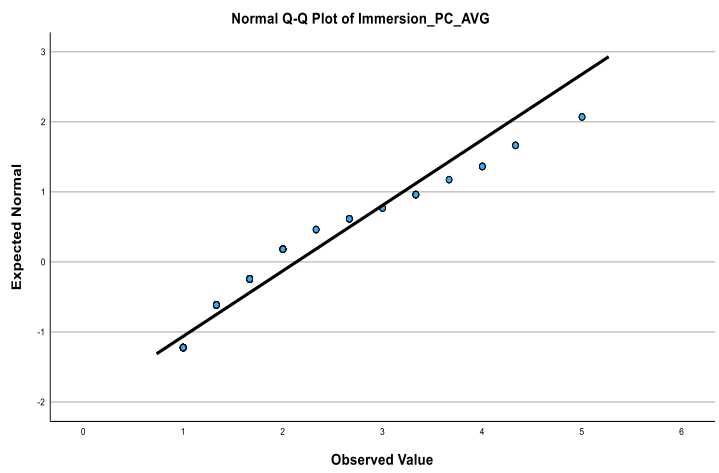
Control_Web_AVG

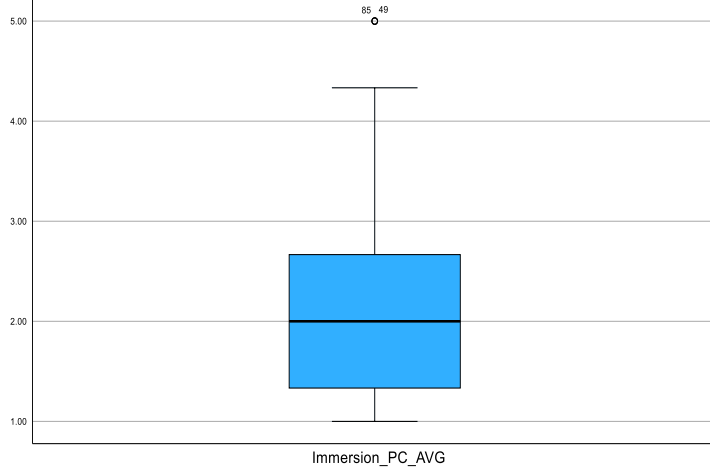


Immersion_VR_AVG

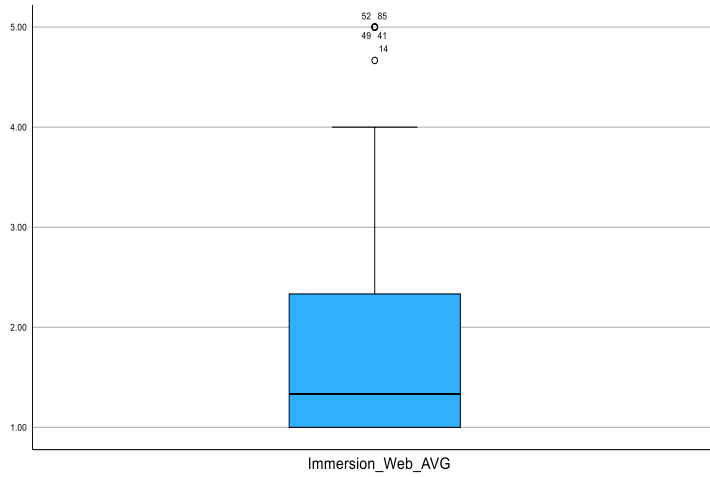
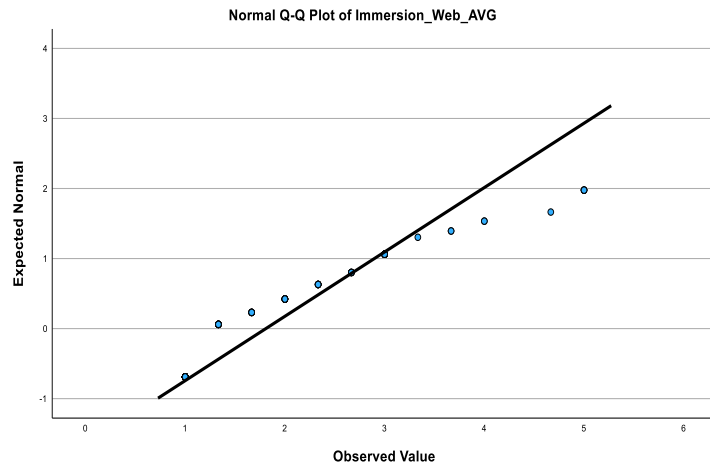


Immersion_PC_AVG

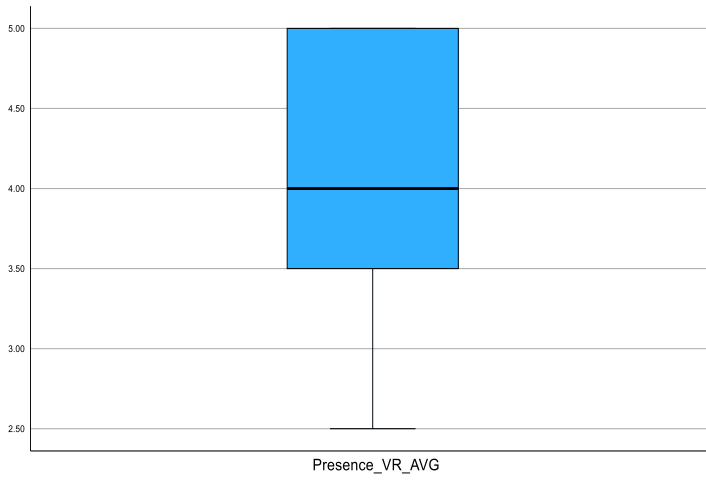
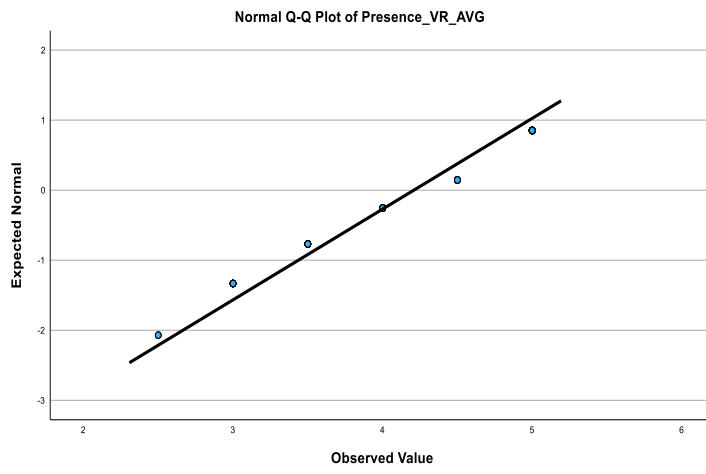




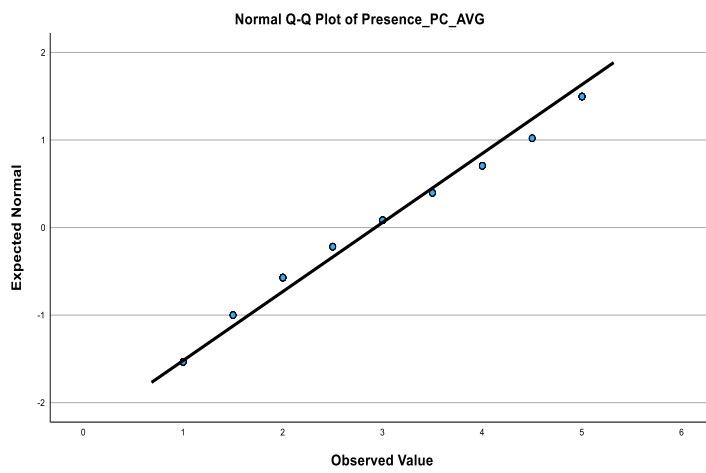
Immersion_Web_AVG

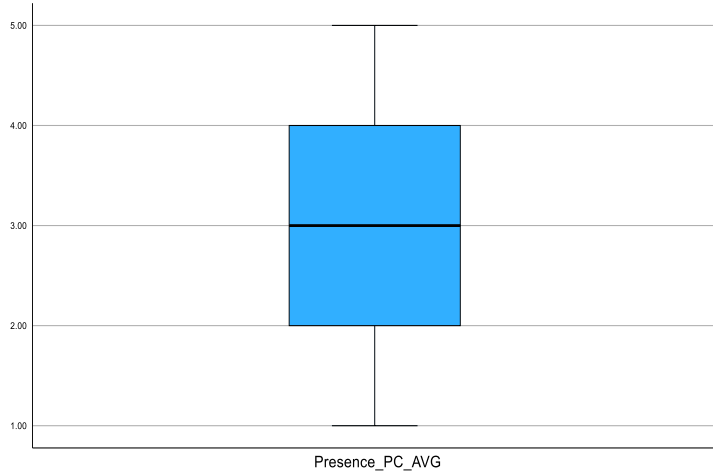


Presence_VR_AVG

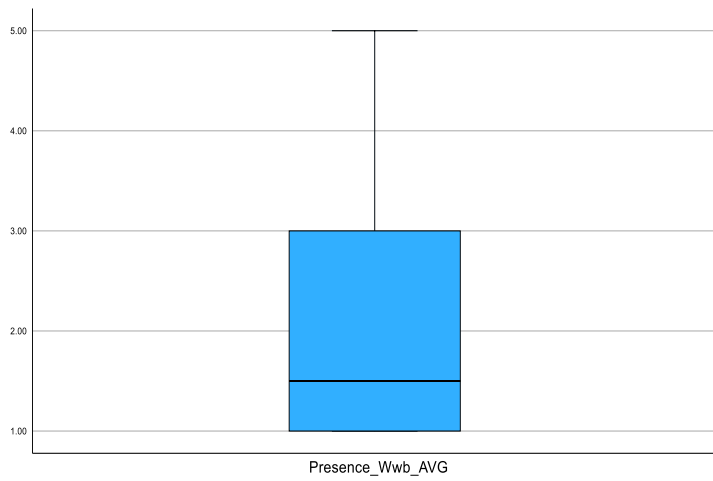
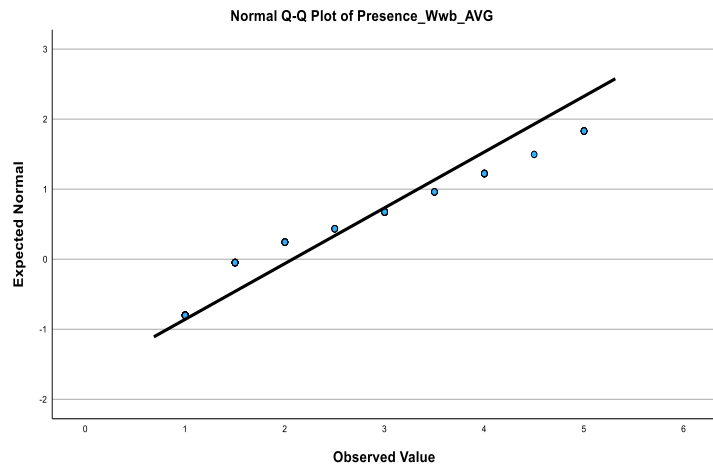


Presence_PC_AVG

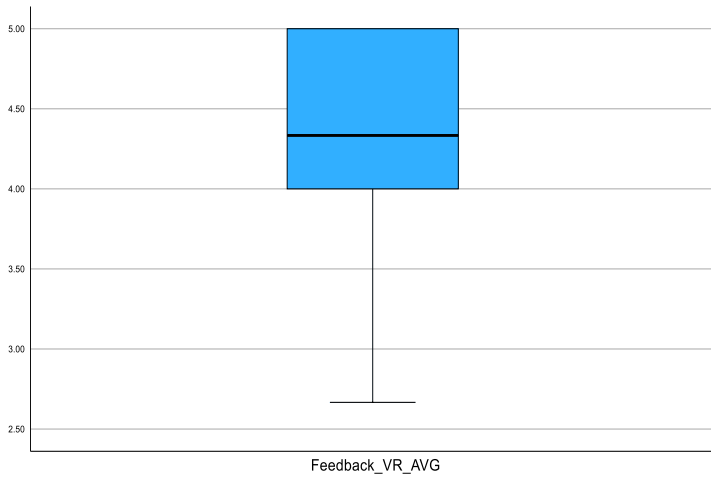
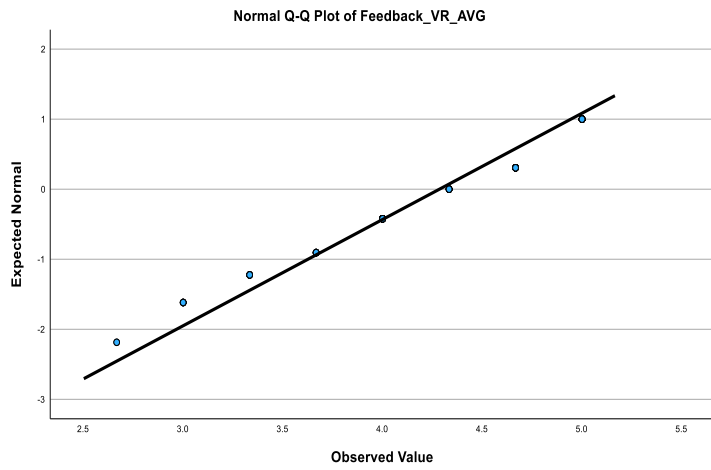




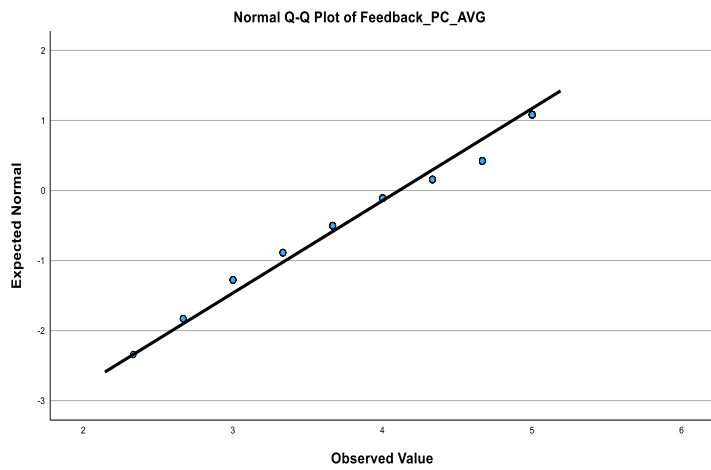
Presence_Web_AVG

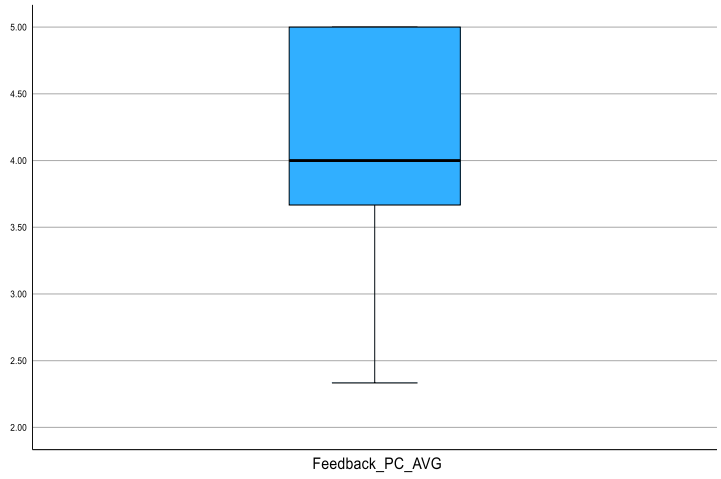


Feedback_VR_AVG

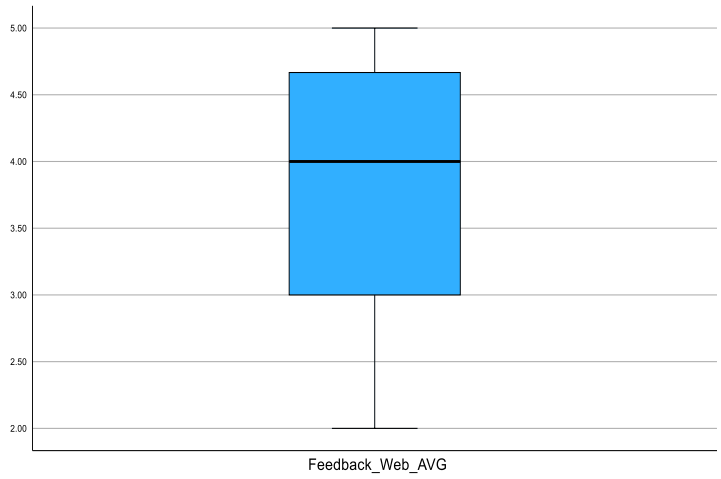
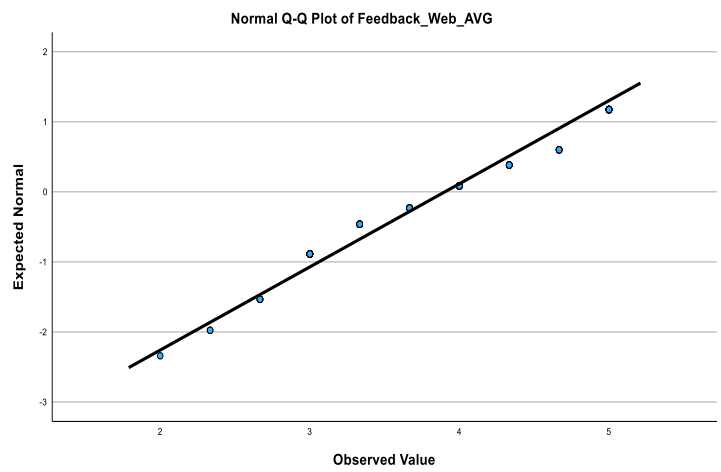


Feedback_PC_AVG

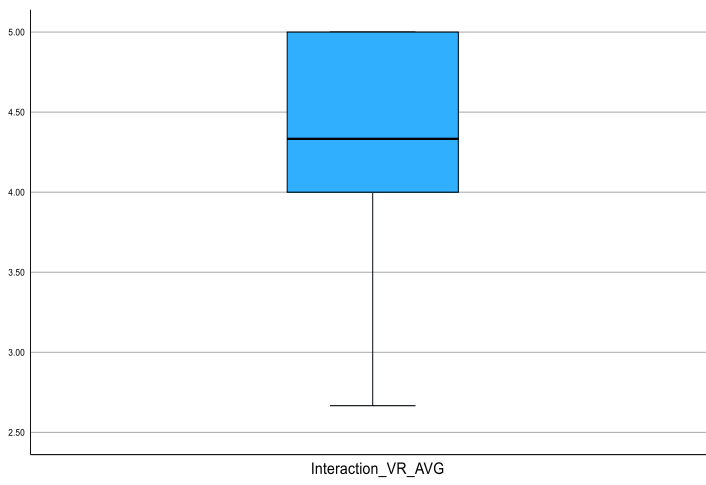
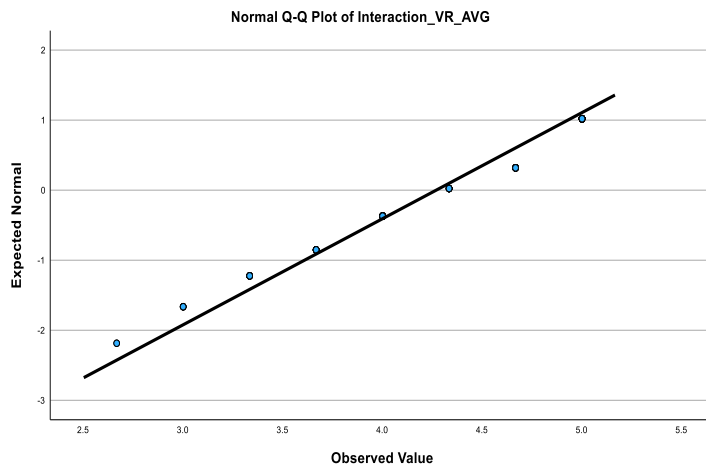




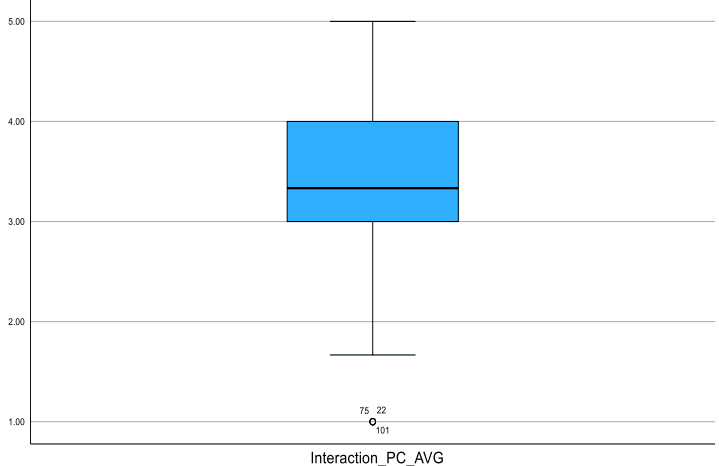
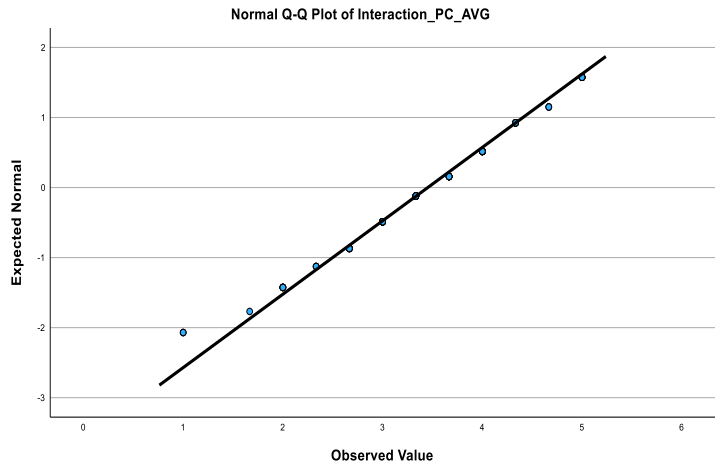
Feedback_Web_AVG



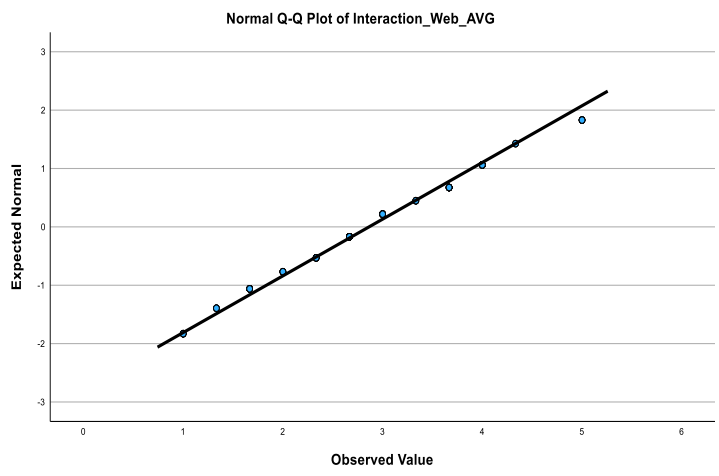
Interaction_VR_AVG

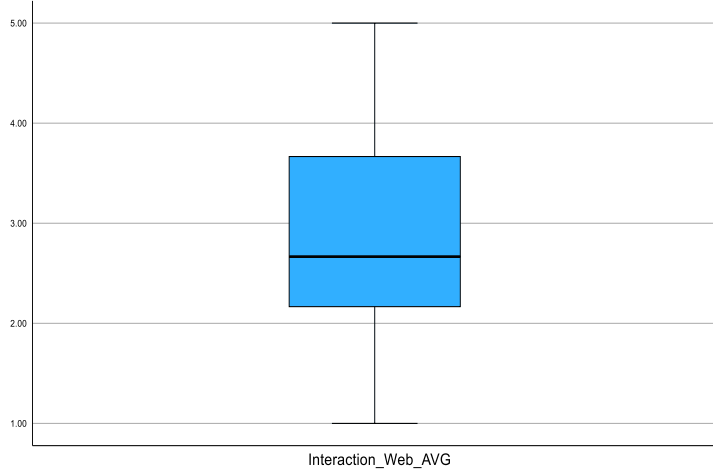


Interaction_PC_AVG

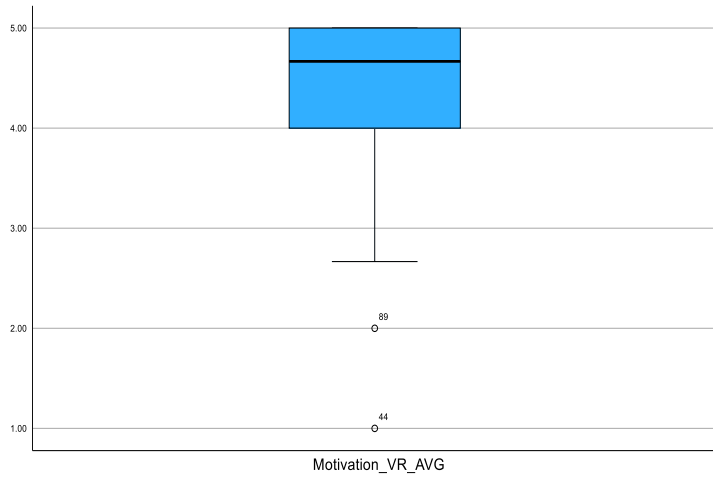
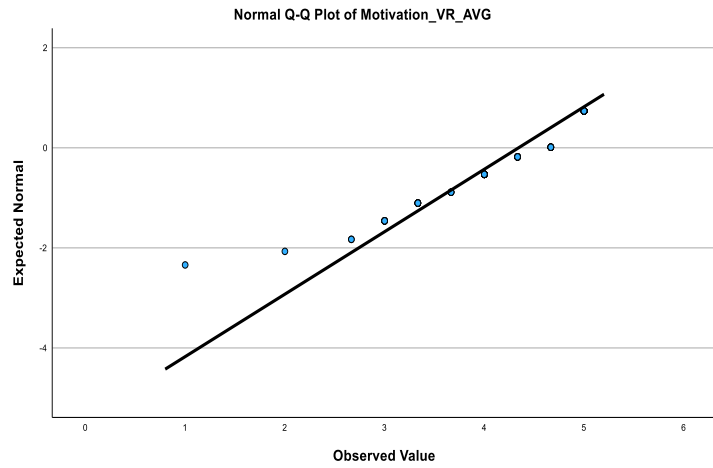


Interaction_Web_AVG

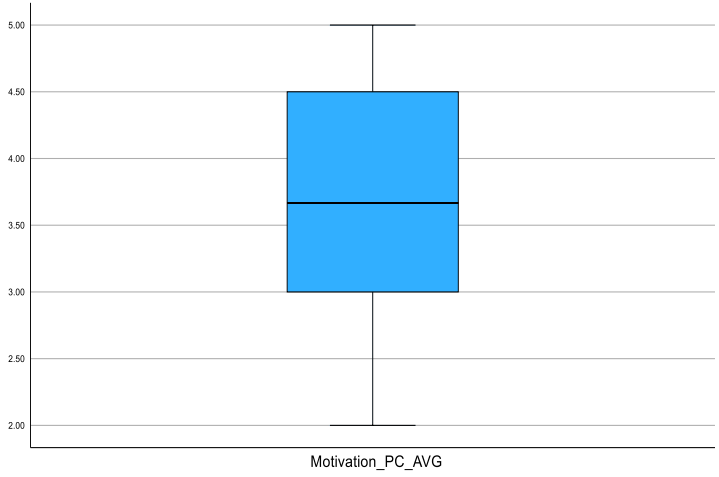
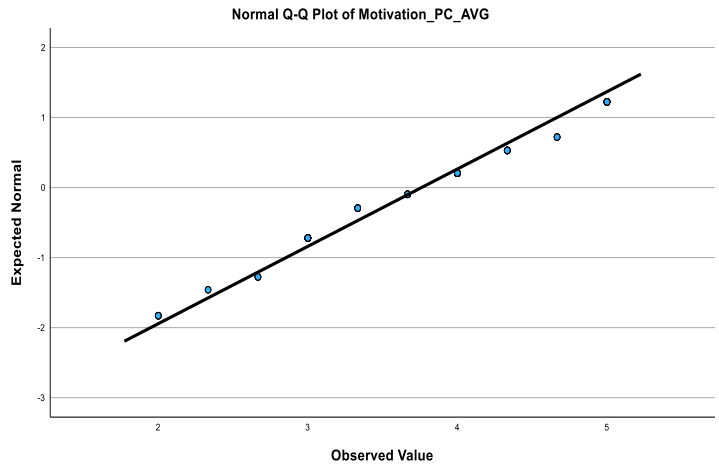




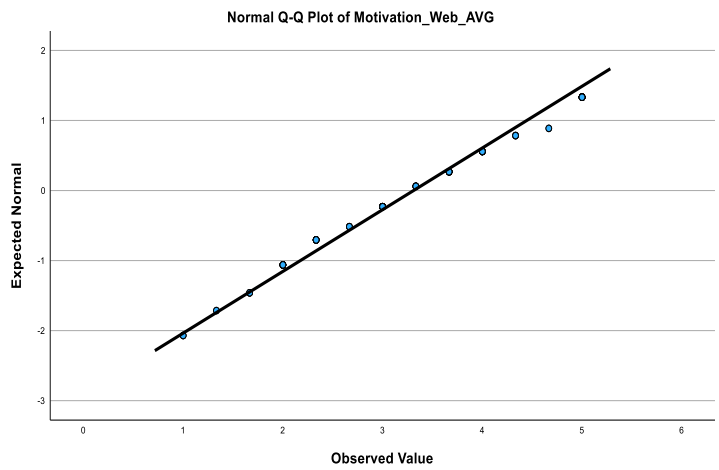
Motivation_VR_AVG

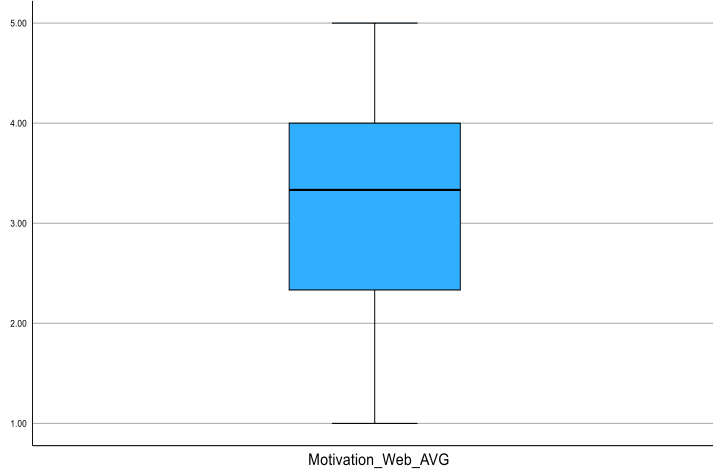


Motivation_PC_AVG

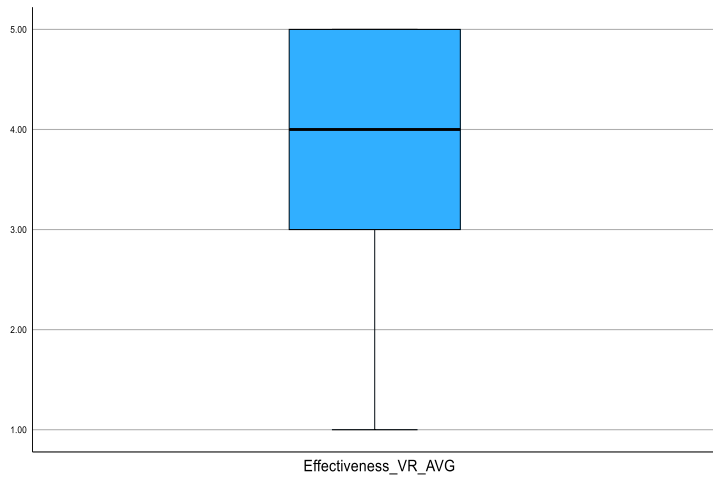
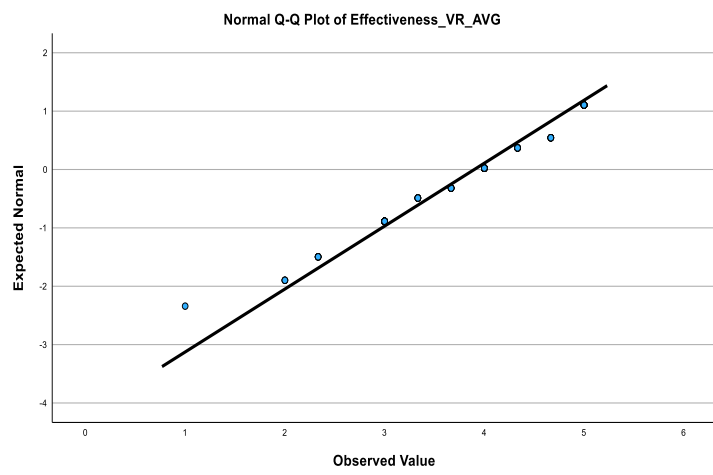


Motivation_Web_AVG

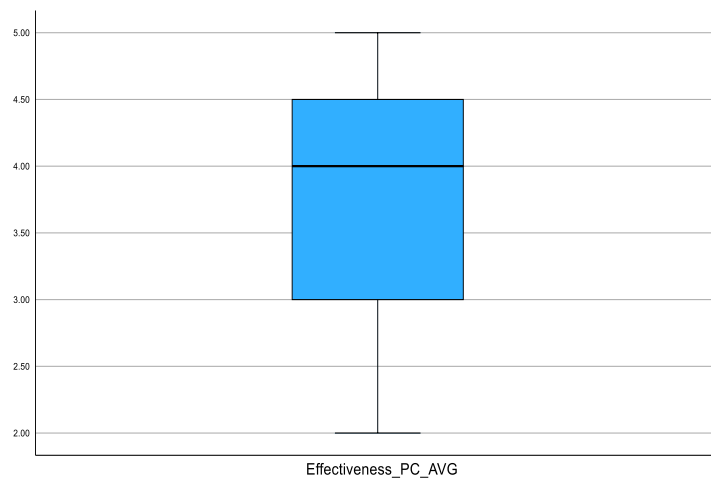
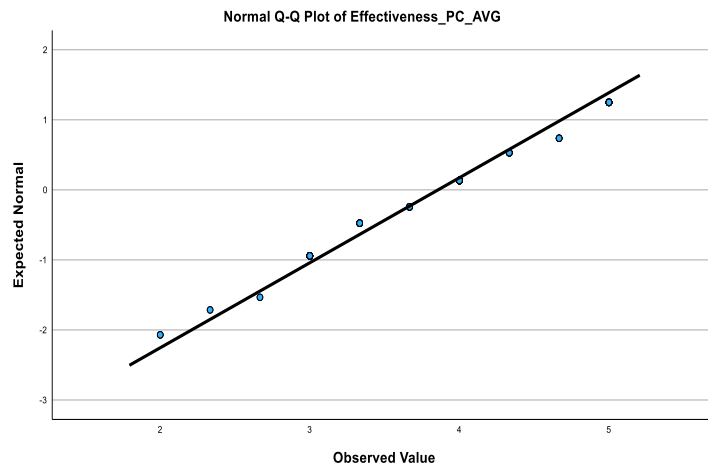




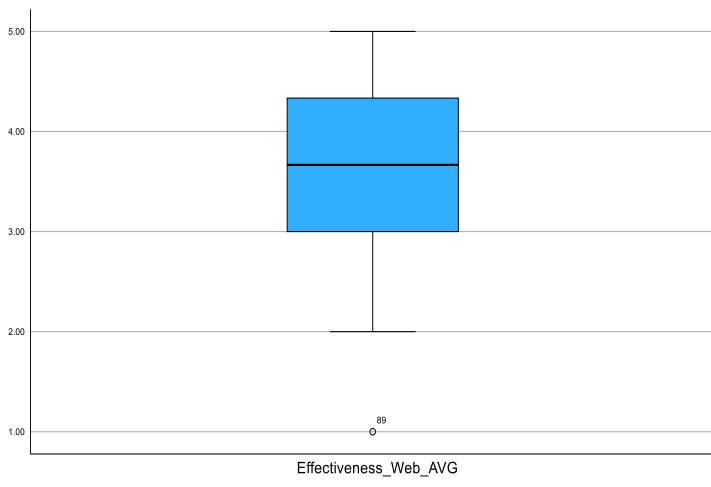
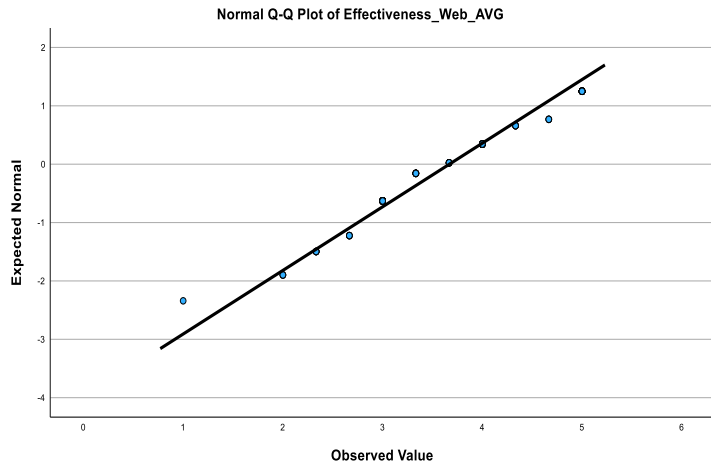
Effectiveness_VR_AVG



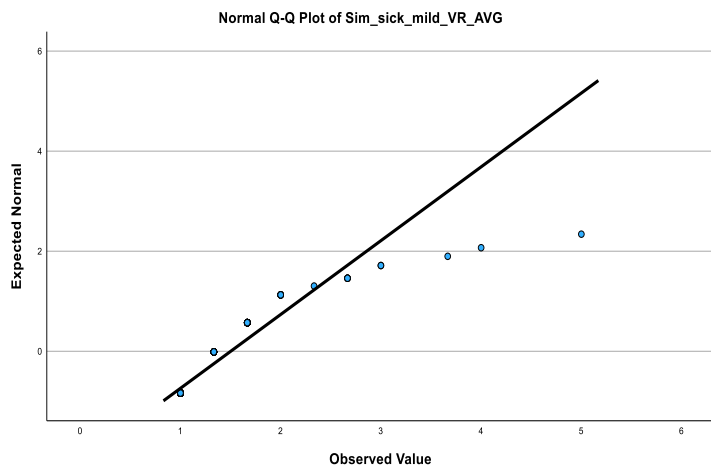
Effectiveness_PC_AVG

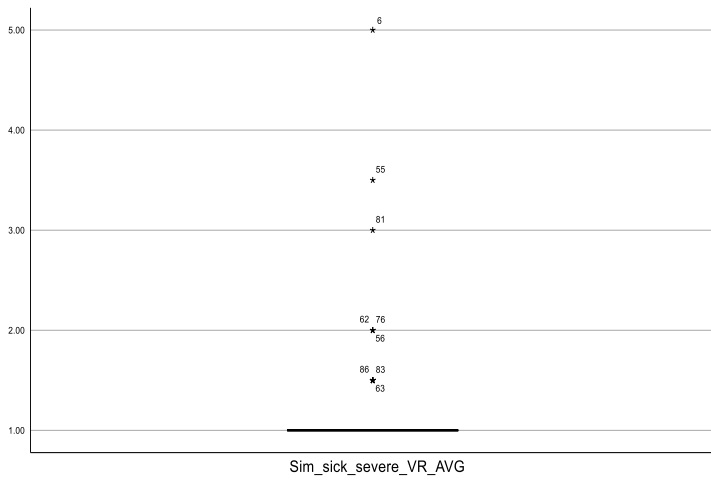
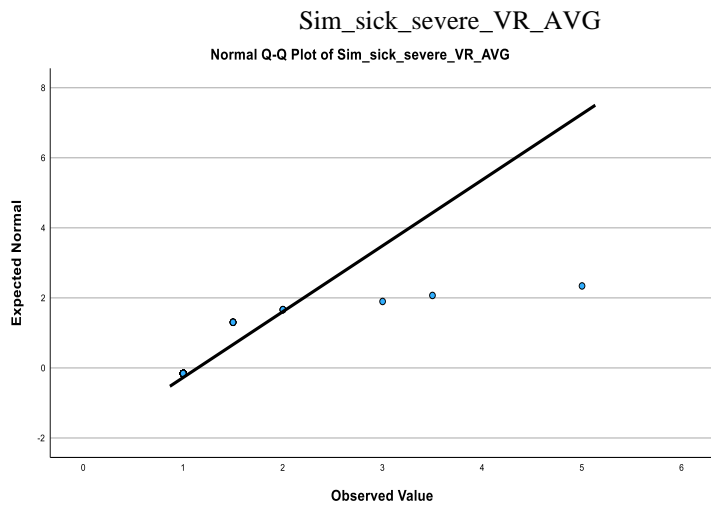
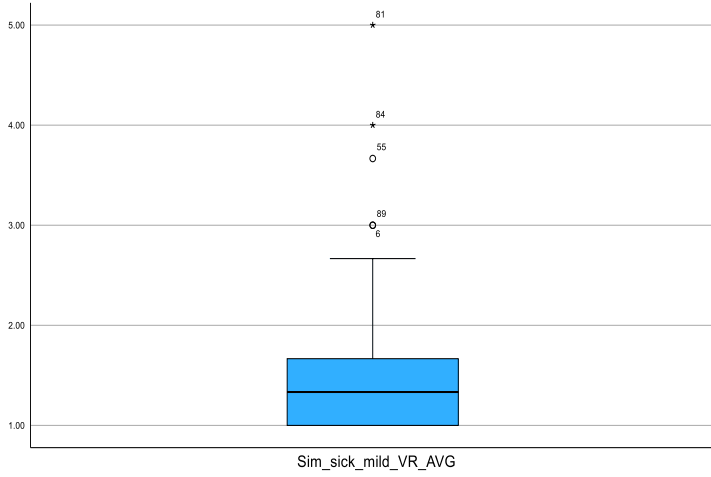


