

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ
Π.Μ.Σ. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΡΑΝΟΥΣ ΜΟΤΟΣΥΣΚΛΕΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΙΜΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΚΟΣ ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ
dpsdi17017

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΑΖΑΡΙΑΔΗΣ – ΤΟΠΑΛΟΓΛΟΥ ΦΙΛΙΠΠΟΣ
ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ : ΜΠΑΪΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ – ΚΥΡΑΤΖΗ ΣΟΦΙΑ

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία»

<i>Εικόνα 1 : Καμπύλη Επιτάχυνσης - Χρόνου του Wayne (WSTC) (Bosch, 2006)</i>	8
<i>Εικόνα 2 «Full face» κράνος (Shoei Helmets)</i>	11
<i>Εικόνα 3 : Σπαστό κράνος (Scorpion Helmets)</i>	12
<i>Εικόνα 4 Ανοιχτό κράνος με προστατευτικό κάλυμμα (LS2)</i>	12
<i>Εικόνα 5 : Μισό κράνος (Yescom)</i>	13
<i>Εικόνα 6 : Κράνος Motocross (Airoh)</i>	14
<i>Εικόνα 7 : Κράνος dual sport (Shoei Helmets)</i>	14
<i>Εικόνα 8 : Εξωτερικό κέλυφος κράνου (Arai)</i>	15
<i>Εικόνα 9 : Αναπαράσταση πρόσκρουσης κράνου με θερμοπλαστικό (δεξιά) και με σύνθετο υλικού κελύφους (αριστερά) (Beusenber Marc, 1995)</i>	16
<i>Εικόνα 10 : Το σύστημα PHPS (AskNature, 2016)</i>	17
<i>Εικόνα 11 : Επένδυση απορρόφησης ενέργειας (Arai)</i>	18
<i>Εικόνα 12 : Κράνος μοτοσυκλέτας με σύστημα MIPS (Bell Helmet)</i>	20
<i>Εικόνα 13 : Κράνος με ανάρτηση παντός κατευθύνσεως (6D Helmets)</i>	20
<i>Εικόνα 14 : Τομή του κράνου Moto Flex 9 και τα τρία στρώματα της επένδυσης απορρόφησης ενέργειας (Bell Helmets)</i>	21
<i>Εικόνα 15 : Εσωτερική επένδυση κράνου (Fulmer)</i>	22
<i>Εικόνα 16 : Ζελατίνα κράνου σε διαφορετικές αποχρώσεις</i>	22
<i>Εικόνα 17 : (α),(β): Μηχανισμοί quick-release (Quick Release) (Quick Release) και (γ) double-D (Double D)</i>	23
<i>Εικόνα 18 : Σχηματική απεικόνιση της σχεδιαστικής διαδικασίας Challenge to biology (Ingrid de Pauw - Prabhu Kandachar - Elvin Karana - David Peck, 2010)</i>	30
<i>Εικόνα 19 : Το κέλυφος του αρμαντίλλο αποτελούμενο από μικρά πλακίδια θωρακισμένα κοντά το ένα με το άλλο (Po-Yu Chen, 2012)</i>	32
<i>Εικόνα 20 : Απολίθωμα γλοπτόδοντα (Broeckhoven Chris, 2018)</i>	33
<i>Εικόνα 21: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης ενώσεων κελύφους χελώνας (John W.C. Dunlop, 2011)</i>	33
<i>Εικόνα 22 : Διάταξη λεπιών (Sherman Vincent R., 2017)</i>	35
<i>Εικόνα 23 : Αναλυτική δομή κέρατος (Kulin Robb M., 2010)</i>	35
<i>Εικόνα 24 : Αναλυτική δομή κέρατος προβάτου (Huang Wei, 2017)</i>	37
<i>Εικόνα 25: Μικροσκοπική δομή οπλής (McKittrick J., 2010)</i>	37
<i>Εικόνα 26 : Κρανίο δρυκολάπτη (Lizzie Harper)</i>	38
<i>Εικόνα 27 : Αγκάθι Erethizontidae: (α), (b) σε οριζόντια τομή, (c),(d) σε κάθετη τομή (Karam G.N., 1994)</i>	39
<i>Εικόνα 28 : Αγκάθια Hystricidae: (α), (b) σε οριζόντια τομή, (c),(d) σε κάθετη τομή (Karam G.N., 1994)</i>	40
<i>Εικόνα 29 : Χαρακτηριστικά φυσικών υλικών (Liu Zengqian, 2017)</i>	42
<i>Εικόνα 30 : Δομές φυσικών υλικών (Liu Zengqian, 2017)</i>	42
<i>Εικόνα 31 : Μοντέλο κεφαλιού μεγέθους A</i>	43
<i>Εικόνα 32: (α) Απεικόνιση (β) Τομή Πρότασης 1</i>	44
<i>Εικόνα 33: (α) Απεικόνιση (β) Τομή Πρότασης 2</i>	45
<i>Εικόνα 34: (α) Απεικόνιση (β) Τομή Πρότασης 3</i>	46
<i>Εικόνα 35 : Απεικόνιση εφαρμογής δυνάμεων και σημείων πάκτωσης κελύφους</i>	47
<i>Εικόνα 36 : Διάγραμμα παραμόρφωσης-πάχους κελύφους ανάλυσης ευαισθητοποίησης</i>	48
<i>Εικόνα 37 : Διάγραμμα τάσης-πάχους κελύφους ανάλυσης ευαισθητοποίησης</i>	48
<i>Εικόνα 38 : (α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων (β) τάσεων, κελύφους Πρότασης 1 και 2</i>	49
<i>Εικόνα 39 : (α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων (β) τάσεων, κελύφους Πρότασης 3</i>	49
<i>Εικόνα 40 : Απεικόνιση εφαρμογής δυνάμεων και σημείων πάκτωσης εσωτερικής επένδυσης</i>	50
<i>Εικόνα 41 : (α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων (β) τάσεων, εσωτερικής επένδυσης Πρότασης 1</i>	51
<i>Εικόνα 42 : (α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων (β) τάσεων, εσωτερικής επένδυσης Πρότασης 2</i>	51
<i>Εικόνα 43 α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων, β) τάσεων, εσωτερικής επένδυσης Πρότασης 3</i>	51

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	6
1. ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΕΦΑΛΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	7
1.1. ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΕΦΑΛΗΣ	7
Κατάγματα κρανίου	7
Αιματώματα	7
Διάσειση.....	7
Διάχυτοι τραυματισμοί των νευρώνων (DAI)	7
Ήπια τραυματική εγκεφαλική βλάβη (Mild traumatic brain injury - mTBI)	7
1.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΟΥ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	8
Καμπύλη ανοχής Wayne (Wayne State tolerance curve - WSTC).....	8
Κριτήριο τραυματισμού κεφαλής (Head injury criterion-HIC).....	8
Γενικευμένο μοντέλο επιτάχυνσης για πρόκληση εγκεφαλικής βλάβης (Generalized Acceleration Model for Brain Injury Threshold - GAMBIT).....	9
1.3. ΠΡΟΤΥΠΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	10
2. ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ	11
2.1. Τύποι κρανών.....	11
Ολόκληρο κράνος (Full face).....	11
Σπαστό κράνος (Flip up).....	12
Ανοιχτό κράνος	12
Μισό κράνος	13
Εκτός δρόμου (Motocross ή MX)	14
Dual Sport	14
3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	15
3.1. Τμήματα κράνους	15
3.1.1. Εξωτερικό κέλυφος	15
Σύστημα προστασίας κεφαλιού PHILLIPS (PHPS)	17
3.1.2. Επένδυση απορρόφησης ενέργειας	18
Αφρός διογκωμένης πολυστερίνης (Expanded Polystyrene – EPS).....	18
Αφρός διογκωμένου πολυπροπυλενίου (Expanded Polypropylene - EPP)	19
Αφρός πολυουρεθάνης (Polyurethane foam liner – PU).....	19
Φελλός μικροσυσσωματώματος (MAC).....	19
3.1.3. Προηγμένες λύσεις εσωτερικών επενδύσεων	19
MIPS	19
Ανάρτηση παντός κατευθύνσεως (Omni-directional suspension – ODS)	20
Κράνος Moto Flex 9	21
3.1.4. Εσωτερική επένδυση	21
3.1.5. Ζελατίνα	22
3.1.6. Σύστημα συγκράτησης	23

3.1.7.	Σύστημα αερισμού	23
4.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΕΣΗΣ.....	24
5.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΑΡΚΕΤΙΝΚ	26
	Τμηματοποίηση	26
	Προσδοκώμενο όφελος	26
	ΠΕΡΙΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ	26
	ΠΙΣΤΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ	26
	ΨΥΧΟΓΡΑΦΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	26
	ΠΡΟΦΙΛ	26
	Στόχευση	27
	Χωροθέτηση.....	27
6.	ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	28
	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	28
	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	28
	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	28
7.	ΒΙΟΜΙΜΗΣΗ.....	29
7.1.	Challenge to biology.....	29
7.2.	Αποτελέσματα διαδικασίας	31
	Αρμαντίλλο (Armadillo)	31
	Γλυπτόδοντας.....	32
	Χελώνια	33
	Κροκόδειλος.....	34
	Λέπια	34
	Κέρας ελαφιού	35
	Κέρας βοοειδών	36
	Οπλές	37
	Κρανίο δρυοκολάπτη	38
	Αγκάθια	38
	Καρύδα	40
	Φυσικά υλικά	41
8.	ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	43
	ΠΡΟΤΑΣΗ 1	44
	ΠΡΟΤΑΣΗ 2	45
	ΠΡΟΤΑΣΗ 3	46
9.	ΑΝΑΛΥΣΗ.....	47
	ΣΧΟΛΙΑ	52
10.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	53
11.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κράνη αποτελούν μέσο προστασίας του κεφαλιού από τα αρχαία χρόνια με εφαρμογή στο πεδίο της μάχης από τους στρατιώτες, για να προστατευτούν από τις εχθρικές βολές και ήταν κατασκευασμένα από μέταλλο. Γενικότερα το αντικείμενο προστασίας εξαρτάται από την κατάσταση χρήσης οπότε με την πάροδο των χρόνων οι νέοι τρόποι μετακινήσεων και δη με μηχανοκίνητα οχήματα έφεραν νέες απαιτήσεις για την προστασία της κεφαλής. Με την ευρεία διάδοση της μοτοσυκλέτας ως μέσο μετακίνησης στις αρχές του 19ου αιώνα, υιοθετήθηκαν κράνη που μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν από τους πιλότους, αρχικά από τους αναβάτες σε αγώνες της εποχής. Αυτά αποτελούνταν από κομμάτια δέρματος και συνδυάζονταν με προστατευτικά γυαλιά. Αργότερα αλλάζοντας οπτική στον τρόπο προστασίας του κράνους, το οποίο πλέον πρέπει να προστατεύει το κρανίο από κάταγμα, έγιναν οι πρώτες εφαρμογές με σκληρό κέλυφος το οποίο κατήνειμε την δύναμη πρόσκρουσης σε μεγαλύτερη επιφάνεια και κατασκευάστηκε αρχικά από κομμάτια χαρτονιού και στη συνέχεια από λινό εμποτισμένο με ρητίνη.

Στα μέσα του 19ου αιώνα, με μια μελέτη του Holbourn (Fernandes, 2013) κατανοήθηκε πως οι μη διεισδυτικοί τραυματισμοί της κεφαλής προκαλούνται από βραχυχρόνιες επιταχύνσεις που επενεργούν στο κεφάλι και το περιεχόμενό του. Έτσι εισήχθη ελαστικός αφρός ως εσωτερική επένδυση για προστασία από την ενέργεια πρόσκρουσης με το σύνολο του κράνους να αποτελείται, για μείωση του βάρους, από πολυεστερικό κέλυφος με αφρό διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) ή αφρό πολυουρεθάνης (PU).

Σήμερα τα υλικά που έχουν επικρατήσει για εφαρμογή στο εξωτερικό κέλυφος είναι τα σύνθετα με ενίσχυση από ίνες άνθρακα και υάλου καθώς και από θερμοπλαστικά υλικά ενώ ως εσωτερική επένδυση συνεχίζεται να προτιμάται η διογκωμένη πολυστερίνη.

Στην διατήρηση της ασφάλειας έχουν συμβάλει και τα πρότυπα ασφαλείας, τα οποία κάθε κράνος που βρίσκεται στην αγορά πρέπει να πληρεί. Παρότι τα κράνη είναι αποδεδειγμένα ένα πολύ καλό προστατευτικό μέσο για τον αναβάτη, με την εξέλιξη των πεπερασμένων στοιχείων, την δημιουργία εμβυομηχανικών μοντέλων και την υπολογιστική αναπαράσταση προσκρούσεων, αποδεικνύεται η παρουσία περιστροφικών επιταχύνσεων οι οποίες προκαλούν εγκεφαλικά τραύματα ακόμα και αν το κράνος πληρεί τα πρότυπα ασφαλείας.

Πέραν αυτού η σχεδίαση ενός κράνους αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα καθώς σε αυτό εμπλέκεται ο παράγοντας άνθρωπος, με τις συνθήκες χρήσης και τις συνιστώσες άνεσης να παίζουν σημαντικό ρόλο στην συνολική συμπεριφορά κράνους-αναβάτη.

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η έρευνα για τα κράνη μοτοσυκλέτας και η εύρεση εναλλακτικών λύσεων προστασίας με τη εφαρμογή των αρχών της Βιομίμησης. Αρχικά γίνεται αναφορά στα είδη των εγκεφαλικών τραυματισμών που μπορεί να προκληθούν από μια πρόσκρουση και τους τρόπους υπολογισμού και αξιολόγησης μέσω δοκιμών για την πρόληψή τους. Μέσω έρευνας εντοπίζονται οι υπάρχουσες λύσεις του ανταγωνισμού και αναλύονται τα επιμέρους κομμάτια των κρανών μοτοσυκλέτας καθώς και παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση τους. Στη συνέχεια μέσω του Μάρκετινγκ εντοπίζεται η ομάδα χρηστών και τα ψυχογραφικά χαρακτηριστικά της και ορίζονται οι προδιαγραφές σχεδίασης. Γίνεται αναφορά στη Βιομίμηση και τον τρόπο εύρεσης πηγών μέσω αυτής για την έμπνευση καινοτόμων λύσεων στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Τέλος γίνεται παραγωγή τριών προτάσεων και αξιολόγηση της μηχανικής συμπεριφοράς αυτών με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

1. ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΕΦΑΛΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

1.1. ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΕΦΑΛΗΣ

Κατάγματα κρανίου

Κατά τη διάρκεια προσκρούσεων υψηλής ενέργειας το κρανίο μπορεί να ραγίσει ή να σπάσει λόγω των υψηλών γραμμικών επιταχύνσεων που δημιουργούνται ενώ ορισμένες περιοχές αυτού είναι ανατομικά πιο ευαίσθητες από άλλες. Υπάρχει σχέση μεταξύ των καταγμάτων, των εγκεφαλικών βλαβών και των αιματωμάτων καθώς η σκληρά μήνιγγα είναι προσκολλημένη στο κρανίο και σε περιπτώσεις κατάγματος έχουμε διαρροή εγκεφαλονωτιαίου υγρού και βλάβες στα νεύρα και τα αιμοφόρα αγγεία λόγω αύξησης της εσωτερικής πίεσης. (Carnevale, 2014).

Αιματώματα

Τα αιματώματα συνήθως προκαλούνται από το σχίσσιμο των φλεβών γεφυρώσεως που περνούν κατά μήκος του υποδαυλικού χώρου στο φλεβοκομβικό κόλπο. Εάν το υποδάφιο αιμάτωμα είναι αρκετά μεγάλο, μπορεί να προκαλέσει αύξηση της εσωτερικής κρανιακής πίεσης οδηγώντας σε διάσπαση του κρανιακών ραφών. Το ποσοστό θνησιμότητας μετά την απομάκρυνση του πλεονάζοντος υγρού μπορεί να κυμαίνεται από 30 έως 60% και η ανάρρωση μπορεί να είναι πολύπλοκη και εξαρτώμενη από διάφορους παράγοντες όπως η ηλικία και ο χρόνος χειρουργικής επέμβασης μεταξύ άλλων.

Διάσειση

Οι διασεισεις είναι ο πιο συνηθισμένος τραυματισμός σε χτυπήματα του κεφαλιού. Ελλείψει κατάγματος, διάσειση προκαλείται από την επαφή του εγκεφάλου στο εσωτερικό μέρος του κρανίου που συνεπάγεται με κάποια βλάβη της επιφανειακής φαιάς ουσίας λόγω περιστροφικών δυνάμεων.

Διάχυτοι τραυματισμοί των νευρώνων (DAI)

Οι διάχυτοι τραυματισμοί των νευρώνων είναι εκείνοι που σχετίζονται με την καταστροφή της λευκής εγκεφαλικής ύλης και ειδικά με τραυματισμούς όπου υπάρχει διάτμηση σε συστατικά του εγκεφάλου λόγω της περιστροφικής κίνησης υπό επιτάχυνση / επιβράδυνση του κεφαλιού. Τα τραύματα DAI μπορούν να εντοπιστούν μόνο μεταθανάτια αλλά θα μπορούσαν να συνδεθούν με μικρές αιμορραγίες λόγω της ρήξης των υποεξιδιωματικών φλεβών και μπορούν να ανιχνευθούν με ακρίβεια με τη χρήση μαγνητικής τομογραφίας.

Ήπια τραυματική εγκεφαλική βλάβη (Mild traumatic brain injury - mTBI)

Μια διάσειση είναι η πιο ήπια μορφή εγκεφαλικής βλάβης, αλλά ενέχει απειλή για την υγεία του ατόμου. Μπορεί να είναι το αποτέλεσμα ενός χτυπήματος στο κεφάλι ή στον αυχένα ή οπουδήποτε αλλού στο σώμα όπου μια δύναμη μεταδίδεται τελικά στο κεφάλι, προκαλώντας ζάλη, πονοκέφαλο

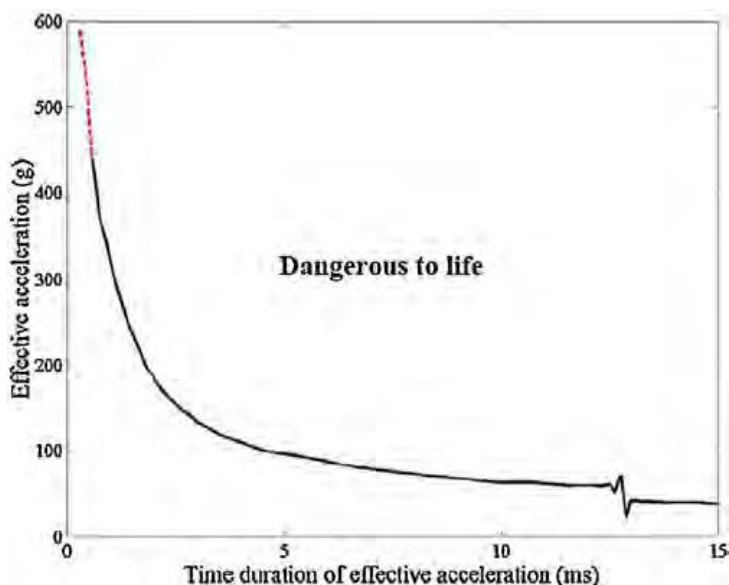
χωρίς απαραίτητα να παρουσιάζεται απώλεια συνείδησης. Παρουσιάζεται συχνότερα όταν υπάρχει δράση περιστροφικών δυνάμεων. (Carnevale, 2014)

1.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΟΥ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

Η ανάγκη για σύγκριση πειραματικών δεδομένων με τυποποιημένες τιμές έδωσε τροφή για τη δημιουργία διαφόρων κριτηρίων, καθένα από τα οποία εξετάζει εναλλακτικές πτυχές μιας πρόσκρουσης προκειμένου να παρέχει πληροφορίες για κάθε πιθανό σενάριο.

Καμπύλη ανοχής Wayne (Wayne State tolerance curve - WSTC)

Η καμπύλη WSTC (Εικόνα 1) είναι το πρώτο γνωστό κριτήριο που βασίστηκε σε δεδομένα από πτώματα εθελοντών και ζώων. Με τη μελέτη αναπτύχθηκε μια καμπύλη που επιδεικνύει τα όρια ανοχής σε επιταχύνσεις, σε εμπρόσθια και οπίσθια κατεύθυνση. Για μικρά χρονικά διαστήματα, κάθε τιμή πάνω από την καμπύλη θεωρείται επικίνδυνη για τη σωματική ακεραιότητα. (Fernandes, 2013)



Εικόνα 1 : Καμπύλη Επιτάχυνσης - Χρόνου του Wayne (WSTC) (Bosch, 2006)

Κριτήριο τραυματισμού κεφαλής (Head injury criterion-HIC)

Ο Versace χρησιμοποίησε την WSTC για να εξελίξει ένα νεότερο κριτήριο, το γνωστό ως σήμερα HIC. Πρότεινε τη στάθμιση της διακύμανσης του χρόνου επιτάχυνσης σε σχέση με το συνολικό μήκος διακύμανσης.

$$\left(\left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \right)_{max}$$

όπου $a(t)$ είναι η προκύπτουσα επιτάχυνση του κεφαλιού σε g , το διάστημα, t_1 και t_2 είναι δύο χρονικά σημεία κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε διαστήματος της πρόσκρουσης που μεγιστοποιεί το HIC.

Αν και κατακρίνεται ότι δεν λαμβάνει υπόψιν τις περιστροφικές δυνάμεις, καθώς αυτές θεωρούνται υπεύθυνες για εγκεφαλικά τραύματα και πως είναι ελλιπής για τη σχέση μεταξύ του ανθρώπινου κρανίου και της απόκρισης της συσκευής δοκιμών, αποτελεί το πιο χρησιμοποιημένο κριτήριο εκτίμησης τραυματισμού. Μια τιμή του HIC που υπερβαίνει το 1000 θεωρείται ότι προκαλεί σοβαρό τραυματισμό στο κεφάλι. (Bosch, 2006).

Γενικευμένο μοντέλο επιτάχυνσης για πρόκληση εγκεφαλικής βλάβης (Generalized Acceleration Model for Brain Injury Threshold - GAMBIT)

Ο Newman προσπάθησε το 1986 να αναπτύξει ένα σύστημα αξιολόγησης για τραυματισμούς στο κεφάλι βάζοντας στην εξίσωση και τις περιστροφικές δυνάμεις στις προσομοιώσεις προσκρούσεων. Έτσι προτάθηκε η εξίσωση GAMBIT:

$$G(t) = (a_m/a_c) + (\ddot{a}_m/\ddot{a}_c) \leq 1$$

όπου $a_c = 250g$ και $\ddot{a}_c = 10.000 \text{ rad/s}^2$ είναι οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές γραμμικής και γωνιακής επιτάχυνσης και $a_m [g]$ και $\ddot{a}_m [\text{rad/s}^2]$ οι μέσες τιμές γραμμικής και γωνιακής επιτάχυνσης.

Παρόλο που το συγκεκριμένο κριτήριο έχει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με το HIC μια και συνυπολογίζει τη γωνιακή επιτάχυνση δεν έχει επικυρωθεί και επομένως δεν συμπεριλαμβάνεται στην αξιολόγηση των κρανών. (Bosch, 2006).

1.3. ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Για να εξασφαλιστεί η επίδοση των κρανών ορίστηκαν ορισμένες τυποποιήσεις και διαδικασίες ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια. Τα γνωστότερα πρότυπα ασφαλείας είναι τα εξής:

- ECE 22.05
- Snell M2015
- DOT FMVSS 218
- SHARP

Ο κανονισμός ECE 22.05 χρησιμοποιείται σαν πρότυπο ασφαλείας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, εφαρμόζεται σε περισσότερες από 50 χώρες και είναι αποδεκτός από παγκόσμια ιδρύματα όπως η Αμερικανική Ιατρική Ένωση (AMA), ρυθμιστές ανταγωνισμού όπως η WERA και η FIM και οι επιτροπές αγώνων στην Formula USA και τα Moto GP. (Mazdak Ghajari D. G., 2008).

Η εξέταση γίνεται αφήνοντας ομοιώματα κεφαλιών με το εξεταζόμενο κράνος να πέσει με ταχύτητα μέχρι 7,75 m/s σε επίπεδο, επικλινές και κυρτό αμόνι. Τα σημεία πρόσκρουσης είναι συγκεκριμένα όπως και τα μεγέθη των ομοιωμάτων των οποίων το βάρος σχετίζεται με των πραγματικών. Η μέγιστη επιτάχυνση δεν πρέπει να ξεπερνά τα 275g ενώ εξετάζονται και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την άνεση και αντοχή του κράνους όπως η έκθεση σε ακτινοβολία, σε συγκεκριμένη θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρόνο και η αντοχή του λουριού συγκράτησης. Τα αποτελέσματα κρίνονται μέσω του κριτηρίου HIC.

Παρ' όλα αυτά οι ταχύτητα πρόσκρουσης σε πραγματικές συνθήκες μπορεί να είναι μεγαλύτερες των 7,75m/s= 27,9 km/h ενώ συνήθως οι προσκρούσεις είναι λοξές με συνέπεια την εμφάνιση γωνιακής επιτάχυνσης που είναι υπεύθυνη για την πρόκληση εγκεφαλικών τραυματών ακόμα και κάτω από τα επιτρεπτά όρια του κριτηρίου. Σημαντικό ρόλο παίζει και το σώμα του αναβάτη κατά την πτώση πράγμα που στα πρότυπα ασφαλείας δεν εξετάζεται. (Mazdak Ghajari S. P., 2010)

2. ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ

2.1. Τύποι κρανών

Στην αγορά αυτή τη στιγμή βρίσκονται διάφοροι τύποι κρανών, όπως αναλύονται παρακάτω. Ο σχεδιασμός τους είναι προσανατολισμένος σύμφωνα με τις περιστάσεις χρήσης και τις αντίστοιχες ιδιαιτερότητες αυτών, με γνώμονα την εξασφάλιση της ασφάλειας και άνεσης του αναβάτη.

Ολόκληρο κράνος (Full face)

Αυτό το είδος αποτελεί το δημοφιλέστερο είδος κράνους για τους αναβάτες καθώς είναι και το ασφαλέστερο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καλύπτει ολόκληρο το κεφάλι, από το πάνω μέρος του, το πίσω τμήμα πάνω από το λαιμό, τα πλαϊνά και έως το πηγούνι. Η *Εικόνα 2* δείχνει είναι κράνος «full face». Το κεφάλι είναι πλήρως καλυμμένο και προστατευμένο από εξωγενείς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την άνεση και προσοχή του αναβάτη κατά τη διάρκεια της οδήγησης.



Εικόνα 2 «Full face» κράνος (Shoei Helmets)

Αυτό από την άλλη μπορεί να αποτελέσει ταυτόχρονα μειονέκτημα καθώς δημιουργείτε ένα κλειστό περιβάλλον, με την εσωτερική θερμοκρασία να αυξάνεται όπως και η αίσθηση απομόνωσης που μπορούν να οδηγήσουν σε ατύχημα λόγω σύγχυσης ή μη αντίληψης γεγονότων στο τριγύρω περιβάλλον. Η περιφερειακή όραση μειώνεται ενώ σε περιβάλλον πόλης, όπου υπάρχει αυξημένη ροή καυσαερίων προς το εσωτερικό του κράνους και εγκλωβισμός αυτών μπορεί να επιβαρυνθεί κι άλλο η ποιότητα του εισπνεόμενου αέρα. Είναι επίσης από τους βαρύτερους τύπους κράνους λόγω της χρήσης περισσότερου υλικού απορρόφησης ενέργειας πρόσκρουσης αλλά και μεγαλύτερου εξωτερικού κελύφους, πράγμα που αυξάνει την κούραση του αυχένα κατά την οδήγηση.

Έρευνες έχουν αποδείξει πως ένα μεγάλο ποσοστό προσκρούσεων γίνονται στην περιοχή της κάτω γνάθου, αποδεικνύοντας και το πλεονέκτημά τους σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μετωπικής σύγκρουσης. Υπάρχει, βέβαια, η πιθανότητα η γωνία πρόσκρουσης στο πηγούνι να είναι τέτοια ώστε να δημιουργηθεί ροπή, περιστρέφοντας το κεφάλι και μεταφέροντας φορτίο στο σβέρκο, πράγμα που οδηγεί σε σοβαρούς τραυματισμούς. Επίσης, η πλαϊνή πλευρά αποτελεί την ασθενέστερη, σε σύγκριση με τις άλλες, του συγκεκριμένου τύπου λόγω της ελαστικότητας των άκρων που προκύπτει από μικρότερη ακαμψία λόγω της μεγαλύτερης

καμπυλότητας των άκρων. Η σημαντικότητα αυτού του μειονεκτήματος γίνεται αντιληπτή αν αναλογιστούμε τα υψηλά ποσοστά προσκρούσεων στο σημείο του κροτάφου καθώς και την μικρή αντοχή λόγω μικρότερου πάχους στο συγκεκριμένο σημείο του κρανίου. (P.A. Bruhwiler, 2005).

Σπαστό κράνος (Flip up)

Ο συγκεκριμένος τύπος κρανών (*Εικόνα 3*) είναι ένας συνδυασμός «full face» και ενός ανοιχτού. Αυτό πραγματοποιείται μέσω μηχανισμού ο οποίος λειτουργεί σαν άρθρωση και επιτρέπει στο κομμάτι του πηγουνιού να περιστραφεί προς το πάνω μέρος του κράνους, αφήνοντας εκτεθειμένο το πρόσωπο. Έτσι στην ανοιχτή θέση έχουμε αυξημένη ροή αέρα με θετικό αντίκτυπο στην άνεση του αναβάτη σε περιπτώσεις υψηλής θερμοκρασίας, ενώ στην κλειστή έχουμε αντίστοιχη προστασία και του πηγουνιού όπως στα «full face». Παρ' όλα αυτά δεν υπάρχουν μελέτες που να αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου κομματιού ενώ δεν το εξετάζουν όλα τα πρότυπα ασφαλείας, με το DOT να μην απαιτεί δοκιμές, το ECE 22.05 να αναφέρεται μόνο στο εάν το κράνος προστατεύει το πηγούνι και μόνο το Snell να το επιβάλλει σε δοκιμές.



Εικόνα 3 : Σπαστό κράνος (Scorpion Helmets)

Αυτό που παρατηρείτε αρχικά ως μελανό σημείο του συγκεκριμένου τύπου, πέραν της αποτελεσματικότητάς του στην προστασία του αναβάτη είναι η σταθερότητα και η εφαρμογή του κατά την οδήγηση. Στην ανοιχτή θέση λόγω της αυξημένης αντίστασης του αέρα επιβαρύνεται το σβέρκο του αναβάτη μιας και το κεφάλι τείνει προς τα πίσω, πράγμα που δεν επιτρέπει την κίνηση με ταχύτητες πέραν ενός ορίου. Πέραν τούτου το πρόσωπο μένει εκτεθειμένο σε εξωτερικούς παράγοντες καθώς συνήθως το μετακινούμενο κομμάτι παρασέρνει την προστατευτική ζελατίνα με αποτέλεσμα να δημιουργείται ανάγκη εύρεσης επιπλέον λύσης για την προστασία των ματιών, που θα αυξήσει επιπλέον το ήδη αυξημένο βάρος του συνόλου λόγω των μηχανισμών.

Ανοιχτό κράνος

Το ανοιχτό κράνος καλύπτει σχεδόν ολόκληρο το κεφάλι, εκτός από το μέρος της γνάθου, αφήνοντας αυτή την περιοχή απροστάτευτη (*Εικόνα 4*). Έτσι ένα κράνος ανοιχτού προσώπου παρέχει την ίδια προστασία με ένα «full face», εκτός από περιπτώσεις μετωπικής πρόσκρουσης, καθώς επίσης υπάρχει και αυξημένος κίνδυνος τραυματισμού των ματιών σε κάποια κράνη του συγκεκριμένου τύπου, εξαιτίας της έλλειψης προστατευτικού καλύμματος για την προστασία των χρηστών από εξωτερικούς παράγοντες όπως η σκόνη και τα έντομα.