Effectiveness_Web_AVG

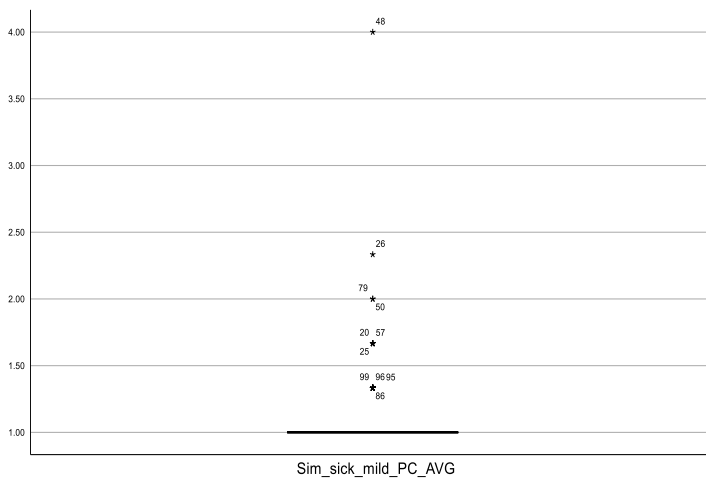
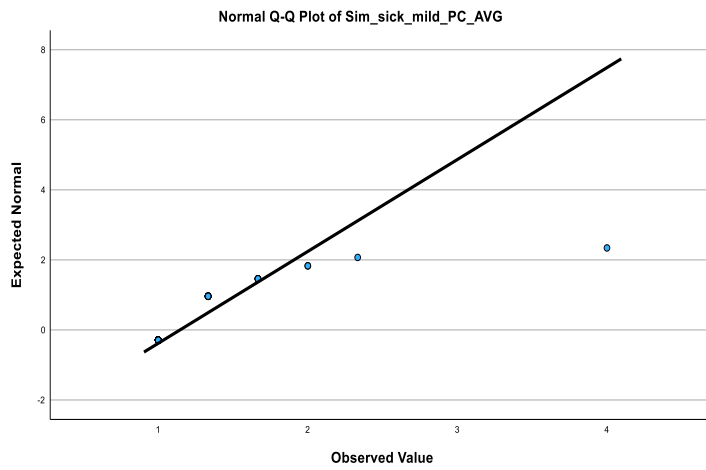


Sim_sick_mild_VR_AVG

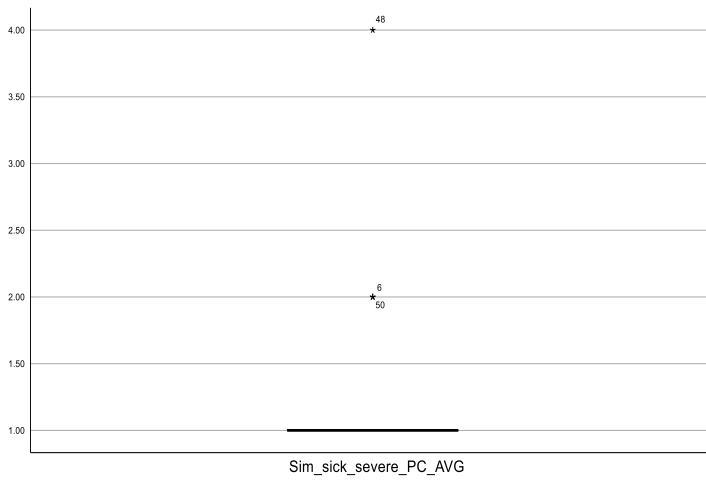
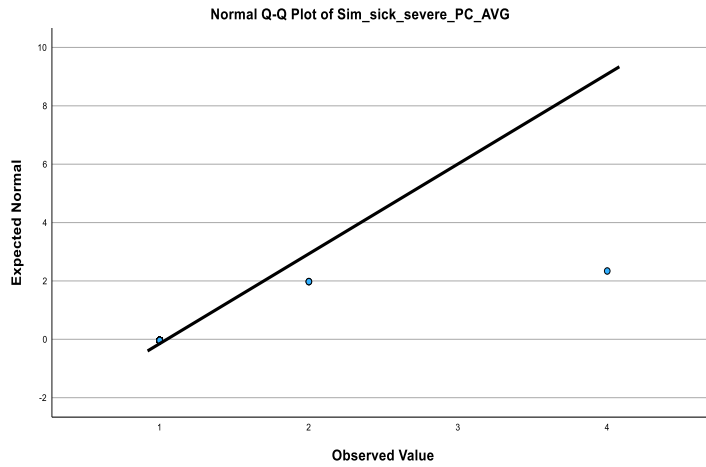




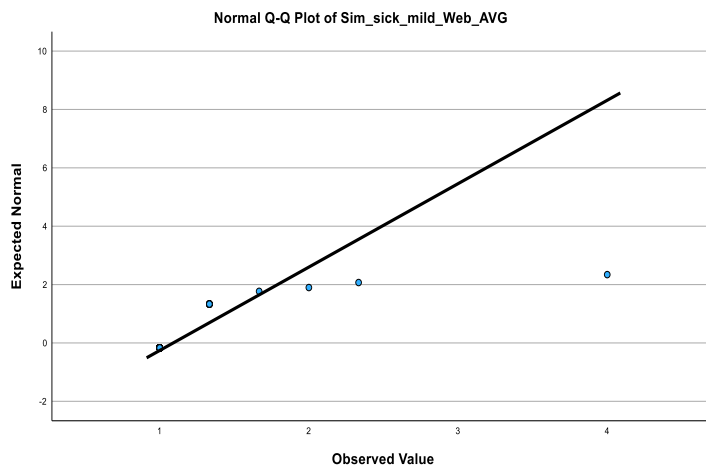
Sim_sick_mild_PC_AVG

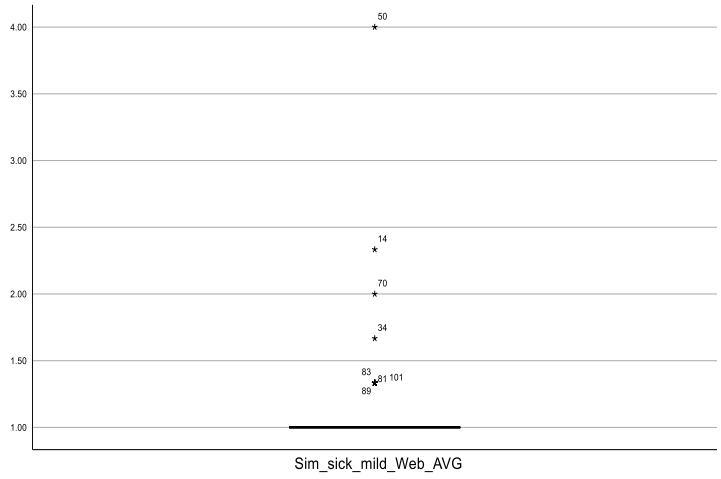


Sim_sick_severe_PC_AVG

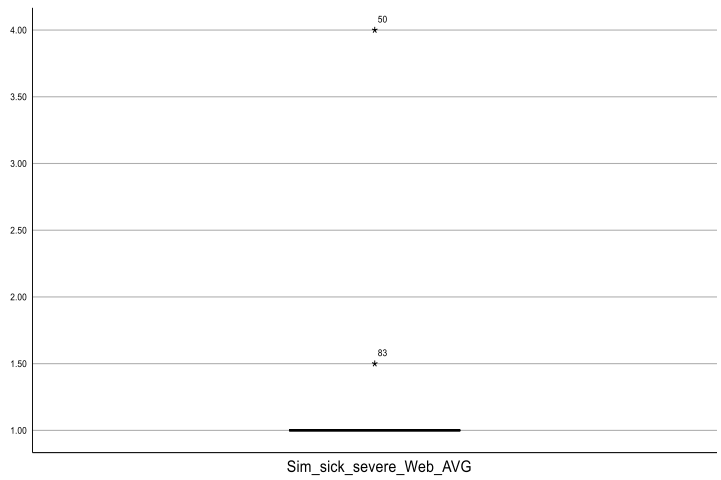
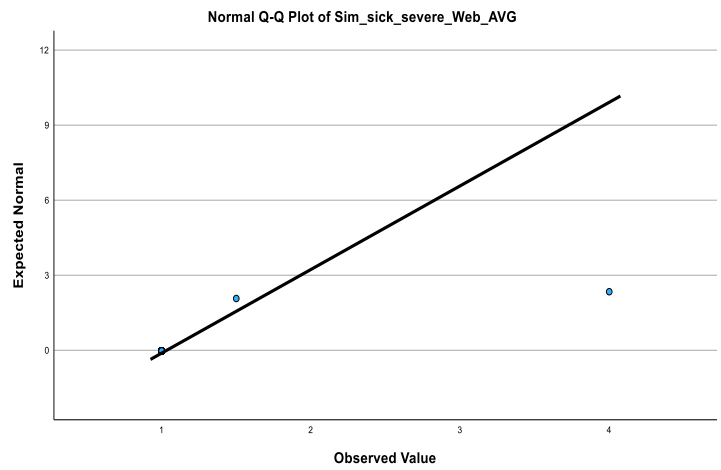


Sim_sick_mild_Web_AVG

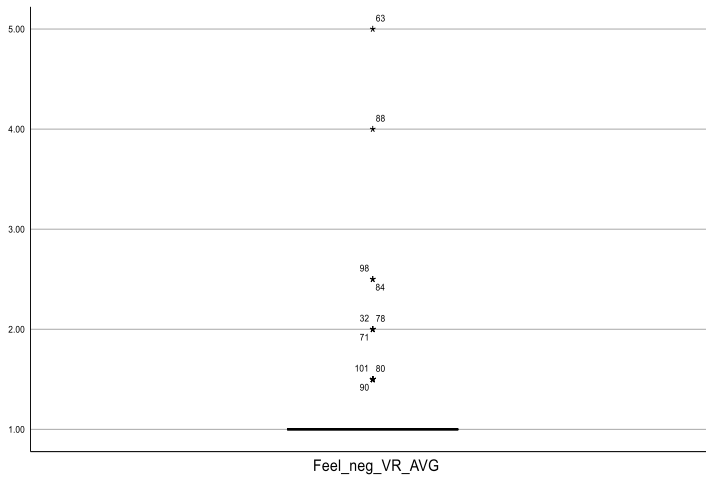
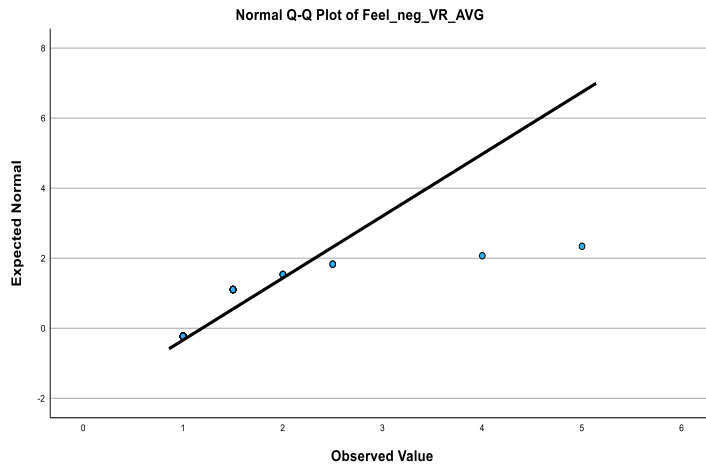




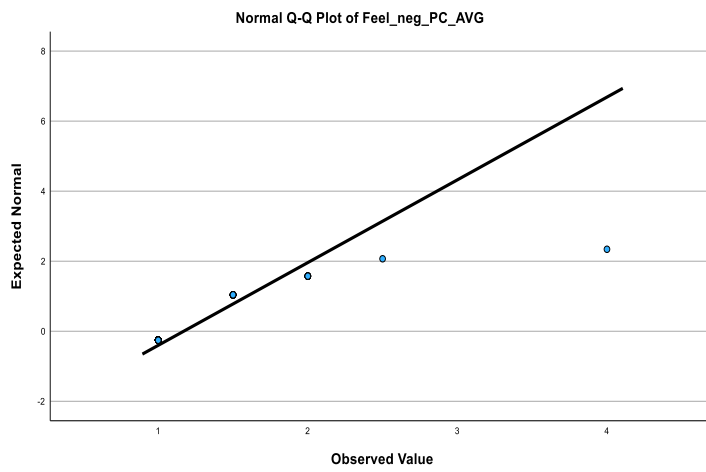
Sim_sick_severe_Web_AVG

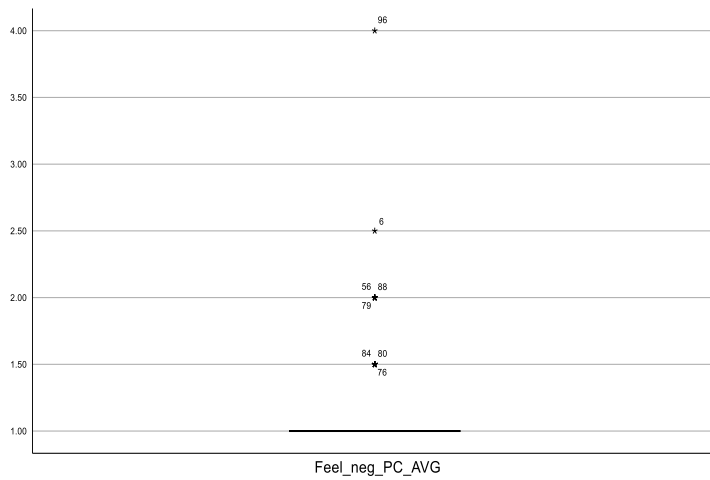


Feel_neg_VR_AVG

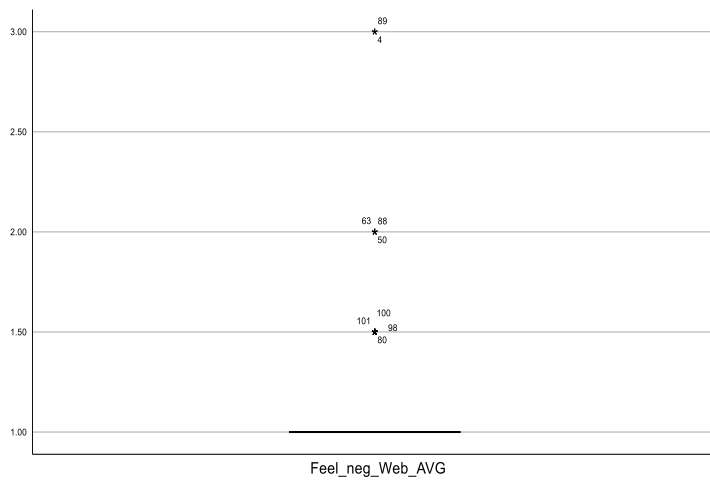
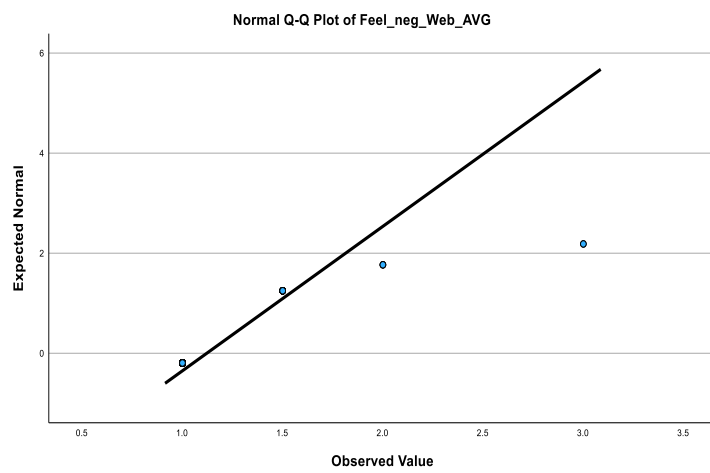


Feel_neg_PC_AVG

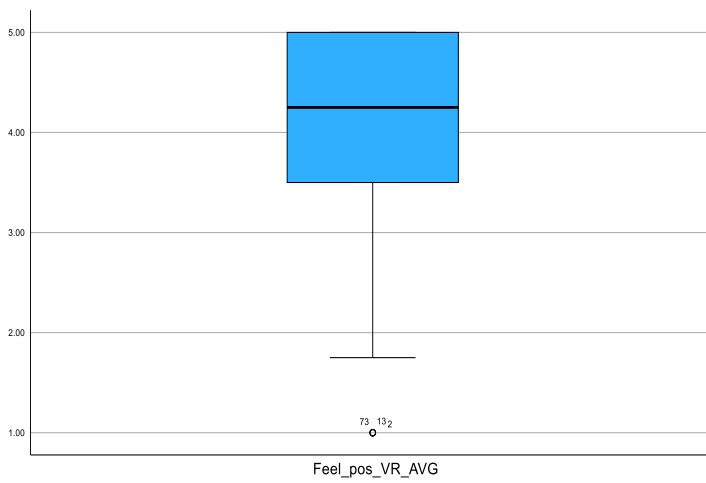
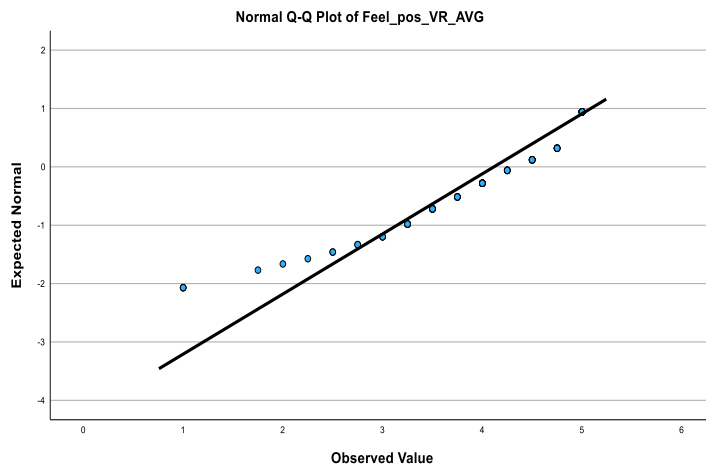




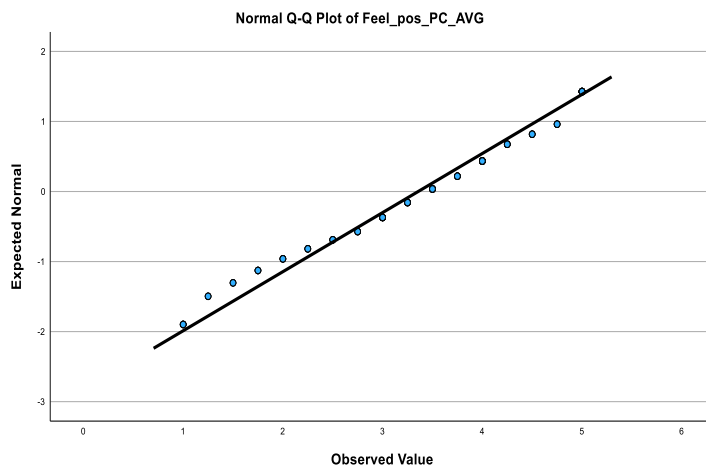
Feel_neg_Web_AVG

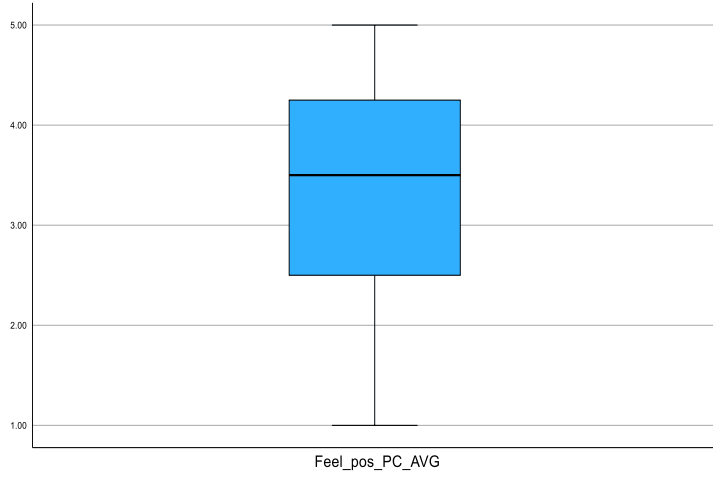


Feel_pos_VR_AVG

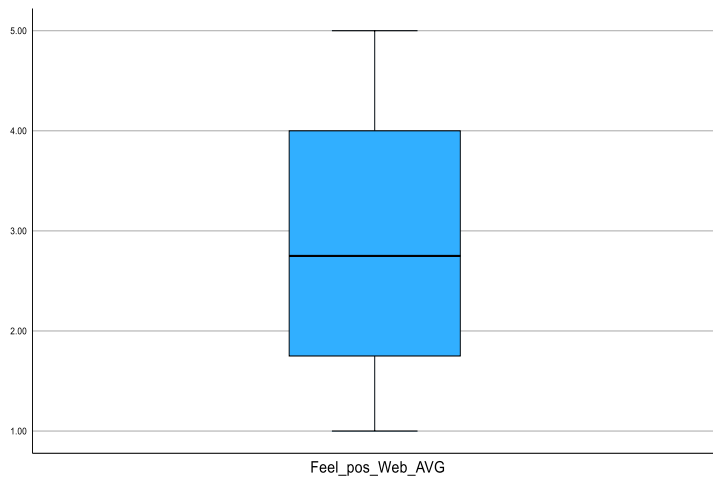
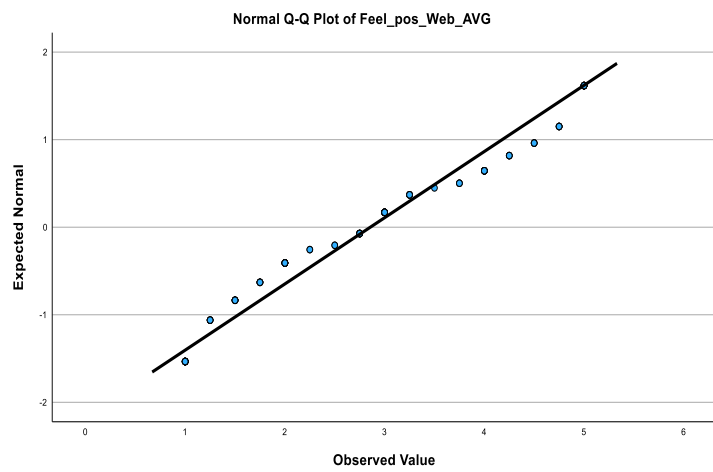


Feel_pos_PC_AVG





Feel_pos_Web_AVG



General Linear Model, Mauchly's W test of sphericity

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Test_VR
2	Test_PC
3	Test_Web

Mauchly's Test of Sphericity

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.957	4.489	2	.106	.958

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Graphics_VR_AVG
2	Graphics_PC_AVG
3	Graphics_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.881	12.832	2	.002	.893

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Cog_load_VR_AVG
2	Cog_load_PC_AVG
3	Cog_load_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.934	6.907	2	.032	.938

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Control_VR_AVG
2	Control_PC_AVG
3	Control_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.825	19.425	2	<.001	.851

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Immersion_VR_AVG
2	Immersion_PC_AVG

3	Immersion_Web_AVG
---	-------------------

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.776	25.649	2	<.001	.817

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Presence_VR_AVG
2	Presence_PC_AVG
3	Presence_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.962	3.899	2	.142	.964

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Feedback_VR_AVG
2	Feedback_PC_AVG
3	Feedback_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.973	2.783	2	.249	.974

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Interaction_VR_AVG
2	Interaction_PC_AVG
3	Interaction_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.984	1.587	2	.452	.985

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Motivation_VR_AVG
2	Motivation_PC_AVG
3	Motivation_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.899	10.714	2	.005	.909

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Effectiveness_VR_AVG
2	Effectiveness_PC_AVG
3	Effectiveness_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.978	2.254	2	.324	.978

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Sim_sick_mild_VR_AVG
2	Sim_sick_mild_PC_AVG
3	Sim_sick_mild_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.792	23.581	2	<.001	.828

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Sim_sick_severe_VR_AVG
2	Sim_sick_severe_PC_AVG
3	Sim_sick_severe_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.767	26.858	2	<.001	.811

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Feel_neg_VR_AVG
2	Feel_neg_PC_AVG
3	Feel_neg_Web_AVG

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.838	17.794	2	<.001	.861

Within-Subjects Factors

Measure: MEASURE_1

factor1	Dependent Variable
1	Feel_pos_VR_AVG
2	Feel_pos_PC_AVG
3	Feel_pos_Web_AVG

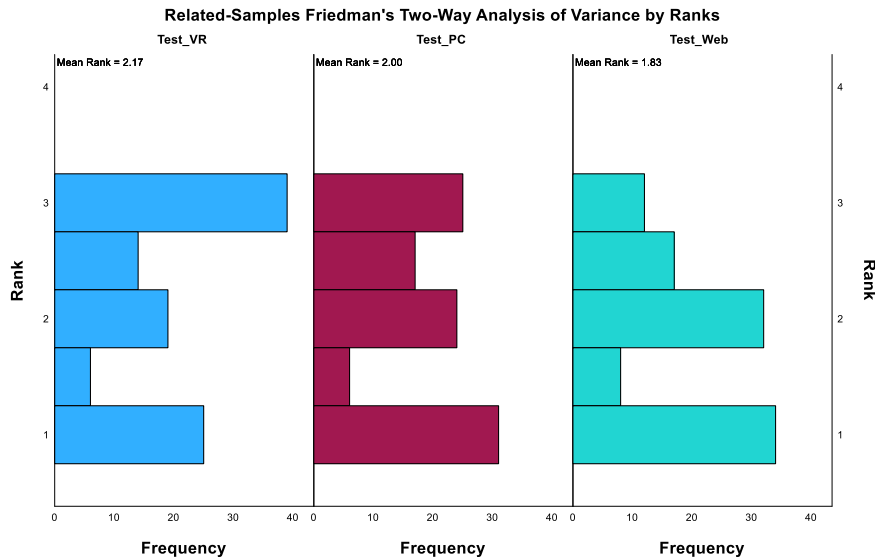
Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
factor1	.983	1.741	2	.419	.983

Nonparametric Tests, Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks

Test_VR, Test_PC, Test_Web

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	6.891
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	.032



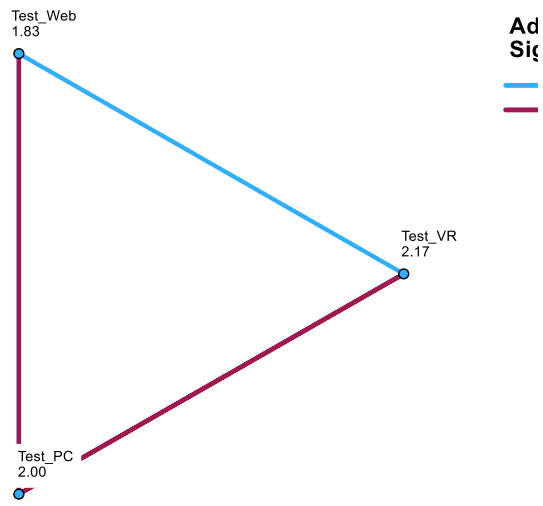
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Test_Web-Test_PC	.165	.139	1.184	.236	.709
Test_Web-Test_VR	.345	.139	2.473	.013	.040
Test_PC-Test_VR	.180	.139	1.289	.197	.592

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

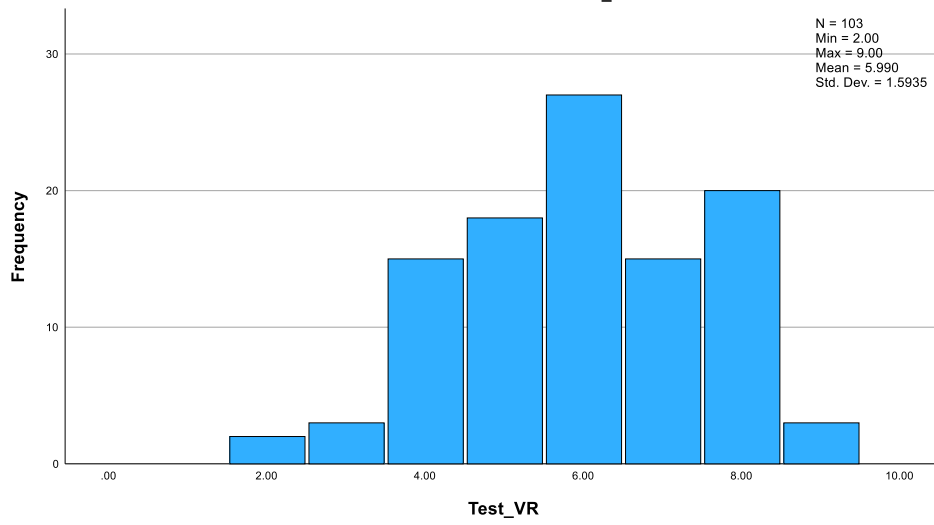
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

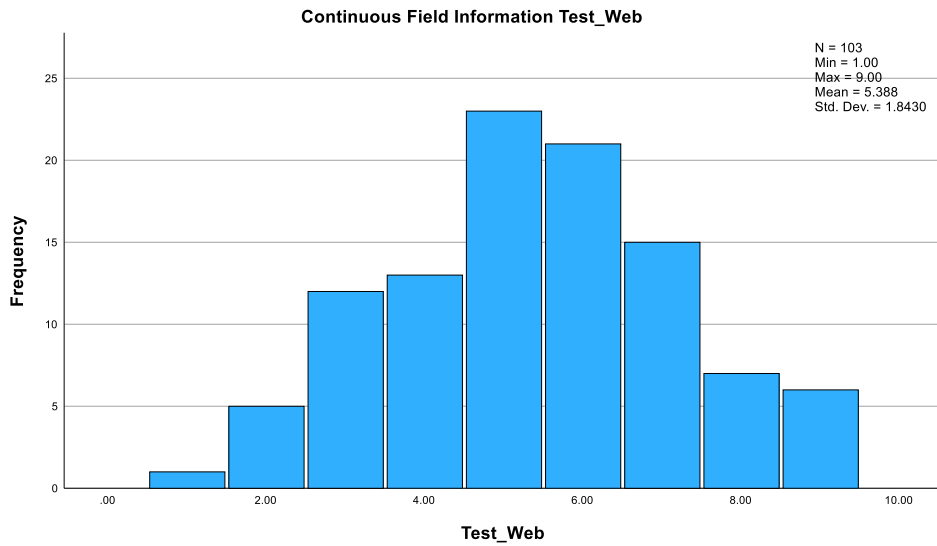
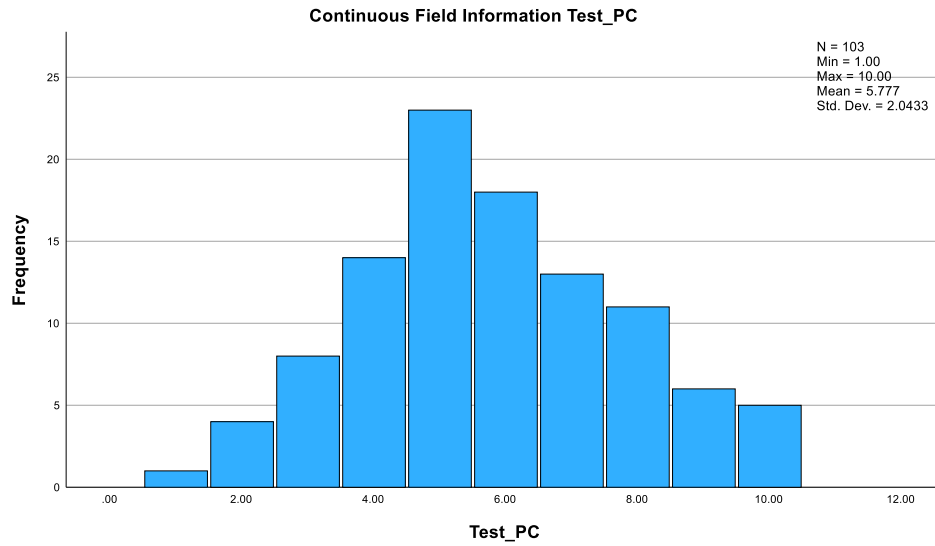
Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

Continuous Field Information Test_VR

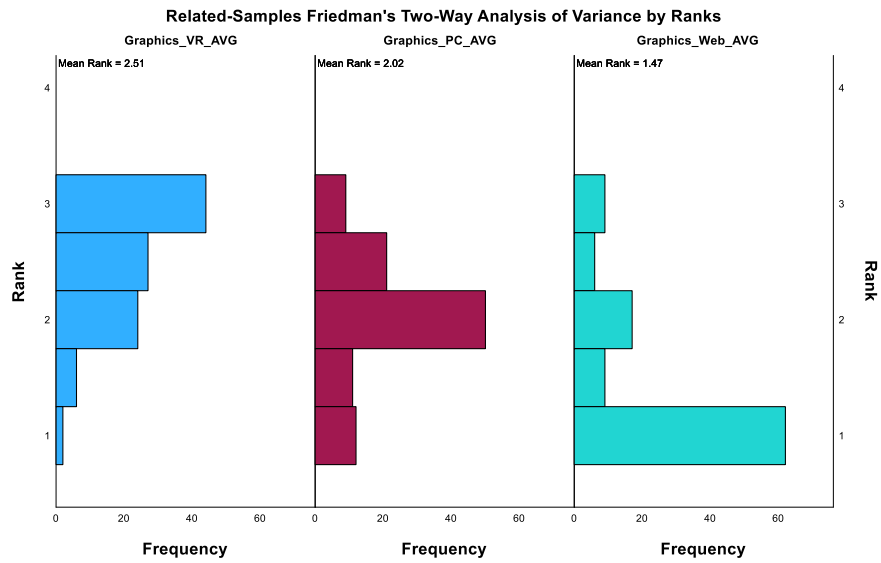




Graphics_VR_AVG, Graphics_PC_AVG, Graphics_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	72.538
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	<.001



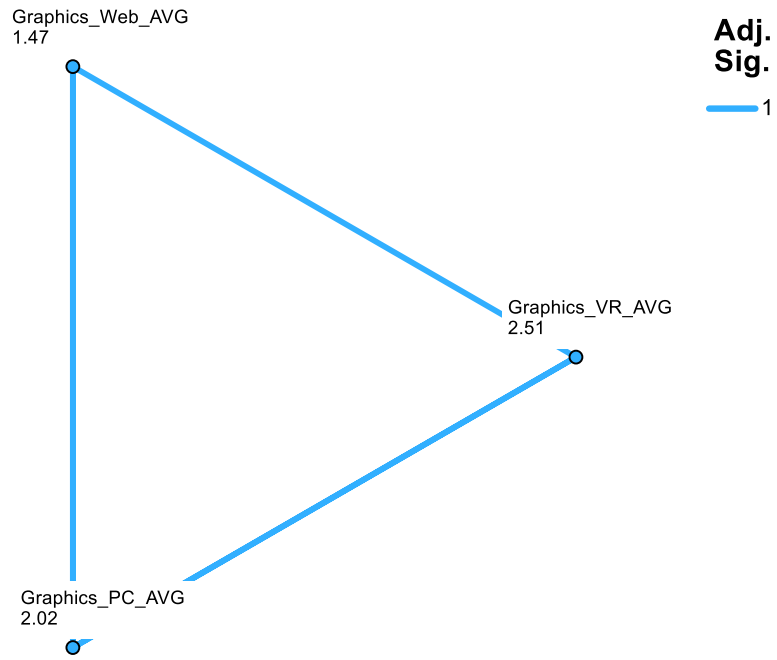
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Graphics_Web_AVG- Graphics_PC_AVG	.549	.139	3.937	<.001	.000
Graphics_Web_AVG- Graphics_VR_AVG	1.039	.139	7.455	<.001	.000
Graphics_PC_AVG- Graphics_VR_AVG	.490	.139	3.519	<.001	.001

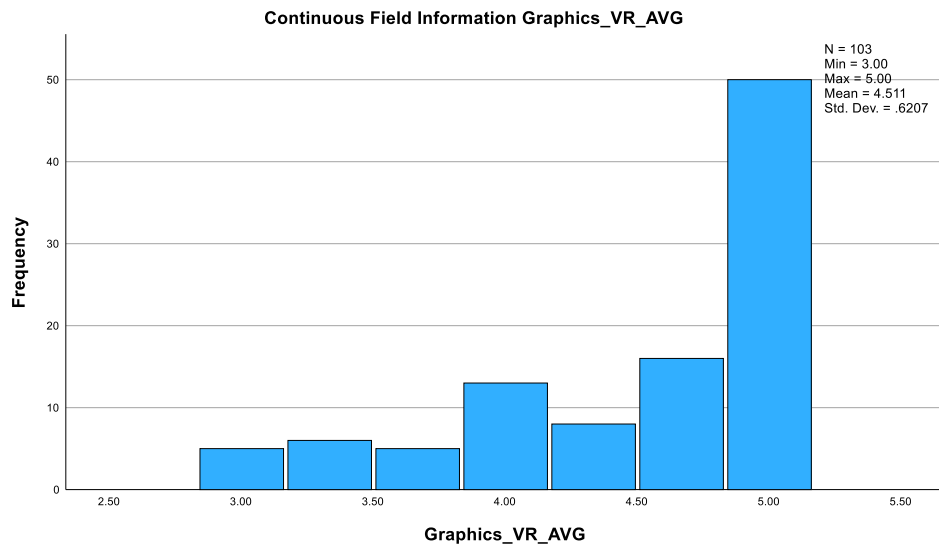
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

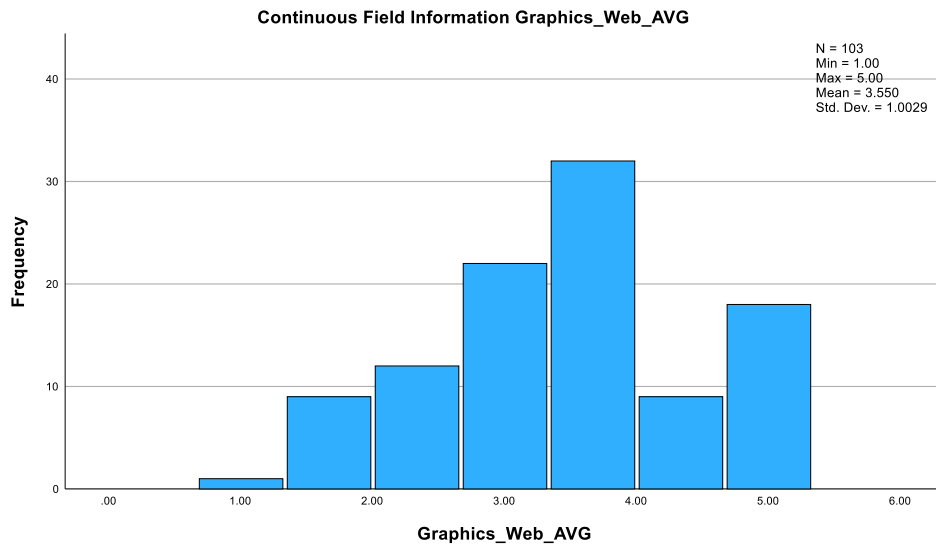
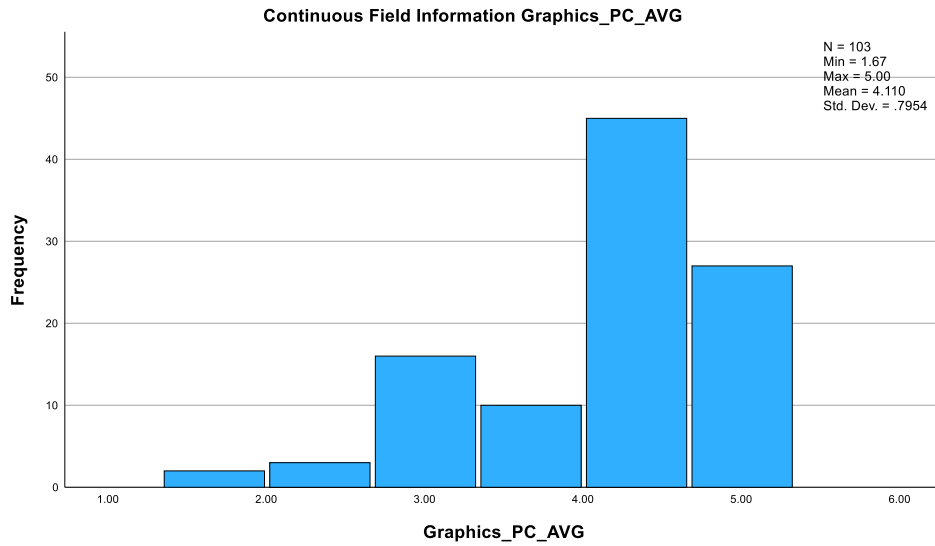
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