Εικόνα 4 : Ανοιχτό κράνος με προστατευτικό κάλυμμα (LS2)

Βέβαια επιτρέπει ένα πιο ευρύ οπτικό πεδίο σε σχέση με τα προαναφερθέντα είδη, ενώ δεν δημιουργείται μικροκλίμα που αυξάνει την θερμοκρασία του κεφαλιού κάτι που αποτρέπεται και με την αυξημένη ροή αέρα, με τα αντίστροφα αποτελέσματα όταν οδηγούμε υπό ψυχρές θερμοκρασίες.

Μισό κράνος

Ένα μισό κράνος καλύπτει μόνο το πάνω μέρος του κεφαλιού αφήνοντας εκτεθειμένα τα πλαϊνά, το πίσω μέρος, το σαγόνι και το πρόσωπο. Δεν είναι μόνο η μικρότερη περιοχή και το λιγότερο υλικό απορρόφησης που το καθιστούν σχεδόν ανίκανο να προστατεύσει τον αναβάτη, αλλά οι περιοχές που αφήνει ακάλυπτες καθώς εκεί σημειώνονται και τα περισσότερα χτυπήματα, ενώ υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να φύγει από το κεφάλι σε κάποια πτώση. Συγκριτικά οι αναβάτες που φορούν «full face» κράνη έχουν τις μισές πιθανότητες να τραυματιστούν στο κεφάλι.



Εικόνα 5 : Μισό κράνος (Yescom)

Εκτός δρόμου (Motocross ή MX)

Τα κράνη για οδήγηση εκτός δρόμου είναι σχεδιασμένα σύμφωνα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης οδήγησης όπου η σωματική καταπόνηση του αναβάτη είναι μεγάλη ενώ η προστασία από εξωτερικούς παράγοντες όπως η σκόνη, οι πέτρες και τα κλαδιά των δέντρων ιδιαίτερα απαιτητική. Γι' αυτό και έχει τοποθετηθεί γείσο στο πάνω μέρος του κράνους, καλύπτεται ολόκληρο το κεφάλι όπως τα «full face», με διαφορά στο κομμάτι του πηγουνιού όπου στα εκτός δρόμου έχει προεκταθεί ώστε να επιτρέπει μεγαλύτερη ροή αέρα, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 6*. Συνηθίζεται να μην παρέχεται κάποιο διάφανο προστατευτικό για το πρόσωπο αλλά οι αναβάτες να φορούν προστατευτικά γυαλιά.



Εικόνα 6 : Κράνος Motocross (Airoh)

Dual Sport

Τελευταία έχουν εισέλθει στην αγορά κράνη που είναι μια μίξη ανάμεσα στα εκτός δρόμου και τα «full face». Έχουν γείσο και ελαφρώς μακρύτερο το κομμάτι του πηγουνιού μαζί με προστατευτική ζελατίνα ώστε να έχουν καλό αερισμό και μέγιστη προστασία για ταυτόχρονη κίνηση εντός και εκτός δρόμου. (*Εικόνα 7*)



Εικόνα 7 : Κράνος dual sport (Shoei Helmets)

3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Με την συγκεκριμένη έρευνα καθίστανται γνωστά τα μέρη που αποτελούν ένα κράνος, τα υλικά και οι τρόποι κατασκευής ώστε να γνωστοποιηθούν οι όποιες κατασκευαστικές δυνατότητες αλλά και αδυναμίες.

3.1. Τμήματα κράνους

3.1.1. Εξωτερικό κέλυφος



Εικόνα 8 : Εξωτερικό κέλυφος κράνους (Arai)

Το εξωτερικό κέλυφος του κράνους (*Εικόνα 8*) είναι κατασκευασμένο από υλικά ανθεκτικά σε κρούση ώστε να κατανέμεται όσο το δυνατόν περισσότερο φορτίο σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Αυτό μειώνει την συγκέντρωση δυνάμεων που φτάνουν στο κεφάλι κατά την πρόσκρουση βοηθώντας την αποδοτικότητα της εσωτερικής επένδυσης, απορροφώντας γύρω στο 30% της συνολικής ενέργειας πρόσκρουσης. Αυτό το ποσοστό δεν είναι σταθερό καθώς εξαρτάται από τις ιδιότητες των υλικών, την ταχύτητα, τον τρόπο πρόσκρουσης κ.α.. Προστατεύει επίσης από την διείσδυση ξένων αντικειμένων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν κάταγμα στο κρανίο. Πέραν τούτου σε μια πτώση η επαφή του κράνους με το δρόμο ή την οποιαδήποτε επιφάνεια διαρκεί ορισμένη χρονική διάρκεια, κατά την οποία η τριβή που δημιουργείται μπορεί να καταστρέψει εύκολα την εσωτερική αφρώδη επένδυση, κάτι που αποσοβείται με τη χρήση ενός σκληρού εξωτερικού περιβλήματος.

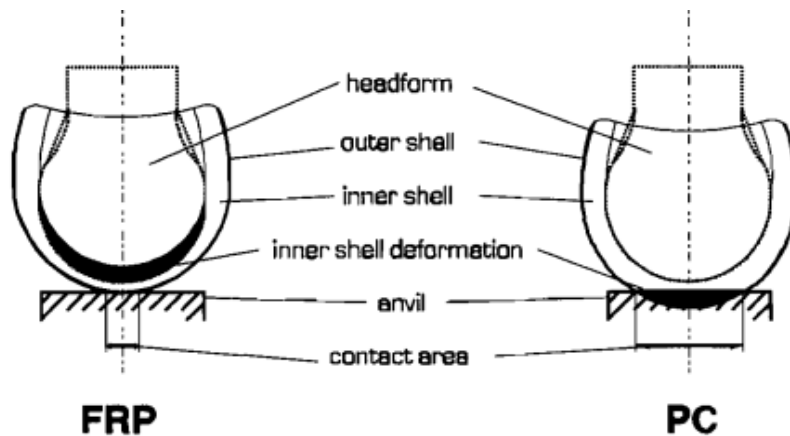
Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται είναι είτε θερμοπλαστικά, όπως το πολυανθρακικό (PC) ή το ακρυλονιτρίλιο-βουταδιένιο-στυρένιο (ABS), είτε σύνθετα με ενίσχυση από ανθρακόνημα, Kevlar ή ίνες υάλου. Τα δεύτερα παρουσιάζουν ανισότροπη συμπεριφορά κατά την κρούση, σε αντίθεση με τα πρώτα, κυρίως λόγω του τρόπου αστοχίας τους με διάδοση ρωγμών και διάτμηση των ινών. Τα θερμοπλαστικά απορροφούν την ενέργεια τόσο με λυγισμό όσο και με μόνιμη πλαστική παραμόρφωση, όμως τα σύνθετα προτιμούνται όντας πιο δύσκαμπτα, μιας και η δυσκαμψία παίζει σημαντικό ρόλο στη συνολική δυναμική απόδοση του κράνους.

Το πλεονέκτημα των κελυφών από σύνθετα υλικά μπορεί να μετατραπεί σε μειονέκτημα σε προσκρούσεις χαμηλής ενέργειας αποδεικνύοντας την εξάρτησή τους από την ταχύτητα. Αυτό διότι

το άκαμπτο κέλυφος δεν παραμορφώνεται και το κεφάλι του μοτοσυκλετιστή σταματά απότομα δημιουργώντας έντονη μετακίνηση του εγκεφάλου μέσα στο κρανίο λόγω αδράνειας, προκαλώντας εσωτερικά τραύματα.

Σε προσκρούσεις χαμηλής ενέργειας ένα θερμοπλαστικό κράνος θα μπορούσε να είναι αποτελεσματικότερο μιας και η μεγαλύτερη παραμόρφωσή του μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη παραμόρφωση της εσωτερικής επένδυσης απορρόφησης ενέργειας οδηγώντας σε συνολικά καλύτερη απορρόφηση φορτίου. Ο ρυθμός παραμόρφωσης παίζει και αυτός το ρόλο του ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολλαπλών προσκρούσεων όπου επιθυμούμε η επαναφορά του κελύφους να είναι όσο το δυνατόν ταχύτερη ώστε να συμπεριφερθεί το ίδιο από χτύπημα σε χτύπημα.

Ανάλογα, λοιπόν, με την σκληρότητα του κελύφους επιλέγεται και η πυκνότητα του αφρώδους υλικού της εσωτερικής επένδυσης. Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9) φαίνεται ο τρόπος παραμόρφωσης κελύφους και εσωτερικής επένδυσης για κράνος με κέλυφος από σύνθετο και θερμοπλαστικό υλικό αντίστοιχα και με επένδυση από EPS, σύμφωνα με τους Beusenberg και Riender (Beusenberg Marc, 1995) σε μελέτη που έκαναν για την συμπεριφορά τους.



Εικόνα 9 : Αναπαράσταση πρόσκρουσης κράνους με θερμοπλαστικό (δεξιά) και με σύνθετο υλικό κέλυφος (αριστερά) (Beusenberg Marc, 1995)

Εσκεμμένα για σκληρά κελύφη από σύνθετα υλικά συνηθίζεται να επιλέγεται αφρός χαμηλής πυκνότητας, ενώ για τα μαλακότερα θερμοπλαστικά αφρός υψηλής πυκνότητας για να αντισταθμιστεί η παραμόρφωσή τους.

Ο Pinnoji (Praveen K. Pinnoji, 2008) εξέτασε την δυνατότητα εξωτερικών κελυφών από αφρό αλουμινίου σε μια προσπάθεια μείωσης του βάρους χωρίς να αλλάξει την δυναμική απόδοση του κράνους, βασισμένος στις καλές δυνατότητες απορρόφησης ενέργειας, το χαμηλό βάρος και την υψηλή αντοχή του υλικού. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων του ήταν ενθαρρυντικά καθώς επιτεύχθη μείωση του βάρους κατά 30% σε σύγκριση με ένα κράνος από ABS όπως και της επιτάχυνσης της βαρύτητας που επιδρά στο κεφάλι, όμως η μόνιμη πλαστική του παραμόρφωση αποτελεί μειονέκτημα σε περίπτωση πολλαπλών προσκρούσεων στο ίδιο σημείο.

Για την κατασκευή των θερμοπλαστικών χρησιμοποιείται η μέθοδος της χύτευσης σε καλούπι και γίνεται εκχέοντας το υλικό σε ρευστή μορφή. Το καλούπι αποτελείται από δύο κομμάτια, εντός των

οποίων η θερμοκρασία και η πίεση είναι συγκεκριμένες ενώ μετά τη χύτευση το κομμάτι αφήνεται να «δέσει».

Για την κατασκευή κελυφών από σύνθετα υλικά το καλούπι αποτελεί το αποτύπωμα του σχήματος που θέλουμε να δώσουμε και σε αυτό γίνεται η εναπόθεση ρητίνης και υφάσματος της ενίσχυσης, συνήθως με διαφορετική κατεύθυνση των ινών ανά στρώμα.

Σύστημα προστασίας κεφαλιού PHILLIPS (PHPS)

Το PHPS ενισχύει τον παραδοσιακό σχεδιασμό κράνους προσθέτοντας μια ειδικά σχεδιασμένη μεμβράνη υψηλής τεχνολογίας πάνω από το εξωτερικό του κράνους. Χρησιμοποιήθηκαν αρκετά υλικά, όπως πλαστικοποιημένο PVC, αφρός PU υψηλής πυκνότητας και ελαστικό αφρώδες ελαστικό. Η μεμβράνη έχει σχεδιαστεί για να γλιστρά με ελεγχόμενο τρόπο πάνω στο εσωτερικό κέλυφος του κράνους. Αυτή μιμείται το ανθρώπινο τριχωτό της κεφαλής, το οποίο αποτελεί φυσική προστασία του εγκεφάλου και του κρανίου και που με ολίσθηση στο κρανίο περιορίζει την περιστροφή. Αναπτύχθηκε μαζί με ένα ειδικά σχεδιασμένο λιπαντικό. Ένα επεξηγηματικό παράδειγμα παρουσιάζεται στην *Εικόνα 10*.



Εικόνα 10 : Το σύστημα PHPS (AskNature, 2016)

Το λιπαντικό και η ελαστική ποιότητα της μεμβράνης PHPS σε κράνος μειώνει την περιστροφική δύναμη την επίδραση αυτής κατά περισσότερο από 60% στα κρίσιμα χιλιοστά του δευτερολέπτου μετά από κρούση, μειώνοντας σημαντικά το τραύμα της κεφαλής και τον κίνδυνο τραυματισμού του εγκεφάλου.

Αυτή η τεχνολογία εμφανίστηκε στην αγορά από το κράνος SuperSkin της Lazer. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά την πρώτη εμπορική υλοποίηση του PHPS από την LAZER Helmets SA επιβεβαίωσαν ότι η πρόσκρουση με LAZER SuperSkin μείωσε τον κίνδυνο εγκεφαλικού τραύματος κατά 67,5%, μειώνοντας τις μηχανικές επιδράσεις της περιστροφικής επιτάχυνσης κατά περισσότερο από 50%. (AskNature, 2016)

3.1.2. Επένδυση απορρόφησης ενέργειας



Εικόνα 11 : Επένδυση απορρόφησης ενέργειας (Arai)

Ο σκοπός της αφρώδους επένδυσης απορρόφησης ενέργειας (*Εικόνα 11*) είναι να απορροφήσει την υπόλοιπη δύναμη της κρούσης η οποία απορροφήθηκε εν μέρει και διασκορπίστηκε από το εξωτερικό κέλυφος. Αυξάνοντας την απόσταση και την χρονική περίοδο κατά την οποία το κεφάλι σταματά, απορροφώντας το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας πρόσκρουσης και μειώνει το φορτίο που μεταδίδεται στο κεφάλι καθώς αυτό επιβραδύνεται.

Η πυκνότητα, όπως και το πάχος της επένδυσης, παίζουν σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά και την αποδοτικότητα του κράνους. Η τάση στην οποία συνθλίβεται ο αφρός συνδέεται άμεσα με την πυκνότητα, το μέτρο ελαστικότητας με το κριτήριο τραυματισμού HIC και το μέτρο του Young με την εμβυομηχανική συμπεριφορά του κεφαλιού.

Αφρός διογκωμένης πολυστερίνης (Expanded Polystyrene – EPS)

Το υλικό που χρησιμοποιείται κατά κόρον είναι ο αφρός διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) λόγω των πολύ καλών επιδόσεων στην απορρόφηση φορτίου, το χαμηλό του κόστος και βάρος. Η πυκνότητά του κυμαίνεται από 30 έως 90 kg/m³, με την επιλογή να εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Κατά την διαδικασία κατασκευής σφαιρίδια πολυστυρενίου διογκώνονται σε ένα ποσοστό αρχικά σε μία δεξάμενη με τη χρήση θερμού αέρα και πίεσης και στη συνέχεια εισάγονται στο καλούπι όπου γίνεται το τελικό στάδιο διόγκωσης και συμπιέζονται στο τελικό σχήμα. Πλέον υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας αφρού με διαφορετική πυκνότητα ανά στρώμα, σε μια προσπάθεια η μηχανική συμπεριφορά του να καλύπτει και τις προσκρούσεις χαμηλής ενέργειας αλλά και τις υψηλής. Το μειονέκτημά του συγκεκριμένου αφρού είναι ότι δεν μπορούν να φτιαχτούν κομμάτια που να ξεπερνούν τις 1800. Επίσης σε έρευνα αποδείχτηκε πως με το πέρασμα του χρόνου και την επίδραση υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας οι μηχανικές ιδιότητές του φθίνουν, έχοντας αρνητικό αντίκτυπο στην προστασία του αναβάτη. (De-Shin Liua, 2002)

Αφρός διογκωμένου πολυπροπυλενίου (Expanded Polypropylene - EPP)

Ένας άλλος αφρός που βρίσκει εφαρμογή σε κράνη είναι αυτός από διογκωμένο πολυπροπυλένιο ο οποίος έχει παρόμοιες ιδιότητες με τον EPS με τη διαφορά ότι είναι βαρύτερος και ανακτά το σχήμα του μετά την κρούση. Η αντοχή του σε σύνθλιψη επηρεάζεται από την υψηλή θερμοκρασία.

Η παραγωγή του γίνεται με χύτευση σε διαιρούμενο καλούπι αποτελούμενο από δύο κομμάτι, με το κενό ανάμεσά τους να διαμορφώνει το τελικό σχήμα. Σε αυτόν δεν υπάρχει περιορισμός στο μέγεθος της καμπυλότητας, ενώ οι τρύπες για το σύστημα αερισμού διαμορφώνονται εύκολα μέσα στο καλούπι. (F.M. Shuaeib, 2001)

Αφρός πολυουρεθάνης (Polyurethane foam liner – PU)

Ο αφρός πολυουρεθάνης αποτελεί είναι μια εναλλακτική του EPS. Έχει καλές επιδόσεις στην απορρόφηση ενέργειας και για πολλαπλές προσκρούσεις ενώ η τιμή του είναι χαμηλότερη σε σχέση με τους υπόλοιπους αφρούς. Δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα λόγω του μεγαλύτερου βάρους που παίζει σημαντικό ρόλο κατά τη χρήση του κράνους.

Η κατασκευή εσωτερικής επένδυσης από PU για κράνος γίνεται σε καλούπι. Αρχικά είναι ανοιχτό και σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, με την πρώτη ύλη να εισέρχεται στο ένα κομμάτι του καλουπιού με το άλλο να κλείνει διαμορφώνοντας το επιθυμητό σχήμα. (F.M. Shuaeib, 2001)

Φελλός μικροσυσσωματώματος (MAC)

Ο φελλός είναι ένα φυσικό υλικό με καλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, υψηλή ελαστικότητα και ικανότητα του να διατηρεί την απορροφητική του ενέργεια σχεδόν αμετάβλητη μετά την πρώτη πρόσκρουση, κυρίως λόγω της ελαστικής του συμπεριφοράς, η οποία είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό σε καταστάσεις πολλαπλών προσκρούσεων. Δεν έχει υπάρξει ακόμα εφαρμογή σε κράνος του εμπορίου, κυρίως λόγω του βάρους του, όμως οι μέχρι τώρα δοκιμές δείχνουν πως με υβριδικές επενδύσεις EPS/ MAC θα μπορούσαν να φτιαχτούν πολύ αποδοτικά κράνη. (Fábio A. O. Fernandes 1)

3.1.3. Προηγμένες λύσεις εσωτερικών επενδύσεων

Στην αγορά βρίσκονται ήδη κάποιες καινοτόμες λύσεις, όπως αναφέρονται παρακάτω, οι οποίες ξεφεύγουν από τις καθιερωμένες δομές και αποσκοπούν στην μείωση των περιστροφικών δυνάμεων, πέραν της προστασίας του κρανίου από κατάγματα.

MIPS

Το MIPS ή αλλιώς Multi-Directional Impact Protection System είναι μια λύση η οποία εμπνέεται από την ολίσθηση του εγκεφάλου μέσα στο κρανίο κατά την πρόσκρουση. Σε ένα κράνος με τέτοιο σύστημα η εσωτερική επένδυση αποτελείται από δυο τμήματα ενωμένα μεταξύ τους με έναν μηχανισμό ο οποίος επιτρέπει την κίνηση των δύο σε διαφορετική κατεύθυνση ενώ ταυτόχρονα υπάρχει συμπίεση του αφρού και προστασία από τις ευθύγραμμες δυνάμεις πρόσκρουσης. Σε αριθμητικές και πειραματικές δοκιμές τα αποτελέσματα δείχνουν μείωση των επιδρώντων δυνάμεων

στον εγκέφαλο έως και 40% με γωνία πρόσκρουσης 45°. Ένα κράνος με τέτοιο σύστημα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, *Εικόνα 12*.



Εικόνα 12 : Κράνος μοτοσυκλέτας με σύστημα MIPS (Bell Helmet)

Ανάρτηση παντός κατευθύνσεως (Omni-directional suspension – ODS)

Τα κράνη της 6D (*Εικόνα 13*) εξοπλίζονται με σύστημα ανάρτησης παντός κατευθύνσεως (ODS) που χρησιμοποιεί αποσβεστήρες ελαστομερούς υλικού για να μειώσει τη μεταφορά ενέργειας και γωνιακής επιτάχυνσης στον εγκέφαλο σε περίπτωση ατυχήματος. Αυτοί οι αποσβεστήρες τοποθετούνται μεταξύ δύο επενδύσεων από διογκωμένη πολυστερίνης (EPS) και συμπιέζονται κατά την κρούση. Εάν η ενέργεια πρόσκρουσης είναι αρκετά υψηλή, τα στρώματα EPS συμπιέζονται και αναλαμβάνουν την απόσβεση της ενέργειας.

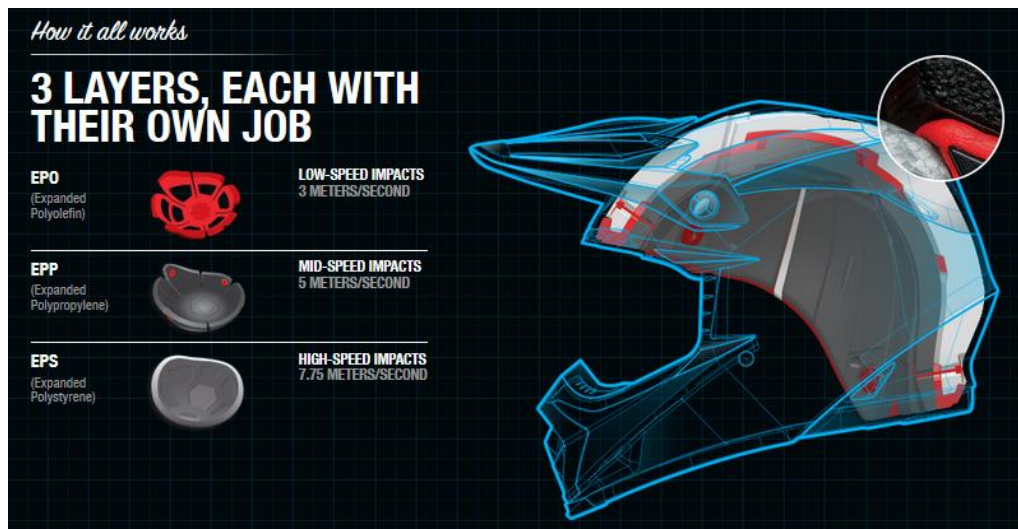
Υπάρχουν μερικές πρόσθετες λειτουργίες του συστήματος ODS. Για παράδειγμα, οι συγκεκριμένου τύπου αποσβεστήρες, ανάμεσα σε διπλές επενδύσεις EPS, επιτρέπουν στο κράνος να λειτουργεί ακόμα καλύτερα σε προσκρούσεις χαμηλής ενέργειας από μια παραδοσιακή επένδυση EPS. Επίσης, το μικρό χάσμα μεταξύ των δύο επενδύσεων διπλασιάζει το χώρο του συστήματος εξαερισμού.



Εικόνα 13 : Κράνος με ανάρτηση παντός κατευθύνσεως (6D Helmets)

Κράνος Moto Flex 9

Το συγκεκριμένο κράνος είναι της εταιρείας Bell (*Εικόνα 14*) και αποτελείται από τρία στρώματα εσωτερικής επένδυσης απορρόφησης ενέργειας, διαφορετικού πάχους και υλικού, με σκοπό το καθένα ξεχωριστά να αποφέρει τη βέλτιστη προστασία για συγκεκριμένες τιμές ταχύτητας πρόσκρουσης, καλύπτοντας αθροιστικά όλο το φάσμα. Έτσι έχουμε το πρώτο στρώμα από διογκωμένη Πολυολεφίνη (EPO) για τις χαμηλές ταχύτητες των 3 m/s, αυτό μαζί με το δεύτερο στρώμα διογκωμένου Πολυπροπυλενίου (EPP) για τις μεσαίες ταχύτητες των 5 m/s και το τρίτο από διογκωμένη Πολυστυρένη (EPS) μαζί με τα άλλα δύο για τις υψηλές ταχύτητες των 7,75 m/s. Μια "ζώνη ολίσθησης" μέσα στην επένδυση, μεταξύ των στρωμάτων, επιτρέπει λεπτή κίνηση και λειτουργεί για τη μείωση της μεταφοράς περιστροφικής ενέργειας από γωνιακές επιπτώσεις.



Εικόνα 14 : Τομή του κράνους Moto Flex 9 και τα τρία στρώματα της επένδυσης απορρόφησης ενέργειας (Bell Helmets)

3.1.4. Εσωτερική επένδυση

Η εσωτερική επένδυση συνίσταται από αφρό καλυμμένο από ένα ύφασμα που έρχεται σε επαφή και περιβάλλει το κεφάλι. Αυτός είναι γενικά κατασκευασμένη από μαλακούς και εύκαμπτους αφρούς χαμηλής πυκνότητας όπως PU ή πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) . Διατηρεί την άνεση και την επαρκή στερέωση του κράνους κατανέμοντας τις στατικές δυνάμεις επαφής ώστε να αποφεύγονται πονοκέφαλοι. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν καλές απορροφητικές ικανότητες και ικανότητες αερισμού ώστε να συγκρατούν τον ιδρώτα και να επιτρέπουν τη ροή αέρα για την αποβολή θερμότητας και υγρασίας.



Εικόνα 15 : Εσωτερική επένδυση κράνους (Fulmer)

3.1.5. Ζελατίνα

Η ζελατίνα αποτελεί το κομμάτι που όντας κλειστό προστατεύει το πρόσωπο από εξωγενής παράγοντες αφήνοντας ελεύθερο το οπτικό πεδίο του αναβάτη, με τη δυνατότητα να περιστρέφεται προς το πάνω μέρος του κράνους για να υπάρχει πρόσβαση στο πρόσωπο. Συνδυάζεται με μηχανισμό που επιτρέπει την εύκολη αντικατάστασή της. Το υλικό κατασκευής της είναι συνήθως ένα διαφανές πλαστικό όπως το PC με αντιχαρακτική και αντιθαμβωτική επίστρωση. Η δεύτερη αναφέρεται ως Pinlock και αποτελεί επιπλέον εξάρτημα που κουμπώνει στη ζελατίνα με την προϋπόθεση αυτή να φέρει τις κατάλληλες βάσεις.

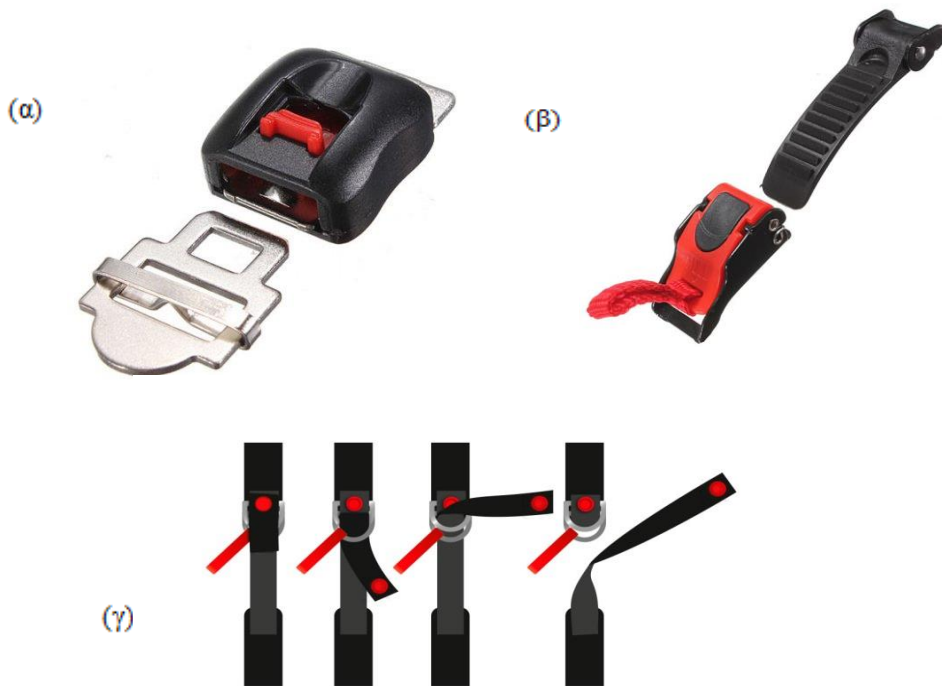
Σε έρευνα του Brühwiler (Brühwiler Paul A., 2006) σχετικά με τις διάφορες αποχρώσεις που μπορεί να πάρουν οι ζελατίνες, αποδεικνύεται πως όσο πιο σκούρα είναι η ζελατίνα τόσο μειώνεται η θερμότητα στο εσωτερικό του κράνους ενώ αντίστροφα ήταν τα αποτελέσματα για την ορατότητα, ιδιαίτερα σε συνθήκες μειωμένης φωτεινότητας όπως το βράδυ (*Εικόνα 16*).



Εικόνα 16 : Ζελατίνα κράνους σε διαφορετικές αποχρώσεις

3.1.6. Σύστημα συγκράτησης

Το σύστημα συγκράτησης αποτελείται από ένα λουρί με έναν μηχανισμό δεσίματος (Εικόνα 17 (α), (β), (γ)) ώστε να κρατά το κράνος σε σταθερή θέση, διατηρώντας την καλή εφαρμογή στο κεφάλι, κάτι που έχει σημαντικό αντίκτυπο σε περίπτωση πρόσκρουσης καθώς υπάρχουν δεδομένα αφαίρεσης του κράνους από το κεφάλι ακόμα και αν αυτό ήταν δεμένο. Οι επικρατέστεροι σύνδεσμοι λουριού κράνους είναι οι quick-release (γρήγορης αποδέσμευσης) και double D, όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 17 : (α),(β): Μηχανισμοί quick-release (Quick Release) (Quick Release) και (γ) double-D (Double D)

3.1.7. Σύστημα αερισμού

Ο αερισμός αποσκοπεί στην μεταφορά θερμότητας και υγρασίας από το εσωτερικό του κράνους και πραγματοποιείται μέσω οπών που βρίσκονται συνήθως στην περιοχή του πιγουνιού, του μετώπου και στο πίσω μέρος του κράνους. Οι αντίστοιχες θύρες έχουν τη δυνατότητα να ανοιγοκλείνουν εύκολα και εν κινήσει, για την παροχή ή όχι αέρα στο εσωτερικό, ανάλογα με την επιθυμία του αναβάτη. Στην εσωτερική επένδυση απορρόφησης φορτίου υπάρχουν αυλακώσεις που διοχετεύουν και κατευθύνουν τον αέρα.

4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΕΣΗΣ

Σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν στο αίσθημα άνεσης κατά τη χρήση ενός κράνους μοτοσυκλέτας είναι ο καλός αερισμός, η ηχομόνωση, η θερμομόνωση, το βάρος και το οπτικό πεδίο που αφήνει στον αναβάτη. Το εύρος του οπτικού πεδίου ορίζεται από τους κανονισμούς ασφαλείας ενώ το βάρος εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τα πάχη αυτών με το μέσο όρο των κρανών της αγοράς να είναι στο 1,5 κιλό. Αντίθετα οι υπόλοιποι παράγοντες είναι πιο σύνθετοι, με την εύρεση της βέλτιστης εφαρμογής να είναι δύσκολη καθώς αυτοί συγχέονται μεταξύ τους.

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Pinnoji, Haider και Mahajan (Pinnoji K. Praveen, 2008) μετρήθηκαν υπολογιστικά οι ταχύτητες ροής για πέντε διαφορετικές δομές αυλακώσεων, για διαφορετικές κλίσεις της οπής στην περιοχή του μετώπου και έγινε υπολογιστικά δυναμική ανάλυση πρόσκρουσης για να δουν πως η αυλακώσεις επηρεάζουν την αποδοτικότητα του κράνους.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό είναι μικρή ενώ ο προσανατολισμός των θυρών επηρεάζει την ταχύτητα, με αυτήν που είναι εφαπτομενικά του κεφαλιού να δίνει τις υψηλότερες τιμές. Η δυναμική ανάλυση έδειξε πως δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις δυνάμεις που επιδρούν στο κεφάλι για τις δομές που αναλύθηκαν, ενώ τα αποτελέσματα κατά το κριτήριο HIC ήταν κάτω του ορίου τραυματισμού για ταχύτητα πρόσκρουσης 7m/s αλλά όχι για υψηλότερες.