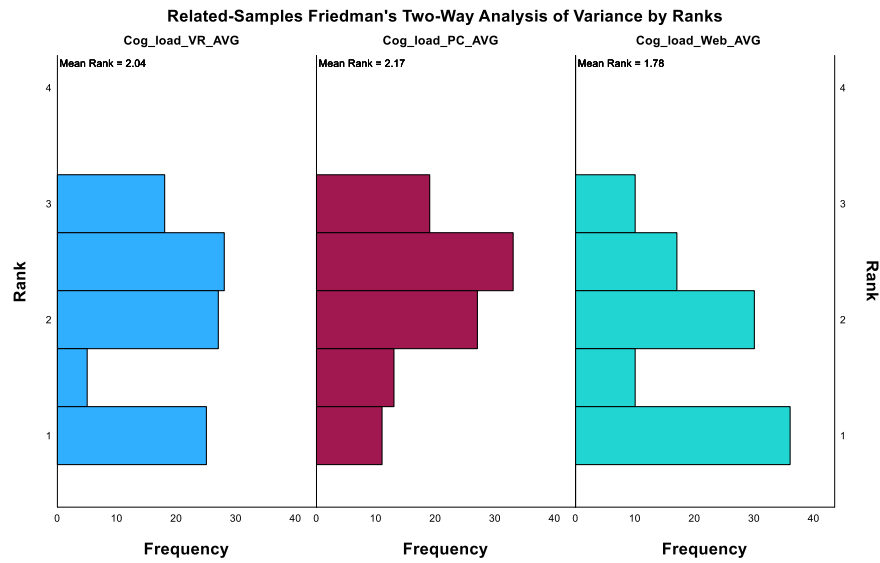




Cog_load_VR_AVG, Cog_load_PC_AVG, Cog_load_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	11.691
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	.003



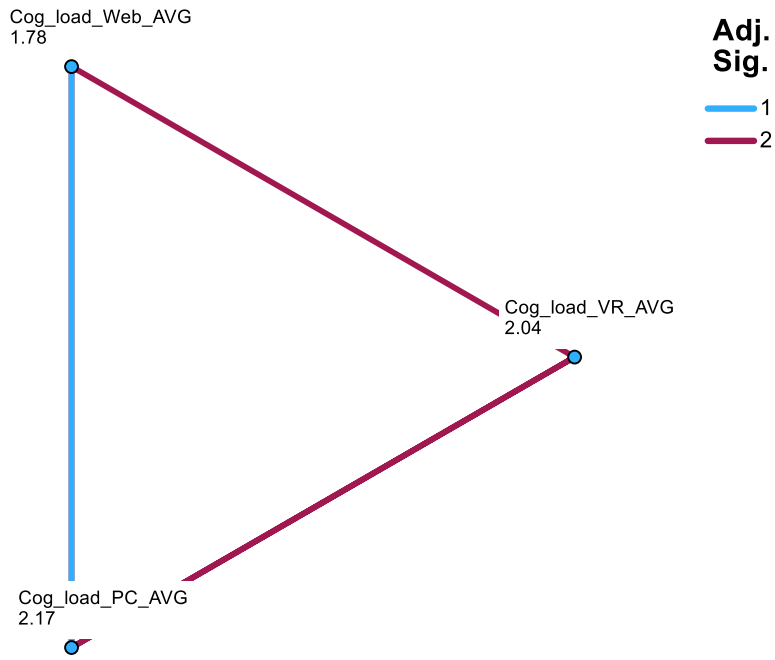
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Cog_load_Web_AVG-Cog_load_VR_AVG	.262	.139	1.881	.060	.180
Cog_load_Web_AVG-Cog_load_PC_AVG	.393	.139	2.822	.005	.014
Cog_load_VR_AVG-Cog_load_PC_AVG	-.131	.139	-.941	.347	1.000

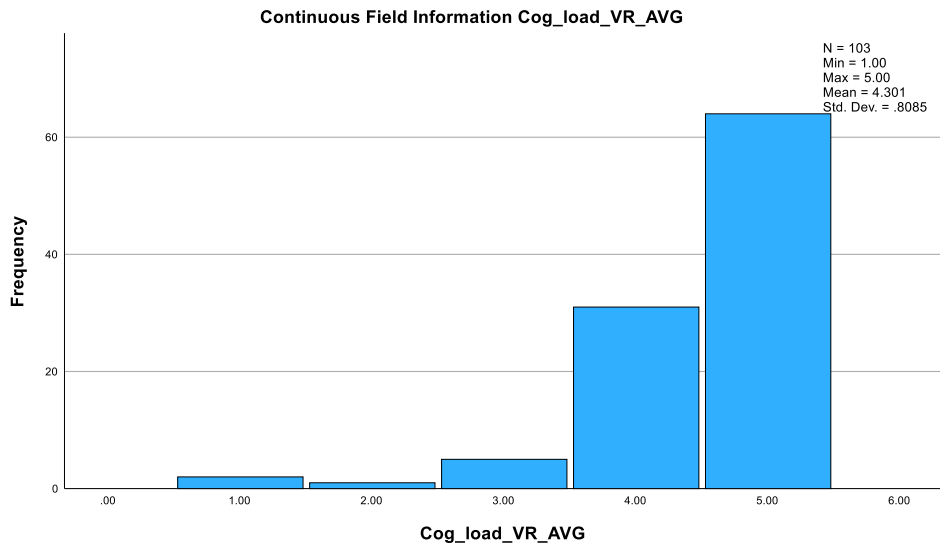
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

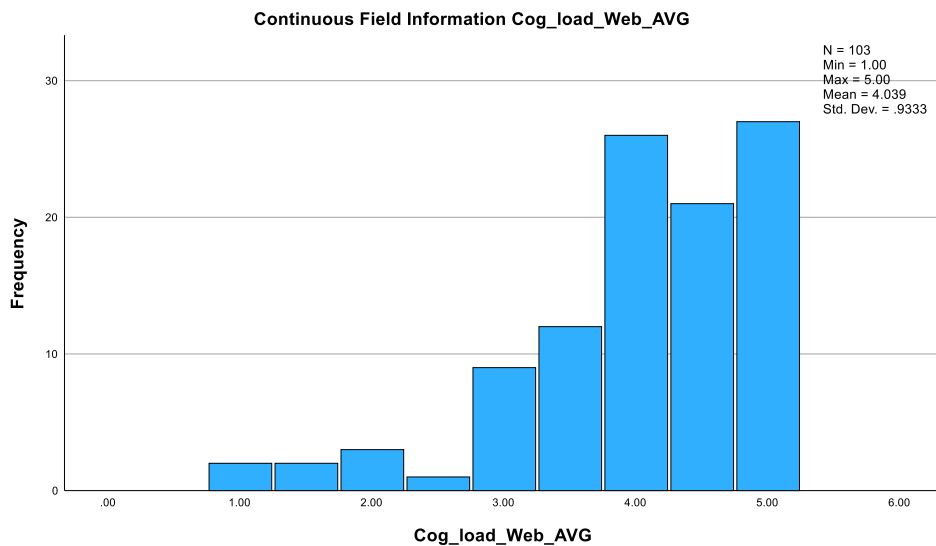
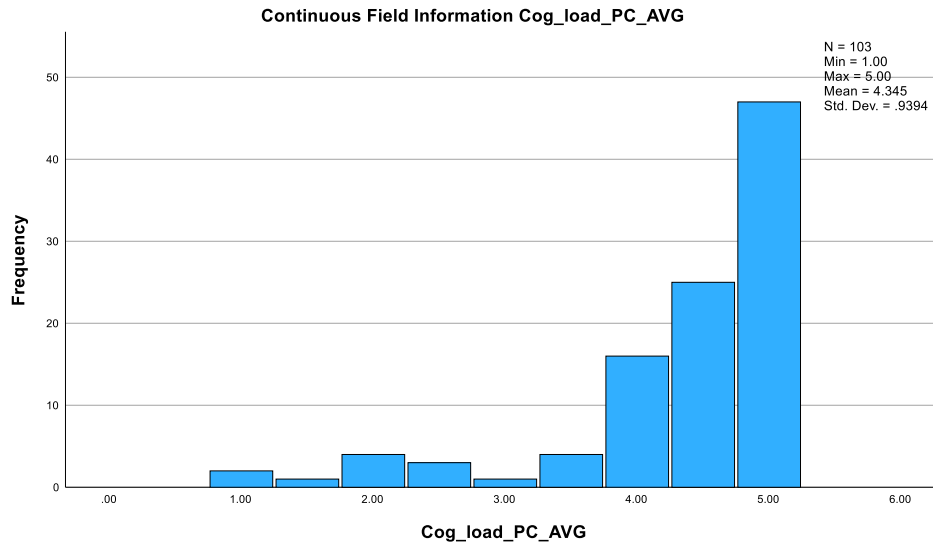
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

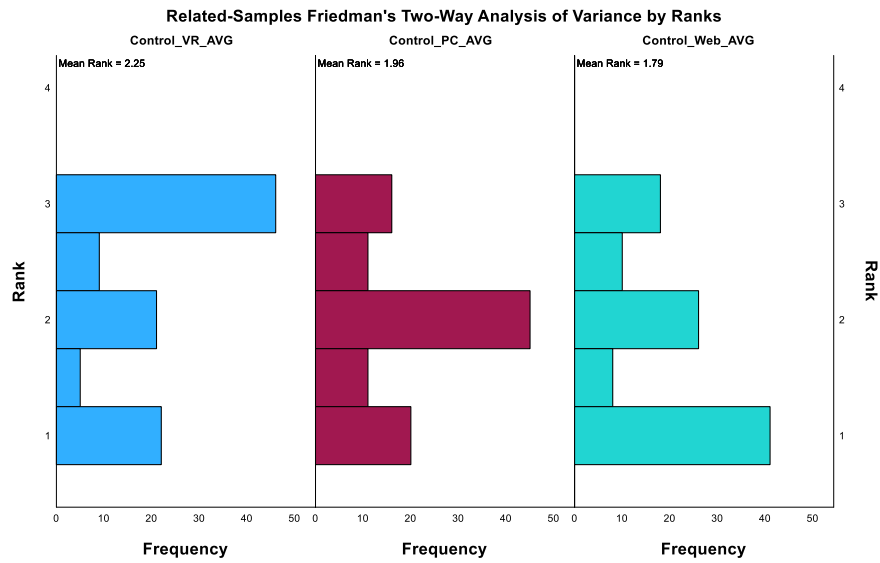




Control_VR_AVG, Control_PC_AVG, Control_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	13.326
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	.001



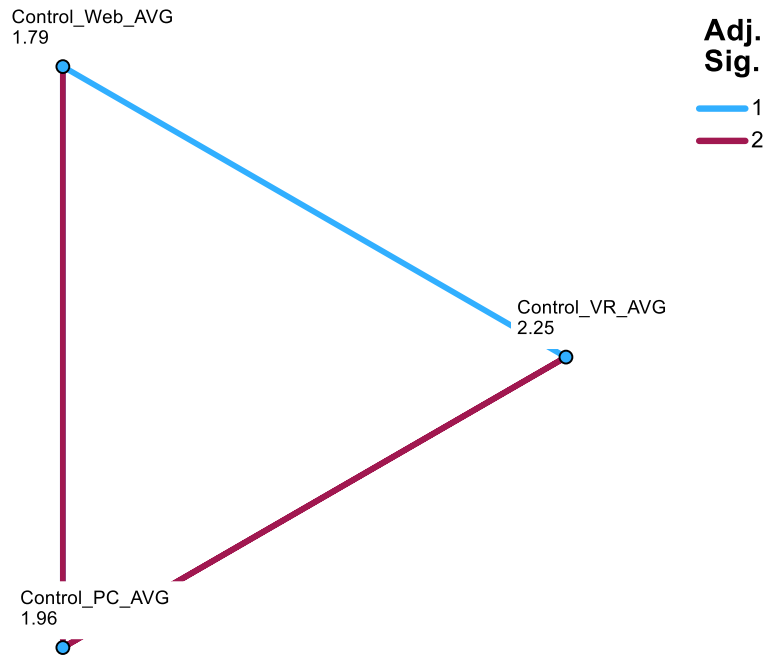
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Control_Web_AVG- Control_PC_AVG	.175	.139	1.254	.210	.629
Control_Web_AVG- Control_VR_AVG	.466	.139	3.344	<.001	.002
Control_PC_AVG- Control_VR_AVG	.291	.139	2.090	.037	.110

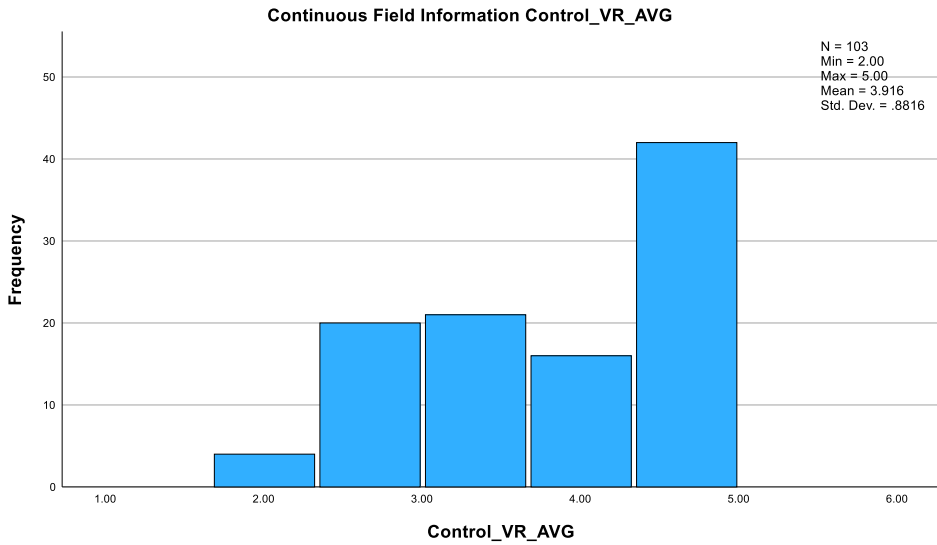
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

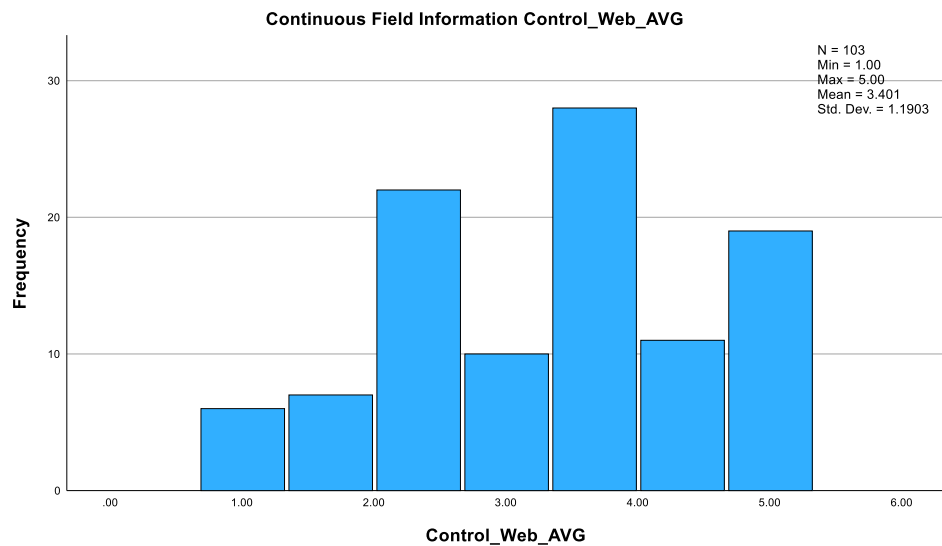
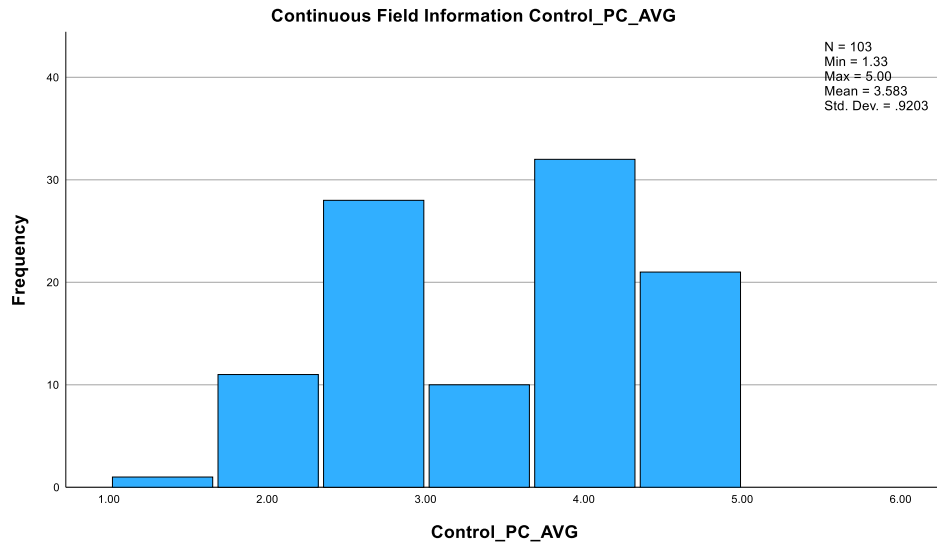
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

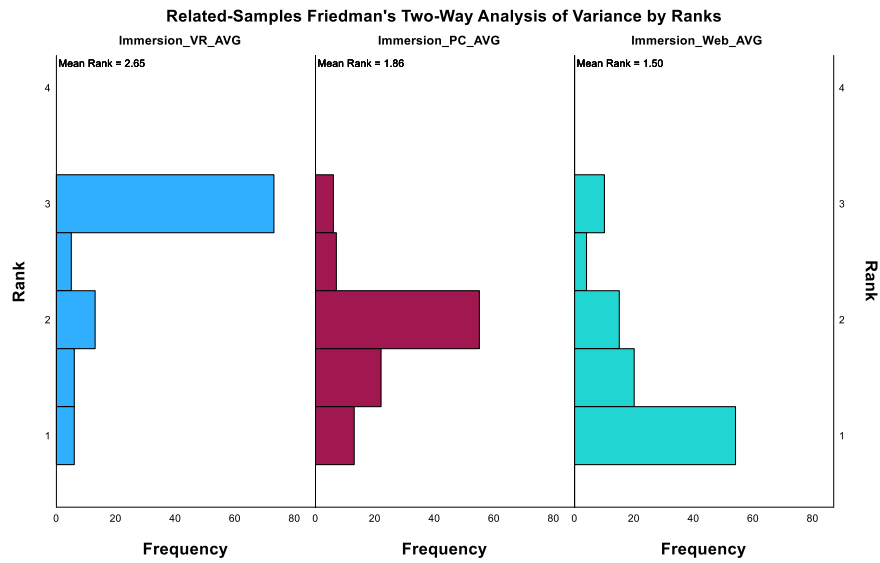




Immersion_VR_AVG, Immersion_PC_AVG, Immersion_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	82.433
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	<.001



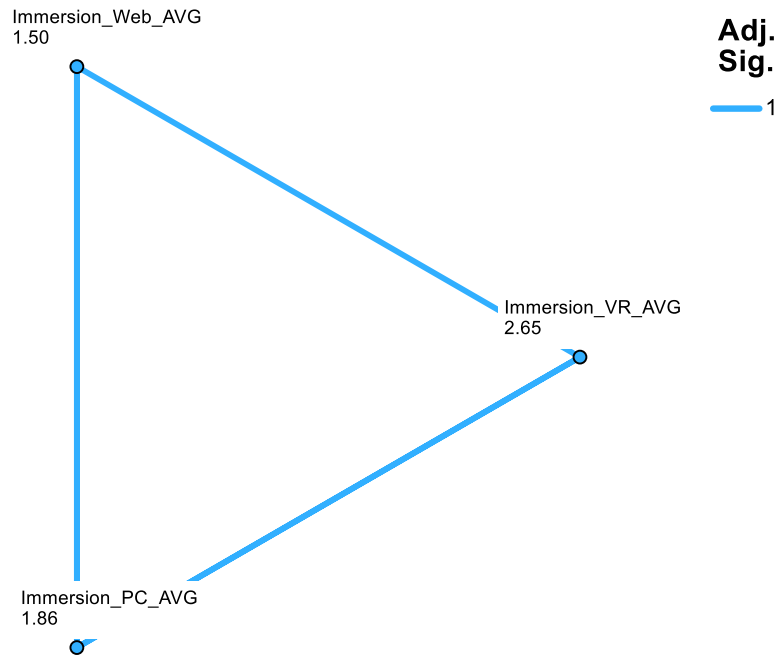
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Immersion_Web_AVG-Immersion_PC_AVG	.364	.139	2.613	.009	.027
Immersion_Web_AVG-Immersion_VR_AVG	1.150	.139	8.256	<.001	.000
Immersion_PC_AVG-Immersion_VR_AVG	.786	.139	5.644	<.001	.000

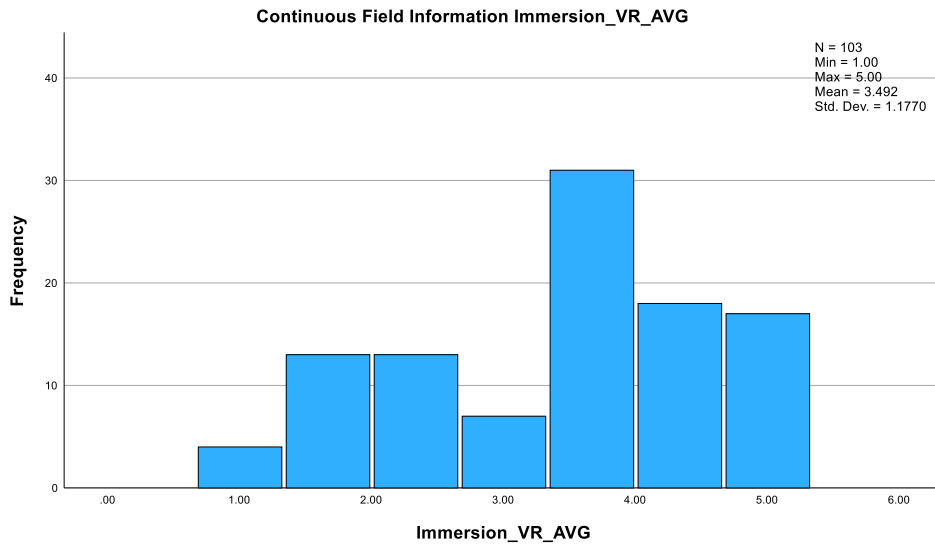
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

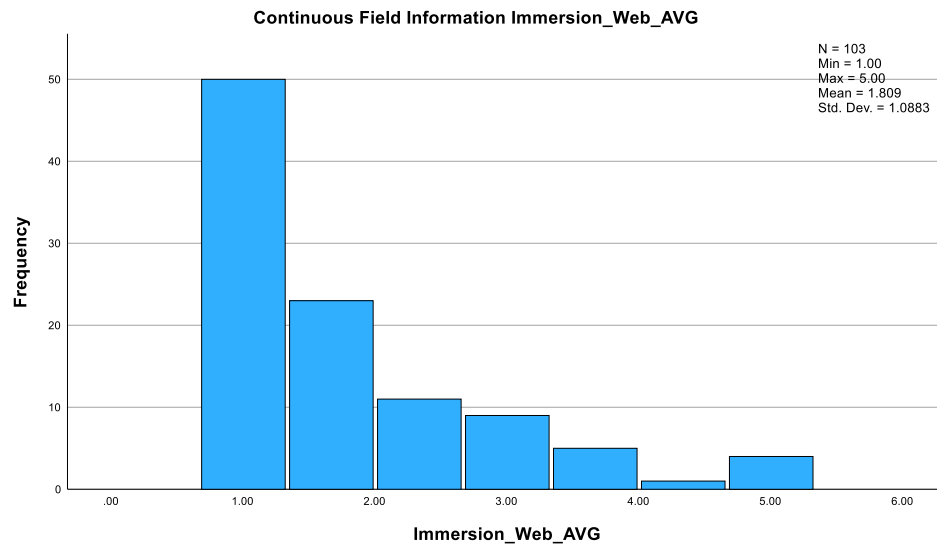
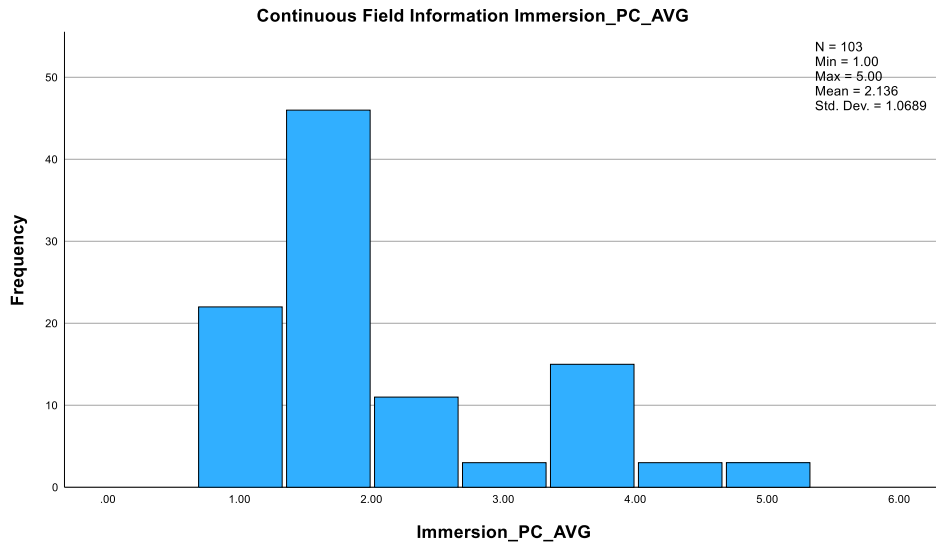
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

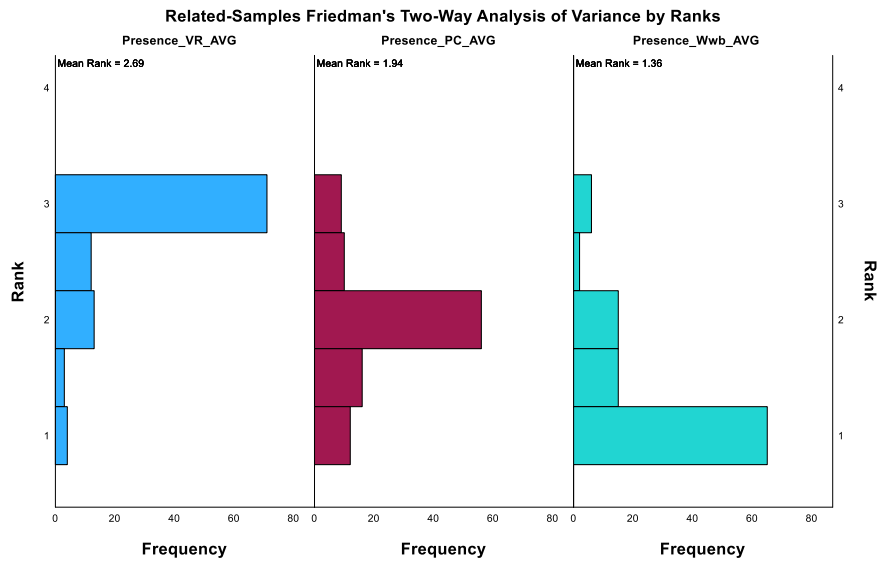




Presence_VR_AVG, Presence_PC_AVG, Presence_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	104.006
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	<.001



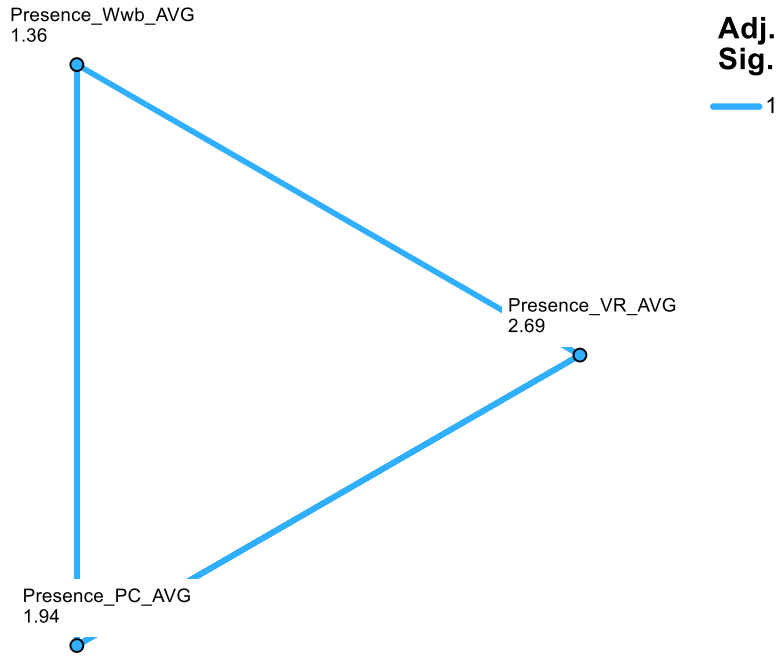
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Presence_Web_AVG- Presence_PC_AVG	.578	.139	4.146	<.001	.000
Presence_Web_AVG- Presence_VR_AVG	1.330	.139	9.545	<.001	.000
Presence_PC_AVG- Presence_VR_AVG	.752	.139	5.400	<.001	.000

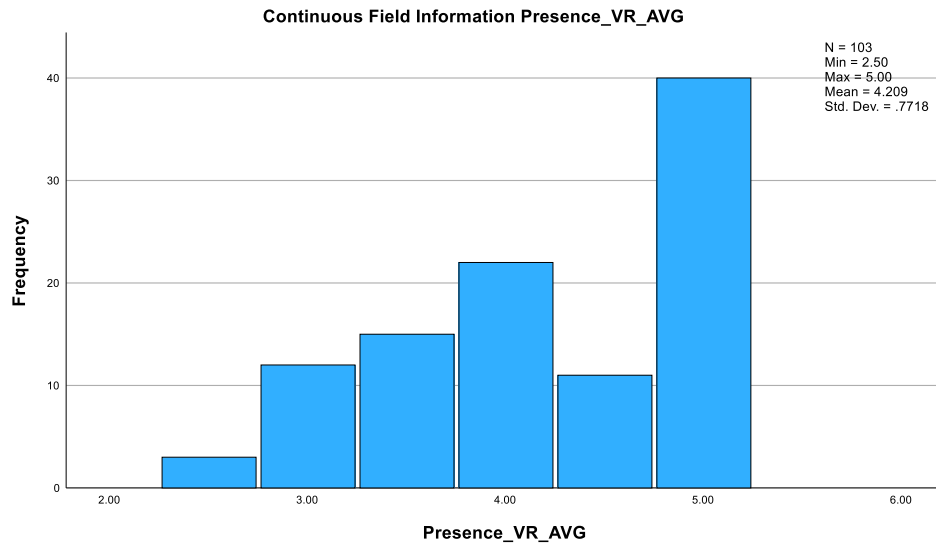
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

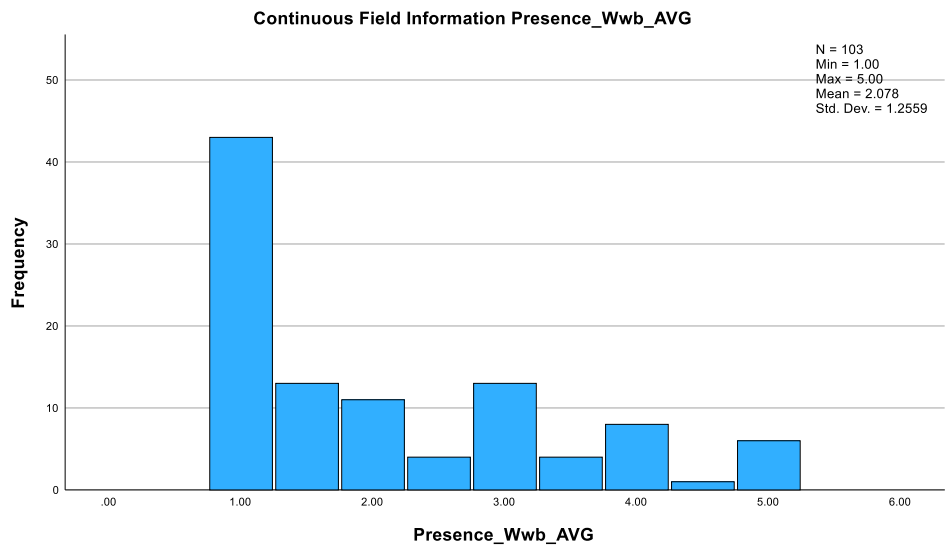
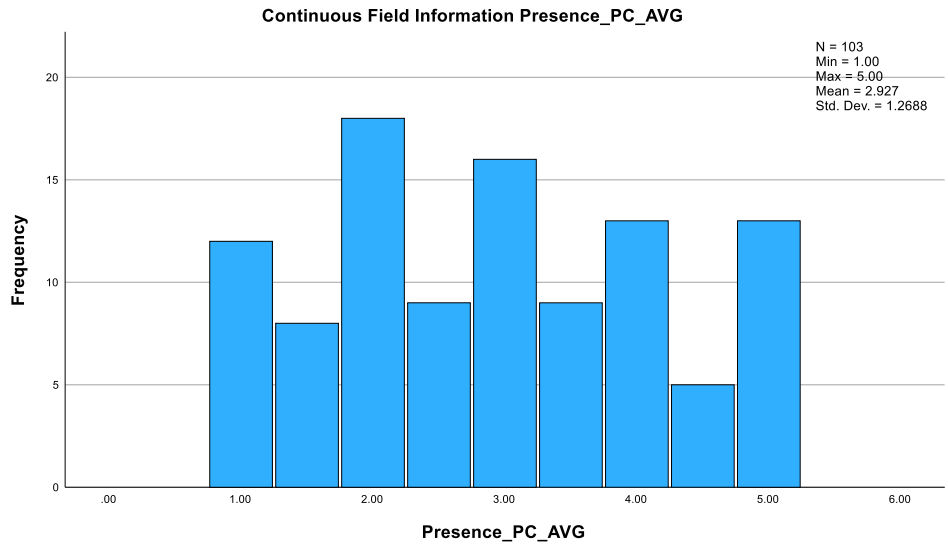
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

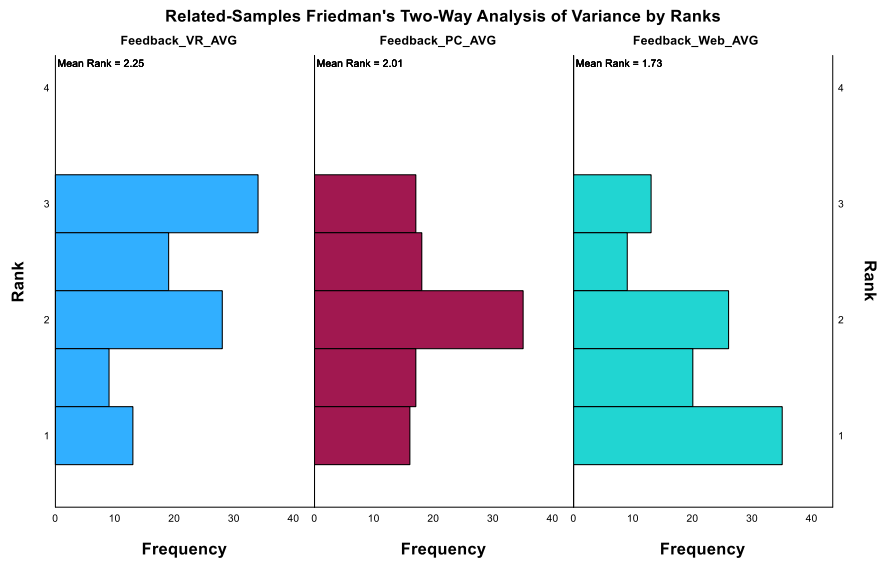




Feedback_VR_AVG, Feedback_PC_AVG, Feedback_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	19.000
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	<.001



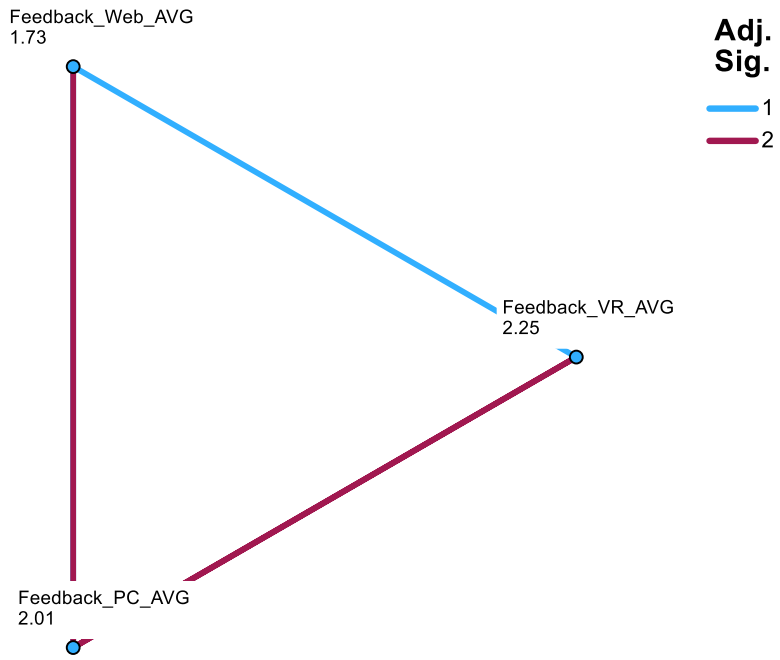
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Feedback_Web_AVG-Feedback_PC_AVG	.282	.139	2.021	.043	.130
Feedback_Web_AVG-Feedback_VR_AVG	.519	.139	3.728	<.001	.001
Feedback_PC_AVG-Feedback_VR_AVG	.238	.139	1.707	.088	.263

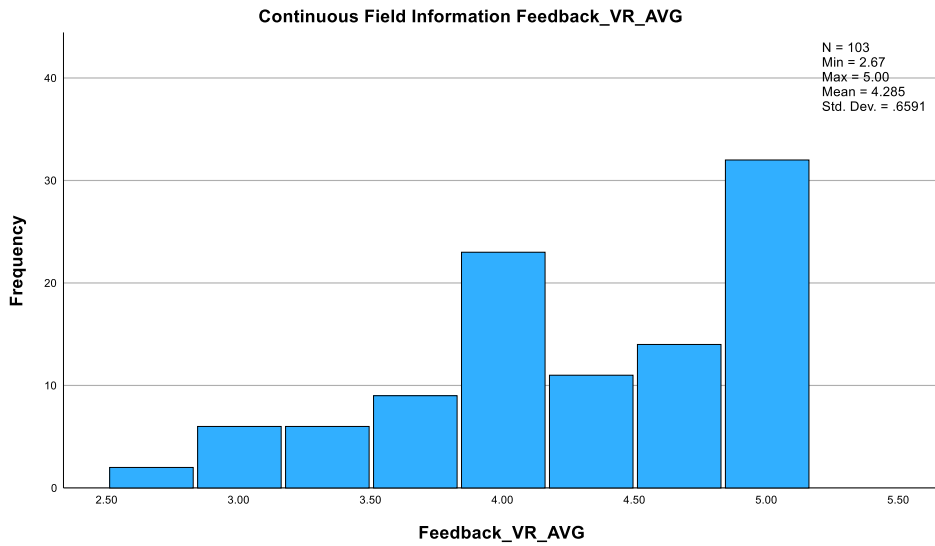
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

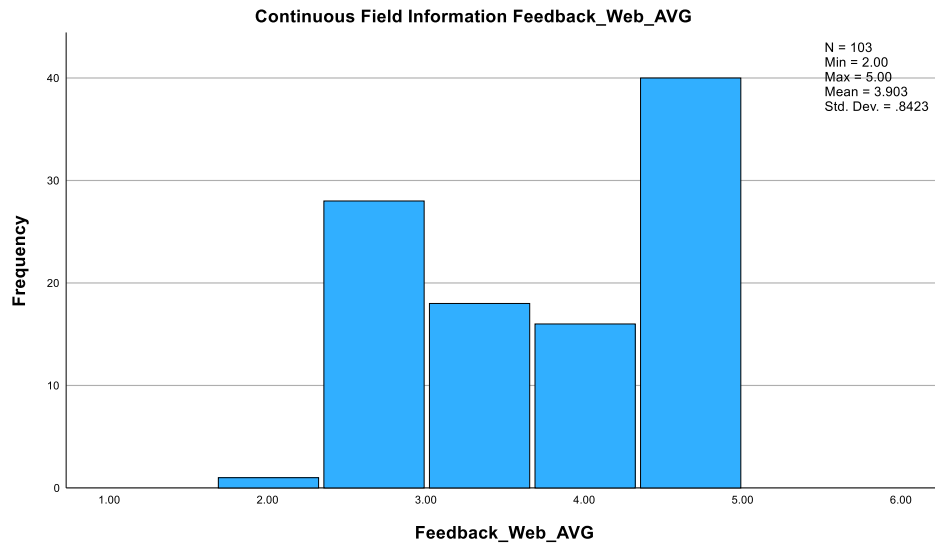
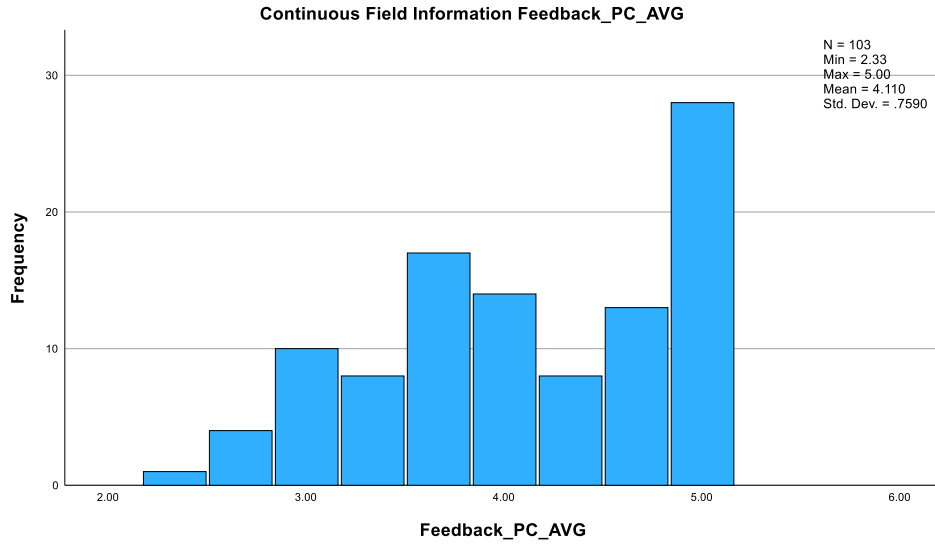
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.