Σε έρευνα όπου έγιναν εργαστηριακές μετρήσεις σε κούκλα δοκιμών και σε δώδεκα κράνη, (α) έξι υπό κλίση 30⁰, (β) έξι με προσθήκη περούκας και (γ) για διαφορετικές ταχύτητες οι Brühwiler και Bogerd (Brühwiler P.A., 2008) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η απαγωγή θερμότητας στα κράνη είναι αρκετά περίπλοκη, μειώθηκε με τη χρήση περούκας κατά 50% σε σχέση με γυμνό κεφάλι και όταν το κράνος βρίσκεται υπό κλίση, ενώ επηρεάζεται από την ταχύτητα του αέρα.

Αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε και μέσω ακτινοβολίας με την απόχρωση της ζελατίνας, το χρώμα του κράνους και τις ιδιότητες του υλικού να επηρεάζουν την ποσότητα θερμότητας που θα μεταφερθεί στο εσωτερικό του κράνους.

Ο θόρυβος που φτάνει στα αυτιά του μοτοσικλετιστή μπορεί να είναι ενοχλητικός και μπορεί να του δημιουργήσει μόνιμο πρόβλημα ακοής ή να υπερκαλύψει άλλους ήχους, όπως τις φωνές κάποιου, βάζοντάς τον σε κίνδυνο. Κύριες πηγές του είναι ο κινητήρας και τα λάστιχα της μοτοσυκλέτας καθώς και ο αέρας. Όσον αφορά την ηχομόνωση του κράνους ο Carley (Carley Michael, 2010) διεξήγαγε έρευνα σχετικά με τους μηχανισμούς πρόκλησης θορύβου στα κράνη μοτοσυκλέτας και κατέληξαν πως οι στροβιλισμοί που δημιουργούνται από την ζελατίνα της μοτοσυκλέτας παίζουν σημαντικό ρόλο. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί εστιάζοντας στα σημεία και τον τρόπο αλληλεπίδρασης του κράνους με τη ροή του αέρα. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να συμβεί αυξάνοντας το ύψος της ζελατίνας της μοτοσυκλέτας με επίπτωση στο οπτικό πεδίο του αναβάτη.

Σε μια άλλη έρευνα μέτρησης του θορύβου σε κράνη των προαναφερθέντων, (Carley M., 2011), παρατηρήθηκε πως ο εντονότερος θόρυβος βρίσκεται στο κενό ανάμεσα στο πιγούνι και την αντίστοιχη περιοχή του κράνους, με την κλίση αυτού και την ταχύτητα του αέρα να παίζουν το ρόλο τους.

Η επιρροή των παραπάνω παραγόντων άνεσης καθώς και άλλων στην χρήση κρανών μοτοσυκλέτας αποδεικνύεται και στα αποτελέσματα μιας τετραετούς πανευρωπαϊκής έρευνας που διεξήχθη στα πλαίσια της COST 357 (Orsi C., 2012). Σε αυτήν έγινε καταγραφή των παραπόνων μέσω ερωτηματολογίου, μοτοσικλετιστών που είτε ενεπλάκησαν σε ατύχημα είτε όχι και εξέταση των κρανών τους.

Σύμφωνα με αυτή, τα $\frac{3}{4}$ των ερωτηθέντων παραπονέθηκαν για το κράνος τους με τα παράπονα να αφορούν:

1. το θόρυβο
2. το θάμπωμα της ζελατίνας
3. τον κακό αερισμό
4. το κούμπωμα, κυρίως με σύστημα quick release
5. τον περιορισμό του οπτικού πεδίου

Τα παραπάνω παράπονα δεν αποτέλεσαν αιτία πρόκλησης ατυχήματος.

Σε έρευνα σχετικά με το μέγεθος, την σταθερότητα και την σωστή θέση του κράνους, (Thai Kim T., 2015), οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα μεγέθη που προτείνονται από τις εταιρείες δεν αντιστοιχούν στα τυποποιημένα κατά ISO μεγέθη αν και οι αναβάτες ήταν ικανοποιημένοι από πλευράς άνεσης και εφαρμογής. Κρίθηκε ωστόσο, ύστερα από δοκιμές, πως τα κράνη είχαν μεγάλη πιθανότητα να φύγουν από το κεφάλι του αναβάτη σε μια πτώση.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΑΡΚΕΤΙΝΚ

Πέραν της βιβλιογραφικής έρευνας σχετικά με τα είδη και μέρη των κρανών μοτοσυκλέτας, τα πρότυπα ασφαλείας και τον αρχικό σκοπό της εργασίας, μια έρευνα μέσω μάρκετινγκ θα βοηθήσει στον προσδιορισμό της ομάδας χρηστών και των επιμέρους αναγκών αυτής, έτσι ώστε να εμπλουτιστούν οι σχεδιαστικές προδιαγραφές και να αποκτήσει συγκεκριμένο χαρακτήρα το τελικό μας προϊόν. Μέσω της διαδικασίας Τμηματοποίηση- Στόχευση- Χωροθέτηση (STP process) αποσκοπάται η διαίρεση της αγοράς σε τμήματα, το πώς και ποιό κομμάτι αυτής θα ανταγωνιστούμε και ποιοί είναι οι πιθανοί πελάτες.

Τμηματοποίηση

Προσδοκώμενο όφελος

Επειδή μιλάμε για μια συσκευή ασφαλείας το προσδοκώμενο όφελος είναι η προστασία του κεφαλιού του αναβάτη σε περίπτωση ατυχήματος.

ΠΕΡΙΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ

1. καθημερινά για μετακίνηση εντός πόλης
2. σε ταξίδια
3. για χρήση σε πίστα

ΠΙΣΤΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ

1. τυχαία χρήση διαφορετικών εναλλακτικών (random user)
2. χρήση κάποιων εναλλακτικών (switcher)
3. αποκλειστική χρήση συγκεκριμένης μάρκας (loyal customer)

ΨΥΧΟΓΡΑΦΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

1. Θέλει κάτι πρακτικό που αντέχει στην καθημερινή χρήση
2. Δίνει έμφαση στην άνεση πέραν της ασφάλειας
3. Δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ασφάλεια και την άνεση

ΠΡΟΦΙΛ

1. Αναβάτες που χρησιμοποιούν τη μοτοσυκλέτα τους για την καθημερινή τους μετακίνηση μέσα στην πόλη. Θέλουν πολύ καλή επαφή με το περιβάλλον τους για την αποφυγή ατυχημάτων. Βάζουν και βγάζουν το κράνος τους αρκετές φορές μέσα στην μέρα ενώ οι ταχύτητες που αναπτύσσουν είναι σχετικά μικρές και διαδρομές κοντινές, με συχνές στάσεις. Φορούν κάποιο αξεσουάρ στο πρόσωπό τους και θέλουν να κάνουν χρήση του κινητού τους ενώ οδηγούν, μέσω κάποιας συσκευής ή ακουστικών. Το κράνος αποτελεί κομμάτι του στυλ τους, παρόλα αυτά δεν θέλουν να το κουβαλούν μαζί τους.

2. Αναβάτες που χρησιμοποιούν τη μοτοσυκλέτα τους για ταξίδια αλλά και περιστασιακά μέσα στην πόλη. Επιθυμούν κάτι ελαφρύ, με καλό αερισμό για να μην τους επιβαρύνει κατά την πολύωρη οδήγηση και με τις εξωτερικές συνθήκες να αλλάζουν, δεν θέλουν να σταματήσουν το ταξίδι τους. Οι ταχύτητα κίνησής τους είναι σχετικά υψηλή και ανάλογη της διαδρομής, σε εθνικές και επαρχιακές οδούς, με υψομετρικές διαφορές και εναλλαγές των καιρικών συνθηκών. Η πολύωρη έκθεση σε θόρυβο μπορεί να δημιουργήσει δυσφορία.

3. Αναβάτες που χρησιμοποιούν τη μοτοσυκλέτα τους για αγωνιστική ή ερασιτεχνική χρήση σε πίστες ταχύτητας. Οι συγκεκριμένες μοτοσυκλέτες έχουν σκυφή θέση οδήγησης και αεροδυναμικό σχήμα ώστε να αναπτύσσουν πολύ υψηλές ταχύτητες. Δίνεται μεγάλη έμφαση στην καλή εφαρμογή και αεροδυναμική του κράνους για να μην επιβαρύνει επιπλέον τον αναβάτη. Το βάρος παίζει ρόλο και στην συνολική αναλογία κιλών/ίππο του συνόλου αναβάτη-μοτοσυκλέτας. Η εφίδρωση και η υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται λόγω της έντονης σωματικής άσκησης δεν πρέπει να επηρεάσουν την συγκέντρωση του αναβάτη.

Στόχευση

Η στόχευση που επιλέγω για να προσδώσω αξία στο προϊόν είναι εστιασμένη δηλαδή αφορά μία συγκεκριμένη ομάδα χρηστών και συγκεκριμένα το πρώτο προφίλ αναβατών, ενώ το προϊόν μπορεί να αποτελεί πρόταση γνωστής εταιρείας που θέλει να αυξήσει το μερίδιο αγοράς της επενδύοντας σε νέες, καινοτόμες λύσεις.

Χωροθέτηση

Το προϊόν θα θέλαμε να αποπνέει αίσθημα σιγουριάς και ασφάλειας στον χρήστη, φέρνοντας μια διαφορετική-καινοτόμα προσέγγιση στον τρόπο προστασίας, αποπνέοντας αίσθημα υπεροχής. Επίσης να είναι πρακτικό, καλαίσθητο, φιλικό προς το περιβάλλον και με πλήρη γκάμα ανταλλακτικών και αξεσουάρ που θα διατηρούν την καλή του κατάσταση, δίνοντας στον αναβάτη την δυνατότητα εξατομίκευσης ώστε να αποτελέσει κομμάτι του προσωπικού του στυλ.

Με το πέρας της ανάλυσης Μάρκετινγκ έχει καθοριστεί πλέον η ομάδα χρηστών και οι ανάγκες αυτής, ο τρόπος στόχευσής της και τα προσδοκώμενα οφέλη σύμφωνα με την εικόνα που επιθυμούμε να αποπνέει το προϊόν μας, οπότε πλέον μπορούν να σχηματιστούν πιο συγκεκριμένες προδιαγραφές σχεδίασης.

6. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Έπειτα από την ανάλυση Μάρκετινγκ ακολουθεί ο ορισμός των σχεδιαστικών προδιαγραφών για αναβάτες αστικού περιβάλλοντος που θέλουν ένα καλαίσθητο, άνετο και ανθεκτικό κράνος για καθημερινή χρήση, με τη δυνατότητα συντήρησης ή αντικατάστασης ορισμένων τμημάτων του.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

- Να προστατεύει όλο το κεφάλι από γραμμικές επιταχύνσεις σε οποιαδήποτε πτώση
- Να μειώνει τις περιστροφικές επιταχύνσεις
- Να παρέχει καλό αερισμό
- Να αφήνει ευρύ οπτικό πεδίο στον αναβάτη
- Να παρέχει καλή ηχομόνωση
- Να προστατεύει το πρόσωπο

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Να έχει καλή εφαρμογή
- Να είναι εύκολο στη χρήση
- Τα υλικά που έρχονται σε επαφή με το δέρμα είναι υποαλλεργικά
- Τα κομμάτια της εσωτερικής επένδυσης αφαιρούνται και πλένονται
- Έχει καλή απορρόφηση ιδρώτα
- Η ζελατίνα αντικαθίσταται
- Κατασκευασμένο από ανακυκλώσιμα υλικά
- Πληθώρα μεγεθών
- Μοντέρνος σχεδιασμός

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

- Η επιτάχυνση της βαρύτητας που επιδρά στο κεφάλι είναι <275g
- Οπτικό πεδίο βάση ECE 22.05 (United Nations, 2002)
- Συνολικό πάχος κατασκευής όχι μεγαλύτερο από 5cm περιμετρικά της κεφαλής
- Συνολικό βάρος <1,6kg

7. ΒΙΟΜΙΜΗΣΗ

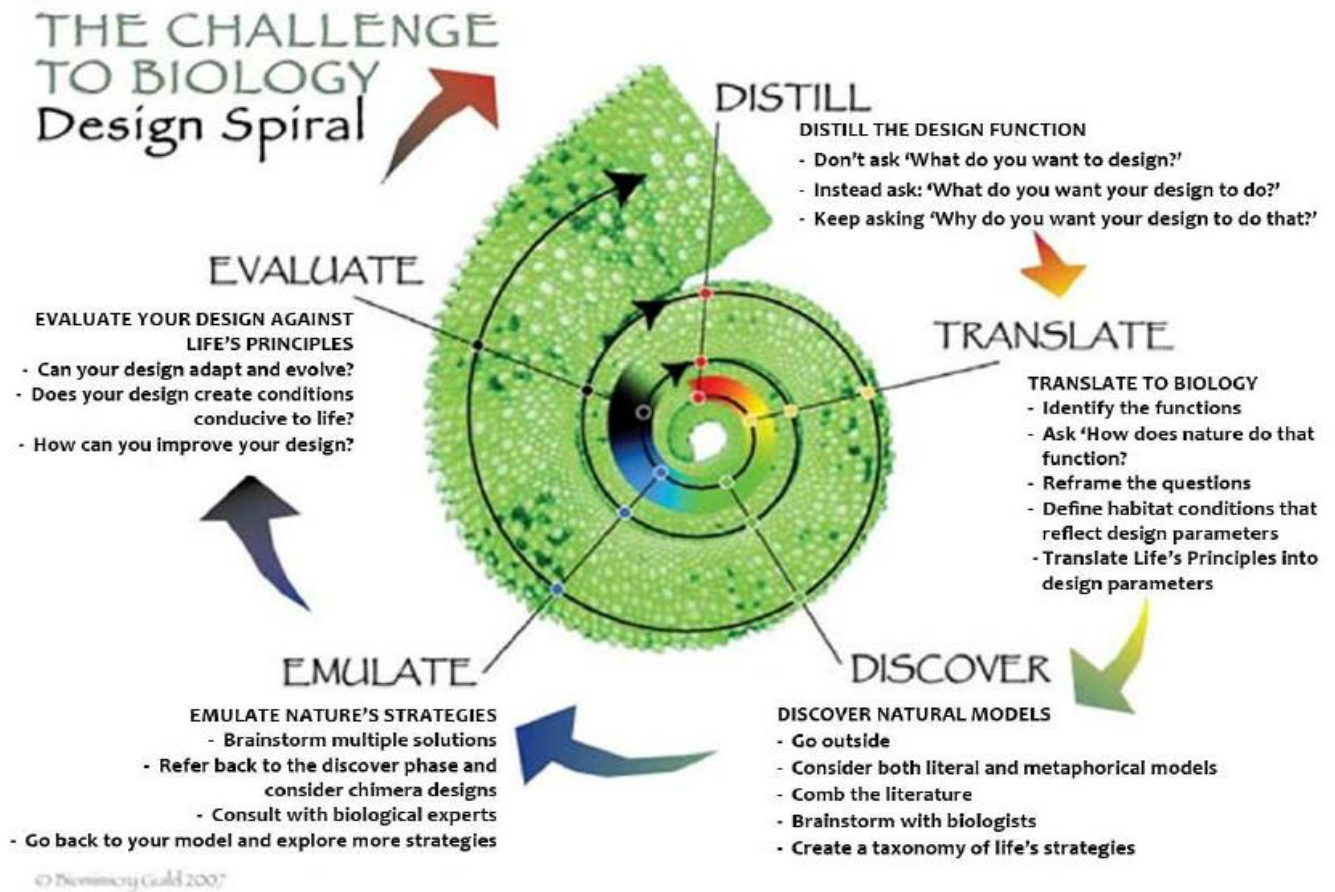
Ένα εργαλείο στην διευκόλυνση καινοτόμων λύσεων αποτελεί η Βιομίμηση και η επιλογή αυτής για την εύρεση λύσεων ως προς την προστασία του κεφαλιού έγινε σε μια προσπάθεια απεγκλωβισμού της σκέψης από τις μέχρι τώρα αρχιτεκτονικές, οι οποίες παραμένουν ίδιες και εξαρτώνται αποκλειστικά από την τεχνολογία των υλικών.