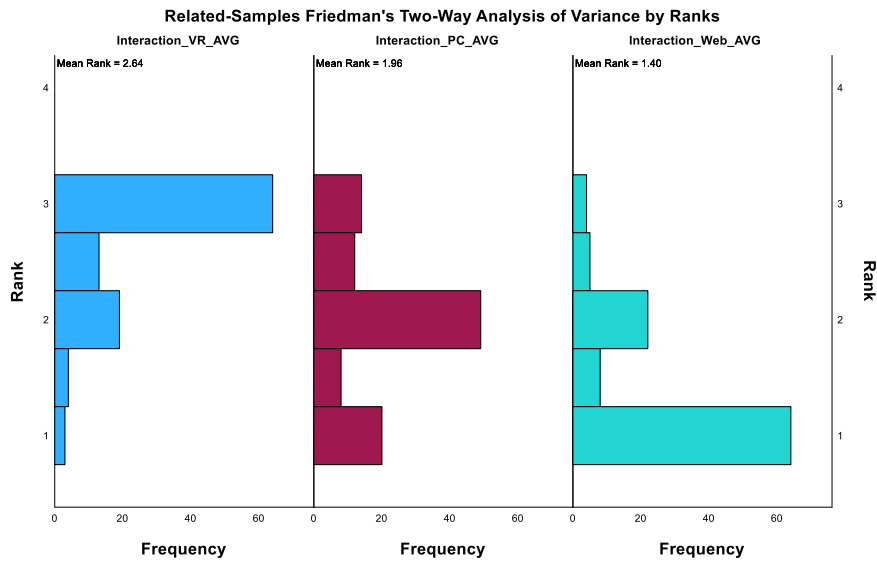


Hypothesis Test Summary

Interaction_VR_AVG, Interaction_PC_AVG, Interaction_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	89.129
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	<.001



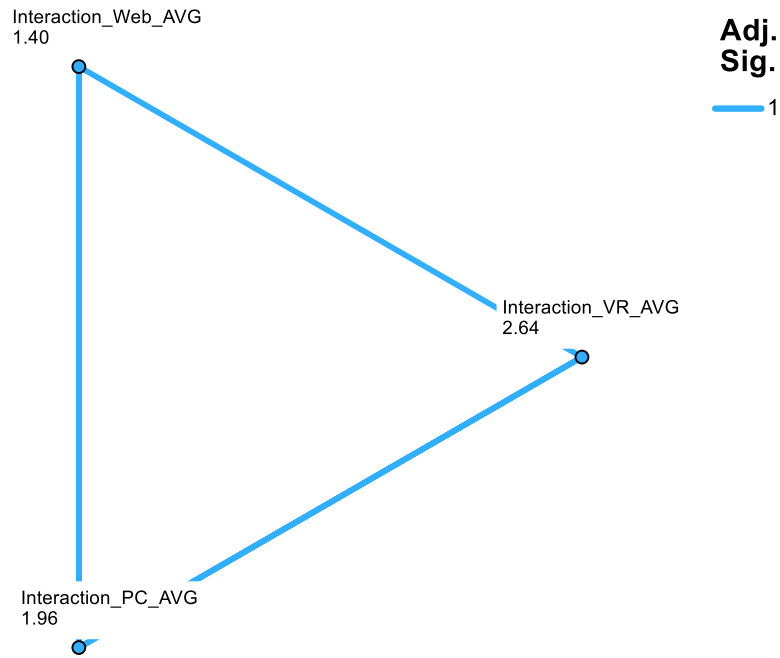
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Interaction_Web_AVG-Interaction_PC_AVG	.558	.139	4.006	<.001	.000
Interaction_Web_AVG-Interaction_VR_AVG	1.233	.139	8.849	<.001	.000
Interaction_PC_AVG-Interaction_VR_AVG	.675	.139	4.842	<.001	.000

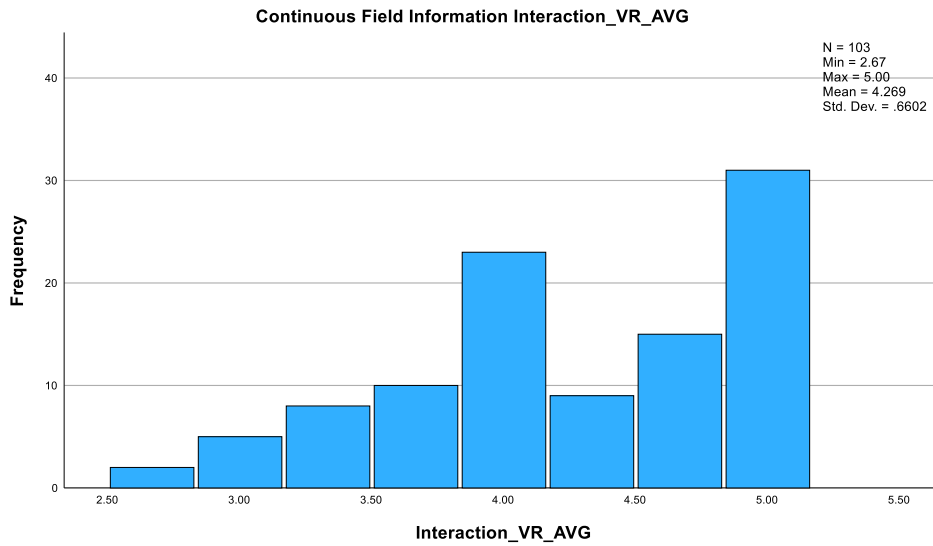
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

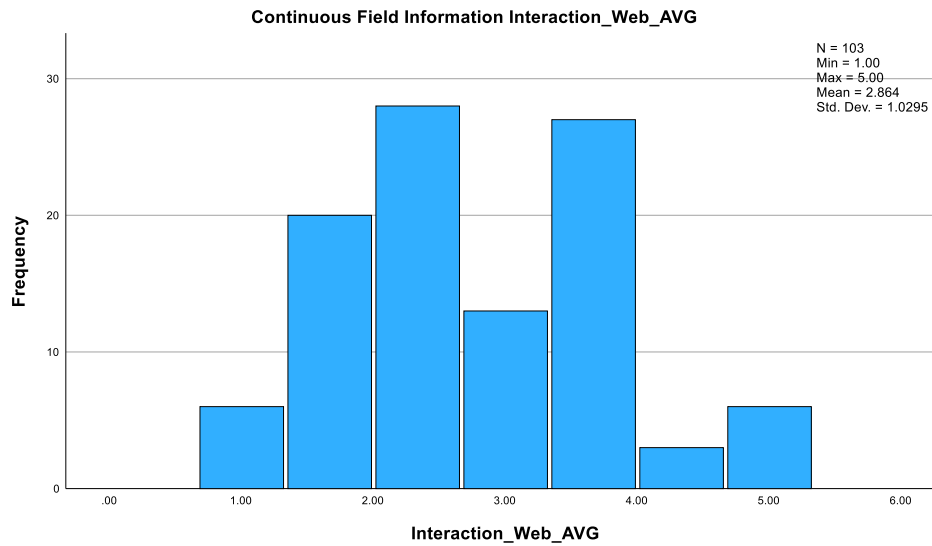
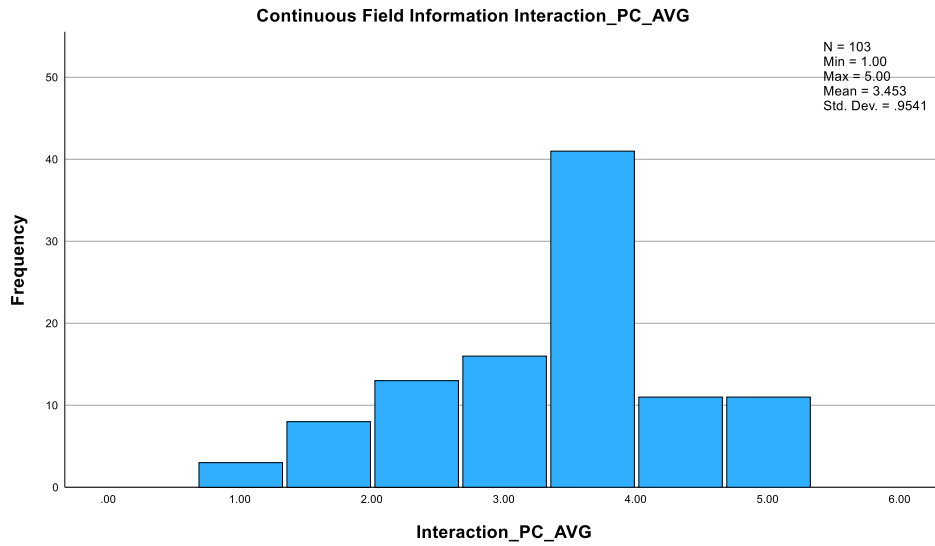
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

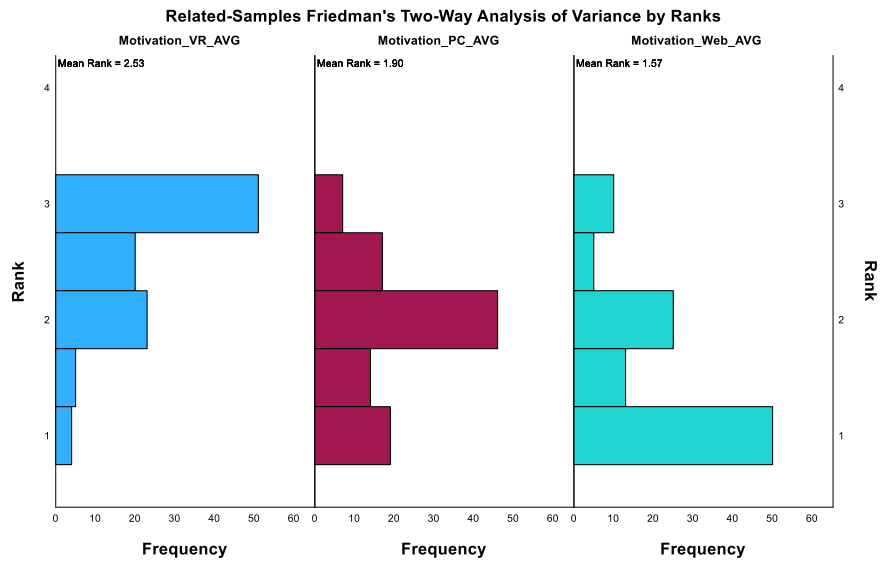




Motivation_VR_AVG, Motivation_PC_AVG, Motivation_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	62.903
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	<.001



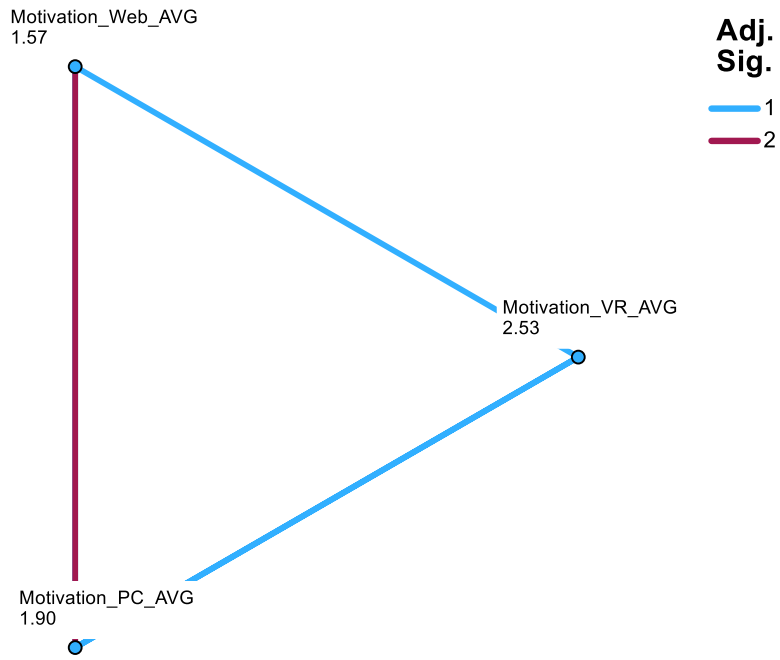
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Motivation_Web_AVG- Motivation_PC_AVG	.325	.139	2.334	.020	.059
Motivation_Web_AVG- Motivation_VR_AVG	.956	.139	6.863	<.001	.000
Motivation_PC_AVG- Motivation_VR_AVG	.631	.139	4.529	<.001	.000

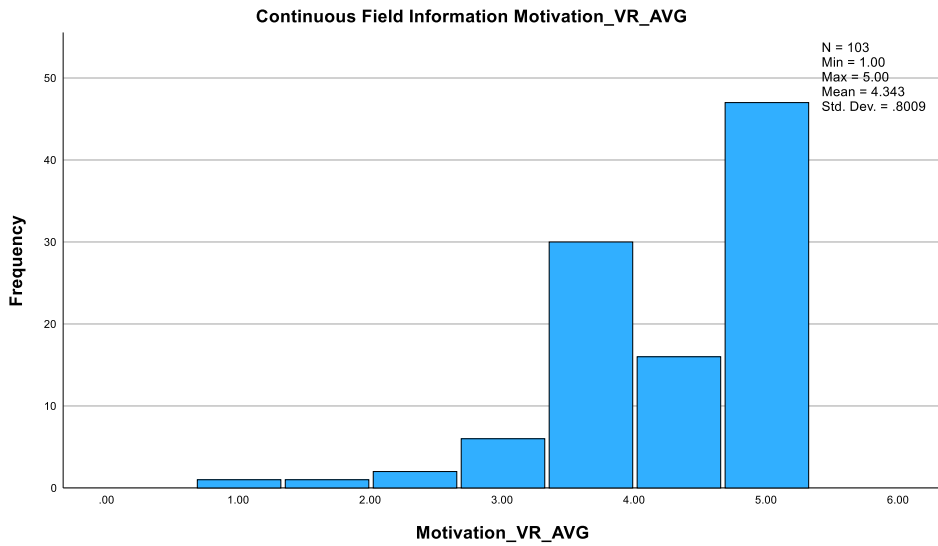
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

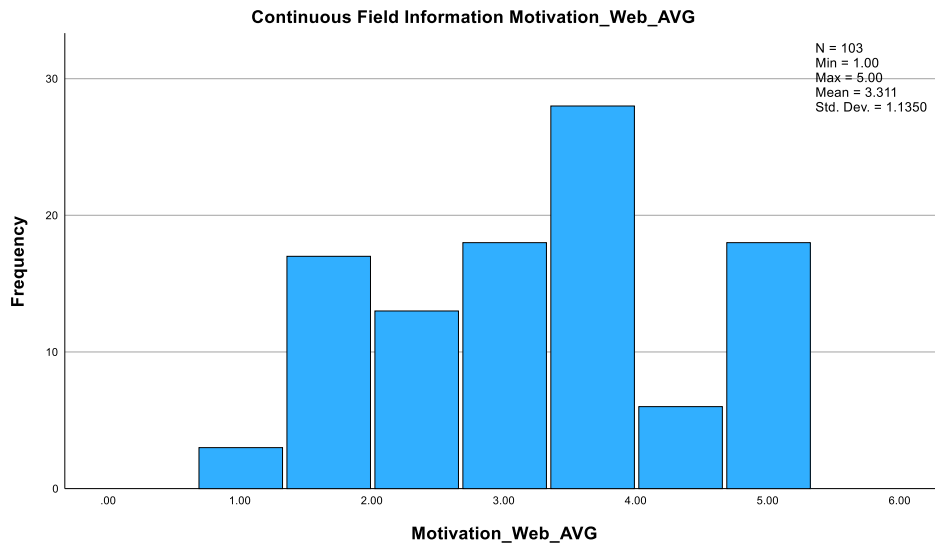
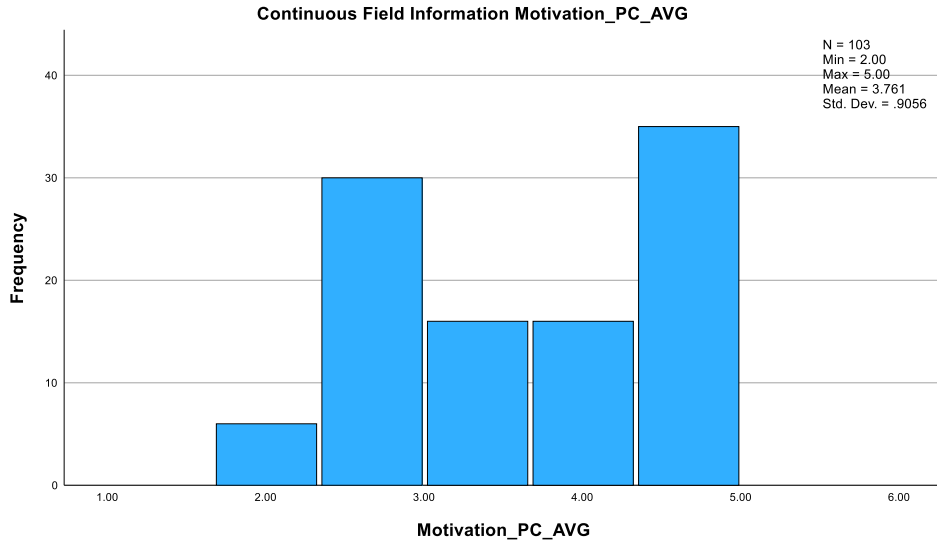
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

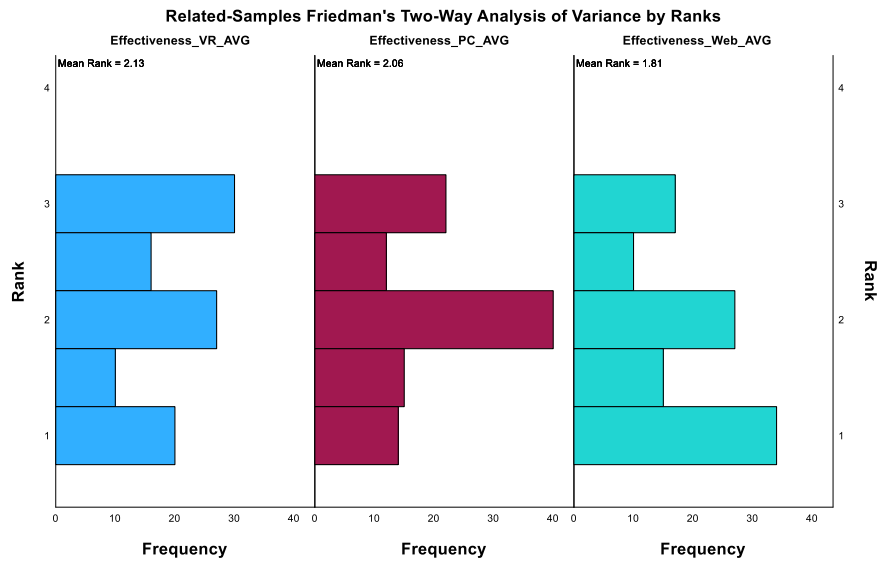




Effectiveness_VR_AVG, Effectiveness_PC_AVG, Effectiveness_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	7.559
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	.023



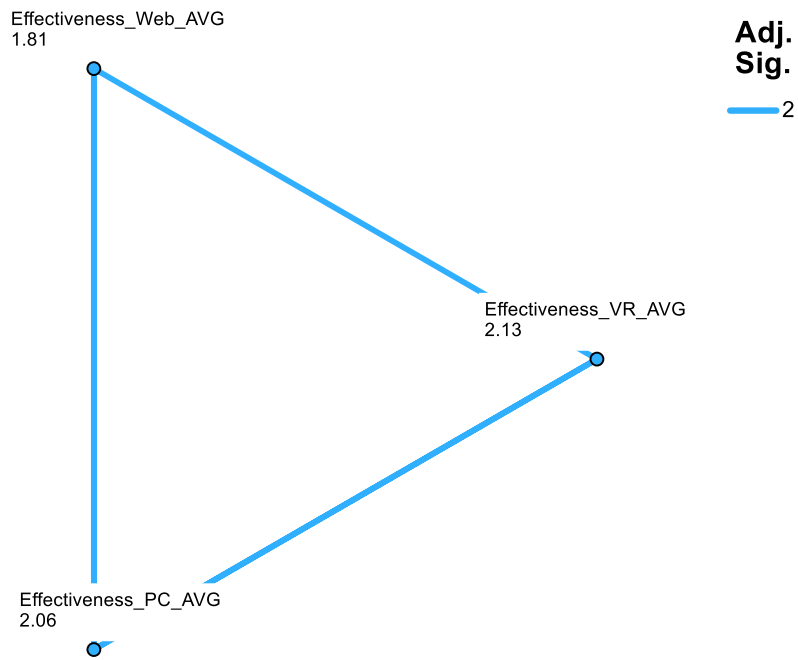
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Effectiveness_Web_AVG- Effectiveness_PC_AVG	.252	.139	1.812	.070	.210
Effectiveness_Web_AVG- Effectiveness_VR_AVG	.316	.139	2.264	.024	.071
Effectiveness_PC_AVG- Effectiveness_VR_AVG	.063	.139	.453	.651	1.000

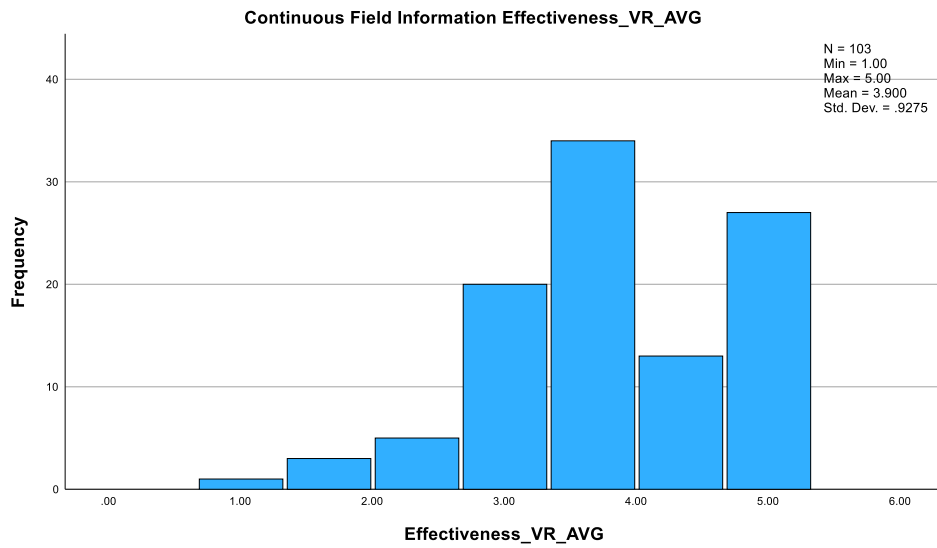
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

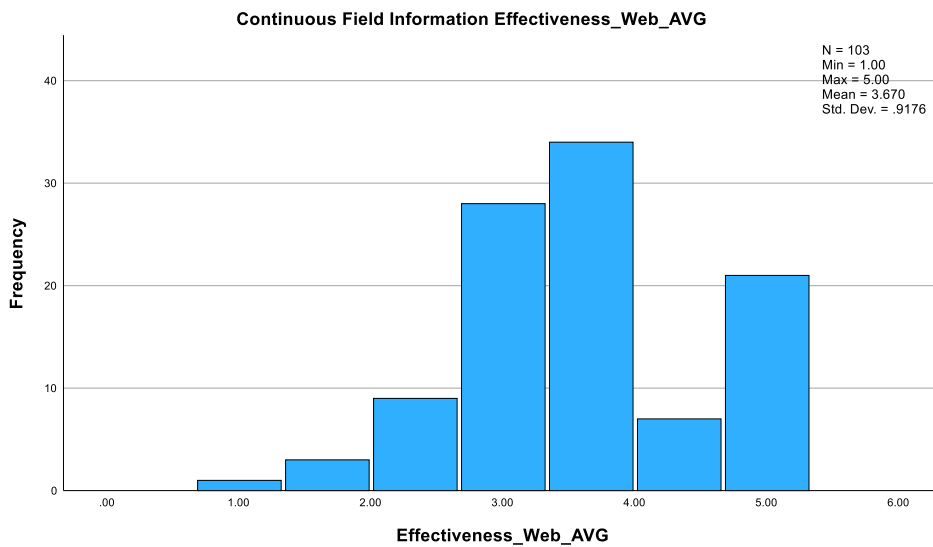
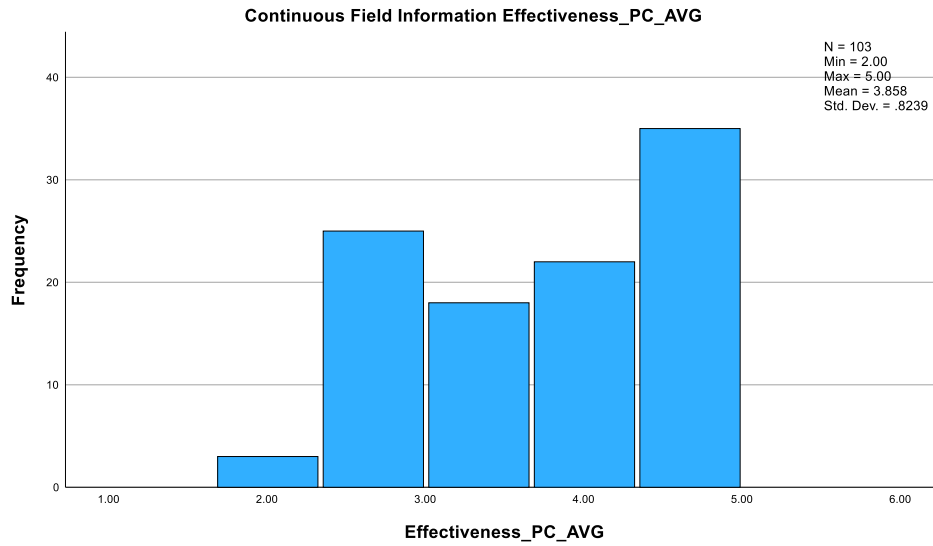
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

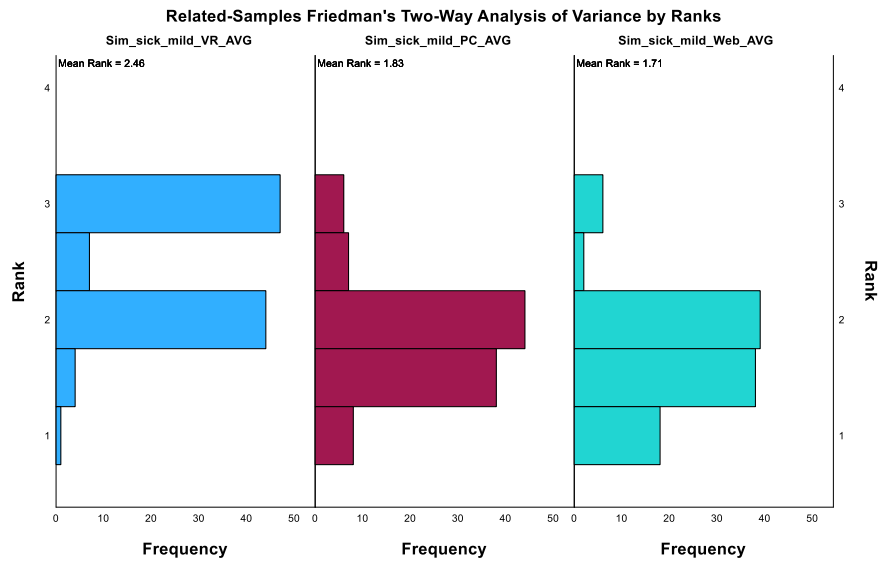




Sim_sick_mild_VR_AVG, Sim_sick_mild_PC_AVG, Sim_sick_mild_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	62.955
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	<.001



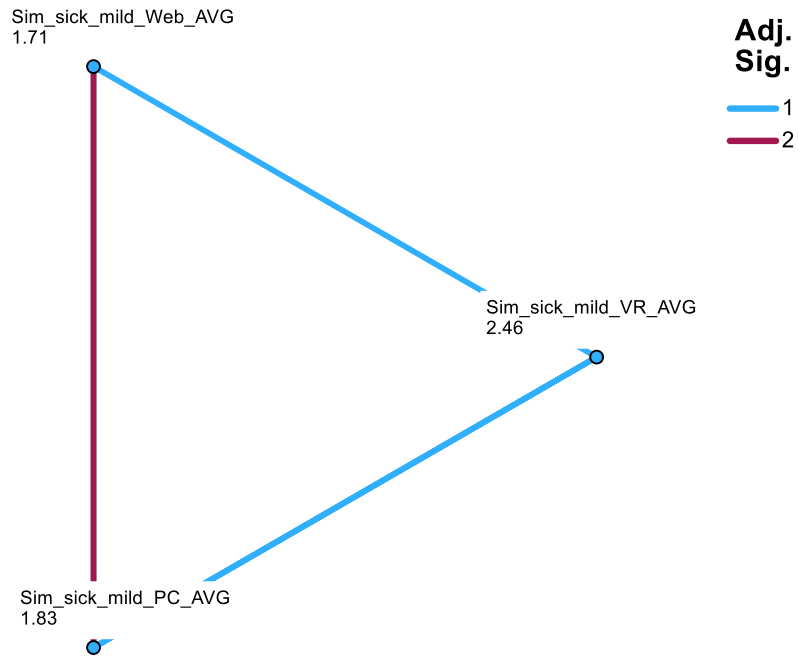
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Sim_sick_mild_Web_AVG-Sim_sick_mild_PC_AVG	.121	.139	.871	.384	1.000
Sim_sick_mild_Web_AVG-Sim_sick_mild_VR_AVG	.752	.139	5.400	<.001	.000
Sim_sick_mild_PC_AVG-Sim_sick_mild_VR_AVG	.631	.139	4.529	<.001	.000

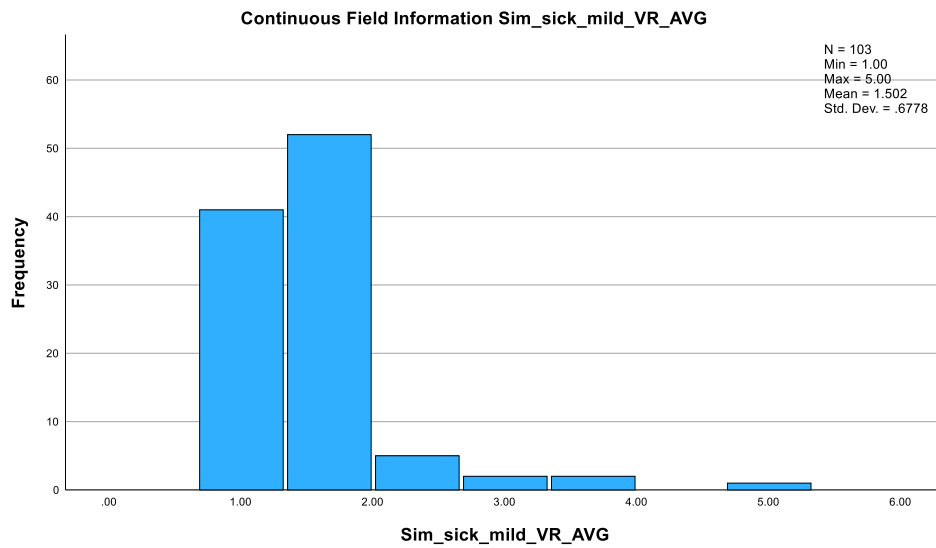
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

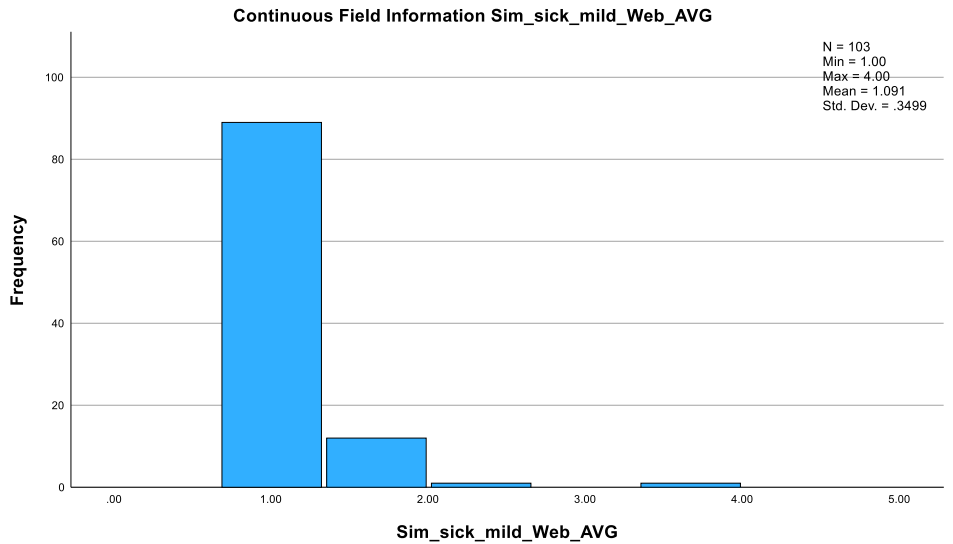
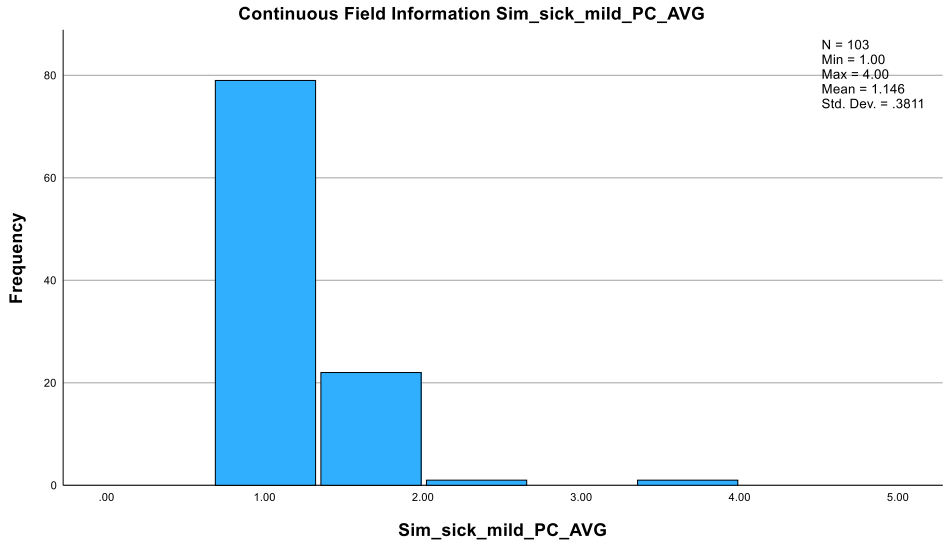
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

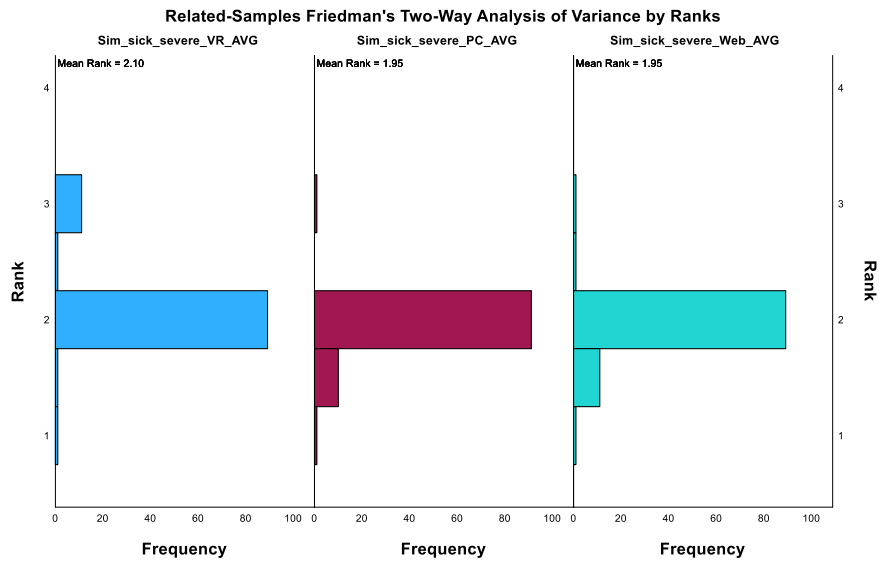




Sim_sick_severe_VR_AVG, Sim_sick_severe_PC_AVG, Sim_sick_severe_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	13.636
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	.001



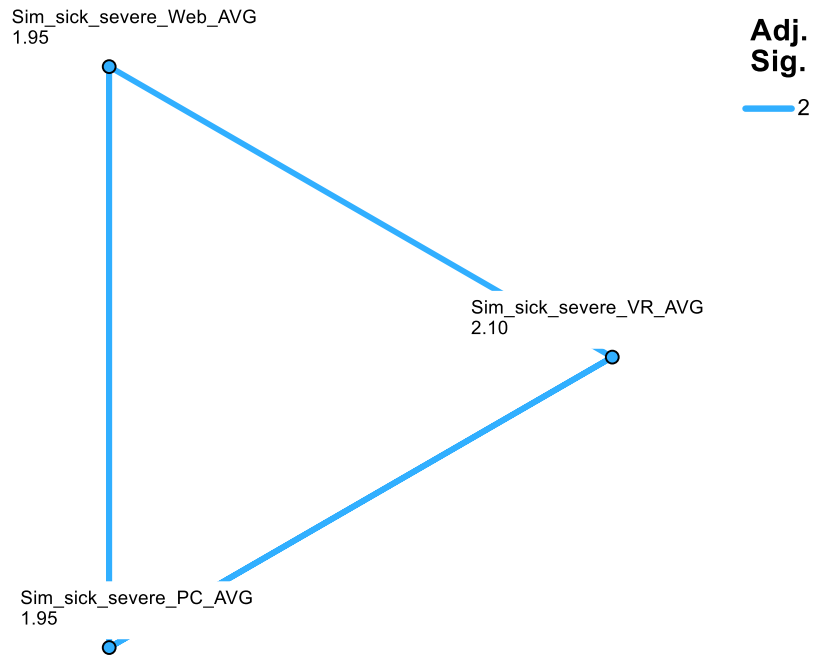
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Sim_sick_severe_PC_AVG-Sim_sick_severe_VR_AVG	.146	.139	1.045	.296	.888
Sim_sick_severe_Web_AVG-Sim_sick_severe_VR_AVG	.146	.139	1.045	.296	.888
Sim_sick_severe_PC_AVG-Sim_sick_severe_Web_AVG	.000	.139	.000	1.000	1.000

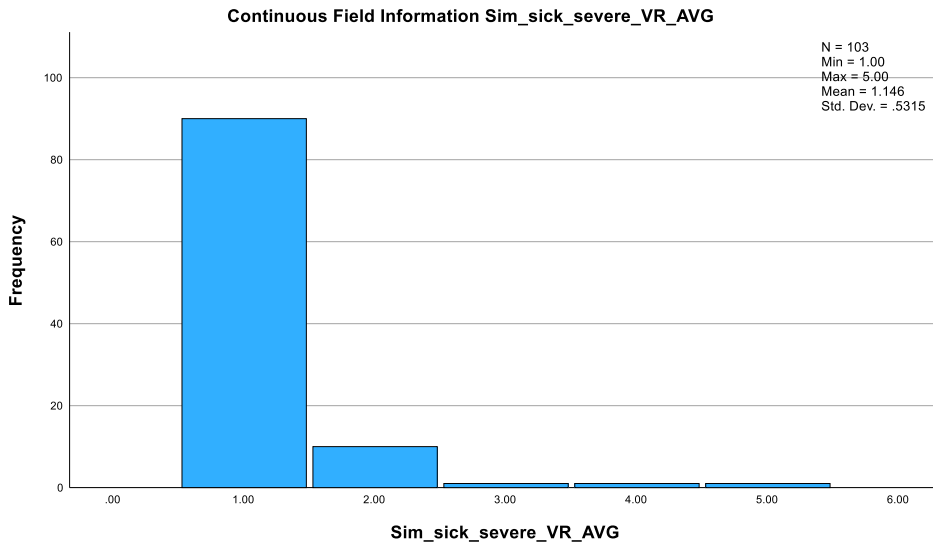
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