Η Βιομίμηση είναι μια μέθοδος κατά την οποία ο κύριος εμπνευστής των δημιουργιών μας είναι η φύση. Οι εφαρμογές των στοιχείων που αντλούμε από αυτήν μπορεί να είναι είτε αισθητικού είτε λειτουργικού χαρακτήρα. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση είτε παίρνουμε τη φύση ως παράδειγμα για να δούμε πως αυτή δίνει λύση σε ένα πρόβλημα, είτε παρατηρούμε τις λειτουργίες των συστημάτων και των επιμέρους μελών της, βρίσκοντας εφαρμογές των ευρημάτων εκ των υστέρων. Άλλωστε έπειτα από την καταστροφική επιρροή του ανθρώπου στο περιβάλλον κυρίως από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση και έπειτα, και την κρίσιμη κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο πλανήτης, κρίνεται απαραίτητο και σοφότερο οι λύσεις των προβλημάτων να πηγάζουν και να είναι εναρμονισμένες με τις βασικές αρχές της φύσης. Μετά από 3,6 δισεκατομμύρια χρόνια εξέλιξης ξέρει πλέον τι δουλεύει, τι είναι σωστό και τι διαρκεί.

7.1. Challenge to biology

Η μέθοδος που ακολούθησα για την εύρεση πιθανών λύσεων-εμπνεύσεων είναι αυτή που προτείνεται από το Παγκόσμιο Ινστιτούτο Βιομίμησης για περιπτώσεις όπου γνωρίζουμε το πρόβλημα και ψάχνουμε στη φύση τρόπους με τους οποίους η ίδια αντιμετωπίζει παρόμοια προβλήματα (Challenge to Biology, *Εικόνα 18*). Έτσι ακολουθώντας τα βήματα, που φαίνονται στην Εικόνα, βρήκα τις αρχικές πληροφορίες χρησιμοποιώντας ως κύριο μοχλό τη μηχανή αναζήτησης *AskNature.org* και με περαιτέρω έρευνα προέκυψαν αναλυτικότερα αποτελέσματα.

Παρακάτω αναλύεται αυτή η διαδικασία με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθόδου να αναφέρονται μετέπειτα.



Εικόνα 18 : Σχηματική απεικόνιση της σχεδιαστικής διαδικασίας *Challenge to biology* (Ingrid de Pauw - Prabhu Kandachar - Elvin Karana - David Peck, 2010)

- DISTILL

Στο πρώτο βήμα θέτουμε το βασικό ερώτημα του τι θα θέλαμε ο σχεδιασμός μας να πετύχει.

- TRANSLATE

Το δεύτερο βήμα αφορά την διαίρεση σε επιμέρους τμήματα του αρχικού ερωτήματος που θα μπορούσαν να φέρουν απάντηση σε αυτό. Ψάχνουμε δηλαδή τρόπους που θα έδιναν λύση στο αρχικό πρόβλημα, θέτοντας παράλληλα παραμέτρους και οριακές συνθήκες για το σχεδιασμό μας.

- DISCOVER

Το κομμάτι αυτό αποτελεί την έρευνα, βιβλιογραφική και παρατήρηση πεδίου, τα ευρήματα της οποίας αποτελούν πηγή έμπνευσης για τη παραγωγή ιδεών. Αναζητούμε τρόπους με τους οποίους η φύση έχει δώσει λύση σε αντίστοιχα προβλήματα.

- EMULATE

Σε αυτό το βήμα γίνεται η παραγωγή ιδεών και πιθανόν λύσεων που συνοδεύονται από εκτενέστερη έρευνα για να διαλευκανθούν κενά και ερωτηματικά που ίσως δημιουργηθούν.

- EVALUATE

Το - θεωρητικά - τελευταίο βήμα είναι η συγκέντρωση όσων προέκυψαν στα προηγούμενα βήματα, σε ολοκληρωμένες προτάσεις οι οποίες εξετάζονται και αξιολογούνται σύμφωνα με άλλες παραμέτρους και προδιαγραφές που έχουν τεθεί ώστε να κριθεί αν και που χρειάζονται βελτίωσης.

Εάν η όλη διαδικασία δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα ή χρειάζονται βελτιώσεις και επαναπροσδιορισμοί, τα βήματα επαναλαμβάνονται έως ότου επιτύχουμε το στόχο μας.

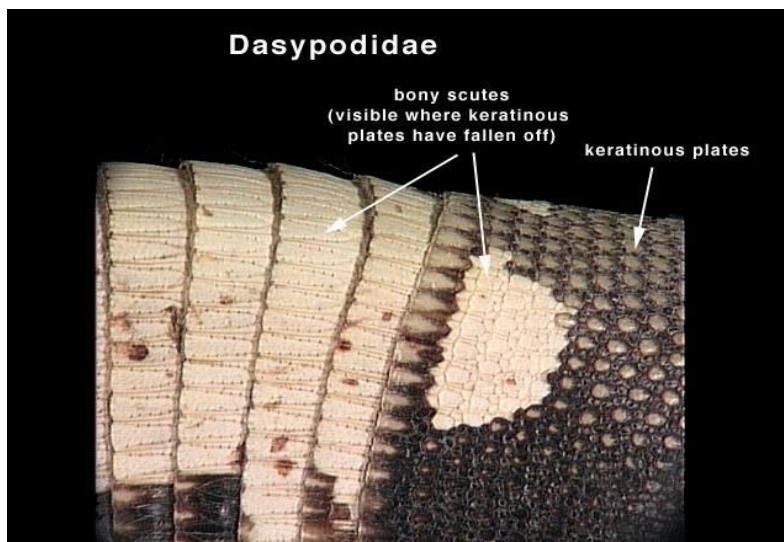
7.2. Αποτελέσματα διαδικασίας

Για την δική μου περίπτωση το ερώτημα που τέθηκε ήταν το «Πως η φύση προστατεύει», ενώ έγινε έρευνα και για το πως απορροφάται ενέργεια πρόσκρουσης, κραδασμοί, για ανθεκτικές και μεταβαλλόμενες δομές και για μείωση υλικού.

Αρμαντίλλο (Armadillo)

Το αρμαντίλλο («μικρό θωρακισμένο», στα ισπανικά) είναι αυτόχθονας και βρίσκεται σε όλη τη Νότια Αμερική και ως το Κεντάκι στη Βόρεια Αμερική. Το τρία είδη αρμαντίλλο της Νότιας Αμερικής (*Touyruetes tricinctus*) μπορούν να κουλουριαστούν εντελώς δημιουργώντας μια μπάλα, προστατεύοντας το μαλακό εσωτερικό τους. Το είδος *Dasyrpus novemcinctus*, που βρίσκεται στη Βόρεια Αμερική, δεν μπορεί να κουλουριαστεί σε μια σφαίρα, οπότε η πανοπλία του παρέχει ασπίδα όχι μόνο από κάποιους θηρευτές αλλά και από ακανθώδεις θάμνους και κάκτους. Το κέλυφος αποτελείται από οστεώδη κομμάτια με δύο διαφορετικές μορφολογίες - εξαγωνικά και τραπεζοειδή, τα οποία καλύπτονται από κερατίνη. Τα εξαγωνικά εμφανίζονται στις θωρακικές και πυελικές περιοχές ενώ τα τριγωνικά είναι κατά μήκος του κορμού. Έχουν ομοιόμορφο σχήμα διαμέτρου 5 mm και πάχους 1-2 mm. Τα τραπεζοειδή επικαλύπτονται και μπορούν να γλιστρήσουν το ένα ως προς το άλλο, παρέχοντας έτσι ευκαμψία στον κορμό.

Το συστατικό κερατίνης στο ανώτερο στρώμα της επιδερμίδας είναι πάχους 120 μm, ακολουθούμενο από ένα παχύτερο θυλακοειδές στρώμα που αποτελείται από πυκνό οστό. Διάφοροι μικροί κοίλοι χώροι με στρώματα ομόκεντρων ελασμάτων διαμέτρου 120-150 μm που βρέθηκαν στο κάτω μέρος του θυλακοειδούς στρώματος συσχετίζονται με οστά και αγγειακά κανάλια που κυμαίνονται από 10 έως 15 μm. Υπάρχουν ομοιόμορφα κατανεμημένοι κενοί χώροι με διάμετρο 10 μm που βρίσκονται γύρω και εσωτερικά σε αυτά τα οστά.



Εικόνα 19 : Το κέλυφος του αρμαντίλλο αποτελείται από μικρά πλακίδια θωρακισμένα κοντά το ένα με το άλλο (Po-Yu Chen, 2012)

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ο τρόπος με τον οποίο τα πλακίδια κρατούνται πλευρικά (Εικόνα 19). Το κέλυφος μπορεί να έχει διαφορετική καμπυλότητα και αυτό επιτυγχάνεται από μια δομή που αποτελείται από πλακίδια που συγκρατούνται από ανόργανες ίνες κολλαγόνου. Οι ίνες αυτές βρίσκονται στον σκελετικό ιστό όπου απαιτείται κάποια κίνηση. Σε καταστάσεις τεντώματος και κυρτώματος έχουμε έκταση και αναδίπλωση των ινών Sharpey, αντίστοιχα. Οι εσωτερικές διαστάσεις των πλακιδίων είναι μικρότερες από τις εξωτερικές.

Η αντοχή εφελκυσμού των οστεόδερμων είναι 16 MPa στην ενυδατωμένη κατάσταση και 20 MPa σε ξηρή κατάσταση. Το μέτρο του Young είναι αρκετά διαφορετικό στα ενυδατωμένα δείγματα (150 MPa) και τα ξηρά (425 MPa). Αυτό του φλοιώδους οστού είναι 20 GPa, κατά μία τάξη μεγέθους υψηλότερο από το ξηρό οστεόδερμα. Κάτω από την εφελκυστική τάση, τα ενυδατωμένα πλακίδια και οι ίνες Sharpey μπορούν να θεωρηθούν ότι βρίσκονται υπό συνθήκες ισοκατανομής. Οι ίνες υφίστανται μεγαλύτερη πίεση από τα οστεώδη πλακίδια. (Chen Irene H., 2011)

Γλυπτόδοντας

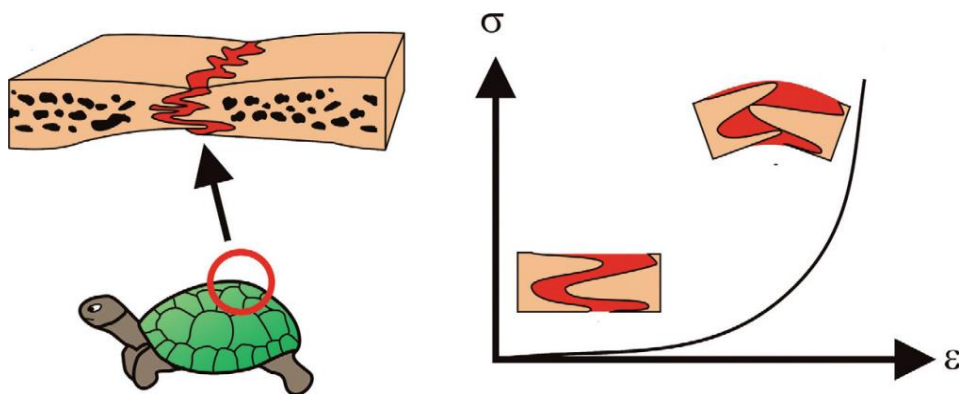
Το συγκεκριμένο είδος εξαφανίστηκε περίπου 10.000 χρόνια πριν. Οι γλυπτόδοντες ήταν μεγάλοι, στο μέγεθος ενός μικρού αυτοκινήτου, και διέθεταν ένα σταθερό προστατευτικό κάλυμμα από οστεώδη πλακίδια. Αυτό ήταν σχετικά άκαμπτο, σε αντίθεση με την πιο ευέλικτη δομή που υπάρχει στα αρμαντίλλο. Σε αντίθεση με τα ερπετά, αυτά τα θηλαστικά δεν χρειάζονται ρύθμιση της θερμοκρασίας τους, εξαλείφοντας αυτόν τον ρόλο για την δερματική θωράκιση. Τα οστεώδη πλακίδια του γλυπτόδοντα (Εικόνα 20) αποτελούνται από έναν σπογγώδη πυρήνα ανάμεσα σε δύο συμπαγή στρώματα. Κάθε εξάγωνο πλακίδιο συνδέεται με τα γειτονικά με έναν τύπο ράμματος, δημιουργώντας έτσι μια άκαμπτη ασπίδα. (Broeckhoven Chris, 2018)



Εικόνα 20 : Απολίθωμα γλοπτόδοντα (Broeckhoven Chris, 2018)

Χελώνια

Τα χελώνια είναι τάξη ερπετών που περιλαμβάνει 300 περίπου είδη διαδομένα σ' όλες τις ηπείρους, μεταξύ των οποίων είναι και οι γνωστές μας χελώνες. Χαρακτηριστικό γνώρισμά τους είναι το χέλυο (θώρακας) που περιβάλλει όλο το σώμα. Αυτό και η βάση του έχουν κάλυψη κερατίνης (για στεγανοποίηση) που έχει οστό από κάτω. Το κέλυφος, μήκους 6-120 cm, αποτελείται από μεγάλα πλακίδια (σε σύγκριση με το αρμαντίλλο) που κυμαίνονται από χιλιοστά έως εκατοστά, ανάλογα με το είδος. Τα πλακίδια έχουν φλοιώδες οστό στο επάνω και το κάτω στρώμα με ένα ακανθώδες οστό μεταξύ τους, παρόμοιο με του αρμαντίλλο. Τα πλακίδια έχουν ενώσεις μεταξύ τους, αντί για ίνες Sharpey. Αυτές οι ενώσεις, επίσης από ανόργανο κολλαγόνο, έχουν σχήμα «ζιγκ-ζαγκ» που χρησιμεύει για τη σύμπλεξή τους. Αυτά παρέχουν μεγαλύτερη ακαμψία στο κέλυφος, σε σύγκριση με το πιο εύκαμπτο κέλυφος του αρμαντίλλο. Στην Εικόνα 21 εμφανίζεται ένα διάγραμμα των ενώσεων. Οι καμπύλες κάμψης τριών σημείων για το κέλυφος με και χωρίς ενώσεις απεικονίζουν ότι τα δείγματα με ενώσεις οδηγούν σε χαμηλότερη ακαμψία σε σύγκριση με εκείνη ενός μόνο πλακιδίου. Το μέτρο του Young της χελώνας *Terrapene carolina* είναι 7,1 GPa, το οποίο είναι πάνω από μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερο από εκείνο του αρμαντίλλο (425 Mpa). (Achrai Ben, 2017)



Εικόνα 21: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης ενώσεων κελύφους χελώνας (John W.C. Dunlop, 2011)