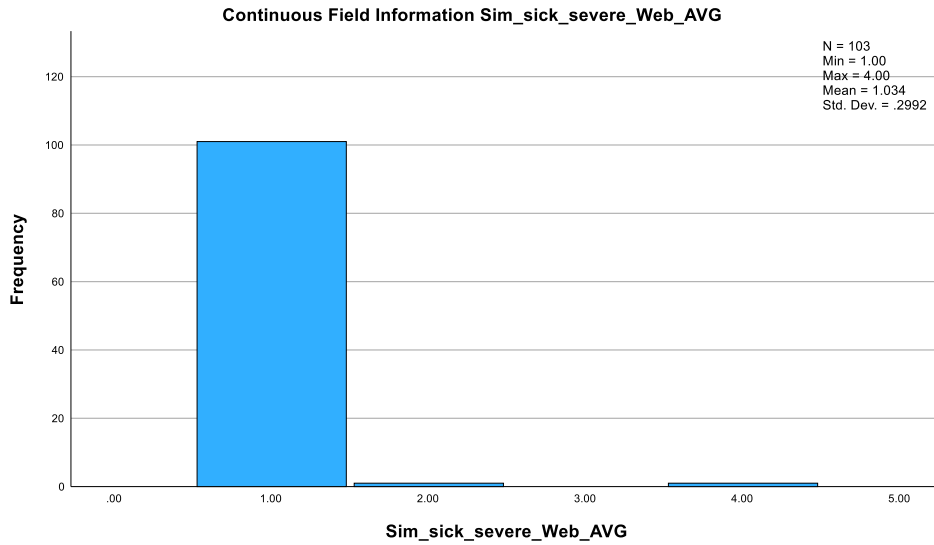
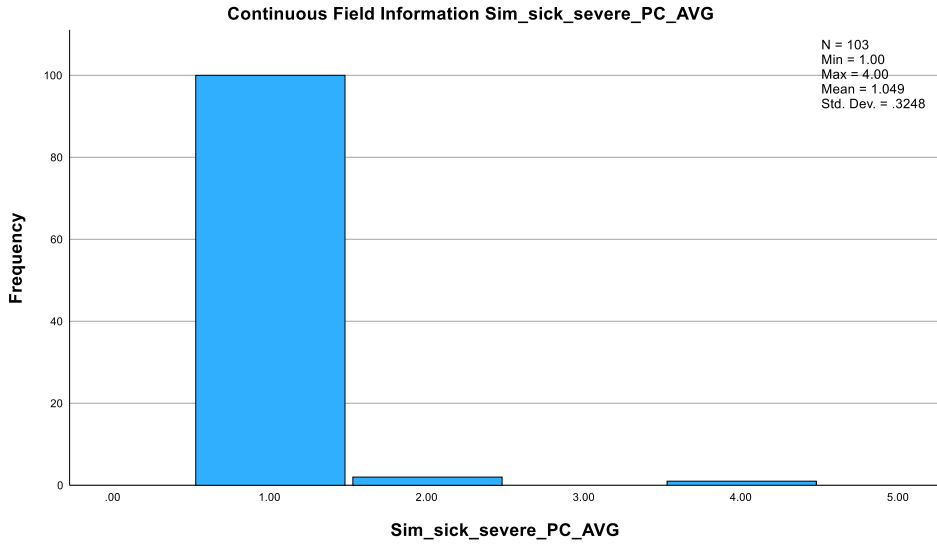
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

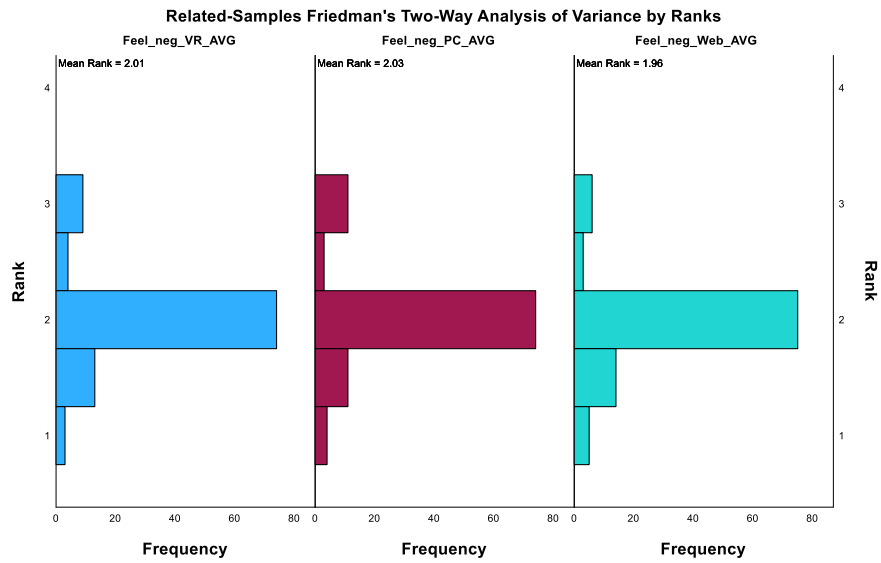




Feel_neg_VR_AVG, Feel_neg_PC_AVG, Feel_neg_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	1.260
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	.533



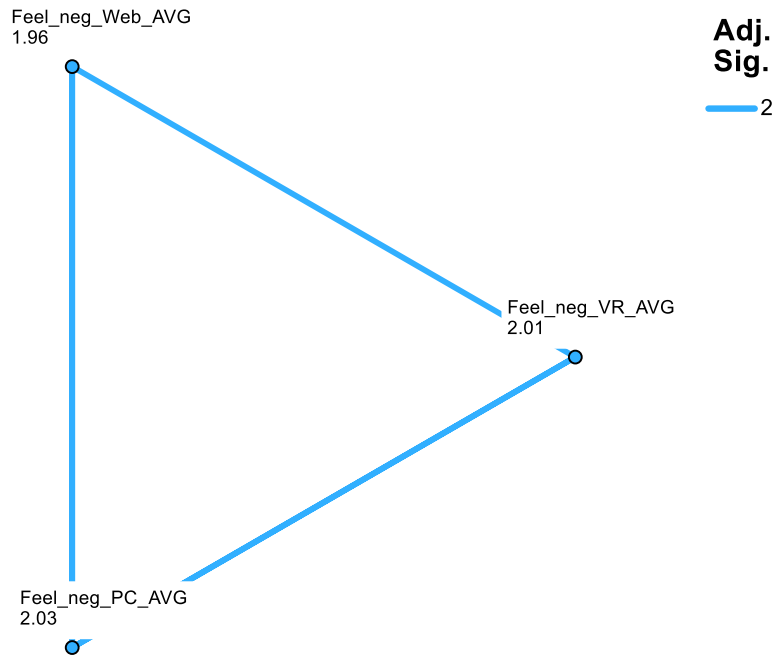
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Feel_neg_Web_AVG- Feel_neg_VR_AVG	.058	.139	.418	.676	1.000
Feel_neg_Web_AVG- Feel_neg_PC_AVG	.073	.139	.523	.601	1.000
Feel_neg_VR_AVG- Feel_neg_PC_AVG	-.015	.139	-.105	.917	1.000

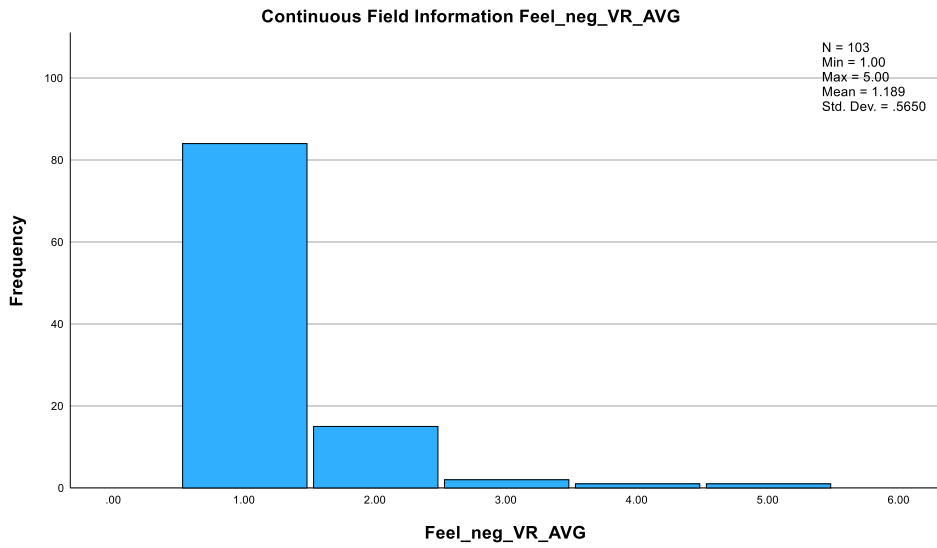
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

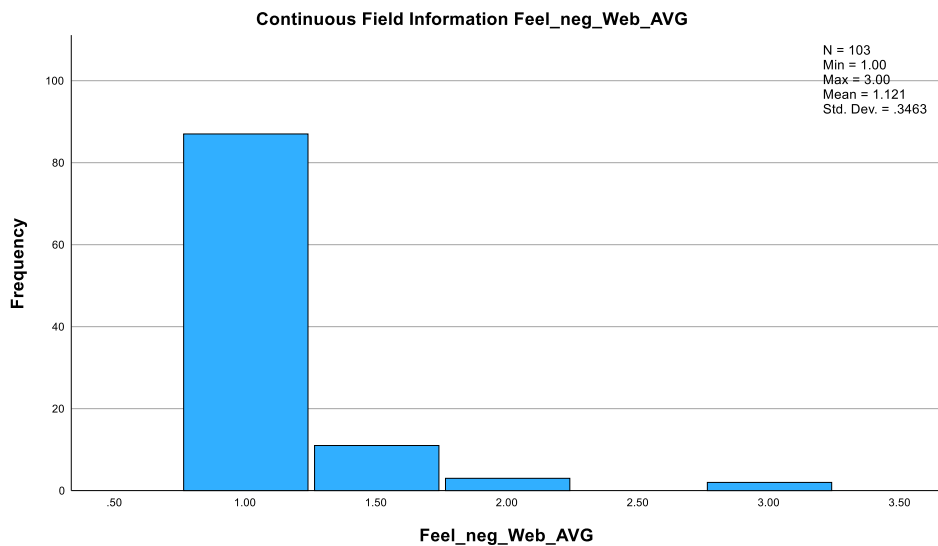
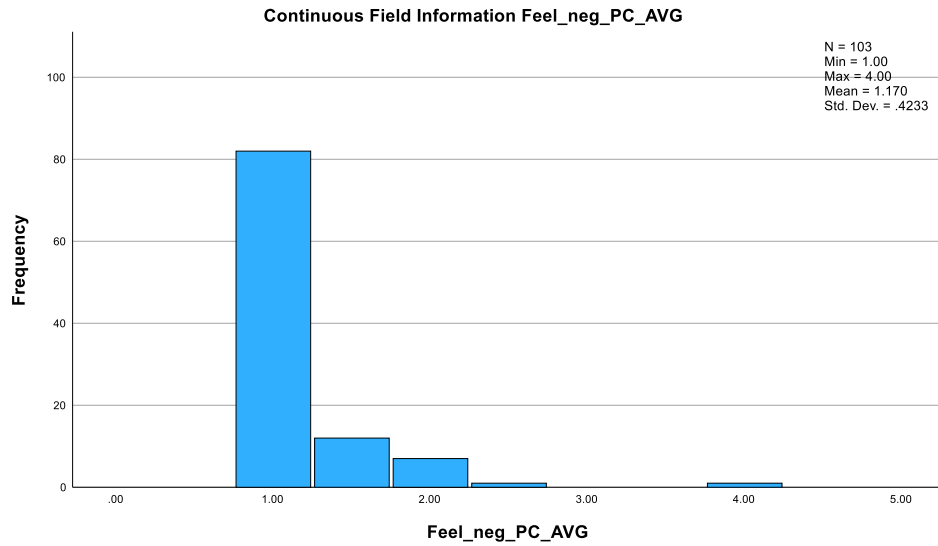
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.

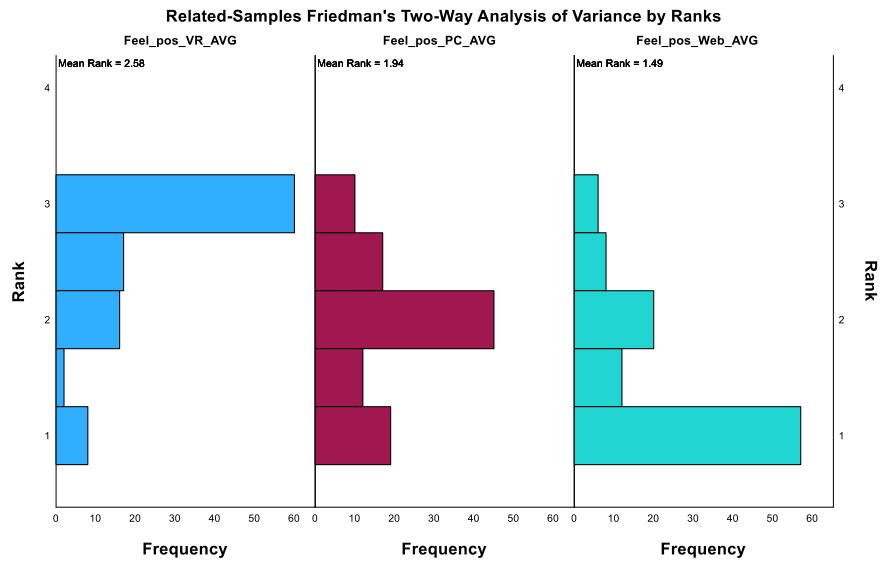




Feel_pos_VR_AVG, Feel_pos_PC_AVG, Feel_pos_Web_AVG

Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks Summary

Total N	103
Test Statistic	72.220
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig.(2-sided test)	<.001



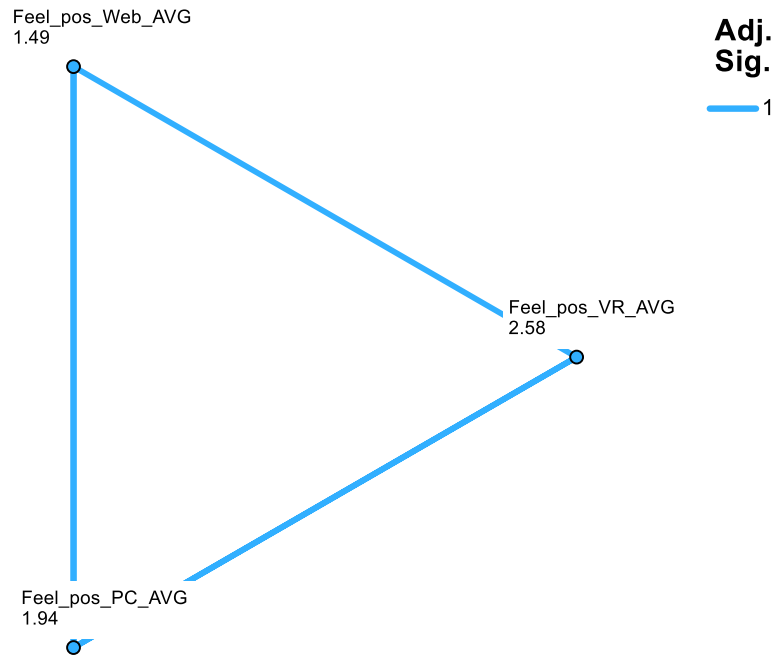
Pairwise Comparisons

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Feel_pos_Web_AVG- Feel_pos_PC_AVG	.451	.139	3.240	.001	.004
Feel_pos_Web_AVG- Feel_pos_VR_AVG	1.092	.139	7.838	<.001	.000
Feel_pos_PC_AVG- Feel_pos_VR_AVG	.641	.139	4.598	<.001	.000

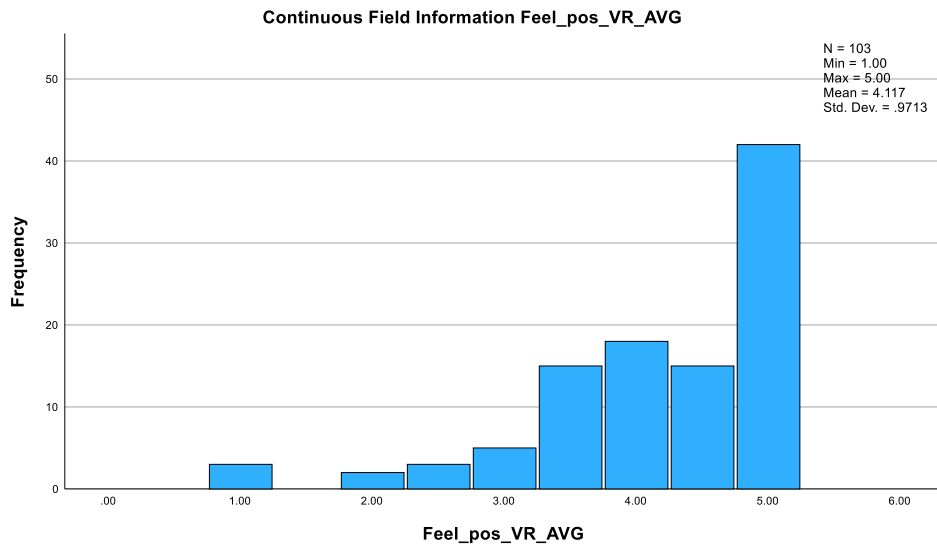
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

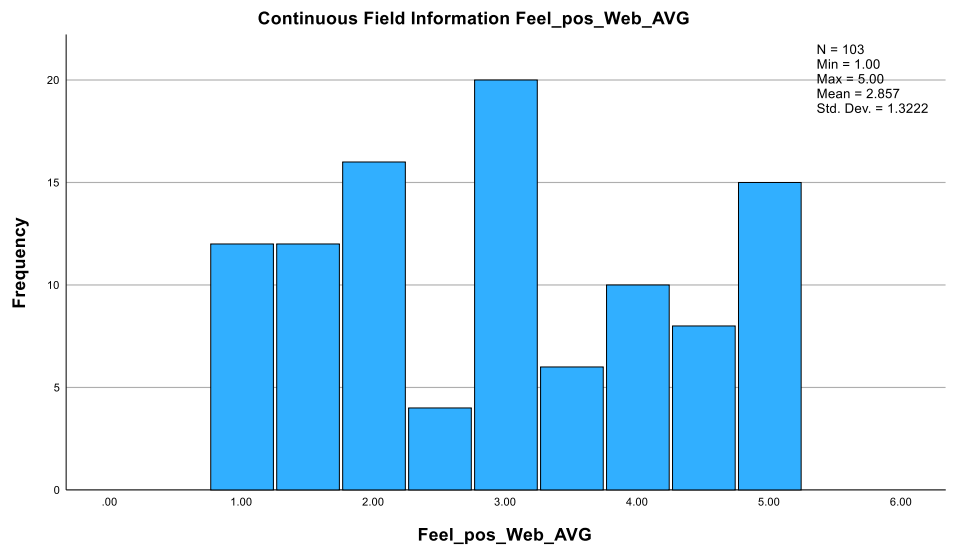
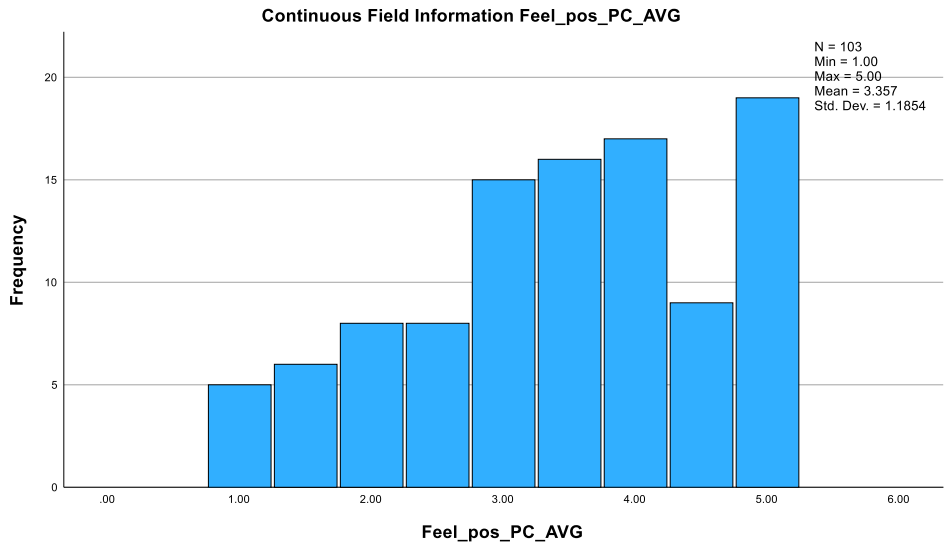
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons



Each node shows the sample number of successes.





Regression

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Age_group, Gender ^b	.	Enter
2	Effectiveness_VR_AVG, Feel_neg_VR_AVG, Cog_load_VR_AVG, Feel_pos_VR_AVG, Sim_sick_severe_VR_AVG, Presence_VR_AVG, Control_VR_AVG, Feedback_VR_AVG, Motivation_VR_AVG, Sim_sick_mild_VR_AVG, Graphics_VR_AVG, Immersion_VR_AVG, Interaction_VR_AVG ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Test_VR

b. All requested variables entered.

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Change Statistics		
				Estimate	R Square Change	F Change
1	.113 ^a	.013	-.007	1.59892	.013	.653
2	.719 ^b	.517	.433	1.19941	.504	6.978

Model Summary^c

Model	Change Statistics			Durbin-Watson
	df1	df2	Sig. F Change	
1	2	100	.523	
2	13	87	<.001	1.334

a. Predictors: (Constant), Age_group, Gender

b. Predictors: (Constant), Age_group, Gender, Effectiveness_VR_AVG, Feel_neg_VR_AVG, Cog_load_VR_AVG, Feel_pos_VR_AVG, Sim_sick_severe_VR_AVG, Presence_VR_AVG, Control_VR_AVG, Feedback_VR_AVG, Motivation_VR_AVG, Sim_sick_mild_VR_AVG, Graphics_VR_AVG, Immersion_VR_AVG, Interaction_VR_AVG

c. Dependent Variable: Test_VR

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.336	2	1.668	.653	.523 ^b
	Residual	255.654	100	2.557		
	Total	258.990	102			
2	Regression	133.833	15	8.922	6.202	<.001 ^c
	Residual	125.158	87	1.439		
	Total	258.990	102			

a. Dependent Variable: Test_VR

b. Predictors: (Constant), Age_group, Gender

c. Predictors: (Constant), Age_group, Gender, Effectiveness_VR_AVG, Feel_neg_VR_AVG, Cog_load_VR_AVG, Feel_pos_VR_AVG, Sim_sick_severe_VR_AVG, Presence_VR_AVG, Control_VR_AVG, Feedback_VR_AVG, Motivation_VR_AVG, Sim_sick_mild_VR_AVG, Graphics_VR_AVG, Immersion_VR_AVG, Interaction_VR_AVG

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	5.442	.686		7.933
	Gender	.386	.355	.108	1.090
	Age_group	-.094	.235	-.040	-.399
2	(Constant)	1.706	1.438		1.186
	Gender	.126	.301	.035	.420
	Age_group	.146	.192	.062	.761
	Graphics_VR_AVG	-.781	.281	-.304	-2.784
	Cog_load_VR_AVG	.084	.160	.043	.526
	Control_VR_AVG	.105	.170	.058	.619
	Immersion_VR_AVG	.449	.154	.332	2.922
	Presence_VR_AVG	.714	.245	.346	2.911
	Feedback_VR_AVG	.423	.257	.175	1.646
	Interaction_VR_AVG	.095	.290	.039	.329
	Motivation_VR_AVG	-.491	.208	-.247	-2.363
	Effectiveness_VR_AVG	.483	.175	.281	2.751
	Sim_sick_mild_VR_AVG	.321	.249	.137	1.290
	Sim_sick_severe_VR_AVG	-1.200	.314	-.400	-3.824
	Feel_neg_VR_AVG	-.345	.242	-.122	-1.425
Feel_pos_VR_AVG	.337	.142	.205	2.366	

Coefficients^a

Model		Sig.	Collinearity Statistics	
			Tolerance	VIF
1	(Constant)	<.001		
	Gender	.278	.997	1.003
	Age_group	.691	.997	1.003
2	(Constant)	.239		
	Gender	.676	.777	1.287
	Age_group	.449	.845	1.184
	Graphics_VR_AVG	.007	.465	2.151
	Cog_load_VR_AVG	.600	.840	1.190
	Control_VR_AVG	.538	.626	1.598
	Immersion_VR_AVG	.004	.432	2.317
	Presence_VR_AVG	.005	.393	2.544
	Feedback_VR_AVG	.103	.491	2.038
	Interaction_VR_AVG	.743	.385	2.595
	Motivation_VR_AVG	.020	.510	1.961
	Effectiveness_VR_AVG	.007	.532	1.878
	Sim_sick_mild_VR_AVG	.201	.495	2.020
	Sim_sick_severe_VR_AVG	<.001	.507	1.973
	Feel_neg_VR_AVG	.158	.754	1.326
Feel_pos_VR_AVG	.020	.738	1.355	

a. Dependent Variable: Test_VR

Excluded Variables^a

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	Graphics_VR_AVG	.215 ^b	2.154	.034	.212	.953
	Cog_load_VR_AVG	-.024 ^b	-.242	.809	-.024	.992
	Control_VR_AVG	.289 ^b	2.996	.003	.288	.980
	Immersion_VR_AVG	.490 ^b	5.314	<.001	.471	.911
	Presence_VR_AVG	.464 ^b	5.200	<.001	.463	.985
	Feedback_VR_AVG	.326 ^b	3.418	<.001	.325	.980
	Interaction_VR_AVG	.351 ^b	3.704	<.001	.349	.978
	Motivation_VR_AVG	.207 ^b	2.109	.037	.207	.991
	Effectiveness_VR_AVG	.215 ^b	2.205	.030	.216	.999
	Sim_sick_mild_VR_AVG	-.066 ^b	-.659	.512	-.066	.976
	Sim_sick_severe_VR_AVG	-.262 ^b	-2.702	.008	-.262	.990
	Feel_neg_VR_AVG	-.108 ^b	-1.090	.278	-.109	.998
	Feel_pos_VR_AVG	.280 ^b	2.915	.004	.281	.999

Excluded Variables^a

Model		Collinearity Statistics	
		VIF	Minimum Tolerance
1	Graphics_VR_AVG	1.049	.953
	Cog_load_VR_AVG	1.008	.991
	Control_VR_AVG	1.021	.978
	Immersion_VR_AVG	1.097	.910
	Presence_VR_AVG	1.015	.983
	Feedback_VR_AVG	1.020	.978
	Interaction_VR_AVG	1.023	.977
	Motivation_VR_AVG	1.009	.991
	Effectiveness_VR_AVG	1.001	.996
	Sim_sick_mild_VR_AVG	1.024	.974
	Sim_sick_severe_VR_AVG	1.010	.987
	Feel_neg_VR_AVG	1.003	.995
	Feel_pos_VR_AVG	1.001	.996

a. Dependent Variable: Test_VR

b. Predictors in the Model: (Constant), Age_group, Gender

Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	2.6621	8.0835	5.9903	1.14546	103
Residual	-3.74536	2.54972	.00000	1.10772	103
Std. Predicted Value	-2.906	1.827	.000	1.000	103
Std. Residual	-3.123	2.126	.000	.924	103

a. Dependent Variable: Test_VR

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Age_group, Gender ^b	.	Enter
2	Motivation_PC_AVG, Cog_load_PC_AVG, Feel_neg_PC_AVG, Graphics_PC_AVG, Sim_sick_mild_PC_AVG, Control_PC_AVG, Presence_PC_AVG, Feel_pos_PC_AVG, Effectiveness_PC_AVG, Immersion_PC_AVG, Feedback_PC_AVG, Sim_sick_severe_PC_AVG, Interaction_PC_AVG ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Test_PC

b. All requested variables entered.

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Change Statistics		
				Estimate	R Square Change	F Change
1	.174 ^a	.030	.011	2.03221	.030	1.559
2	.491 ^b	.241	.110	1.92794	.210	1.855

Model Summary^c

Model	Change Statistics		Sig. F Change	Durbin-Watson
	df1	df2		
1	2	100	.215	
2	13	87	.047	1.996

a. Predictors: (Constant), Age_group, Gender

b. Predictors: (Constant), Age_group, Gender, Motivation_PC_AVG, Cog_load_PC_AVG, Feel_neg_PC_AVG, Graphics_PC_AVG, Sim_sick_mild_PC_AVG, Control_PC_AVG, Presence_PC_AVG, Feel_pos_PC_AVG, Effectiveness_PC_AVG, Immersion_PC_AVG, Feedback_PC_AVG, Sim_sick_severe_PC_AVG, Interaction_PC_AVG

c. Dependent Variable: Test_PC

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12.877	2	6.439	1.559	.215 ^b
	Residual	412.987	100	4.130		
	Total	425.864	102			
2	Regression	102.489	15	6.833	1.838	.042 ^c
	Residual	323.375	87	3.717		
	Total	425.864	102			

a. Dependent Variable: Test_PC

b. Predictors: (Constant), Age_group, Gender

c. Predictors: (Constant), Age_group, Gender, Motivation_PC_AVG, Cog_load_PC_AVG, Feel_neg_PC_AVG, Graphics_PC_AVG, Sim_sick_mild_PC_AVG, Control_PC_AVG, Presence_PC_AVG, Feel_pos_PC_AVG, Effectiveness_PC_AVG, Immersion_PC_AVG, Feedback_PC_AVG, Sim_sick_severe_PC_AVG, Interaction_PC_AVG

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	5.856	.872		6.717
	Gender	-.393	.451	-.086	-.872
	Age_group	.472	.299	.156	1.579
2	(Constant)	3.408	2.062		1.653
	Gender	-.629	.442	-.138	-1.422
	Age_group	.613	.294	.202	2.085
	Graphics_PC_AVG	-.011	.313	-.004	-.035
	Cog_load_PC_AVG	.441	.226	.203	1.951
	Control_PC_AVG	-.398	.256	-.179	-1.556
	Immersion_PC_AVG	-.056	.294	-.029	-.191
	Presence_PC_AVG	-.341	.260	-.212	-1.312
	Feedback_PC_AVG	.679	.441	.252	1.539
	Interaction_PC_AVG	.470	.364	.219	1.293
	Motivation_PC_AVG	-.069	.312	-.030	-.221
	Effectiveness_PC_AVG	.251	.358	.101	.702
	Sim_sick_mild_PC_AVG	-.032	.888	-.006	-.036
	Sim_sick_severe_PC_AVG	-.713	1.038	-.113	-.688
	Feel_neg_PC_AVG	.154	.493	.032	.313
Feel_pos_PC_AVG	-.349	.208	-.202	-1.673	

Coefficients^a

Model		Sig.	Collinearity Statistics	
			Tolerance	VIF
1	(Constant)	<.001		
	Gender	.385	.997	1.003
	Age_group	.117	.997	1.003
2	(Constant)	.102		
	Gender	.159	.931	1.074
	Age_group	.040	.928	1.078
	Graphics_PC_AVG	.972	.588	1.702
	Cog_load_PC_AVG	.054	.807	1.238
	Control_PC_AVG	.123	.659	1.518
	Immersion_PC_AVG	.849	.368	2.718
	Presence_PC_AVG	.193	.334	2.991
	Feedback_PC_AVG	.128	.325	3.080
	Interaction_PC_AVG	.200	.303	3.301
	Motivation_PC_AVG	.826	.458	2.184
	Effectiveness_PC_AVG	.485	.419	2.386
	Sim_sick_mild_PC_AVG	.971	.318	3.140
	Sim_sick_severe_PC_AVG	.494	.321	3.116
	Feel_neg_PC_AVG	.755	.837	1.195
Feel_pos_PC_AVG	.098	.597	1.676	

a. Dependent Variable: Test_PC

Excluded Variables^a

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Graphics_PC_AVG	.084 ^b	.847	.399	.085	.990

Cog_load_PC_AVG	.267 ^b	2.794	.006	.270	.993
Control_PC_AVG	-.112 ^b	-1.142	.256	-.114	1.000
Immersion_PC_AVG	-.153 ^b	-1.544	.126	-.153	.980
Presence_PC_AVG	-.147 ^b	-1.490	.139	-.148	.977
Feedback_PC_AVG	.198 ^b	2.016	.046	.199	.974
Interaction_PC_AVG	-.007 ^b	-.073	.942	-.007	.986
Motivation_PC_AVG	-.033 ^b	-.332	.740	-.033	1.000
Effectiveness_PC_AVG	.143 ^b	1.460	.147	.145	.995
Sim_sick_mild_PC_AVG	-.184 ^b	-1.872	.064	-.185	.983
Sim_sick_severe_PC_AVG	-.195 ^b	-1.972	.051	-.194	.968
Feel_neg_PC_AVG	-.047 ^b	-.476	.635	-.048	.998
Feel_pos_PC_AVG	-.091 ^b	-.922	.359	-.092	.999

Excluded Variables^a

Model		Collinearity Statistics	
		VIF	Minimum Tolerance
1	Graphics_PC_AVG	1.010	.987
	Cog_load_PC_AVG	1.007	.993
	Control_PC_AVG	1.000	.997
	Immersion_PC_AVG	1.020	.978
	Presence_PC_AVG	1.023	.977
	Feedback_PC_AVG	1.027	.971
	Interaction_PC_AVG	1.014	.985
	Motivation_PC_AVG	1.000	.997
	Effectiveness_PC_AVG	1.005	.992
	Sim_sick_mild_PC_AVG	1.017	.981
	Sim_sick_severe_PC_AVG	1.033	.966
	Feel_neg_PC_AVG	1.002	.996
	Feel_pos_PC_AVG	1.001	.997

a. Dependent Variable: Test_PC

b. Predictors in the Model: (Constant), Age_group, Gender

Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	1.9728	8.1167	5.7767	1.00239	103
Residual	-4.01892	4.22849	.00000	1.78055	103
Std. Predicted Value	-3.795	2.334	.000	1.000	103
Std. Residual	-2.085	2.193	.000	.924	103

a. Dependent Variable: Test_PC

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Age_group, Gender ^b	.	Enter
2	Feedback_Web_AVG, Sim_sick_severe_Web_AVG, Cog_load_Web_AVG, Feel_neg_Web_AVG, Presence_Web_AVG, Control_Web_AVG, Graphics_Web_AVG, Effectiveness_Web_AVG, Feel_pos_Web_AVG, Motivation_Web_AVG, Interaction_Web_AVG, Sim_sick_mild_Web_AVG, Immersion_Web_AVG ^b	.	Enter

- a. Dependent Variable: Test_Web
 b. All requested variables entered.

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Change Statistics		
				Estimate	R Square Change	F Change
1	.232 ^a	.054	.035	1.81035	.054	2.857
2	.445 ^b	.198	.060	1.78734	.144	1.199

Model Summary^c

Model	Change Statistics			Durbin-Watson
	df1	df2	Sig. F Change	
1	2	100	.062	
2	13	87	.294	1.479

- a. Predictors: (Constant), Age_group, Gender
 b. Predictors: (Constant), Age_group, Gender, Feedback_Web_AVG, Sim_sick_severe_Web_AVG, Cog_load_Web_AVG, Feel_neg_Web_AVG, Presence_Web_AVG, Control_Web_AVG, Graphics_Web_AVG, Effectiveness_Web_AVG, Feel_pos_Web_AVG, Motivation_Web_AVG, Interaction_Web_AVG, Sim_sick_mild_Web_AVG, Immersion_Web_AVG
 c. Dependent Variable: Test_Web

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	18.728	2	9.364	2.857	.062 ^b
	Residual	327.738	100	3.277		
	Total	346.466	102			
2	Regression	68.538	15	4.569	1.430	.151 ^c
	Residual	277.928	87	3.195		
	Total	346.466	102			

- a. Dependent Variable: Test_Web
 b. Predictors: (Constant), Age_group, Gender
 c. Predictors: (Constant), Age_group, Gender, Feedback_Web_AVG, Sim_sick_severe_Web_AVG, Cog_load_Web_AVG, Feel_neg_Web_AVG, Presence_Web_AVG, Control_Web_AVG, Graphics_Web_AVG, Effectiveness_Web_AVG, Feel_pos_Web_AVG, Motivation_Web_AVG, Interaction_Web_AVG, Sim_sick_mild_Web_AVG, Immersion_Web_AVG

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t
		B	Std. Error	Coefficients Beta	
1	(Constant)	5.420	.777		6.979
	Gender	-.444	.401	-.108	-1.107
	Age_group	.579	.266	.212	2.174
2	(Constant)	3.665	1.719		2.131
	Gender	-.370	.427	-.090	-.865
	Age_group	.482	.277	.177	1.743
	Graphics_Web_AVG	-.115	.283	-.062	-.404
	Cog_load_Web_AVG	.209	.207	.106	1.008
	Control_Web_AVG	-.009	.216	-.006	-.041
	Immersion_Web_AVG	-.382	.397	-.226	-.963
	Presence_Web_AVG	-.037	.376	-.026	-.100
	Feedback_Web_AVG	-.534	.346	-.244	-1.545
	Interaction_Web_AVG	.100	.329	.056	.303
	Motivation_Web_AVG	-.267	.289	-.165	-.925
	Effectiveness_Web_AVG	1.046	.323	.521	3.234
	Sim_sick_mild_Web_AVG	.374	1.019	.071	.367
	Sim_sick_severe_Web_AVG	-.388	1.096	-.063	-.354
	Feel_neg_Web_AVG	.718	.580	.135	1.238
Feel_pos_Web_AVG	.051	.232	.036	.219	

Coefficients^a

Model		Sig.	Collinearity Statistics	
			Tolerance	VIF
1	(Constant)	<.001		
	Gender	.271	.997	1.003
	Age_group	.032	.997	1.003
2	(Constant)	.036		
	Gender	.389	.858	1.166
	Age_group	.085	.899	1.112
	Graphics_Web_AVG	.687	.387	2.581
	Cog_load_Web_AVG	.316	.836	1.196
	Control_Web_AVG	.968	.475	2.103
	Immersion_Web_AVG	.338	.168	5.950
	Presence_Web_AVG	.921	.140	7.129
	Feedback_Web_AVG	.126	.369	2.710
	Interaction_Web_AVG	.762	.273	3.662
	Motivation_Web_AVG	.357	.291	3.433
	Effectiveness_Web_AVG	.002	.355	2.813
	Sim_sick_mild_Web_AVG	.715	.246	4.061
	Sim_sick_severe_Web_AVG	.724	.291	3.433
	Feel_neg_Web_AVG	.219	.777	1.287
Feel_pos_Web_AVG	.827	.332	3.010	

a. Dependent Variable: Test_Web

Excluded Variables^a

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity
						Statistics Tolerance
1	Graphics_Web_AVG	-.091 ^b	-.926	.357	-.093	.971
	Cog_load_Web_AVG	.095 ^b	.972	.334	.097	.991

Control_Web_AVG	-.076 ^b	-.767	.445	-.077	.972
Immersion_Web_AVG	-.170 ^b	-1.743	.084	-.173	.971
Presence_Web_AVG	-.153 ^b	-1.555	.123	-.154	.965
Feedback_Web_AVG	-.040 ^b	-.410	.682	-.041	1.000
Interaction_Web_AVG	-.140 ^b	-1.402	.164	-.140	.944
Motivation_Web_AVG	-.089 ^b	-.909	.366	-.091	.989
Effectiveness_Web_AVG	.119 ^b	1.222	.225	.122	.995
Sim_sick_mild_Web_AVG	-.002 ^b	-.018	.986	-.002	.985
Sim_sick_severe_Web_AVG	-.011 ^b	-.114	.910	-.011	.986
Feel_neg_Web_AVG	.079 ^b	.805	.423	.081	.982
Feel_pos_Web_AVG	-.077 ^b	-.789	.432	-.079	.990

Excluded Variables^a

Model		Collinearity Statistics	
		VIF	Minimum Tolerance
1	Graphics_Web_AVG	1.029	.971
	Cog_load_Web_AVG	1.009	.988
	Control_Web_AVG	1.029	.969
	Immersion_Web_AVG	1.030	.970
	Presence_Web_AVG	1.037	.963
	Feedback_Web_AVG	1.000	.997
	Interaction_Web_AVG	1.059	.944
	Motivation_Web_AVG	1.011	.989
	Effectiveness_Web_AVG	1.005	.993
	Sim_sick_mild_Web_AVG	1.016	.984
	Sim_sick_severe_Web_AVG	1.014	.986
	Feel_neg_Web_AVG	1.019	.982
	Feel_pos_Web_AVG	1.010	.988

a. Dependent Variable: Test_Web

b. Predictors in the Model: (Constant), Age_group, Gender

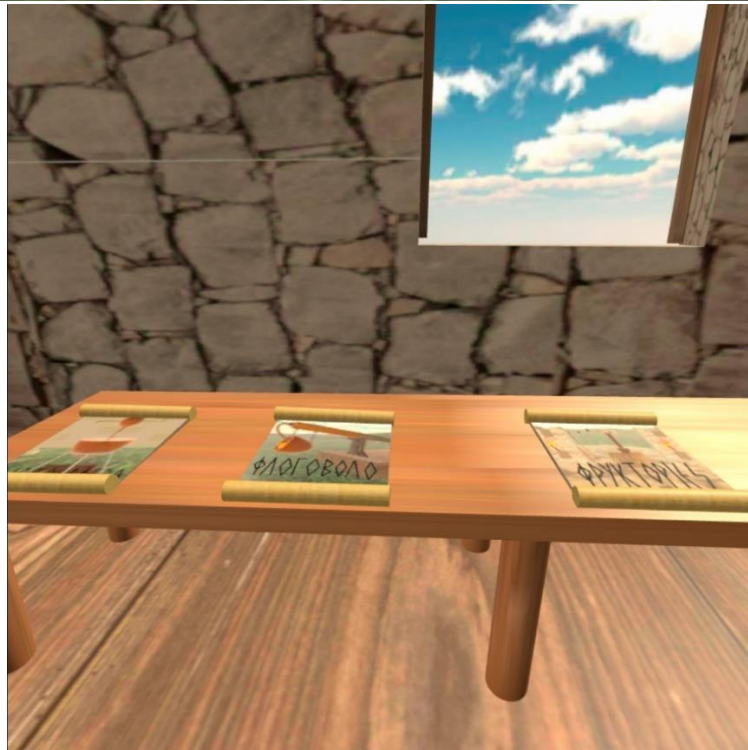
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	3.5613	7.9006	5.3883	.81972	103
Residual	-4.58470	3.86563	.00000	1.65069	103
Std. Predicted Value	-2.229	3.065	.000	1.000	103
Std. Residual	-2.565	2.163	.000	.924	103

a. Dependent Variable: Test_Web

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΣΤΙΜΙΟΤΥΠΑ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