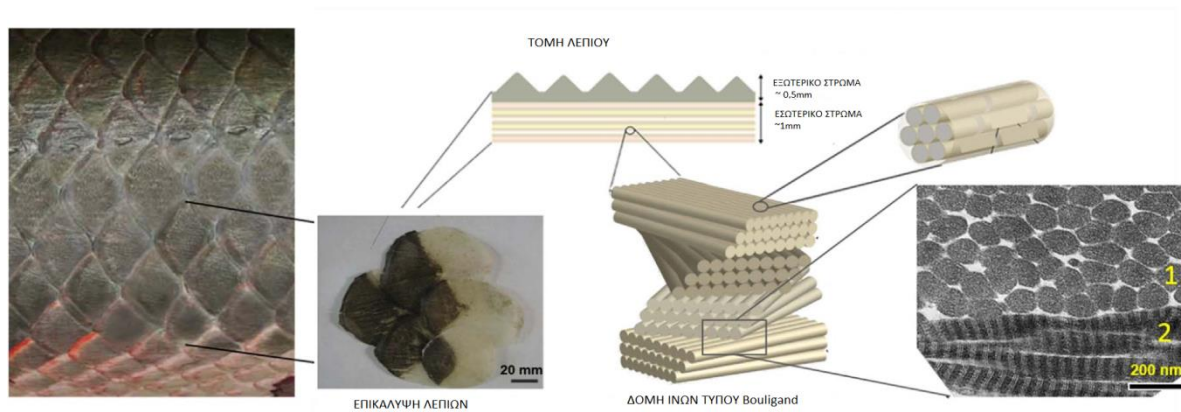
Κροκόδειλος

Το σύνολο περιέχει κυρίως κροκόδειλους, αλιγάτορες και κείμαν. Όλοι έχουν οστέινα πλακίδια που καλύπτουν το κεφάλι, την πλάτη και την ουρά. Οι κροκόδειλοι είναι «ζωντανά απολιθώματα» τα οποία δεν έχουν αλλάξει πολύ από τα 250 εκατομμύρια χρόνια της εξέλιξης, υποδεικνύοντας ότι δεν γνωρίζουν την ανάγκη προσαρμογής. Τα πλακίδια των κροκοδείλων είναι γνωστά εδώ και αιώνες ως αποθητικά σε βέλη (ακόμη και στις σφαίρες). Μια διατομή ενός πλακιδίου δείχνει συμπαγές οστό που περιβάλλει ένα πορώδες, παρόμοιο με τα πλακίδια του αρμαντίλλο και της χελώνας. Αυτό μπορεί επίσης να συγκριθεί με την θωράκιση του στεγόσαυρου. Έτσι, τα οστεώδη των υπαρχόντων και εξαφανισθέντων ειδών έχουν μεγάλες ομοιότητες στην αρχιτεκτονική και όλα μπορούν να θεωρηθούν ως μορφές σάντουιτς που αποτελούνται από έναν πορώδη πυρήνα (ακάθαρτο οστό) που περιβάλλεται από συμπαγές περιβλήματα (φλοιώδες οστό). (Po-Yu Chen, 2012)

Λέπια

Αυτός ο τύπος θωράκισης παρέχει μεγάλη σκληρότητα επιφάνειας για να αποτρέψουν την διάτρηση, αλλά και κάποια ευελιξία ώστε να επιτρέπουν κινήσεις και γρήγορη μετακίνηση. Αποτελούνται από άκαμπτα πλακίδια που προστατεύουν τα μαλακά υποστρώματα (βαθύτερα στρώματα δέρματος, μυών και εσωτερικών οργάνων) που είναι 1-5 φορές μαλακότερα από τα προστατευτικά πλακίδια. Μια πιο προσεκτική εξέταση, ωστόσο, αποκαλύπτει μια μεγάλη ποικιλία υλικών, σχημάτων, μεγεθών, διατάξεων και αλληλεπικάλυψης μεταξύ των ειδών των ζώων και ένα πλούσιο σύνολο μηχανισμών παραμόρφωσης και αστοχίας που σχετίζονται με το κάταγμα και τη διάτρηση του πλακιδίου, τη σταθερότητα της πλάκας, τις αλληλεπιδράσεις πλακών-υποστρώματος και πλακών-πλακών. Κάθε κλίμακα μπορεί να κατασκευαστεί από ξεχωριστά υλικά σε μια πολυστρωματική διάταξη που δημιουργεί υψηλή σκληρότητα επιφάνειας σε συνδυασμό με υψηλή ανθεκτικότητα. Πρόσφατες μελέτες κατέδειξαν επίσης την επίδραση του μεγέθους των πλακιδίων, όπου τα μικρότερα δυσκολεύονταν να σπάσουν λόγω της μειωμένης έκτασής τους. Οι δοκιμές διάτρησης μεμονωμένων πλακιδίων σε μαλακά υποστρώματα έχουν επίσης πρόσφατα αποκαλύψει

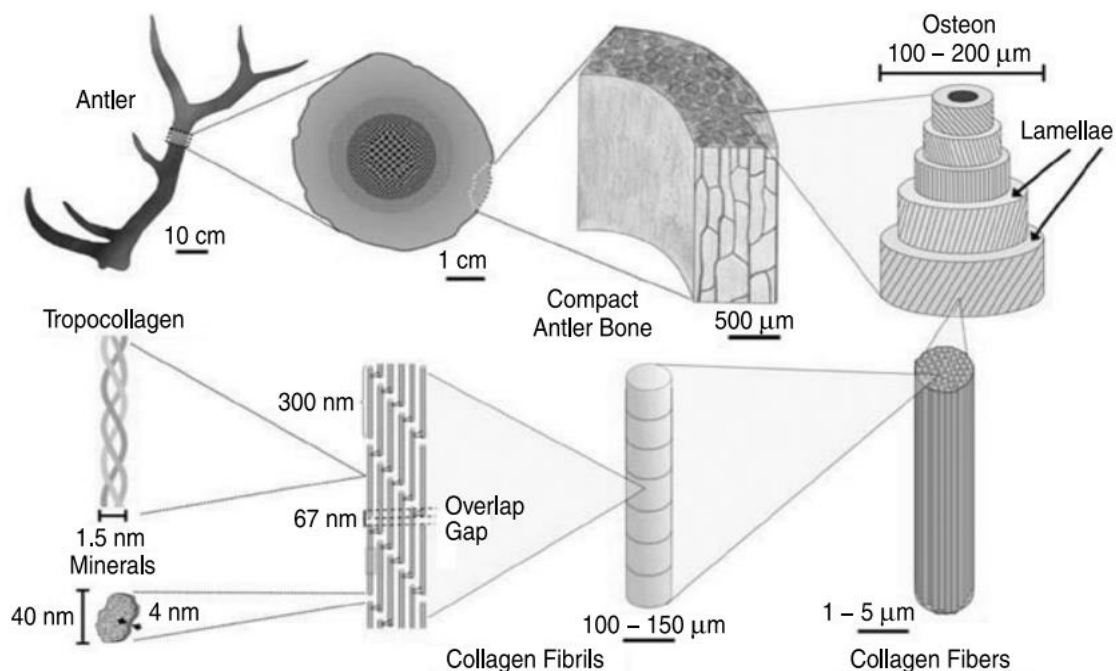
μια επικίνδυνη αστοχία όπου η πλάκα ξαφνικά κλίνει υπό τάση, ακυρώνοντας την προστατευτική της λειτουργία και εκθέτοντας το υπόστρωμα. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των λεπιών είναι κρίσιμη κατά τη διάρκεια του τρυπήματος, επειδή τα γειτονικά μπορούν να ανακατανέμουν τις τάσεις στο υπόστρωμα ή να δημιουργήσουν επικαλύψεις και αλληλοσυνδέσεις για συνεχή προστασία (Εικόνα 22). Τα υλικά, το σχήμα, το μέγεθος και η διάταξη των λεπιών επηρεάζουν επίσης την συνολική ελαστική απόκριση του δέρματος. Για παράδειγμα, οι αλληλεπιδράσεις λεπιού-λεπιού στο δέρμα των ψαριών είναι μικρές για μικρές παραμορφώσεις, αλλά γίνονται ισχυρότερες στις μεγάλες καμπυλώσεις του δέρματος, δημιουργώντας δυσκαμψία στην έκταση. (Sherman Vincent R., 2017)



Εικόνα 22 : Διάταξη λεπιών (Sherman Vincent R., 2017)

Κέρατα ελαφιού

Τα κέρατα είναι οστέινες προεξοχές που σχηματίζονται στα κεφάλια των αρσενικών ελαφιών. Τόσο το κέρατο όσο και το οστό χρησιμοποιούν τα ίδια βασικά δομικά στοιχεία, ωστόσο υπάρχουν πολλές ποικίλες διαφορές μεταξύ των δύο. Τα κέρατα και τα σκελετικά οστά έχουν διαφορετικές λειτουργίες. Οι κύριες λειτουργίες αυτών είναι η άμυνα, η κοινωνική εμφάνιση και ως όπλο σε συμπλοκές αρσενικών. Τα σκελετικά οστά περιέχουν μυελό των οστών, ενώ τα κέρατα όχι. Υπάρχει μια ζώνη μετάβασης μεταξύ του φλοιώδους και του σπογγώδους οστού στα κέρατα, ενώ δεν υπάρχει τέτοια μεταβατική ζώνη στο σκελετικό οστό (Εικόνα 23). Το σπογγώδες οστό είναι καλά ευθυγραμμισμένο και ομοιόμορφα κατανεμημένο σε ολόκληρο το κέρατο, ενώ αυτό σε οστό του σκελετού βρίσκεται στα άκρα του. Η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα (36% κ.ο.) είναι χαμηλότερη από αυτή του μηριαίου βοοειδούς (43% κ.β.) και είναι η χαμηλότερη μεταξύ των οστικών ιστών.



Εικόνα 23 : Αναλυτική δομή κέρατος (Kulin Robb M., 2010)

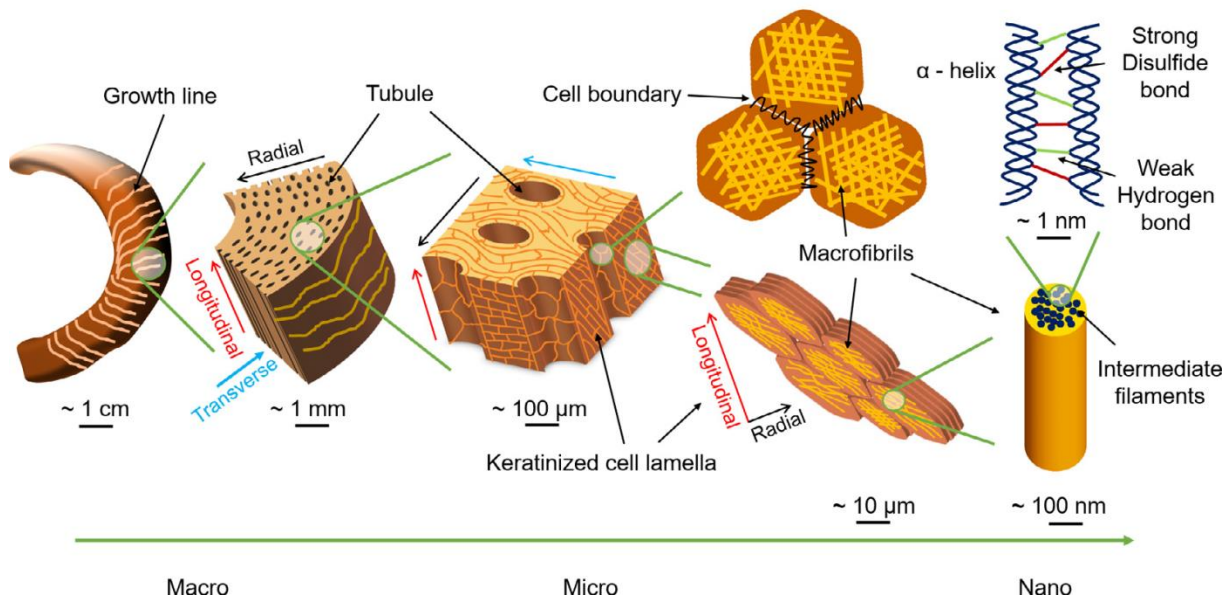
Ο Currey (Kulin Robb M., 2010) ήταν ο πρώτος που εκτέλεσε δοκιμές αντοχής, κόπωσης, ερπυσμού, σκληρότητας και υψηλής τάσης σε μικροσκοπικούς ιστούς από διάφορα είδη. Οι γενικές διαπιστώσεις ήταν ότι το μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή αυξήθηκαν με την αύξηση της περιεκτικότητας σε τέφρες ενώ μειώθηκαν οι ρωγμές. Το κέρατο βρέθηκε ότι έχει το χαμηλότερο ποσοστό της περιεκτικότητας σε ανόργανα συστατικά και επομένως το χαμηλότερο μέτρο ελαστικότητας μεταξύ ανόργανων ιστών με περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα 57% κατά βάρος (ή 36% κ.β.). Τα οστά των θηλαστικών, των ερπετών και των πτηνών βρίσκονται μεταξύ 98% κ.β. 56% κ.ο.. Το κόκκινο ελάφι και το μηριαίο οστό βρέθηκαν να έχουν παρόμοιες τελικές αντοχές σε εφελκυσμό, οι οποίες κυμαίνονταν μεταξύ 100 και 140 MPa, ωστόσο το στέλεχος σε αστοχία (8-10%) και η τιμή θραύσης ($6.2 \pm 0.6 \text{ kJ/m}^2$) είναι 4-5 φορές μεγαλύτερες από το μηριαίο οστό. Το μέτρο ελαστικότητας (7,4 GPa) ήταν περίπου το ήμισυ εκείνου του μηριαίου οστού. Στο κέρατο, η περιοχή πριν τη διαρροή της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης ήταν σημαντικά μεγαλύτερη και συνοδευόταν από μια σταδιακή τάση να αστοχήσει σε σύγκριση με τα οστά. Στα οστά, μετά την επίτευξη της τελικής αντοχής, η τάση μειώθηκε ταχύτατα μέχρι να αστοχήσει ή αυξήθηκε ελαφρά κατά περίπου 10% έως την αστοχία.

Κέρας βοοειδών

Τα κέρατα εμφανίζονται σε ζώα από την οικογένεια των βοοειδών, τα οποία περιλαμβάνουν βοοειδή, πρόβατα, κατσίκια, αντιλόπες κ.α και είναι σκληρά, ανθεκτικά και με αντοχή σε κρούσεις. Στην περίπτωση των αρσενικών αιγοπροβάτων, τα κέρατα πρέπει να είναι σκληρά και ανθεκτικά, καθώς υποβάλλονται σε ακραίες φορτίσεις κατά τη διάρκεια της ζωής του ζώου και, σε αντίθεση από τα κέρατα ελαφιών, δεν θα αναπτυχθούν αν σπάσουν. Τα κέρατα δεν είναι ζωντανός ιστός - δεν υπάρχουν νεύρα και δεν αιμορραγούν όταν σπάσουν. Στο ζωντανό ζώο, τα κέρατα περικλείουν έναν κοντό οστέινο πυρήνα που αποτελείται από μη συμπαγές κόκκαλο καλυμμένο με δέρμα, το οποίο προεξέχει από το πίσω μέρος του κρανίου.

Το κέρατο δεν είναι ενσωματωμένο στο κρανίο και μπορεί να απομακρυνθεί αν αφαιρεθεί το δέρμα. Το δέρμα που καλύπτει τον οστέινο πυρήνα είναι ένα βλαστικό επιθήλιο που δημιουργεί νέα κύτταρα για την ανάπτυξη του κέρατος. Σε αντίθεση με άλλα δομικά βιολογικά υλικά (π.χ. οστά, δόντια, κέρατα, κοχύλια μαλακίων), το κέρατο δεν έχει ανοργανοποιημένο συστατικό και αποτελείται κυρίως από α-κερατίνη. Το σχήμα αυτών των κέρατων, συχνά ακολουθεί ένα λογαριθμικό σπειροειδές/ελικοειδές σχήμα.

Η *Εικόνα 24* δείχνει την δομή του κέρατος από ένα πρόβατο της ερήμου. Στο χαμηλότερο επίπεδο, τα ενδιάμεσα φύλλα (IFs) ενσωματώνονται στην άμορφη μήτρα και εκτείνονται από το ένα φύλλο στο άλλο. Τα φύλλα αυτά είναι φύλλα που συγκρατούνται από άλλες πρωτεϊνικές ουσίες. Οι μακριές σωληνώσεις εκτείνονται στο μήκος του κέρατος που διασκορπίζεται μεταξύ των ελασμάτων. Η προκύπτουσα δομή είναι ένα τρισδιάστατο ελασματοποιημένο σύνθετο υλικό που αποτελείται από κρυσταλλική, ινώδη κερατίνη, ενσωματωμένη σε μια άμορφη μήτρα κερατίνης και έχει πορώδες κατά μήκος του πάχους του κέρατος. Τα ελάσματα είναι πάχους 2-5 cm με μέγεθος πόρων που κυμαίνεται από 60 έως 200 μm κατά μήκος του μακριού άξονα των πόρων. Το πορώδες αυτό προκύπτει από την παρουσία τυλιγμάτων που εκτείνονται κατά μήκος του κέρατος. (Huang Wei, 2017)

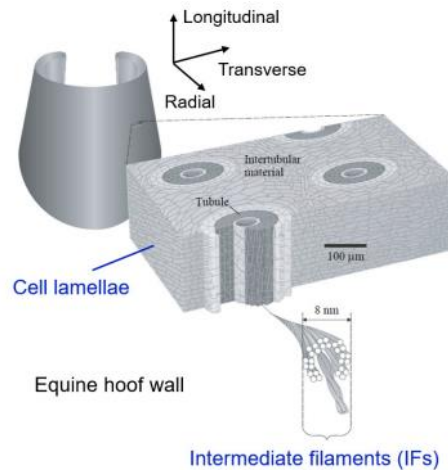


Εικόνα 24 : Αναλυτική δομή κέρατος προβάτου (Huang Wei, 2017)

Οι μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων (αντοχή, ακαμψία κ.α.) έδειξαν ότι τα κέρατα είναι ικανά για υψηλή απορρόφηση ενέργειας πριν από τη θραύση και ότι η ενυδάτωση είναι σημαντική για τη μείωση της ευαισθησίας των εγκοπών. Η μέγιστη δύναμη κρούσης ενός μεγάλου αιγοπροβάτου μπορεί να υπολογιστεί από τη μάζα, την ταχύτητα και την επιβράδυνση στα 3400 N.