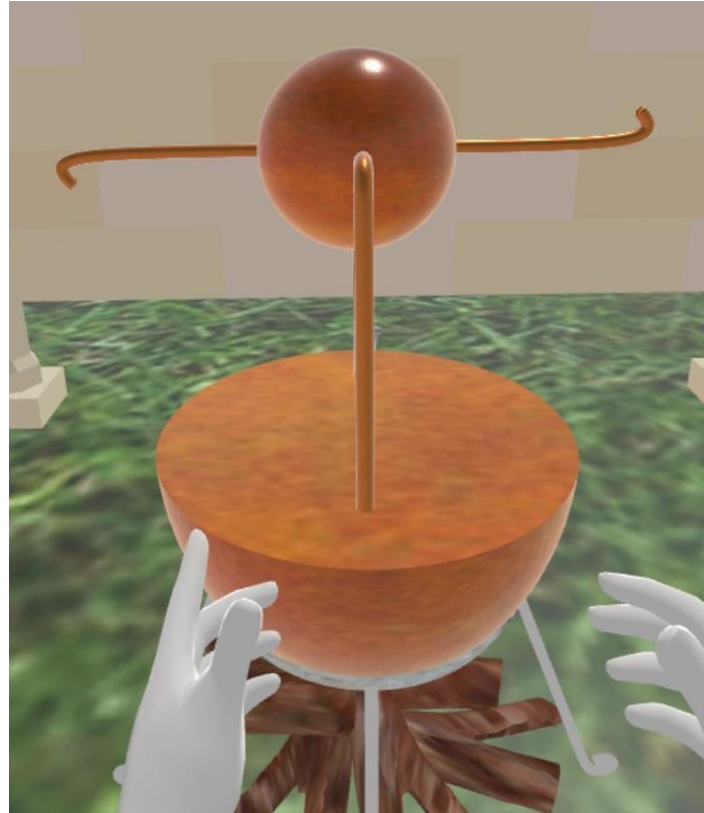
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΕΕΠ

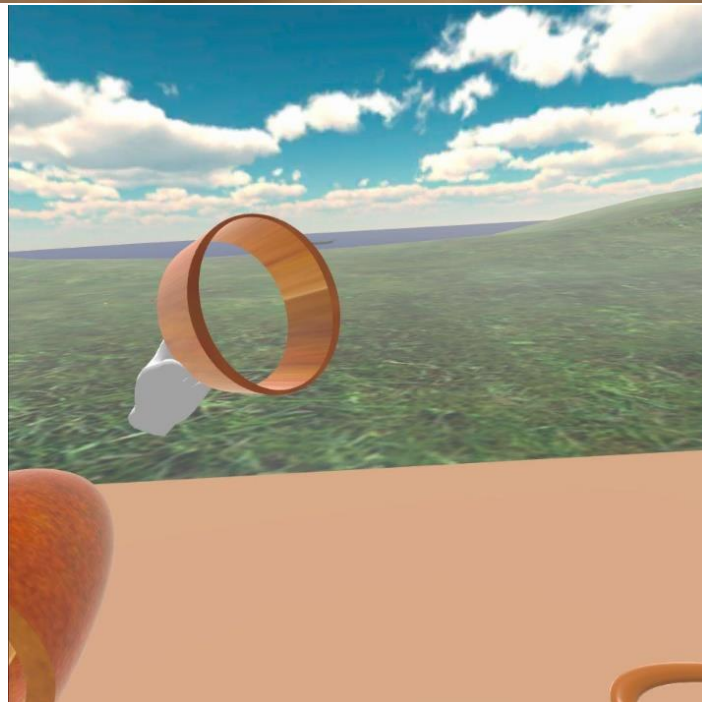


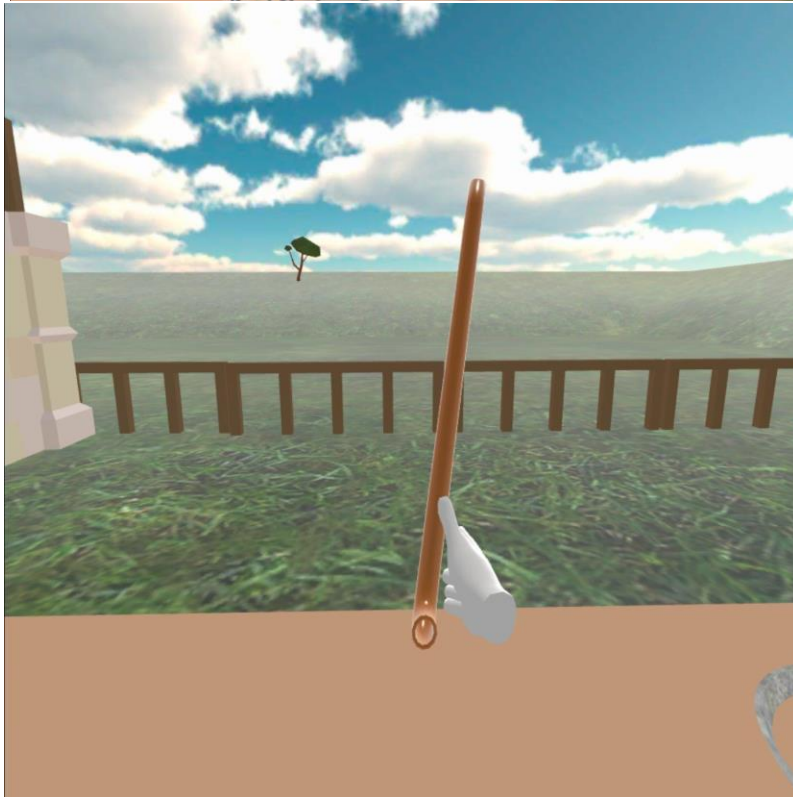
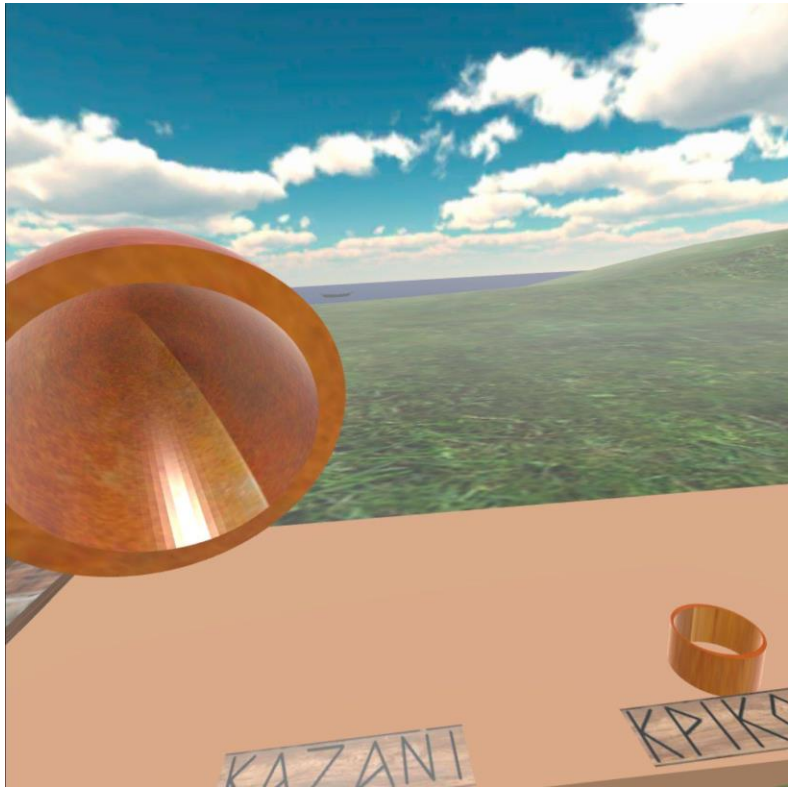






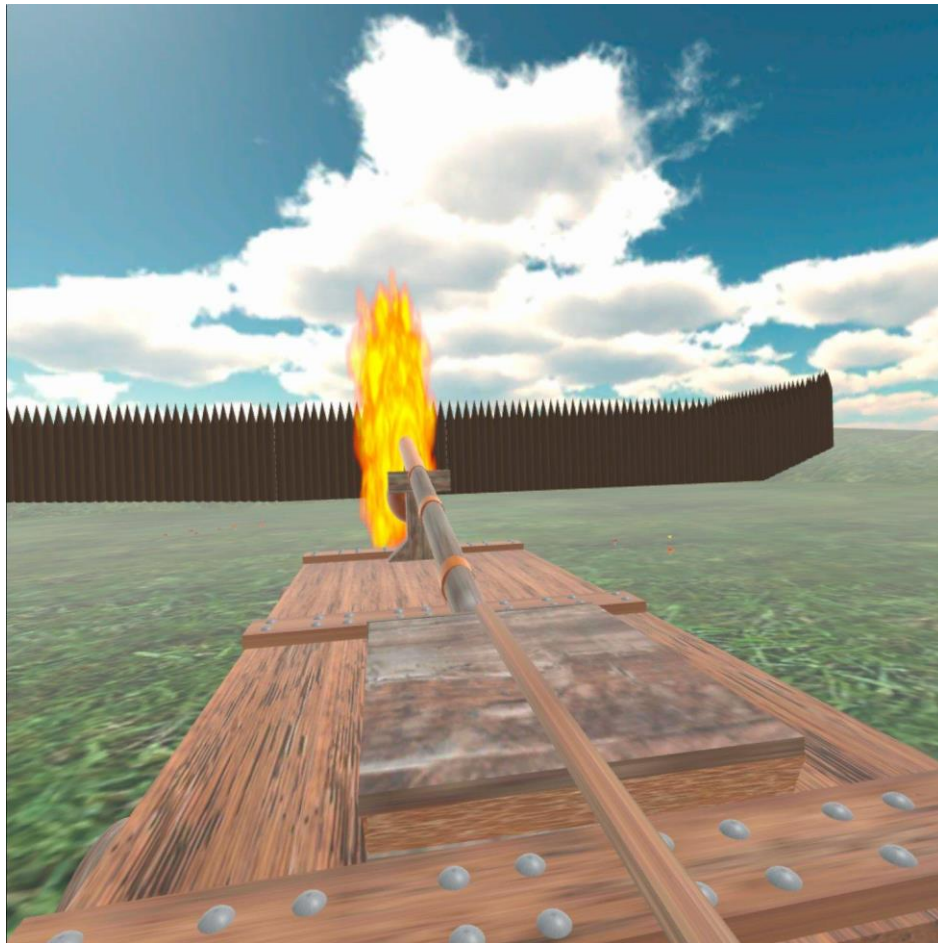






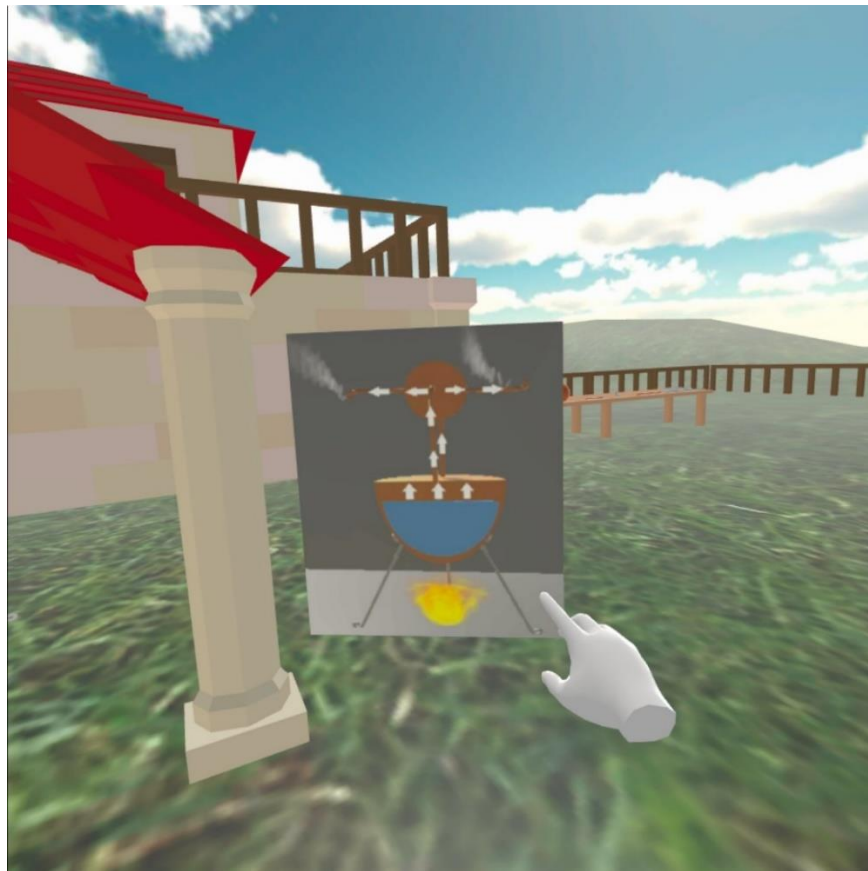


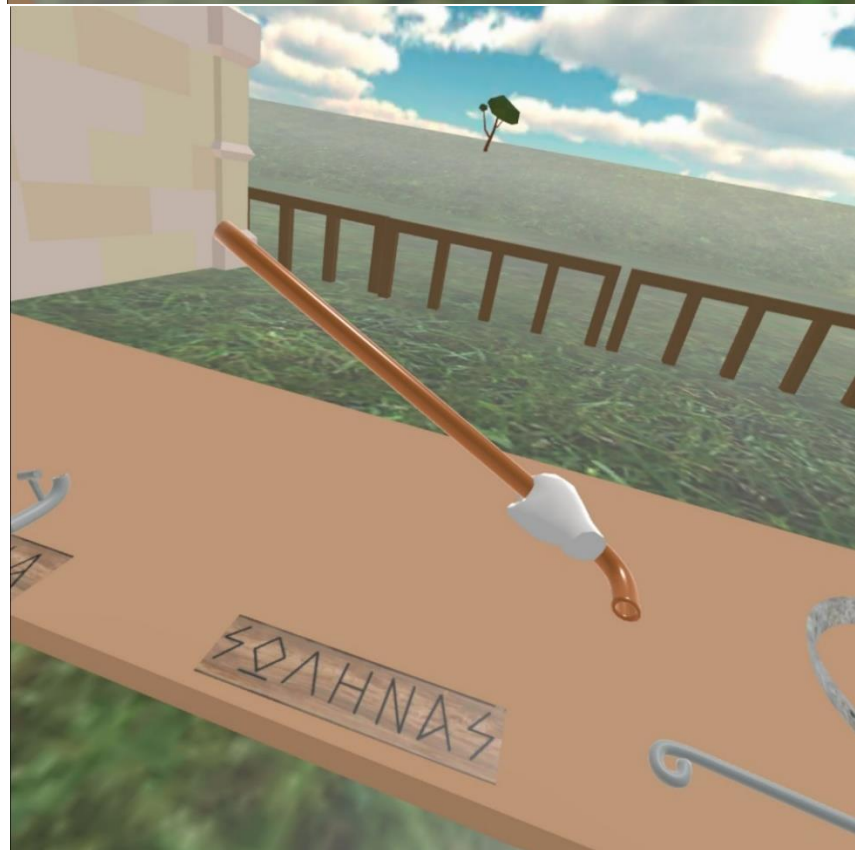




Φρικτωρίες
3ος αιώνας π.Χ.
Χρησιμοποιήθηκαν για τηλεπικοινωνία
Αρχή λειτουργίας: Οι πυρσού ανάλογα τις θέσεις που λαμβάνουν στις πάνω θέσεις των τοιχιών, αντιστοιχούν σε γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου.
Λειτουργία: Σχημάτισε γράμματα αναρτώντας τους πυρσούς στις πάνω θέσεις σύμφωνα με τον κώδικα της ξύλινης πινακίδας.
Πηγή: Πολύβιος, Ιστορία Χ, 45-47





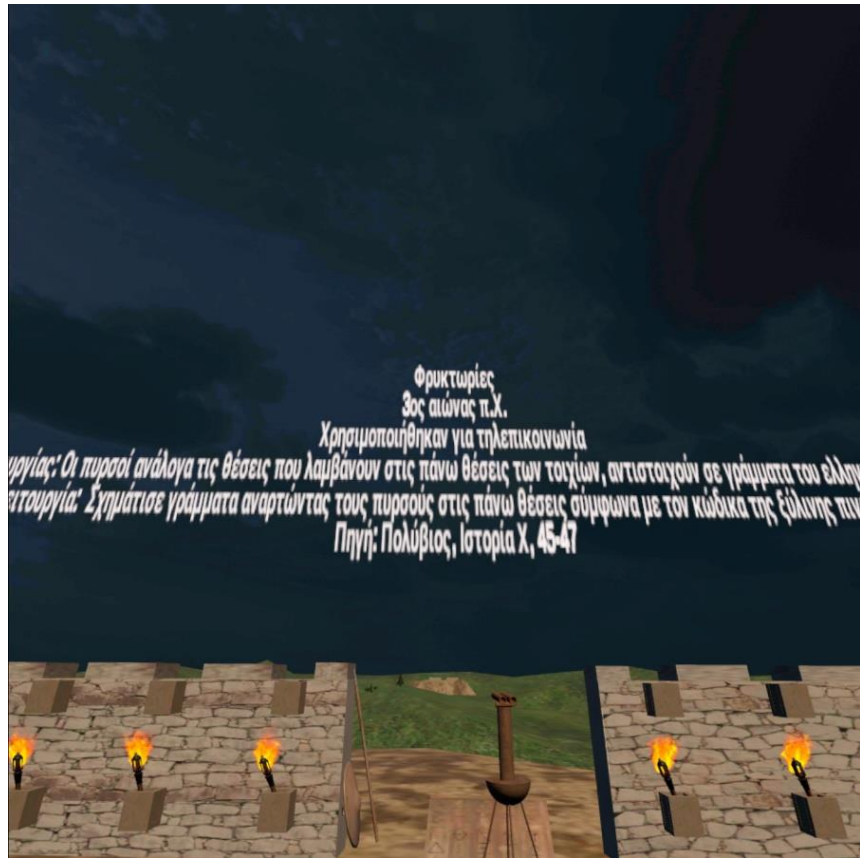


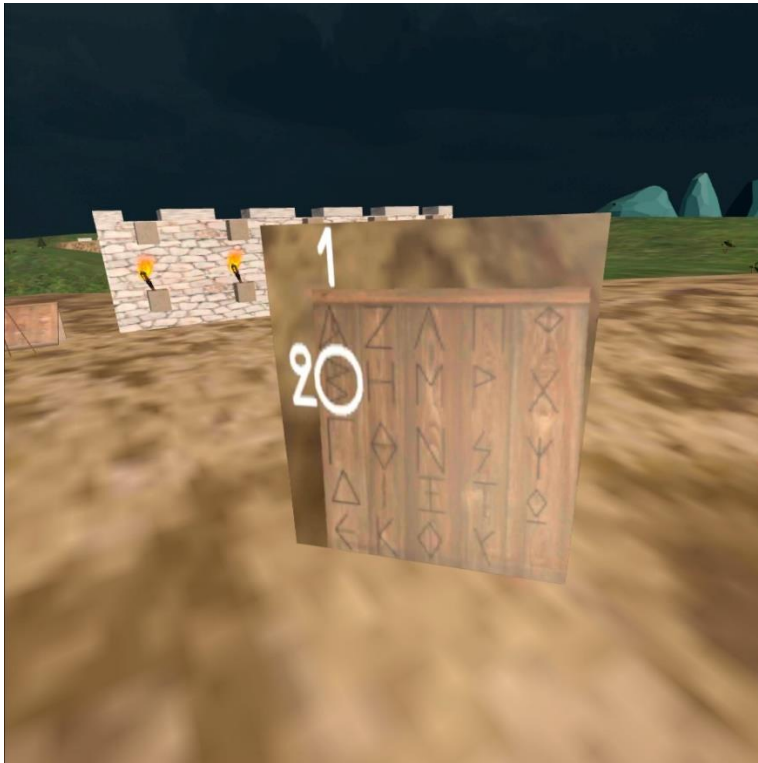
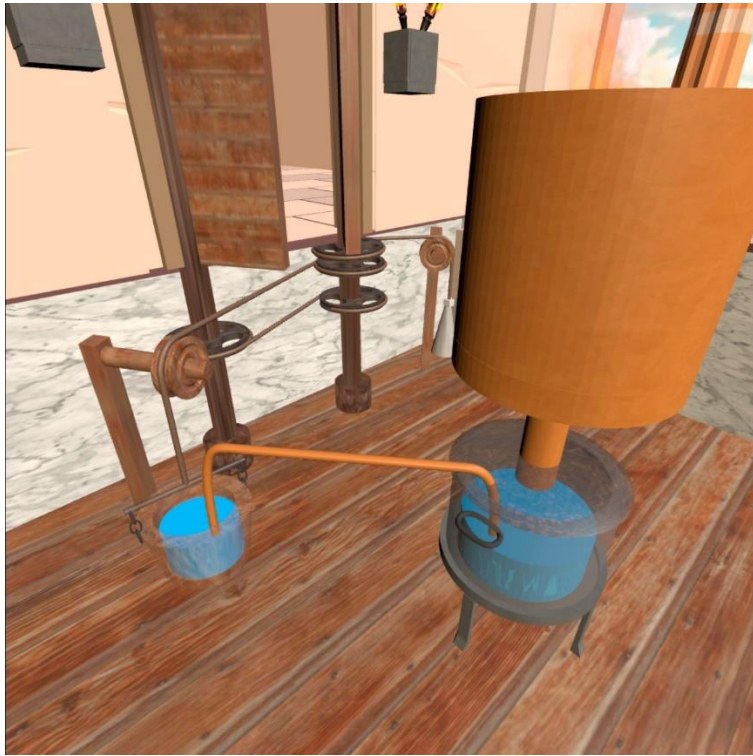








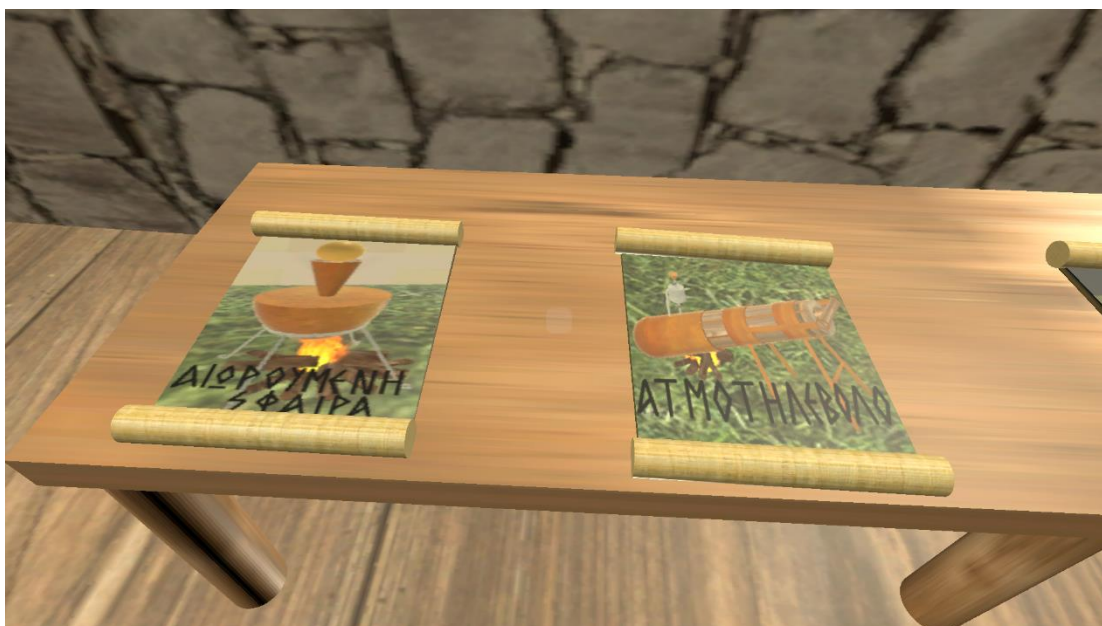








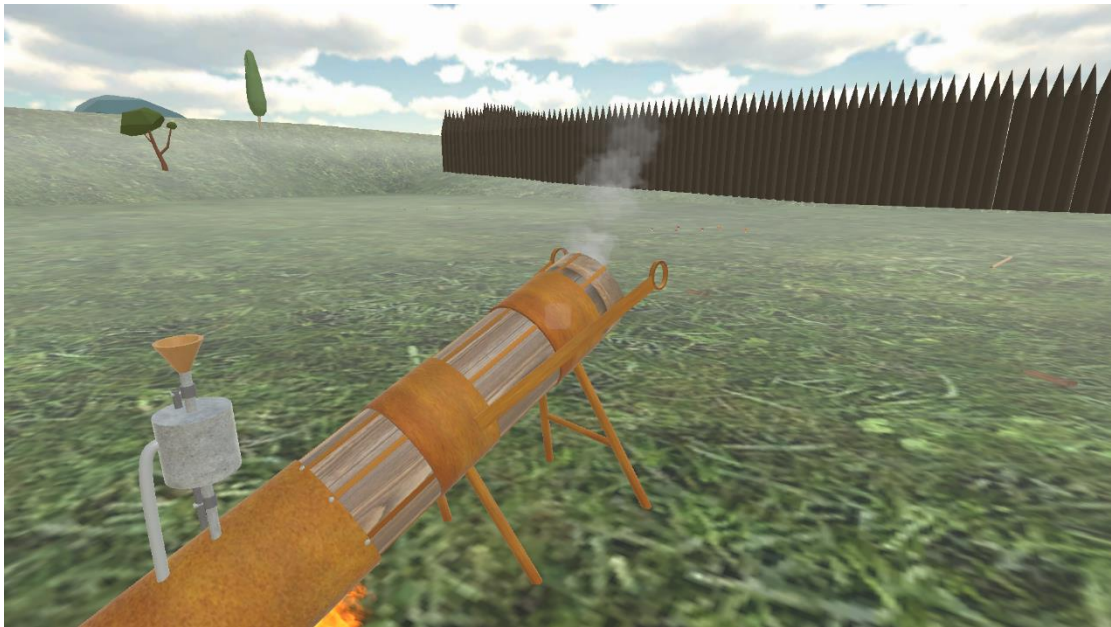
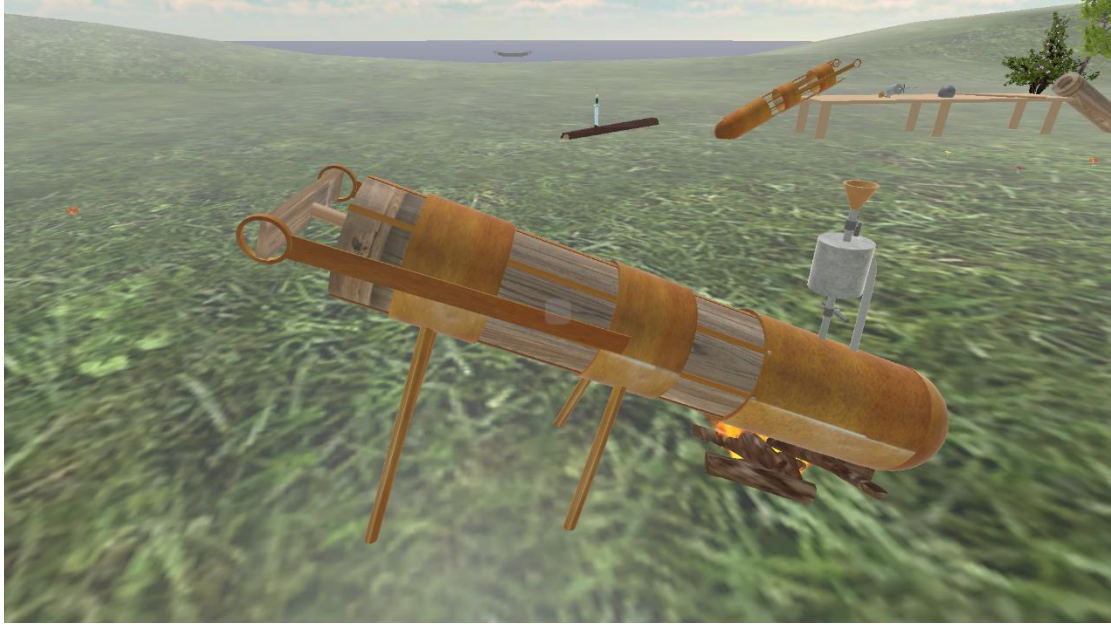
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΠ

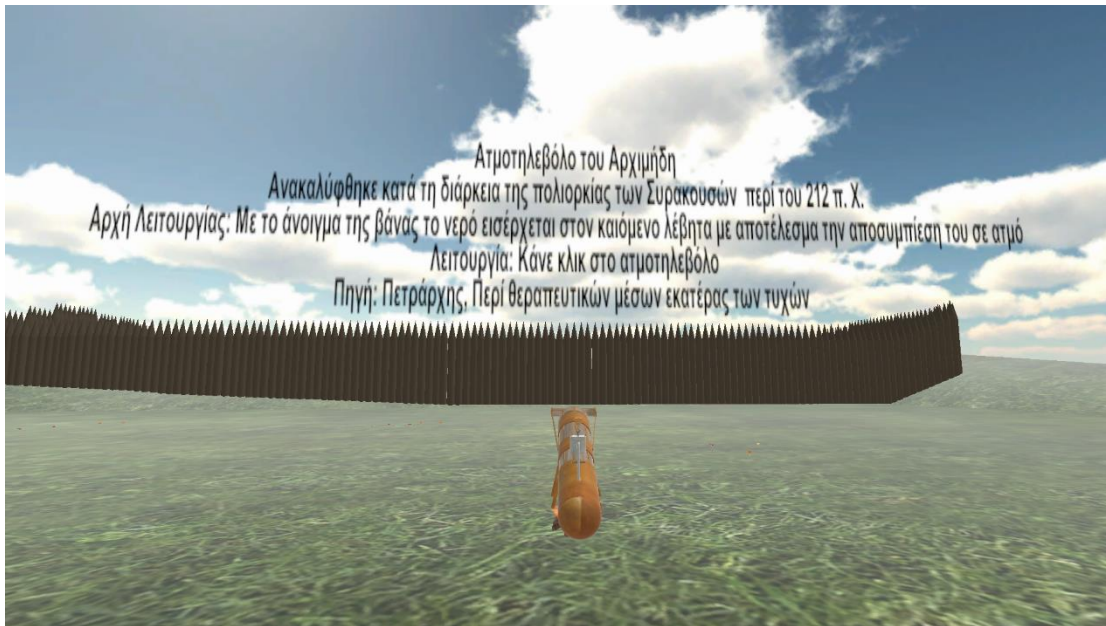


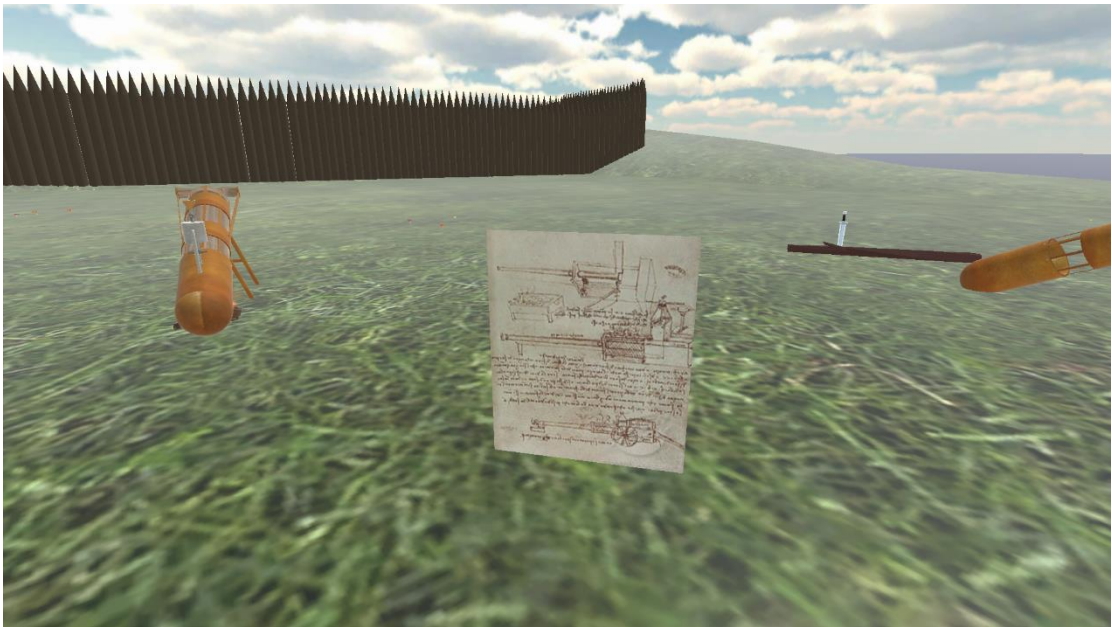
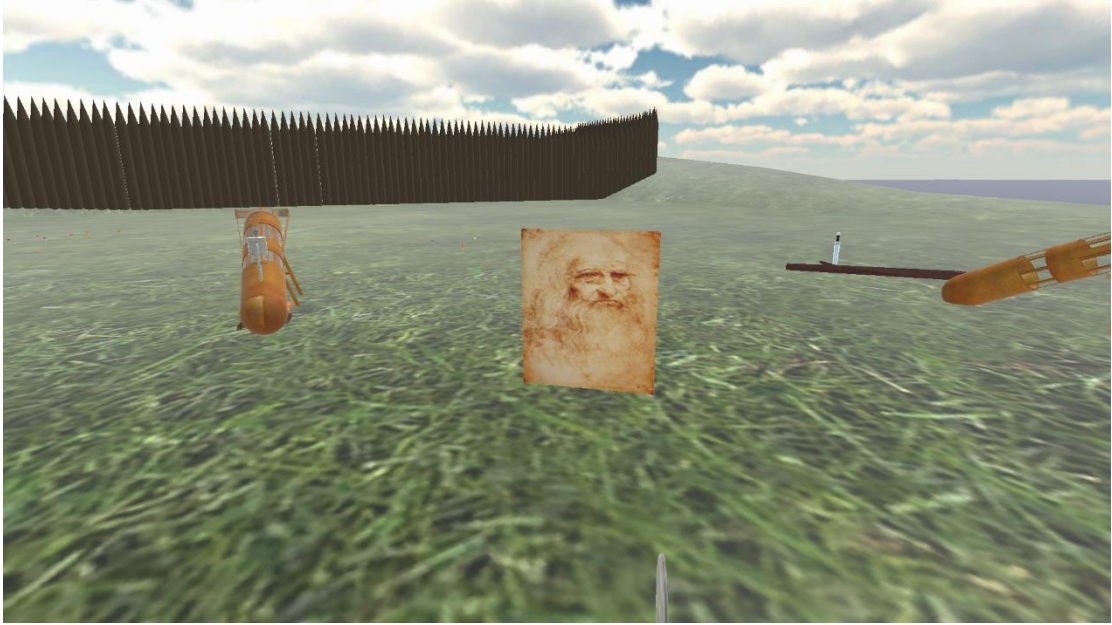


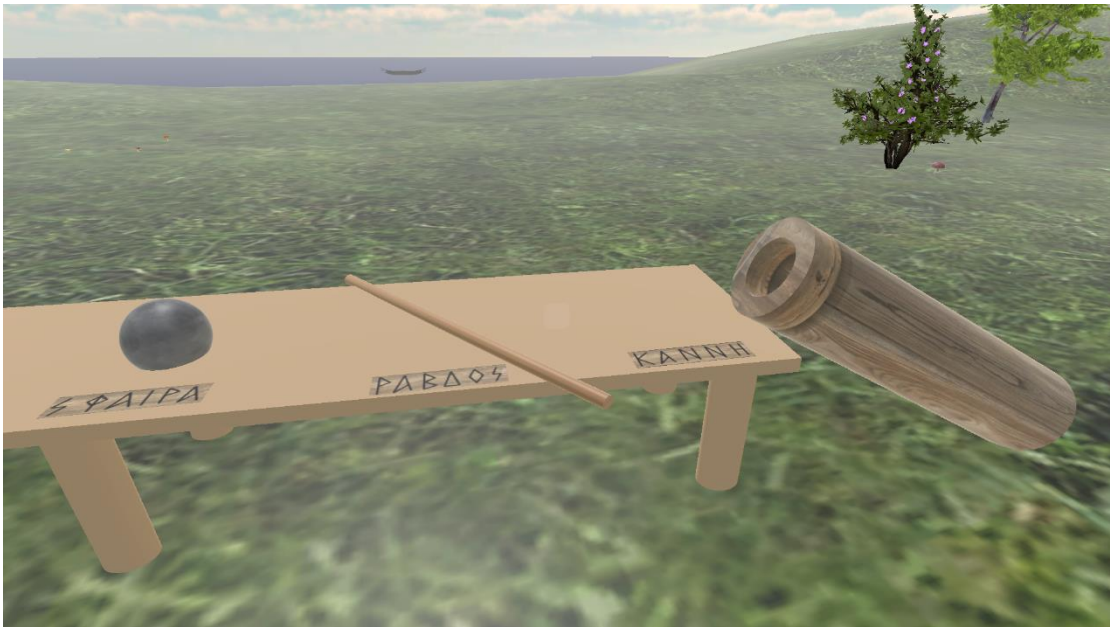


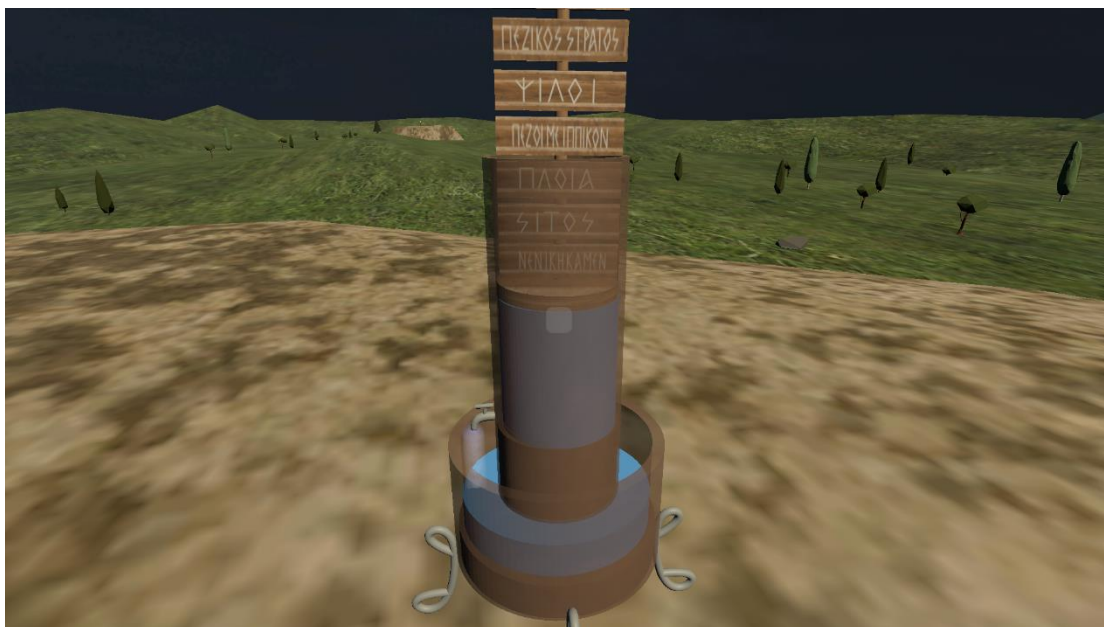
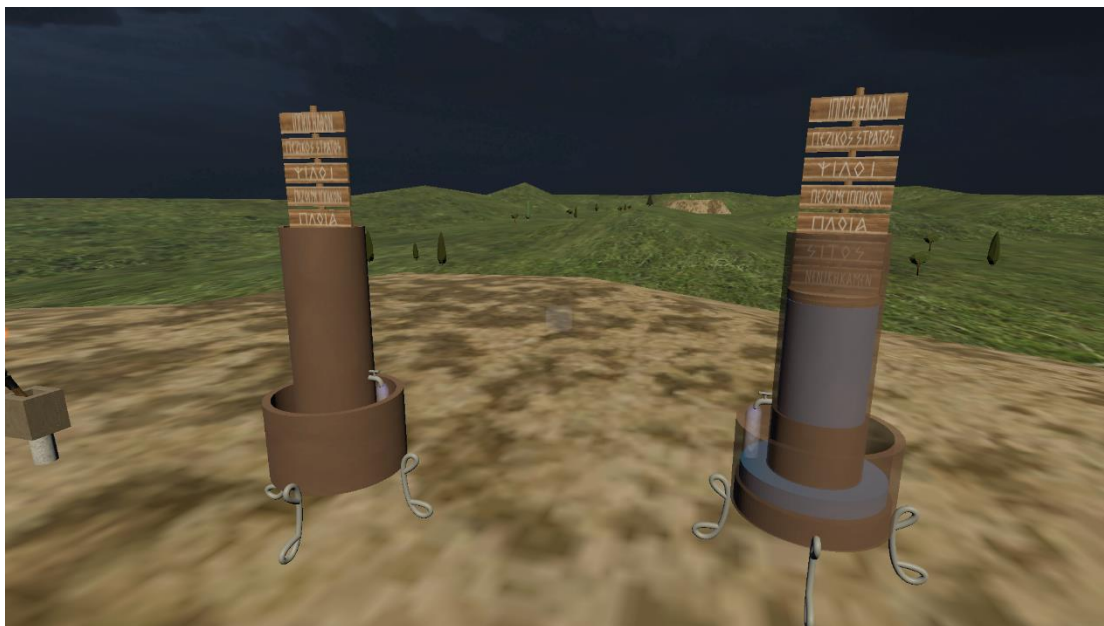


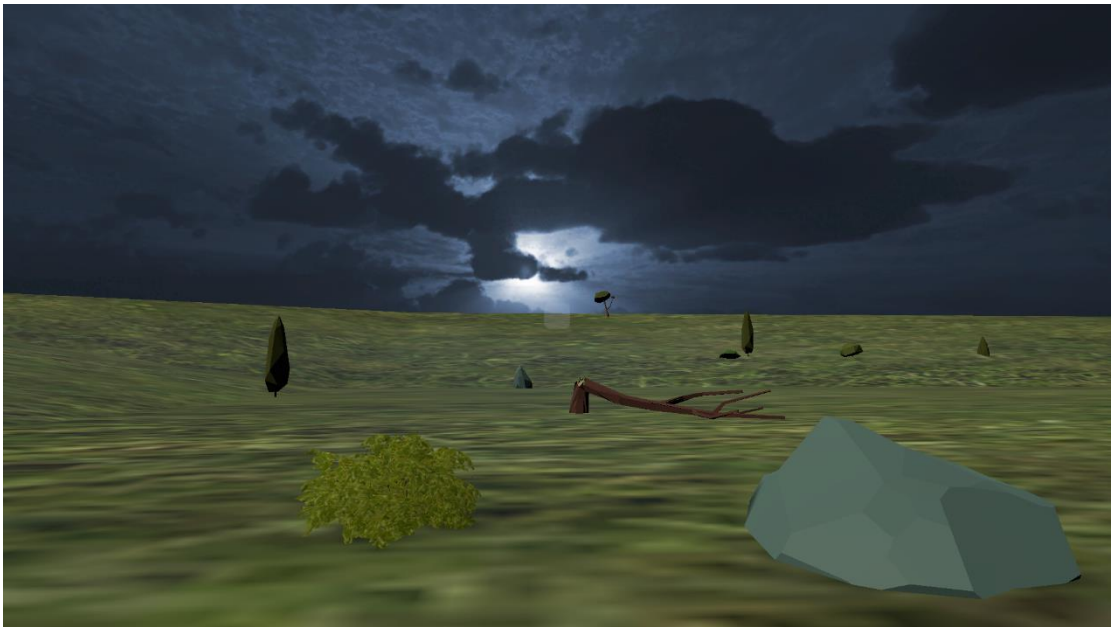
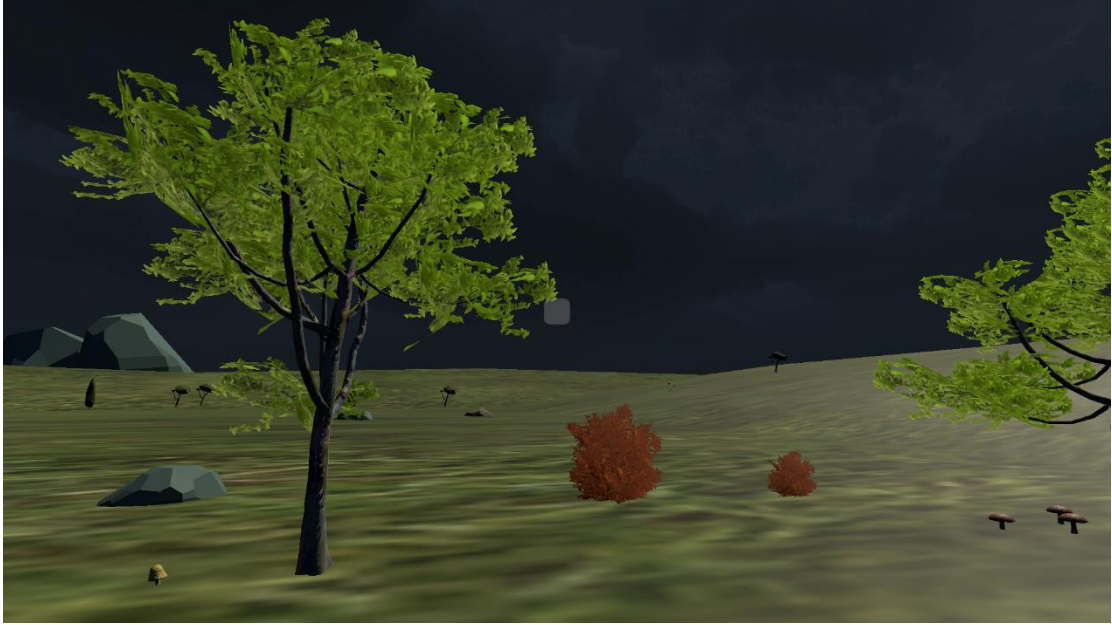




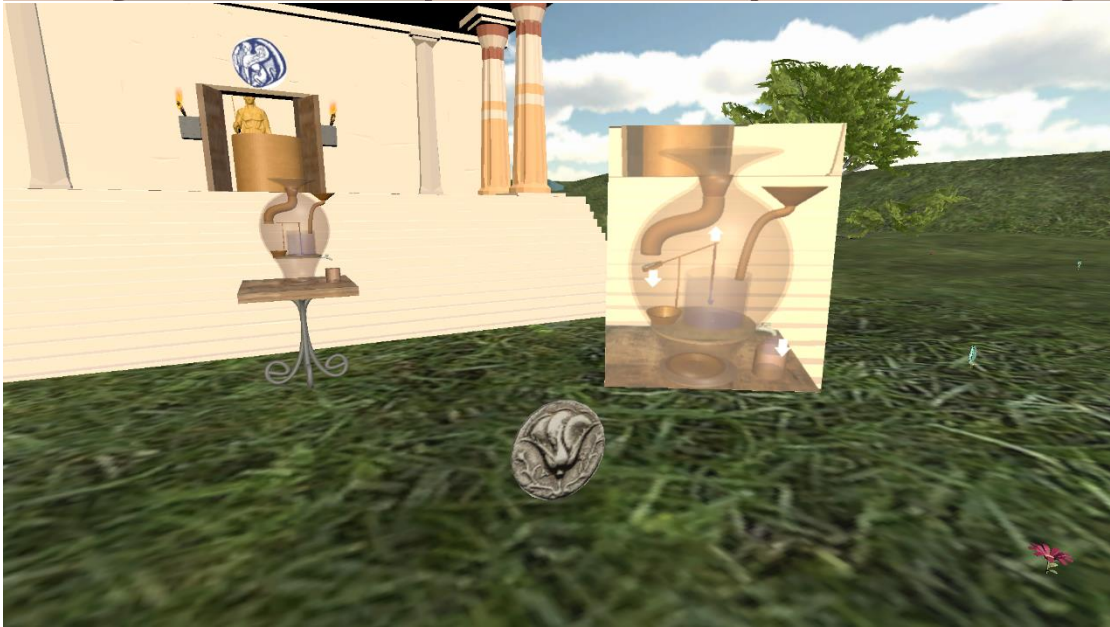






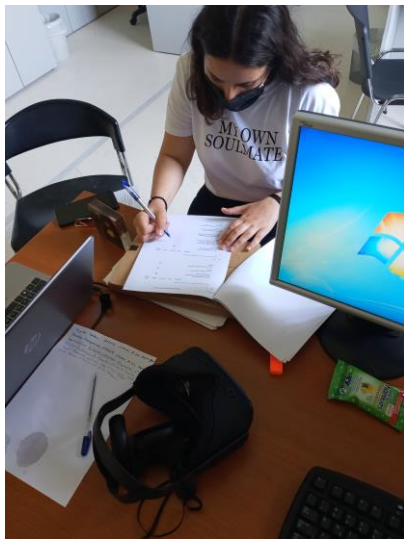


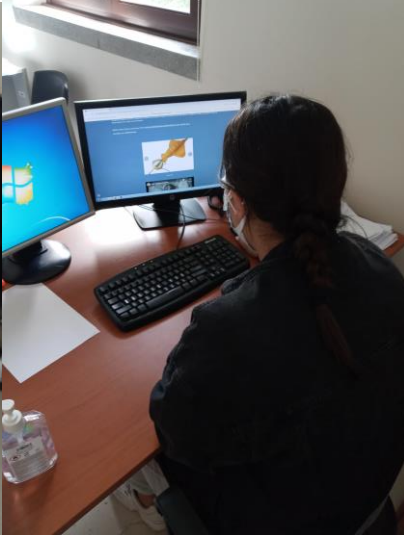
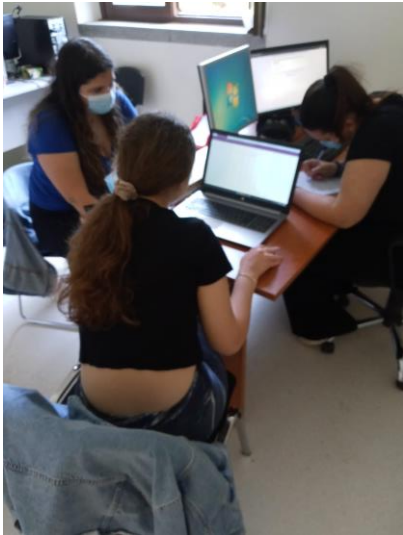




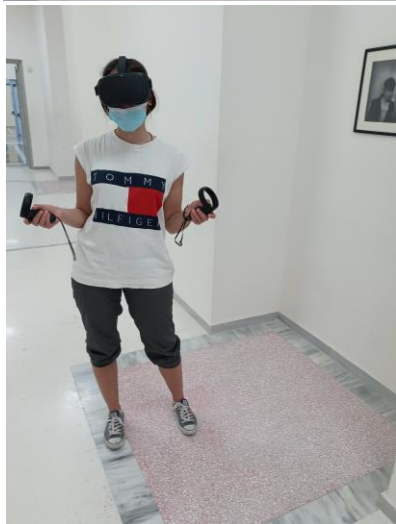
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

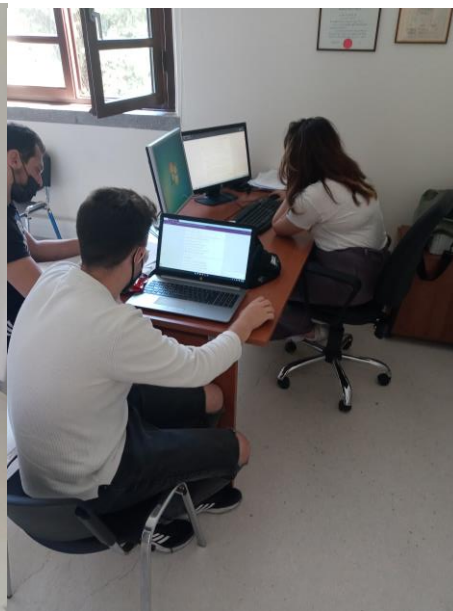
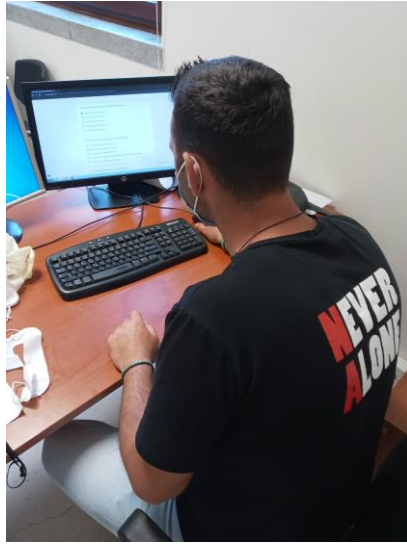














ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΛΟΓΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΑΡΘΡΩΝ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Title	Author
3 - Art, history and culture in digital spaces	Kuksa, Ilyna; Childs, Mark
A journey through the museum: Visit factors that prevent or further visitor satisfaction	[No author name available]
A survey on developing personalized content services in museums	Kosmopoulos, Dimitrios; Styliaras, Georgios
Adapting Museum Visitors as Participants: Benefits their Learning Experience?	Ahmad, Shamsidar; Abbas, Mohamed Yusoff; Yusof, Wan Zaiyana Mohd; Mohd, Mohd; Zaifullah
Adoption and use of emerging cultural technologies in China's museums	[No author name available]
Back to the future: Actualizing technology affordances to transform Emperor terracotta warriors Museum	Tim, Yerni; Ouyang, Tao hua; Zeng, Delin
Content management system incorporated in a virtual museum hosting	Rojas-Sola, Joaquin; Castro-Garcia, Miguel; del Pilar Carranza-Caldas, Maria
Design museum futures: Catalysts for education	Kemp, Sandra
Digital expansions of physical learning spaces - blended learning in Art and Craft & Design in teacher education	Nortvig, Anne-Mette; Petersen, Arne Kristine; Heibinghof, Helle
Digital interaction with 3D archaeological artefacts: evaluating users behaviours at different representation scales	Quattrini, Ramona; Pierdica, Roberto; Paolanti, Marina; Cini, Paolo; Nespeca, Romina; Frontoni, Emma
Enhancing pre-service teachers' concept of Earth Science through an immersive, conceptual museum learning program (Reconceptualising Rocks)	Dawborn-Gundlach, L. Meryn; Pesina, Jenny; Rochette, Emily; Hubber, Peter; Gaiff, Priscilla; Henry, Derm
Experiencing immersive virtual reality in museums	Lee, Hyunae; Jung, Timothy Hyungsoo; Jeon Dieck, M. Claudia; Chung, Namho
Framing the past: How virtual experience affects bodily description of artefacts	Smith, Kathryn; Roughley, Mark; Harris, Samantha; Wilkinson, Caroline; Palmer, Evelyn
Immersive interfaces for Art Education Teaching and Learning in Virtual and Real World Learning Environments	Greffell, Janette
Impact of interactive technologies on stimulating learning experiences in a museum	Pollad, Jesse
Interactive Bakuchi Rakugaki-ju (views in and around Kyoto)	Tosa, Naoko; Nakatsu, Ryohki; Nagao, Makoto; Iwasaki, Naoko; Wada, Tsuneki; Saegusa, Futoshi; Kishiga
Learning cultural heritage by serious games	Mortara, Michela; Catalano, Chiara Eva; Bellotti, Francesco; Fucci, Giusy; Houry-Panchetti, Minica; Petri
Making virtual reconstructions part of the visit: An exploratory study	Penttili, Daniela
Studying the effectiveness of multi-user immersive environments for collaborative evaluation tasks	[No author name available]
Using 3D modelling and game engine technologies for interactive exploration of cultural heritage: An evaluation of four game engines in relation to non	Smith, Matthew; Wallford, Nigel Stephen; Jimenez-Bescos, Carlos
Virtual and interactive museum of archaeological artefacts from Afrosayab Pt - An ancient city on the silk road	Barbieri, Loris; Bruno, Fabio; Muzzapappa, Maurizio
Virtual museum system evaluation through user studies	Goulding, Christina; Soren, Michael; Pressey, Andrew
Presence in themed heritage	Lambertucci, Filippo
Archaeo-mobility, integrating Archaeological Heritage with Everyday Life	Chondros, Thomas G.
Archimedes: life works and machines	Seddenari, Lorenzo; Baccetti, Claudio; Uricchio, Tiberio; Ferracani, Andrea; Bertini, Marco; Del Bimbo, Albe
Chapter 9 - Wearable systems for improving tourist experience	Papathanassiou-Zahrt, Dorotea
Cognitive Load Management of Cultural Heritage Information: An Application Multi-Mix for Recreational Learners	Marghis, Vito M.; Uva, Antonio E.; Fiorentino, Michele; Gattullo, Michele; Boccaccio, Antonio; Monno, G
Enhancing user engagement through the user-centric design of a mid-air gesture-based interface for the navigation of virtual-tours in cultural heritage e	Damiano, Rossana; Lombardo, Vincenzo; Lieto, Antonio; Borra, Davide
Exploring cultural heritage repositories with creative intelligence. The Labyrinth 3D system	Bruno, Fabio; Bruno, Stefano; De Sensi, Giovanna; Luchi, Maria-Laura; Mancuso, Stefano; Muzzapappa, N
From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition	Itani, Omar S.; Hollebeck, Linda D.
Light at the end of the tunnel: Visitors' virtual reality (versus in-person) attraction site tour-related behavioral intentions during and post-COVID-19	Machidon, Octavian M.; Duguleanu, Mihai; Carrozzino, Marcello
Virtual humans in cultural heritage ICT applications: A review	Zhang, Mingmin; Xu, Mingliang; Han, Liheng; Liu, Yong; Lv, Pei; He, Gaoqi
Virtual Network Marathon with immersion, scientificness, competitiveness, adaptability and learning	Gonzalez-Gonzalez, Carina; Blanco-Izquierdo, Francisco
Designing social videogames for educational uses	Faraz, George; Thomopoulos, Christina; Bourantas, Christos; Mitsigkiola, Sofia; Thomopoulos, Stefanos C.
Digital approaches for public outreach in cultural heritage: The case study of eGuide Knossos and Ariadne's Journey	[No author name available]
On the role of interaction in mode and story structure in virtual reality serious games	Huang, Lihui; Tai, Siti Faatihah Birie Mohd; Aung, Ryan; Goh, Zhe An; Mengshan, X. U.
Virtual reality research and development in NTU	Armoqum, A.; Oriolo, E.; Gaston-Bellegarde, A.; Marie, C. Joie-La; Prolino, P.
Designing interaction metaphors for Web3D cultural dissemination	Carrozzino, Marcello; Bruno, Nicoletta; Bergamasco, Massimo
Enhancing the similarities and distinctions between serious games and virtual heritage projects	Champion, Erik
Generating a virtual tour for the preservation of the (intangible) cultural heritage of Tamprines Chinese Temple in Singapore	Mah, Oysten Bang Ping; Yan, Yiqingwei; Tan, Jeonathan Song Yi; Tan, Yi-Xuan; Tay, GERALYN QI YING; Chiam, Da
Knowledge-based parametric modeling for heritage interpretation and 3D reconstruction	Kadi, Hayat; Aneuche, Karima
Virtual reality, presence, and attitude change: Empirical evidence from tourism	Tussyadiah, Is P.; Wang, Dan; Jung, Timothy H.; tom Dieck, M. Claudia
Learning in serious virtual worlds: Evaluation of learning effectiveness and appeal to students in the E-Junior project	Hajirasouli, Aso; Banhashemi, Saeed; Kumarasunyar, Anoma; Talebi, Saeed; Tabadkani, Amir
Stepping stones: Virtual restoration and 3D visualisation of the tessellated 4th century Byzantine synagogue floor at Apamea on Orontes, Syria	[No author name available]
Engaging learners through virtual worlds	Blitz, Adam
Towards a new era for Cultural Heritage Education: Discussing the role of ICT	Oht, Michiko; Pozzi, Francesco
3D survey and virtual reconstruction of archaeological sites	Gardi, Gabriele; Russo, Michele; Angheleddu, Davide

Chapter 14 – Digital twins of cities and evasive futures Virtual and augmented reality for rich interaction with cultural heritage sites: A case study from the Roman Theater at Byblos Virtual interactive innovations applied for digital urban transformations. Mixed approach	Cureton, Paul; Dunn, Nick Younes, Georges; Kahil, Rany; Jallad, Maysa; Asmar, Daniel; Elhajj, Imad; Turkiyah, George; Al-Harithy, H Sanchez-Sepulveda, Monica; Fonseca, David; Franquesa, Jordi; Redondo, Ernesto
1 - Introduction	Huvila, Isto
3 - Liaison and virtual worlds	Crawford, Alice
Integration of 3D and multispectral data for cultural heritage applications: Survey and perspectives A method for image-based shadow interaction with virtual objects	Simon Chiaro, Camille; Mansouri, Alamin; Marzani, Franck S.; Boochs, Frank Ha, Hyunwoo; Ko, Kwanghee
Using interactive 3-D visualization for public consultation	van Schaik, Paul
Virtual Worlds, Opportunities and Challenges in the 21st Century	Gonzalez, Montserrat; Acosta, Santos; Bellón San Nicolás, Vargas, Adrián; Rodríguez, Martín-Gutiérrez
AI Technologies for Education: Recent research & future directions	Zhang, Ke; Ailan, Aysel Begum
3DHDP: 3D Heritage Online Presenter	Potenziani, Marco; Callieri, Marco; Dellepiane, Matteo; Corsini, Massimiliano; Ponchio, Federico; Scopigno
8 - Animation in 3D	Byrne, Bill
Learning in 3D virtual worlds and current situation in Turkey	Ferat, Mehmet
Using games to raise awareness: How to co-design serious mini-games? Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage	De Jans, Steffi; Van Geit, Klara; Cauberghe, Veroline; Hudders, Lisebet; De Veirman, Marijke Rui, Helena; Alvim, Pedro
5 - Stereoscopic 3D	[No author name available]
Affective patterns in serious games	[No author name available]
Audio makes a difference in haptic collaborative virtual environments	Moll, Jonas; Huang, Yinying; Salinos, Eva-Lotta
5th International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics, SALENTO AVR 2018	[No author name available]
3rd International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics, AVR 2016	[No author name available]
2nd International Conference on Augmented and Virtual Reality, AVR 2015	[No author name available]
1st International Conference on Augmented and Virtual Reality, AVR 2014	[No author name available]
2020 16th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM 2020	[No author name available]
12th International Conference on Cross-Cultural Design, CCD 2020, held as part of the 22nd International Conference on Human-Computer Interaction,	[No author name available]
9th International Conference on Design, User Experience, and Usability, DUXU 2020, held as part of the 22nd International Conference on Human-Com	[No author name available]
2019 IEEE 5th Workshop on Everyday Virtual Reality, WEVR 2019	[No author name available]
6th International Conference on Learning and Collaboration Technologies, LCT 2019, held as part of the 21st International Conference on Human-Com	[No author name available]
AAM co-vening on leveraging immersive experiences in Museums	[No author name available]
3rd International Conference on Immersive Learning Research Network, ILRN 2017	[No author name available]
2nd International Joint Conference on Serious Games, JCSG 2016	[No author name available]
Virtual, Augmented and Mixed Reality: Applications of Virtual and Augmented Reality - 6th International Conference, VAMR 2014, Held as Part of HCI in	[No author name available]
Virtual, Augmented and Mixed Reality: Designing and Developing Virtual and Augmented Environments - 6th International Conference, VAMR 2014, Held	[No author name available]
Arts and Technology - First International Conference ARTIT 2009, Revised Selected Papers	[No author name available]
Understanding visitors' immersive experiences in a multisensory architecture exhibition	Aardalen H.F., Skeler R.
Virtual heritage interpretation through animated panoramic illustration of Kota Kuala Kedah	Abd Jabbar E., Jusof M.J.
VIRTUAL REALITY for HISTORICAL ARCHITECTURE	Agnello F., Avella F., Agnello S.
Learning immersion without getting wet	Aguilera J.C.
Lessons learned from reconstruction of a virtual Grotto - From point cloud to Immersive virtual environment	Ahn J., Wohn K.-Y.
The Potential of implementing interactive Storytelling Experience for Museums	Alatrash S., Amabs S., Antle J.K.
Comparing the performance of an Immersive virtual reality and traditional desktop cultural game	An B., Matteo F., Epstein M., Brown D.E.
Creative Industries and Immersive Technologies for Training, Understanding and Communication in Cultural Heritage	Anastasiotis E., Roumeliotis M.
Virtual Museum for the Antikythera Mechanism: Designing an Immersive Cultural Exhibition	Anastasiotis E., Roumeliotis M.
Digital: Building new 3D cultural heritage worlds	Anastasiotis E., Ververidis D., Nikolopoulos S., Kioptsis I.
A framework to design, develop, and evaluate immersive and collaborative serious games in cultural heritage	Andreoli R., Corolla A., Faggiano A., Malarino D., Pirozzi D., Ranaldi M., Santangelo G., Scarano V.
Immersivity and playability evaluation of a game experience in cultural heritage	Andreoli R., Corolla A., Faggiano A., Malarino D., Pirozzi D., Ranaldi M., Santangelo G., Scarano V.

Virtual Museums and Human-VR-Computer Interaction for Cultural Heritage Application: New Levels of Interactivity and Knowledge of Digital Models a	Banfi F.
Virtual Reality for Cultural Heritage: New Levels of Computer-Generated Simulation of a Unesco World Heritage Site	Banfi F., Bolognesi C.M.
Generative modeling, virtual reality and hbm interaction: Immersive environment for built heritage: Case study of shalikh isa bin ali house, Bahrain	Banfi F., Brumana R., Aljehla, Al Sayeh N., Santana Quintero M., Cucca B., Oreni D., Midali C.
A content-based immersive experience of basilica of sant ambrogio in milan: From 3d survey to virtual reality	Banfi F., Brumana R., Stanga C.
User-centered design of a virtual museum system: A case study	Barbieri L., Bruno F., Mollo F., Muzupappa M.
User-centered design of a virtual reality exhibit for archaeological museums	Barbieri L., Bruno F., Muzupappa M.
Virtual Reality meets DeGis: An immersive framework for art exploration and learning	Battisti F., Di Stefano C.
Immersive exhibition design titan belfast and the concept of scenography	Bauer M.
Virtual musealization techniques: The capitals of the monastery of san cugat [Técnicas de musealización virtual. Los capitales del monasterio de san cug	Bernal P.M.C., Rossi A.
The Design of a WebGL-Based 3D Virtual Roaming System for the 8m201C, Batu Hitam&w203D, Shipwreck	Bian G., Wang B.
Immersion as shared imperative: entertainment of/in digital scholarship	Bielb J.S.
SMARTworks: A multi-sided context-aware platform for the smart museum	Biondi S., Catania V., Monteleone S., Palasi M., Patti D.
Authentic interactive reenactment of cultural heritage with 3D virtual worlds and artificial intelligence	Bogdanovych A., Rodriguez-Agullar J.A., Simoff S., Cohen A.
Using 3D/VR for research and cultural heritage preservation: Project update on the virtual Ganjali Khan project	Bozogi K., Lischer-Katz Z.
Educational virtuality: Cognitive benefits, design processes and new frontiers	Brown R., Turley S., Sitbon L.
Virtual museums and built environment: Narratives and immersive experience via multi-temporal geodata hub	Brumana R., Oreni D., Caspani S., Previtali M.
Special Section Preface: Informative Models and Systems for Virtual Museum	Brumana R., Tucci G.
Immersive data comprehension: Visualizing uncertainty in measurable models	Brunet P., Andujar C.
VIRTUAL TOUR IN THE SUNKEN 'WILLA CON INGRESSO A PROTIRO' WITHIN THE UNDERWATER ARCHAEOLOGICAL PARK OF BAIAE	Bruno F., Lagudi A., Barbieri L., Cozza M., Cozza A., Peluso R., Davide Petriaggi B., Petriaggi R., Rizvic S.
Development and integration of digital technologies addressed to raise awareness and access to European underwater cultural heritage. An overview o	Bruno F., Lagudi A., Ritarco G., Agrafiotis P., Skaristas D., Cejka J., Kouřil P., Liarokapis F., Philipin-Briscoe C.
A flexible platform for the creation of 3D semi-immersive environments to teach Cultural Heritage	Bustillo A., Alaguero M., Miguel I., Saiz J.M., Iglesias I.S.
Preserving the Knowledge of the Past Through Virtual Visits: From 3D Laser Scanning to Virtual Reality Visualization at the Istanbul Çatalca İnceşit Cave	Büyüksalih G., Kan T., Özkan G.E., Meriç M., İnan L., Kersten T.P.
Exploring the Feasibility of Diegetic User Interfaces in Immersive Virtual Exhibitions within the Cultural Heritage	Caggianesi G., Gallo L., Neroni P.
Robotics and virtual reality for cultural heritage digitization and fruition	Calisi D., Cottogno F., D'Agostini F., Giannone F., Nenci F., Salonia P., Zaratti M., Zibaro V.A.
A comparison of navigation techniques in a virtual museum scenario	Caputo A., Borin F., Giachetti A.
Gestural interaction and navigation techniques for virtual museum experiences	Caputo F.M., Clorain I.M., Corsi D., De Stefanis M., Giachetti A.
Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums	Carrozzino M., Bergamasco M.
Wofsoniana smart museum. A pilot plant installation of the PALM-Cities Project	Caridi A., Coccolini M., Volpi V.
Comparing Different Storytelling Approaches for Virtual Guides in Digital Immersive Museums	Carrozzino M., Colombo M., Tecchia F., Evangelista C., Bergamasco M.
An immersive information system for the communication of the restoration of Simone Martini's Polyptych	Carrozzino M., Evangelista C., Bay C., Tecchia F., Martoni D., Bergamasco M.
A virtual travel in Leonardo's codex of flight	Carrozzino M., Evangelista C., Fatta C., Duguleana M., Bergamasco M.
Learning from the real versus the replicated: a comparative study	Carsten Corner L.D., Perin S.M.
Time Travel as a Visitor Experience: A Virtual Reality Exhibit Template for Historical Exploration	Cassidy C.A., Fabola A., Oliver I., Miller A.
Image-based virtual tours and 3d modeling of past and current sites for the enhancement of archaeological parks: The visualversilia 3d project	Castagnetti C., Giannini M., Rivola R.
RI-FaRt: Bringing masterpieces in the classroom through immersive virtual reality	Casati A., Spano L.D., Sorrentino F., Scateni R.
Virtual Reality for Immersive Learning in Art History	Cecotti H., Day-Scott Z., Huisinga L., Gordo-Pelaez L.
Immersive Archaeological Storytelling: Using Immersive Technologies to Visit the Ancient Site of Rocca Vecchia (Lecce, ITA)	Cesaria F., Scarano T., Cucinelli M., De Prezzo G., Spiso N., Spada I.
Guidelines for combining storytelling and gamification: Which features would teenagers desire to have a more enjoyable museum experience?	Cesàrio V.
Enhancing Museums' Experiences Through Games and Stories for Young Audiences	Cesàrio V., Coelho A., Nisi V.
Visualizing Ancient Culture Through the Design of Intermodal Extended Reality Experiences	[No author name available]
Time-Layered Gamific Interaction with a Virtual Museum Template	[No author name available]
Digitizing hamp and lepalisi temple ceiling murals: Towards universal access and tangible virtuality	[No author name available]
Museum Immersion Interactive Design: Taking the Children Art Gallery Exhibition as an Example	[No author name available]
Brieviesca in the 15th c.: A virtual reality environment for teaching purposes	[No author name available]
Advantages and limits of virtual reality in learning processes: Brieviesca in the fifteenth century	[No author name available]
A virtual informal learning system for cultural heritage	Chen S., Pan Z., Zhang M.
On the design and player satisfaction evaluation of an immersive gestural game: The case of rntellino Xperience at the Shanghai world expo	Chiabrandino F., Della Coletta C., Sammartano G., Spanò A., Spreafico A.
DEVELOPMENT OF VIRTUAL REALITY APPLICATION FOR CULTURAL HERITAGE VISUALIZATION FROM MULTI-SOURCE 3D DATA	Chironomanski K., Lobodskij L., Puchala K., Ostrowski W.
Interactive Immersive Virtual Museum: Digital documentation for virtual interaction	Clini P., Ruggieri L., Angeloni R., Sasso M.
Modelling a virtual reality system with caching and computing capabilities at mobile user' device	Cong H.P., Tran H.H., Trinh A.V., Vu T.X.
Challenges and strategies for educational virtual reality: Results of an expert-led forum on 3D/VR technologies across academic institutions	Cook M., Lischer-Katz Z., Hall N., Hardesty J., Johnson J., McDonald R., Carlisle T.
Virtual archaeology: From archaeological excavation to the management and diffusion of heritage. Les cases de la catedral (Tortosa) and the protohist	Cots I., Vila J., Dillo J., Ferré R., Riu, Riclo L.

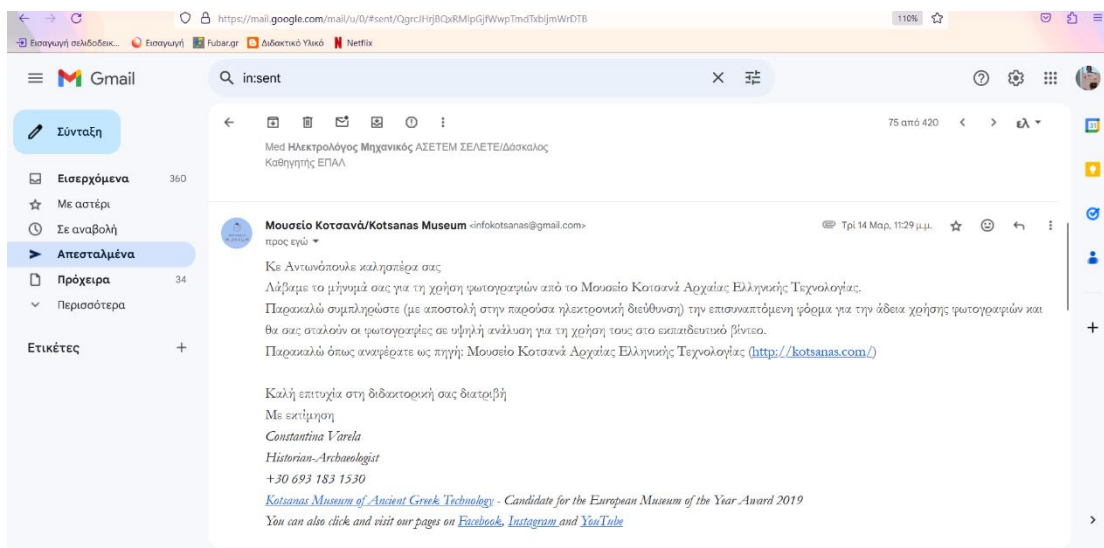
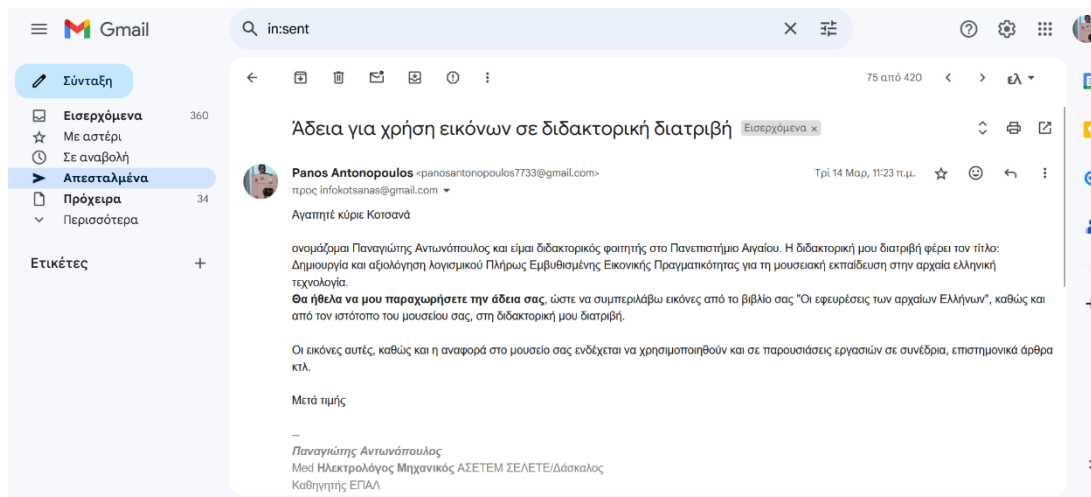
Intermedial museum performance: a reflection on the use of intermedial performance as a medium of immersion at the Barbados Museum & Historical Society	Cox M.A.
Exploration of Coral Reefs in Hawaii through Virtual Reality: Hawaiian Coral Reef Museum VR	Cristobal F.R., Dodge M., Noll B., Rosenberg N., Burns J., Sanchez J., Gotshalk D., Pascoe K., Runyan A.
Data representation, digital economy and virtual museums at the vide laboratory	D'acunto G., Bergamo F., Bortot A., Friso I.
Using serious games for Intangible Cultural Heritage (ICH) education: A journey into the Canto a Tenore singing style	Dagnino F.M., Pozzi F., Cozzani G., Bernava L.
Comparing the Visitor Experience at Immersive and Tablettop Exhibits	Dancstep née Dancu T., Gutwill J.P., Sindruf L.
Technologies and methods for 3D reconstruction in archaeology	Dawn S., Blswas P.
AVI-CH 2018 - Advanced visual interfaces for cultural heritage	De Carolis B.N., Gema C., Kuflik T., Origlia A., Raptis G.E.
Immersive Virtual Reality As A Resource for Unaccessible Heritage Sites	De Gasparis G., Cordisco A., Cucchiara F.
The virtual reconstruction project of unavailable monuments: An example of the church of Santa Maria Paganica in L'Aquila	De Gasparis G., Mantini S., Cordisco A.
Enhancing spherical photography with video game visual effects in virtual reality experiences for users with limited mobility	De Ioannes Becker G., Piza E., Besoin F.
Walking in a Virtual Town to Understand and Learning About the Life in the Middle Ages	De Paolis L.D.
Experiencing a town of the Middle Ages: An application for the edutainment in cultural heritage	De Paolis L.T., Aloisio G., Celentano M.G., Oliva L., Vecchio P.
A simulation of life in a medieval town for edutainment and touristic promotion	De Paolis L.T., Aloisio G., Celentano M.G., Oliva L., Vecchio P.
MediaEvo project: A serious game for the edutainment	De Paolis L.T., Aloisio G., Celentano M.G., Oliva L., Vecchio P.
A multi-channel and multi-sensorial platform for the edutainment in Cultural Heritage	De Paolis L.T., Aloisio G., Celentano M.G., Oliva L., Vecchio P.
Segebag: 3600-reconstructing a historic town for virtual reality visualisation as an immersive experience	De Paolis L.T., Aloisio G., Celentano M.G., Oliva L., Vecchio P.
Giza 3D: Digital archaeology and scholarly access to the Giza Pyramids: The Giza Project at Harvard University	Deggim S., Kersten T.P., Tschirschwitz F., Hinrichsen N.
Framing interaction through engagement in interactive open ended environments	Der Manuelian P.
Virtual Reality and Tourism: Visiting Machu Picchu	Deray K., Simoff S.
Interaction with immersive cultural heritage environments using virtual reality technologies	Diestro Mandros J., Garcia Mercado R., Bayona-Oré S.
Making the invisible visible: Illuminating the hidden histories of the world war I tunnels at vaquols through a hybridized virtual reality exhibition	Drossis G., Biriraki C., Stephanidis C.
Principles for the design of a history and heritage game based on the evaluation of immersive virtual reality video games	Duer Z., Ogle T., Hicks D., Falin S., Tucker T., Yu R.
Video Game Design: A Blueprint for the Metaverse and Education	Egea-Vivancos A., Arias-Ferrer L.
A Conceptual Human-Centered Approach to Immersive Digital Heritage Site/Museum Experiences: The Hidden Waterfall City	Egea-Vivancos A., Arias-Ferrer L.
Workflows and challenges involved in creation of realistic immersive virtual museum, heritage, and tourism experiences: A comprehensive reference to	Esmaili H., Thwaites H., Woods P.C.
A virtual museum installation for time travel	Fabbia A., Kennedy S., Miller A., Oliveri, McCaffery J., Cassidy C., Clemens J., Vermehren A.
A novel immersive VR game model for recontextualization in virtual environments: The μVRmodel	Fanini B., Pagano A., Ferdani D.
Knowledge and valorization of historical sites through 3D documentation and modeling	Farella E., Menna F., Noceirino E., Morabito D., Remondino F., Campi M.
VR for cultural heritage: AVR-WEB-BIM for the future maintenance of Milan's cathedral	Fassi F., Mandelli A., Teruggi S., Rechichi F., Fiorillo F., Achille C.
Natural experiences in museums through virtual reality and voice commands	Ferracani A., Faustino M., Giannini G.X., Landucci L., Del Limbo A.
Digitization and Design of Archaeological Heritage: An Interdisciplinary Research Approach to Flaminia Cultural District	Ferretti M., Quattrini R.
A 3D virtual tour of the Santa Maria della Scala Museum Complex in Siena, Italy, based on the use of Oculus Rift HMD	Fineschi A., Pozzabon A.
Virtual Journey through the history of Fort Saint Jean, Marseille (VJ-FSJ Project): Case Study: New Media exhibit at the Musée des civilisations de L'Euro	Fischaller F.
The Last Supper Interactive: Stereoscopic and ultra-high resolution 4K/3D HD for immersive real-time virtual narrative in Italian Renaissance Art	Fischaller F., Ferrari I., Giannotta M.T., Dell'Aglio A.
From museum to original site: A 3d environment for virtual visitors to find re-contextualized in their original setting	Garcia G., Sáiz B., Contreras G., James D., Soriano A.
Immersive virtual reality to visualise the visible and infrared layer of a medieval altarpiece	García-Cardona S., Tian F., Prakoonwit S.
Tenochtitlan - An interactive Virtual Reality Environment that Encourages Museum Exhibit Engagement	Garzotto F., Gelsomini M., Matarazzo V., Messina N., Occhiuto D.
XOOM: An end-user development tool for web-based wearable immersive virtual tours	Garzotto F., Matarazzo V., Messina N., Gelsomini M., Riva C.
Improving museum accessibility through storytelling in wearable immersive virtual reality	Georgiou G., Anastasovits E., Nikolopoulos S., Kompatsiari I.
EPANASTASIS-1821: Designing an Immersive Virtual Museum for the Revival of Historical Events of the Greek Revolution	Gessner I.
Tamiko Thiel's virtual reality installations as sites of learning in and beyond the museum	Ghadban S., Hassan R., Abu uldi O., Khateeb Y.
The development of an interactive virtual environment for hisham palace in jericho, palestine	Ghani I., Raffi A., Woods P.
The effect of immersion towards place presence in virtual heritage environments	Ghani I., Raffi A., Woods P.
Sense of place in immersive architectural virtual heritage environment	Gobira P., Mozelli A.
An Artistic and Curatorial Installation in Virtual Reality: The Development of an Artistic Low-Cost Interface at University	González-Rodríguez M.R., Díaz-Fernández M.C., Pino-Mejías M.A.
The impact of virtual reality technology on tourists' experience: a textual data analysis	Goren A., Kohlineyer K., Bremer T., Bandhorst S., Kai-Browne A., Balda F., Strippgen D., Piesch S.
Interacting with simulated archaeological assets	Grazioli G.
ArcheoGchi - A virtual reconstruction of a medieval cathedral in Southern Italy	

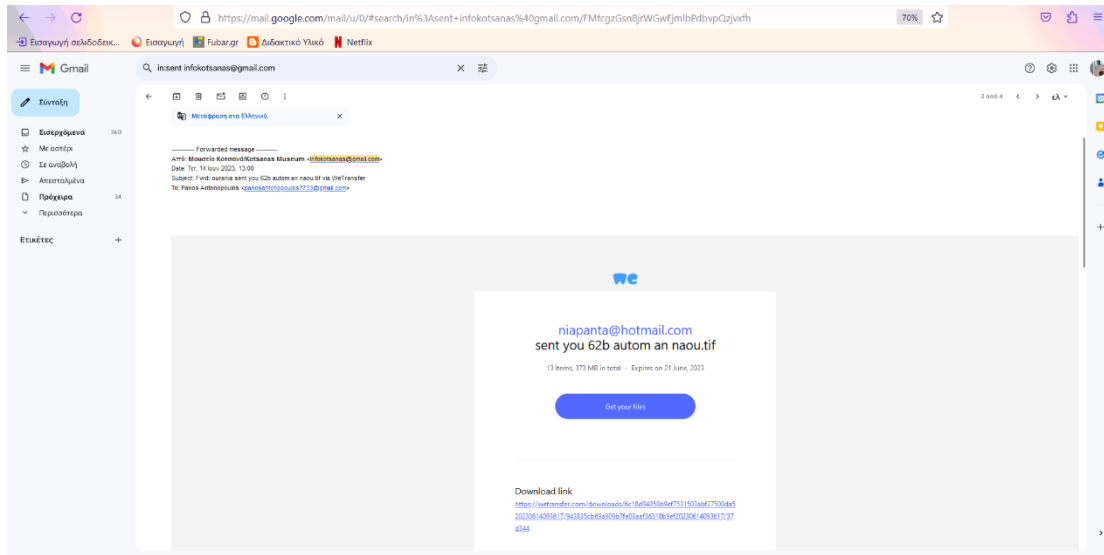
The (Digital) Majesty of All Under Heaven: Affective Constitutive Rhetoric at the Hong Kong Museum of History's Multi-Media Exhibition of Terracotta Capturing and Representing BRDFs for Virtual Reality	Gruber D.R., Guarrera D., Guarnera G.C., Ghosh A., Hall L., Glencross M., Hakilla J., Hannula P., Luino E., Launne E., Mustonen S., Westerlund T., Colley A.
Visiting a virtual graveyard - Designing virtual reality cultural heritage experiences	
The immersive museum	Hakvoort G.
A framework for constructing and evaluating the role of MR as a holographic virtual guide in museums	Hammady R., Ma M., Al-Khalifa Z., Strathearn C.
A Compelling Virtual Tour of the Dunhuang Cave with an Immersive Head-Mounted Display	Han P.-H., Chen Y.-S., Liu L.-S., Jiang Y.-P., Tsai L., Chang A., Hung Y.-P.
Virtual and augmented reality for cultural computing and heritage: A case study of virtual exploration of underwater archaeological sites (preprint)	Haydar M., Rousset D., Majidi M., Otmane S., Mallein M.
Immersive gamified environments (IGEs) as an approach to assess subjective qualities of daylighting in architectural spaces	Hegazy M., Yasufuku K., Abe H.
Libraries and museums in virtual worlds: adoption of immersive learning environments	Hill V., Lee H.-J.
Maya Island virtual museum: A virtual learning environment, museum, and library exhibit	Hill V., Mystakidis S.
Virtual museums: Platforms, practices, prospects	Ho C.M.L.
Mobile learning in art museum—the immersive teaching on arts and humanities	Hsu J.H., Wang C.H.
An Immersive Virtual Reality Museum via Second Life: Extending Art Appreciation from 2D to 3D	Huang Y.-C., Han S.R.
Using digital extensions to create new VR museum experiences	Hurst W., Tan X.J., De Coninck F.
Virtual Reality Arcade Game in Game-Based Learning for Cultural Heritage	Iacono S., Zolezzi D., Vercelli G.
Technology to Support Tourism Innovation and Cultural Heritage: Development of an Immersive Virtual Reality Application	Iacovino A., De Paolis L.T., Ndou V.
Parian marble: A virtual multimodal museum project	Iordanides M., Chatzigeorgiou P., Niko Iakopolou V., Leventis G., Papaioannou E., Athanasiou V., Sovis C.
Designing for play and appropriation in museum experiences involving tangible interactions and digital technologies	Iordanidis P.
Knowledge visualization of large-size architectural heritage: A research experience on Yanqing Section of Chinese Great Wall	Issimi G.
Digital dome versus desktop display in an educational game: Gates of Honor	Jacobson J.
Immersive and collaborative classroom experiences in virtual reality	Jacoby D., Ralph R., Preston N., Coady Y.
Reconstructing traditional Chinese paintings: with immersive virtual reality	Jin S., Fan M., Wang Y., Liu Q.
X3DOM as carrier of the virtual heritage	Jung Y., Behr J., Graf H.
Can virtual museums motivate students? Toward a constructivist learning approach	Katz J.E., Halpern D.
Embodiment, Engagement, and Immersion in Digital Cultural Heritage	Kendredine S.
Immersive visualization architectures and situated embodiments of culture and heritage	Kendredine S.
The selimye mosque of edirne, Turkey—An Immersive and interactive virtual reality experience using htc vive	Kersten T.P., Buyukcalik G., Tschirschwitz F., Kan T., Deggim S., Kaya Y., Baskaraca A.P.
Virtual reality for cultural heritage monuments – from 3D data recording to immersive visualisation	Kersten T.P., Tschirschwitz F., Deggim S., Lindstaedt M.
The historic wooden model of Solomon's Temple: 3D recording, modelling and Immersive virtual reality visualisation	Kersten T.P., Tschirschwitz F., Lindstaedt M., Deggim S.
Storytelling framework with adaptive interaction system for interactive content in virtual museum	Khundam C., Noel F.
With New Eyes I See: embodiment, empathy and silence in digital heritage interpretation	Kidd J.
Public heritage and the promise of the digital	Kidd J.
H-treasure hunt: A location and object-based serious game for cultural heritage learning at a historic site	Kim H., An S., Keum S., Woo W.
Immersive Art as Gesamtkunstwerk in Contemporary Museum: Artistic and Curatorial Practice	Kiseleva E.I.
Video-mediated participation in virtual museum tours for older adults	Kostska G., Vermeeren A.P.S., Kort J., Gulström C.
Digital Geometry for Virtual Museum Based on Field Studies	Kristianto T.A., Ekaswidi N.M., Arifianto D., Ardianto O.P.S., Budiarto C.A.
Application of binocular audio techniques for immersive fruition of cultural heritage	Lapini A., Calamai G., Argenti F., Carragni M.
An immersive e-learning system providing virtual experience	Lee S., Ko J.-G., Kang S., Lee J.
System development of immersive technology theatre in museum	Lee Y.-C.N., Shan L.-T., Chen C.-H.
A SAR-based interactive digital exhibition of Korean cultural artifacts	Lee Y., Choi J., Ahmed B., Kim Y.H., Lee J.H., Son M.G., Yoo J.D., Lee K.H.
Digital museums of cultural heritages in Kyoto: The Gion festival in a virtual space	Li L., Hasegawa K., Fukumori T., Wakita W., Tanaka S., Nishura T., Hachimura K., Tanaka H.T.
Multuser interaction with Hybrid VR and AR for Cultural Heritage Objects	Li Y., CHNG E., Cai S., See S.
Interactive computer-based system to promote the exploration of Tumaco's culture	Lina Marcela Valencia C., Juan Miguel Cardona A., Navarro-Newball A.A.
Presenting cyborg cultural heritage in virtual reality: A user evaluation	Loizides F., El Kater A., Terlikas C., Lanitis A., Michael D.
An intelligent, interactive and interoperable platform for the 21st century museums	Longo F., Nicoletti L., Padovano A., Solis A., Morzon A.
Virtual Reality to improve Human Computer Interaction for Art	Lteif F.C., Daher K., Angelini L., Mugellini E., Khaled O.A., Hajj H.E.
Heritage Education for Primary Age Through an Immersive Serious Game	Luigini A., Basso A.
Immersive and participatory serious games for heritage education, applied to the cultural heritage of South Tyrol.	Luigini A., Parricchi M., Basso A., Basso D.
Virtual Immersive environments for underwater archaeological exploration	Magrini M., Pascali M.A., Reggiani M., Salvetti O., Tampucci M.
Design of a virtual tour for the enhancement of Liria's architectural and urban heritage and its surroundings	Macas J.M., Vihals M.J.
VirtualTour: A system for exploring cultural heritage sites in an immersive way	Małomo L., Bantele F., Pingi P., Cabellone F., Scopigno R.

VR Based Underwater Museum of Andaman and Nicobar Islands	Manjia T., Francis A., Sankar N., Azzarudin T., Magesh B.
Navigation Comparison between a Real and a Virtual Museum: Time-dependent Differences using a Head Mounted Display	Marin-Morales J., Higuera-Trujillo J.L., De-Juan-Ripoll C., Linares C., Guixeres J., Ibarra S., Alcañiz M.
Real vs. Immersive-Virtual emotional experience: Analysis of psycho-physiological patterns in a free exploration of an art museum	Marin-Morales J., Higuera-Trujillo J.L., Greco A., Guixeres J., Linares C., Gentili C., Scillingo E.P., Alcañiz M.
Real vs. Immersive Virtual Emotional Museum Experience: a Heart Rate Variability Analysis during a Free Exploration Task	Marin-Morales J., Higuera-Trujillo J.L., Linares C., Guixeres J., Alcañiz M., Valenza G.
Presence and navigation: A comparison between the free exploration of a real and a virtual museum	Marin-Morales J., Linares C., Higuera-Trujillo J.L., Guixeres J., Alcañiz M., De Juan C., Ibarra S.
Immersive installation: "A virtual 51 kids"	McCahey J., Kennedy S., Miller A., Oliver L.
Measurement of immersive technology for historic scenes	McCahey J., Miller A., Oliver L.
Use of a video game to learn about heritage sites of Atacama Region: A pilot experience	Melendez Araya N.M., Gallardo Arancibia J.A., Palma Villalón J.A.
Museopolis and re-enactment of the museum visits: An approach centred on visual ethnology	Mencarelli R., Puhli M.
Representing and communicating the cultural heritage: construction of virtual urban and architectural scale places for learning	Meschini A., Feriozzi R.
Museum for All: Wearable Immersive Virtual Tours in Museums for People with Neurodevelopmental Disorders	Messina N., Matarazzo V., Occiuto D., Gelbomni M., Garzotto F.
Archaeological landscape heritage: Museums' systems between narrative techniques and multimedia tools	Michela B., Alessandro M., Martina S.
Virtual museum for people with low vision: Comparison of the experience on flat and head-mounted displays	Mura T., Ando G., Onishi J., Matsuo M., Sakajiri M., Ono T.
Low-cost creation of a 3D interactive museum exhibition	Mornaigh D., O'Sullivan J., O'Connor N.E., Kelly B., Kazmierczak O., Comer L.
Culture 4 all: accessibility-enabled cultural experiences through immersive VR360 content	Montagud M., Orero P., Matamala A.
Towards an Immersive and Accessible Virtual Reconstruction of Theaters from the Past	Montagud M., Segura-Garcia J., De-Rus J.A., Jordano R.F.
Immersive observation support system toward realization of "interactive museum": Observing "live" extinct animals while walking in a virtual paleontological museum	Nakayama T., Yoshida R., Nakada T., Ogitsu T., Mizoguchi H., Izuishi K., Kusunoki F., Muratsu K., Inagaki S.
EMOTIONS3D: Remediating the digital museum	Nancarrow J., H.
Evaluation of historical museum interior lighting system using fully immersive virtual luminous environment	Nawab M., Biseqna F., Gugliemetti F.
Novel virtual reality solutions for captivating virtual underwater tours targeting the cultural and tourism industries	Nomikou P., Pefthianides G., El Saier A., Karantziolos K., Stentouris C., Bejelou K., Antoniou V., Douza M., O'Connor S., Colreavy-Donnelly S., Dunwell I.
Fostering engagement with cultural heritage through immersive vr and gamification	O'Connell S., Colreavy-Donnelly S., Dunwell I.
Virtual reality models based on photogrammetric surveys-a case study of the iconostasis of the serbian orthodox cathedral church of saint nicholas in SObradović M., Vasiljević I., Durić I., Kikanović J., Stojaković V., Obradović R.	O'Connell S., Colreavy-Donnelly S., Dunwell I.
If this place could talk ... First World War tunnel warfare through haptic VR	Ogle J.T., Duer Z., Hicks D., Fralin S.
Skeletal input for user interaction in XR3D	Olbrić M., Franke T., Keil J., Herling S.
VR minecraft museum: Case study of a webVR application	Oliver A., del Molino J., Cahellas M., Clar A., Biliboni A.
ArkaeMison VR game: User experience research between real and virtual pastum	Paganò A., Palombini A., Bozzelli G., De Nino M., Cerato L., Ricciardi S.
New Technologies and Tools for Immersive and Engaging Visitor Experiences in Museums: The Evolution of the Visit-Actor in Next-Generation Storytelling	Pantile D., Frasca R., Mazzeo A., Ventrella M., Verreschi G.
Re-construction and virtual fruition of a fourteenth-century religious building	Pappa L.M., Antuono G., Cerbone A.
Preparing Student Mobility Through a VR Application for Cultural Education	Pappa G., Ioannou N., Christofi M., Lanitis A.
The effect of applying film-induced tourism to virtual reality tours of cultural heritage sites	Park H., Kim J., Bang S., Woo W.
Creating immersive experiences in the Sokcho museum	Park Y.O., Ba E.S.
Digital heritage technology at the archaeological museum of heraklion	Partarakis N., Koniaki E., Zidiakakis E., Drossis G., Bifirali C., Metaxakis G., Banka A., Poutouris V., Mathio Parthenos P., Androulaki T.
Exploring the Possibilities of Immersive Reality Tools in Virtual Reconstruction of Monuments	Passebois Ducros J., Euzéby F.
Investigating consumer experience in hybrid museums: a neurographic study	Peng S.-T., Hsu S.-Y., Hsieh C.-K.
An interactive immersive serious game application for kunyu quantum world map	Pescarini S., D'Annabile E., Ferrini B., Ferràni D.
Prototyping on site Virtual Museums: The case study of the co-design approach to the Palatine hill in Rome (Barberini Vineyard) exhibition	Petersen G.B., Moritelson A., Malkransky G.
Pedagogical agents in educational vr: An in the wild study	Petridis P., Dunwell I., Liarokapis F., Constantinou G., Arnab S., De Freitas S., Hendrix M.
The herbert virtual museum	Pettoello G.
A user-centered immersive experience for heritage exploration	Pisani M., Sanjust P.
HieroQuest - A serious game for learning Egyptian hieroglyphs	Piccher D.A., Herber F., Eichhorn C., Pongratz A., Tamson G., Klinker G.
Developing experiential processes: creative process behind the design and production of immersive exhibitions	Popolizi Z., Derda I.
Initial user-centered design of a virtual reality heritage system: Applications for digital tourism	Poux F., Valembois O., Mattes C., Kobbelt L., Billon R.
Design and evaluation on the immersive Virtual Reality system in learning archaeology	Pumomo F.A., Pratipto E.H., Bahtiar F.S., Riasati B.K., Puspitasari L., Ardhianna N.
Tate Sensorium: an experiment in multisensory immersive design	Pursey T., Lomas D.
Metrics for evaluation of educational experiences: Will virtual reality have impact?	Ralph R., Jacoby D., Coady Y., Balachandrar D., Burt E., Hnguyen N., Kim J., MacLang K., Wong S., Bafia L.
Using Immersive Virtual Reality in Ancient Egypt's Giza Plateau	Rated D., Hoory H., Halbal F., Azab N.
Virtual simulation of a late antique shipwreck at Marzamemi, Sicily: Integrated processes for 3D documentation, analysis and representation of underwater experience the past: Lessons from a visitor survey on how immersive technologies can support historic interpretation	Repola L., Scotti di Carlo N., Signorotti D., Leidwanger J.
Player satisfaction evaluation of an immersive gestural game	Res S.A., Cifaro F.
On the design and player satisfaction evaluation of an immersive gestural game: The case of Tortellino X-perience at the Shanghai world expo	Resmanen M., Diaz L., Horrtana T.
	Rocchetti M., Someraro A., Marfia G.

Increasing the Museum Visitor's Engagement Through Compelling Storytelling Based on Interactive Explorations	Rodrigues A., Campos P., Cabral D.
Designing Soundscapes for Presence in Virtual Reality Exhibitions: A Study of Visitor Experiences	Rudl J.
An interactive tool chain for collaborative virtual museums in immersive virtual environments	Sachse D., Weyers B., Kuhlén T.W., Luther W.
Characters and virtual environments: gamification oriented museum Personajes y entornos virtuales orientados a la gamificación museal	Sanchez G.M.
Success Strategies for Dealing With New Technology in Museums: A Case Study of Immersive Technology at the Immigration Museum, Melbourne	Schettino P.
Home, sense of place and visitors' interpretations of digital cultural immersive experiences in museums: An application of the "embodied constructivist	Schnabel M.A., Aydin S., Moleta T., Pierini D., Dorta T.
Unmediated cultural heritage via HIVE 3D: Collecting individual and collective narratives with 3D sketching	See Z.S., Santano D., Sansom M., Fong C.H., Thwaites H.
Tomb of a Sultan: A VR Digital Heritage Approach	Setlow A.M., Andersen A., Gerwey C.V., Popescu C.
Reviews September 2018	Settembrini F., Angelini M.G., Costantino D.
The Virtual Reconstruction and Interaction System of Tomb of Tang Dynasty Prince Yide	Shang Y., Zhang S., Huo Y., Wen C.
Project IMARECULTURE: Advanced VR, immersive serious games and augmented reality as tools to raise awareness and access to European underwater	Starafato D., Agrafiotis P., Balogh T., Bruno F., Castro F., Petriaggi B.D., Demestichis S., Doulamis A., Drap
Virtually being Lenin enhances presence, and engagement in a scene from the Russian Revolution	Stater M., Navaro X., Valente J., Oliva R., Beacco A., Thom J., Watson Z.
Cultural heritage omni-stereo panoramas for immersive cultural analytics: From the Nile to the Hijaz	Smith N.G., Cutchis S., Koelma R., Aireworth R.A., Sandin D.J., Schulze J., Prudhomme A., Kuester F., Levy
Demo paper: Virtual and Immersive experience presentation of Cultural Heritage Sites	Smith S., Churchill S., Rockwood A., Saad A., Smith N.G., Levy T.E.
A digital reconstruction of a historical building and virtual reintegration of mural paintings to create an interactive and Immersive experience in virtual r	Soito Martin O., Fuentes Pomb A., Martin Gubierrez J.
Haptic rendering of cultural heritage objects at different scales	Sreeni K.G., Piyadarshini K., Praseedha A.K., Chaudhuri S.
The Immersive cultural museum experience - Creating context and story with new media technology	Stegner M.B.
Virtualization and Exploration of the Garudaia Historical Objects Using Immersive Devices	Sumpeno S., Achmadlanto Y.R., Zairi A., Purwitasari D.
Immersive Hand Gesture for Virtual Museum using Leap Motion Sensor Based on K-Nearest Neighbor	Sumpeno S., Gede Aris Dhamayasa I., Nugroho S.M.S., Purwitasari D.
TE	Sundén E., Lundgren I., Ynnerman A.
Usability comparison of screen based and virtual reality based virtual museums	Takeuchi K., Hayashi M., Bachelder S., Hirayama M.J.
Development of VR museum and a comparison with the screen based virtual museum	Terlikkas C., Poullis C.
Towards a more effective way of presenting virtual reality museums exhibits	Tokuoka M., Mizoguchi H., Egusa R., Inagaki S., Kusunoki F., Sugimoto M.
On the design and player-satisfaction evaluation of an immersive gestural game: The case of tortellino X perience at the Shanghai world expo	Tong Y., Cui B., Chen Y.
Research on UI visual design of intangible cultural heritage digital museum based on user experience	Toussaint K.T.D., Fals.
THE DIGITAL RESTITUTION OF LOT 3317: USING UNDERWATER IMAGE BASED MODELLING TO GENERATE VALUE IN VIRTUAL HERITAGE EXPERIENCES	Tuzio I., Savini F., Giannangeli A., Fiore S., Maira A., Fabbrocino G., Ruggieri A.
Versatile tools: Digital survey and virtual reality for documentation, analysis and fruition of cultural heritage in selamic areas	Tzortzi K.
VIRTUALISING AN OTTOMAN FORTRESS - LASER SCANNING AND 3D MODELLING for the DEVELOPMENT of AN INTERACTIVE, IMMERSIVE VIRTUAL REAL	Valzano V., Negro F., Foschi R.
On the design and player satisfaction evaluation of an immersive gestural game: The case of tortellino X perience at the Shanghai world expo	Vieira J., Nobrega R., Pereira V., Coelho A., Jacinto A., Morais C.
Interactive digital environments for cultural heritage and mu building a digital ecosystem to display hidden collections	Vukotic I., Moyses E., Bianchi R.M., ATLAS outreach group
Museum architectures for embodied experience	Wallgrün J.O., Huang J., Zhao J., Ebert C., Roddy P., Awe J., Mürtha T., Klippel A.
The Gallery of the Castromediano's Castle. Three-dimensional reconstruction and virtual representation	Walmsley A., Kersten T.P.
Knowledge analysis automatic evaluation in virtual reality immersive experiences	Weibel S., Obrich M., Franke T., Kell J.
ATLASrift: A virtual reality application	Xiao J., Furukawa Y.
Immersive technologies and experiences for archaeological site exploration and analysis	Xu Q., Brown A., Moleta T., Schnabel M.A., Rogers M.
Immersive experience of current and ancient reconstructed cultural attractions	Yoshida R., Egusa R., Saito M., Namatame M., Sugimoto M., Kusunoki F., Yamaguchi E., Inagaki S., Takeda
Reconstructing the World's Museums	Yoshida R., Tamaki H., Sakai T., Egusa R., Saito M., Kamiyama S., Namatame M., Sugimoto M., Kusunoki F.
Inhabiting 'Prosperous Suzhou' through Smart VR	Yoshida R., Tamaki H., Sakai T., Nakadai T., Ogitsu T., Takemura H., Mizoguchi H., Namatame M., Saito M.
BESIDE: Body experience and sense of immersion in digital paleontological environment	Yu J., Wang Y.
BESIDE: Immersive system to enhance learning within a museum	Yuhui Y., Hao Z., Jiang Y.
Novel application of Kinect sensor to support immersive learning within museum for children	Zhang F., Wu Q.
Research on the application trend of immersive game interactive experience space in museum	Zhao Y., Forte M., Kopper R.
The development and educational application of edtable university digital museum	Zhong H., Wang L., Zhang H.
Interactive Design for Real World Mapping of Virtual Reality	Zidanakis E., Parrakis N., Ntoa S., Dimopoulos A., Kopsidalis S., Ntaglianta A., Ntfortis E., Xhakto A., Pevol
VR Touch Museum	Ferdani, Daniele; Fanni, Bruno; Piccoli, Maria Claudia; Carboni, Fabiana; Vigliarolo, Paolo
The application of virtual reality technology in the digital preservation of cultural heritage	Choi, Hee-soo; Kim, Sang-heon
The invisible museum: A user-centric platform for creating virtual 3D exhibitions with VR support	[No author name available]
3D reconstruction and validation of historical background for immersive VR applications and games: The case study of the Forum of Augustus in Rome	Loatza Carvajal, Daniel Alejandro; Morita, Marif A Mercedes; Blimes, Gabriel Mario
A content service deployment plan for metaverse museum exhibitions3D Centering on the combination of beacons and HMDs	Gurtentag, Daniel A.
Computer simulation and VR model of the Tesla's Wardenclyffe laboratory	Feng, Zhenan; Gonzalez, Vicente A.; Amor, Robert; Lovreglio, Ruggiero; Cabrera Guerrero, Guillermo
Virtual museums: Captured reality and 3D modelling	Narciso, David; Peres, Emanuel
Virtual reality: Applications and implications for tourism	Sun, Huey Min; Li, Shang Phone; Zhu, Yu Qian; Hsiao, Bo
Immersive virtual reality serious games for evaluation training and research: A systematic literature review	Cheng, Chunming; Kang, Li Cai; Salhua; Li, Jiyao; Sun, Ruizhi
MiVAR Mobile Prototypes: Visualizing Virtually Reconstructed Ancient Structures in Situ	
The effect of user's perceived presence and promotion focus on B usability for interacting in virtual environments	
Virtual Display and Interactive Experience Platform of Farming Culture Based on Unity3D	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: ΑΔΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΑΡΧΑΙΑΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΟΤΣΑΝΑ





ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: ΑΦΗΓΗΣΕΙΣ

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΕΕΠ

Η αιολόσφαιρα του Ήρωνα του Αλεξανδρινού

Ο Ήρων ο Αλεξανδρινός ήταν ένας από τους μεγάλους εφευρέτες μηχανικούς της αρχαιότητας. Διετέλεσε διευθυντής της περίφημης ανώτατης τεχνικής σχολής της Αλεξάνδρειας η οποία είναι το πρώτο τεχνολογικό Πανεπιστήμιο στην Ιστορία. Η πόλη της Αλεξάνδρειας υπήρξε μεγάλο πολιτιστικό κέντρο κατά την ελληνιστική εποχή.

Η αιολόσφαιρα χρονολογείται τον 1^ο μ.Χ. αιώνα και τη συναντούμε στο έργο του Ήρωνα «Πνευματικά». Η χρήση της ήταν για επίδειξη καθώς δεν χρησιμοποιήθηκε κάπου. Η σπουδαιότητα της μηχανής αυτής είναι πολύ μεγάλη, διότι αποδεικνύει ότι οι αρχαίοι Έλληνες γνώριζαν την κίνηση με ατμό, η οποία αποτέλεσε μια από τις βάσεις της βιομηχανικής επανάστασης που έγινε πολλούς αιώνες μετά.

Η αιολόσφαιρα δουλεύει ως εξής: Κάτω από τον στάτορα της μηχανής, ο οποίος είναι το σταθερό μέρος της μηχανής, ανάβει φωτιά με τη χρήση ενός πυρσού. Μέσα στη μηχανή υπάρχει νερό, το οποίο με την άνοδο της θερμοκρασίας αρχίζει να βράζει. Δημιουργούνται πίδακες ατμού, οι οποίοι εξέρχονται από τις δυο εξατμίσεις της μηχανής και προκαλούν την περιστροφή του ρότορα, δηλαδή του κινητού μέρους της μηχανής.

Για να τη θέσεις σε λειτουργία, πιάσε τον πυρσό και βάλε φωτιά στα ξύλα της μηχανής.

Το φλογοβόλο των Βοιωτών

Το φλογοβόλο των Βοιωτών αποτελεί το πρώτο φλογοβόλο της Ιστορίας. Χρησιμοποιήθηκε στην μάχη του Δήλιου από τους Βοιωτούς ενάντιον των Αθηναίων και μπορεί να χαρακτηριστεί ως το υπερόπλο του Πελοποννησιακού πολέμου. Η μάχη του Δήλιου έλαβε χώρα το 424 π.Χ. στο σημερινό Δήλεσι Βοιωτίας. Με τη βοήθεια του φλογοβόλου οι Βοιωτοί κατέκαψαν τα ξύλινα τείχη του αθηναϊκού οχυρού και έτσι οι φρουροί αναγκάστηκαν να φύγουν.

Αποτελείται από ένα δοκάρι, το οποίο είναι σκαμμένο εσωτερικά για να είναι κούφιο. Το δοκάρι είναι πριονισμένο κατά μήκος και ξαναενωμένο. Μέσα στο δοκάρι βρίσκεται ένας σιδερένιος σωλήνας ο οποίος ενώνει τον φουσητήρα με το καζάνι της μηχανής το οποίο κρέμεται από αλυσίδες.

Το φλογοβόλο λειτουργεί ως εξής: Με τη βοήθεια του φουσητήρα δημιουργείται ρεύμα αέρα, ο οποίος μπαίνει με ορμή μέσα στο καζάνι της μηχανής όπου καίνε αναμμένα κάρβουνα, πίσσα και θειάφι. Αποτέλεσμα της ορμητικής εισόδου του αέρα είναι η δημιουργία πολύ μεγάλης φλόγας.

Για να το θέσεις σε λειτουργία πιάσε τον μοχλό του φουσητήρα στο πίσω μέρος της μηχανής και τράβηξε τον προς τα κάτω.

Φρυκτωρίες

Οι Φρυκτωρίες ήταν τοιχία τα οποία τα έχτιζαν οι αρχαίοι Έλληνες σε επιλεγμένα υψώματα, με σκοπό να επικοινωνούν σε μεγάλες αποστάσεις. Η μετάδοση των μηνυμάτων γινόταν με την ανάρτηση αναμένων πυρσών πάνω στα τοιχία τη νύχτα, ώστε να φαίνονται σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων. Το σύστημα επικοινωνίας με πυρσούς το επινόησαν οι Δημόκλειτος και Κλεοξένος τον 3^ο αιώνα π.Χ.. Όσο και εάν φαίνεται περίεργο, μπορεί να θεωρηθεί ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας δέκα bit. Πράγματι μοιάζει με τα σημερινά συστήματα ψηφιακής επικοινωνίας τα οποία χρησιμοποιούν και αυτά σειρές από bit για την μετάδοση σήματος. Για της φρυκτωρίες μας πληροφορεί ο Πολύβιος στο έργο του Ιστορία.

Τα δυο τοιχία περιλαμβάνουν συνολικά δέκα θέσεις προσάρτησης των πυρσών στο πάνω μέρος τους. Το κάθε τοιχίο έχει πέντε θέσεις ανάρτησης πυρσών. Επίσης το σύστημα περιλαμβάνει την διόπτρα, μια συσκευή η οποία επέτρεπε με την κατάλληλη στόχευση την οπτική απομόνωση του δεξιού από το αριστερό τοιχίο.

Η λειτουργία των φρυκτωριών είναι η εξής: Ο φρυκτωρός, δηλαδή αυτός που θα στείλει μήνυμα, τοποθετεί στο πάνω μέρος των τοιχίων αναμένοντες πυρσούς με βάση τον προσυμφωνημένο κώδικα που βρίσκεται στην ξύλινη πινακίδα, ανάμεσα στα τοιχία. Ο κώδικας επικοινωνίας ταυτίζει τον αριθμό στήλης κάθε γράμματος με τον αριθμό των αναμένων πυρσών στο αριστερό τοιχίο και τον αριθμό της γραμμής του γράμματος με τον αριθμό των αναμένων πυρσών στο δεξί τοιχίο. Για παράδειγμα, για την εκπομπή του γράμματος Β πρέπει να μπει ένας πυρσός στο αριστερό τοιχίο και δυο πυρσοί στο δεξί τοιχίο. Οι πυρσοί τοποθετούνται με σειρά από τα αριστερά προς τα δεξιά στο κάθε τοιχίο.

Για να θέσεις σε λειτουργία την εφεύρεση, επέλεξε ένα γράμμα που επιθυμείς να εκπέμψεις από την ξύλινη πινακίδα, παρατήρησε σε ποια στήλη και σε ποια γραμμή βρίσκεται και τοποθέτησε τον σωστό αριθμό δαυλών στα τοιχία.

Το αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού

Το αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού είναι μια επινόηση του Ήρωνα του Αλεξανδρινού. Η σπουδαιότητα της εφεύρεσης είναι πολύ μεγάλη γιατί αποτελεί τον πρώτο αυτοματισμό για κτήρια στην ιστορία. Ο αυτοματισμός περιγράφεται στο έργο του Ήρωνα «Πνευματικά» και χρονολογείται στον 1^ο αιώνα μ.Χ.. Όταν γινόταν θυσία με φωτιά στον βωμό του ναού, τότε οι θύρες του ναού άνοιγαν αυτόματα, δημιουργώντας την εντύπωση θαύματος στους πιστούς. Μετά την λήξη της προσφοράς θυσίας οι θύρες έκλειναν.

Η λειτουργία της εφεύρεσης είναι η εξής: Όταν ανάβει φωτιά στο βωμό, τότε θερμαίνεται και διαστέλλεται ο αέρας που βρίσκεται στον αεροστεγή χώρο κάτω από το βωμό. Λόγω της διαστολής του αέρα, αυτός πιέζει την επιφάνεια του νερού στο δοχείο κάτω από τον βωμό, με αποτέλεσμα η στάθμη του να ελαττωθεί. Το νερό μεταφέρεται μέσω του σιφονιού στο δεύτερο δοχείο και η στάθμη του αυξάνεται. Λόγω της αύξησης του νερού στο δεύτερο δοχείο αυτό γίνεται βαρύτερο από το αντίβαρο και έτσι κινείται προς τα κάτω. Κινούμενο προς τα κάτω πυροδοτεί τον μηχανισμό των σχοινιών και αυτός ανοίγει τις πόρτες του ναού. Όταν σβήσει η φωτιά, τότε ο αέρας κάτω από τον βωμό κρυώνει και συστέλλεται πυροδοτώντας την αντίστροφη διαδικασία κάνοντας τις θύρες του ναού κλείνουν.

Για να θέσεις σε λειτουργία την εφεύρεση πιάσε έναν πυρσό και βάλε φωτιά τον βωμό.

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΠ

Η αιωρούμενη σφαίρα

Η αιωρούμενη σφαίρα χρονολογείται τον 1^ο μ.Χ. αιώνα και τη συναντούμε στο έργο του Ήρωνα «Πνευματικά».

Ο Ήρων ο Αλεξανδρινός ήταν ένας από τους μεγάλους εφευρέτες μηχανικούς της αρχαιότητας. Διετέλεσε διευθυντής της της περίφημης ανώτατης τεχνικής σχολής της Αλεξάνδρειας η οποία είναι το πρώτο τεχνολογικό Πανεπιστήμιο στην Ιστορία. Η πόλη της Αλεξάνδρειας υπήρξε μεγάλο πολιτιστικό κέντρο κατά την ελληνιστική εποχή.

Η χρήση της ήταν για επίδειξη καθώς δεν χρησιμοποιήθηκε κάπου.

Η αιωρούμενη σφαίρα δουλεύει ως εξής: Κάτω από τον λέβητα της μηχανής, ανάβει φωτιά. Μέσα στη μηχανή υπάρχει νερό, το οποίο με την άνοδο της θερμοκρασίας αρχίζει να

βράζει. Δημιουργούνται πίδακες ατμού οι οποίοι βγαίνουν από την εξάτμιση της μηχανής και προκαλούν την αιώρηση της κούφιας σφαίρας.

Για να τη θέσεις σε λειτουργία, κάνε κλικ στη μηχανή.

Το ατμοτηλεβόλο του Αρχιμήδη

Ο Αρχιμήδης ήταν Έλληνας μηχανικός, φυσικός, μαθηματικός, και αστρονόμος της αρχαιότητας. Αναγνωρίζεται ως ένας από τους μεγαλύτερους επιστήμονες της αρχαιότητας αλλά και όλων των εποχών. Γεννήθηκε γύρω στο 278 π.Χ. στις Συρακούσες της Σικελίας και πέθανε κατά την πολιορκία των Συρακουσών γύρω στο 212 π.Χ..

Το ατμοτηλεβόλο αποτελεί το πρώτο όπλο στην Ιστορία που λειτουργεί με ατμό. Κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια της πολιορκίας των Συρακουσών και είχε την δυνατότητα να εξφενδονίζει λίθινες σφαίρες σε μεγάλες αποστάσεις. Με το ατμοτηλεβόλο ασχολήθηκε και ο μεγάλος μηχανικός της Αναγέννησης Leonadro Da Vinci. Ο Da Vinci το επαναχέδιασε και του έδωσε την ονομασία «architronito» από τις λέξεις Αρχιμήδης και τρώνουμι, που σημαίνει τραυματίζω.

Το ατμοτηλεβόλο δουλεύει ως εξής: Κάτω από τον μεταλλικό λέβητα της μηχανής καίει ισχυρή φωτιά. Με το άνοιγμα της βάνας κάτω από το δοχείο του νερού, το νερό εισέρχεται εντός του λέβητα της μηχανής και λόγω της υψηλής θερμοκρασίας δημιουργείται απότομα αποσυμπίεση του νερού σε ατμό. Λόγω της μεγάλης πίεσης η σφαίρα εξφενδονίζεται από ξύλινη κάννη του κανονιού συμπαρασύροντας τη ράβδο και την σανίδα συγκράτησης.

Για να το θέσεις σε λειτουργία κάνε κλικ πάνω του.

Ο υδραυλικός τηλεγράφος του Αινεία

Ο υδραυλικός τηλεγράφος είναι μια διάταξη η οποία επέτρεπε την ταχεία τηλεπικοινωνία προσυμφωνημένων μηνυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Για τον υδραυλικό τηλεγράφο μας πληροφορεί ο Αινείας ο Τακτικός τον 4ο π.Χ. αιώνα, όπως τον διέσωσε ο Πολύβιος ο Μεγαλοπολίτης στο έργο του Ιστορία. Η συσκευή χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στην αχανή ελληνιστική αυτοκρατορία του Μεγάλου Αλεξάνδρου.

Ο υδραυλικός τηλεγράφος λειτουργεί ως εξής: Σε δυο υψώματα τοποθετούνται δυο πανομοιότυπες συσκευές. Η κάθε συσκευή αποτελείται από τα εξής στοιχεία: Ένα πήλινο δοχείο που είναι τελείως γεμάτο με νερό, έναν πλωτήρα που επιπλέει στο νερό και μια βαθμονομημένη ράβδο η οποία φέρει μηνύματα. Όλα τα επιμέρους στοιχεία των δυο συσκευών είναι πανομοιότυπα

μεταξύ τους. Ο αγγελιοφόρος που θέλει να εκπέμψει το μήνυμα ανάβει έναν πυρσό και τον ανυψώνει. Ο αγγελιοφόρος που θα λάβει το μήνυμα κάνει το ίδιο ως ένδειξη ετοιμότητας λήψης του μηνύματος. Έπειτα ο πομπός ταυτόχρονα κατεβάζει τον δαυλό του και ανοίγει την βάνα του δοχείου νερού. Ταυτόχρονα ο δέκτης, βλέποντας τον απέναντι δαυλό να κατεβαίνει ανοίγει και αυτός τη βάνα του δοχείου νερού. Το νερό ρέει και όταν ο πομπός φτάσει στο επιθυμητό μήνυμα κλείνει την βάνα και ανυψώνει ξανά τον πυρσό του κάνοντας σινιάλο στον δέκτη να κλείσει και αυτός την βάνα του. Λόγω της απόλυτης γεωμετρικής ταύτισης των δυο συσκευών ο πομπός και ο δέκτης βλέπουν μπροστά τους το ίδιο μήνυμα π.Χ. «Πλοία».

Για να στείλεις μήνυμα, κάνε κλικ πάνω στη συσκευή, το νερό θα αρχίσει να ρέει και θα εμφανιστεί επιπρόσθετα μπροστά σου και η συσκευή του δέκτη. Όταν φτάσεις στο μήνυμα που θέλεις να εκπέμψεις ξανακάνε κλικ στη συσκευή για να σταματήσουν οι ροές του νερού.

Το αυτόματο σπονδείο με κερματοδέκτη

Το αυτόματο σπονδείο αποτελεί τον πρώτο αυτόματο πωλητή της Ιστορίας. Ο πιστός έριχνε εντός της συσκευής ένα πεντάδραχμο και προμηθευόταν αγιασμό. Η συσκευή είναι έργο του Ήρωνα του Αλεξανδρινού και τοποθετείται στον 1^ο αιώνα μ.Χ..

Η συσκευή λειτουργεί ως εξής: Όταν το κέρμα ρίπτεται μέσα στο αγγείο, αυτό επικάθεται πάνω στο δίσκο και εκτρέπει την ισορροπία του ζυγού για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Η κίνηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο της άλλης πλευράς του ζυγού η οποία είναι συνδεδεμένη με την βαλβίδα. Το άνοιγμα της βαλβίδας έχει ως αποτέλεσμα την εκροή αγιασμού στο δοχείο του πιστού.

Για να το θέσεις σε λειτουργία κάνε κλικ στο σπονδείο.