Οπλές

Οι οπλές είναι από παρόμοιο βιολογικό υλικό με αυτό των κέρατων. Οι κυψέλες περιέχουν σωληνάκια πάχους 220 - 140 μm σε κύριο και δευτερεύον άξονα, αντίστοιχα, με μυελική κοιλότητα στα 50 μm . Αυτά τα σωληνάκια είναι προσανατολισμένα κατά τη διαμήκη κατεύθυνση (παράλληλα με το πόδι). Η κερατίνη σχηματίζει κυκλικά ελάσματα (πάχους 5-15 μm) που περιβάλλουν τους σωληνίσκους. Συμπεραίνουμε ότι οι σωληνίσκοι εξυπηρετούν μόνο μια μηχανική λειτουργία - να μειώσουν τη διάδοση της ρωγμής, αυξάνοντας έτσι την ανθεκτικότητα, καθιστώντας την οπλή ένα εξαιρετικά ανθεκτικό σε θραύση βιολογικό υλικό. Οι οπλές πρέπει να υποστηρίζουν μεγάλες φορτίσεις πίεσης και κρούσης και να παρέχουν κάποια απορρόφηση κραδασμών από την κρούση. Η κερατίνη των οπλών περιγράφεται ως ένα σύνθετο νανοκλίμακας που αποτελείται από ενδιάμεσα



Εικόνα 25: Μικροσκοπική δομή οπλής (McKittrick J., 2010)

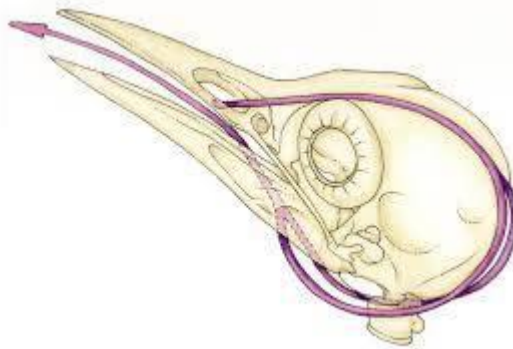
νήματα (IFs) ως προσανατολισμένη ενίσχυση μιας ενυδατωμένης μήτρας κερατίνης (Εικόνα 25). Σε μετρήσεις βρέθηκε η ακαμψία να μειώνεται σε ενυδατωμένη κατάσταση, που κυμαίνεται από 14,6 GPa έως 0,4 GPa. Το νερό διεισδύει στη διασωληνωτή μήτρα καθώς και στο άμορφο πολυμερές που περιβάλλει τους κερατινοειδείς σωλήνες, δρώντας ως πλαστικοποιητής μειώνοντας έτσι την πυκνότητα και την ακαμψία του υλικού. (McKittrick J., 2010)

Κρανίο δρυκολάπτη

Οι δρυκολάπτες μπορούν να σφυροκοπούν στο ξύλο 20 φορές / s με ταχύτητες 6-7 m / s και με μια εκπληκτικά μεγάλη δύναμη επιβράδυνσης έως και 1200 g. Σαν μέτρο σύγκρισης η Αμερικάνικη Ομοσπονδία Ράγκμπυ έχει καθορίσει ότι 98g θα προκαλούσαν διάσειση. Οι δρυκολάπτες αποφεύγουν τον εγκεφαλικό τραυματισμό με την ενσωμάτωση διαφόρων δομικών χαρακτηριστικών:

- Ένα σκληρό, ελαστικό ράμφος.
- Μικρή ποσότητα εγκεφαλονωτιαίου υγρού που μειώνει την μετάδοση του χτυπήματος μέσω υγρού.
- Ο μικρός, ομαλός εγκέφαλος περιβάλλεται σφιχτά από σπογγώδη οστά.
- Οι μύες του αυχένα είναι εξαιρετικά ισχυροί, κρατώντας το ράμφος σταθερό.
- Το κρανίο περιβάλλεται από μύες και τένοντες σε δομή τύπου σφεντόνας που λειτουργεί ως ισομετρικός απορροφητής και διανομέας κραδασμών, περιορίζοντας την κίνηση του εγκεφάλου.

Η Εικόνα 26 δείχνει το κρανίο ενός δρυκολάπτη (*Melanerpes aurifrons*). Περιγράφεται με μωβ χρώμα η περιοχή της υοειδούς περιοχής στο κρανίο που στηρίζει τη γλώσσα. Το μπροστά μέρος του κρανίου αποτελείται από σπογγώδες οστό ενώ το υπόλοιπο είναι πυκνότερο. Αυτό το σπογγώδες οστό θεωρείται ότι βοηθά στην απορρόφηση κραδασμών. Το ράμφος δεν είναι μόνο σκληρό, αλλά αυτο-ακονιζόμενο. Ο δρυκολάπτης καταφέρνει να κρατήσει το ράμφος του κάθετα στην επιφάνεια του ξύλου διατηρώντας το σώμα του παράλληλα με αυτό. Αυτή η ακριβής ευθυγράμμιση διατηρεί τις δυνάμεις διάτμησης στο ράμφος σε ένα ελάχιστο. Επίσης επιλέγει σοφά μαλακό ξύλο. (Lizhen Wang, 2011)



Εικόνα 26 : Κρανίο δρυκολάπτη (Lizzie Harper)

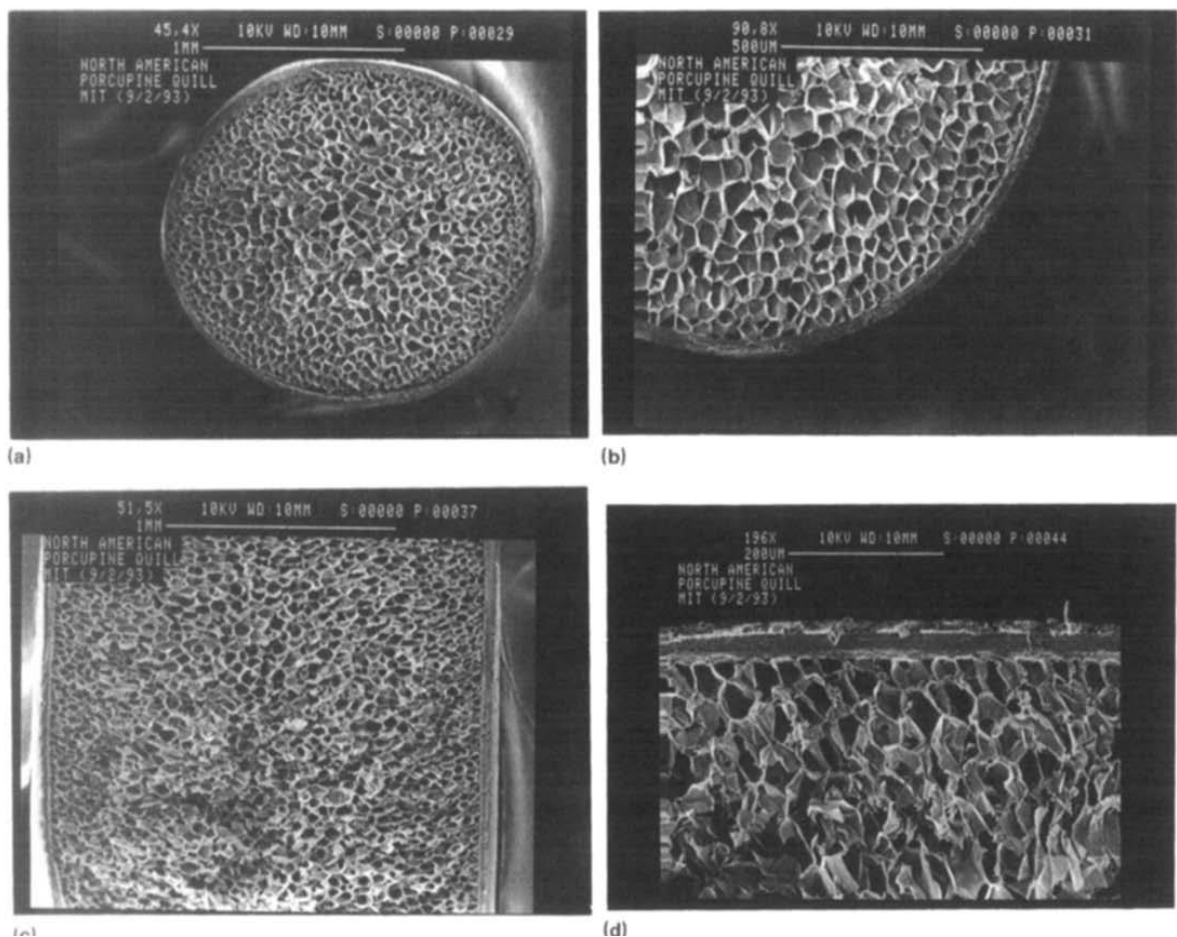
Αγκάθια

Ορισμένα θηλαστικά έχουν αναπτύξει τρίχες που είναι χοντρές, δύσκαμπτες και αιχμηρές για άμυνα και προστασία. Αυτά τα ζώα περιλαμβάνουν ακανθόχοιρους, σκαντζόχοιρους, έχιδνες, tenrecs και ακανθώδεις αρουραίοι και ποντικοί. Όπως τα μαλλιά και η γούνα, τα αγκάθια αποτελούνται από α-κερατίνη, που είναι μακριές σωληνώσεις (φλοΐος) με κωνικά άκρα που είναι επενδυμένα με αφρώδες

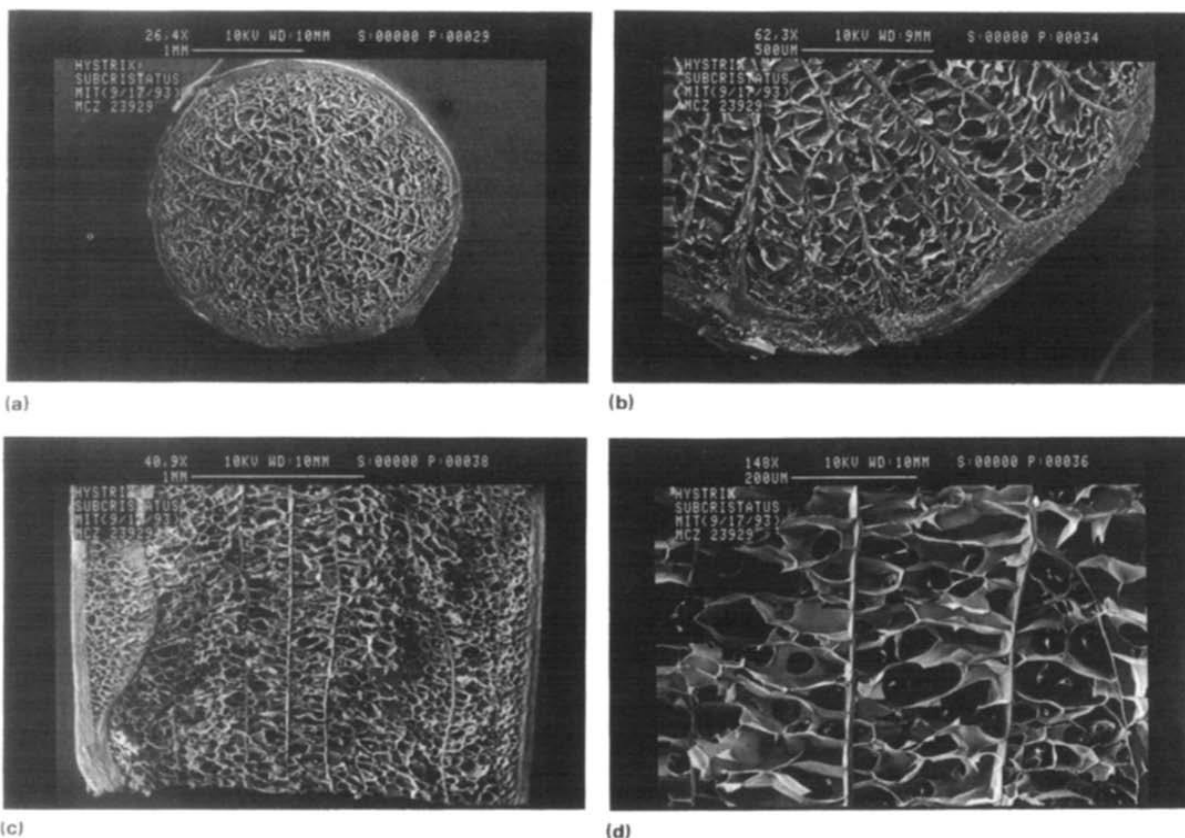
υλικό (πυρήνας). Σε αντίθεση με τα αγκάθια του Παλαιού Κόσμου, μερικά από τα αυτά του Νέου Κόσμου έχουν ένα άγκιστρο που καταλήγει να τραυματίζει ένα θηρευτή, αν επιτεθεί στο ζώο. Και τα δύο είδη έχουν μύες στη βάση του πέλματος, επιτρέποντάς τους να σηκωθούν, κάνοντας έτσι το ζώο να φαίνεται μεγαλύτερο εάν απειληθεί. Τα πτερύγια του Erethizontidae μπορούν να φτάσουν μέχρι τα 8 cm, ενώ του Hystricidae είναι μακρύτερα - μέχρι 50 cm - και έχουν επίσης μια αναλογικά μεγαλύτερη διάμετρο.

Οι πυρήνες έχουν διάφορες μορφολογίες, ανάλογα με το είδος: ισότροπα (Erethizontidae και echidnas), ισότροπα με διαμήκεις ενισχύσεις (Hystricidae) ή σχήματος κηρήθρας με διαμήκεις νευρώσεις στο φλοιό. Η *Εικόνα 28* δείχνει μία φωτογραφία των Hystricidae και η *Εικόνα 27* των Erethizontidae για παράλληλη σύγκριση. Οι εικόνες δείχνουν μικροσκοπικά SEM των εγκάρσιων και διαμήκων διατομών των φτερών Hystricidae και Erethizontidae.

Το μέτρο ελαστικότητας ελαστικό των πτερυγίων Hystricidae και, όπως και με άλλα κερατινοειδή υλικά, είναι εξαρτώμενο της σχετικής υγρασία (3,4-6,7 GPa, 100-0% υγρασία). Το μέτρο του Euler για λυγισμό ήταν υψηλότερο για τον σκαντζόχοιρο, λόγω της δομής του. Τα φτερά του σκαντζόχοιρου έχουν σχεδιαστεί για την απορρόφηση ενέργειας με ελαστικό λυγισμό κάτω από μεγάλες δυνάμεις (πτώση από τα ύψος ή από την επίθεση ενός αρπακτικού), ενώ τα πτερύγια των ακανθόχοιρων είναι σχεδιασμένα για να τρυπούν τους αντιπάλους. (Karam G.N., 1994)



Εικόνα 27 : Αγκάθι Erethizontidae: (a), (b) σε οριζόντια τομή, (c),(d) σε κάθετη τομή (Karam G.N., 1994)



Εικόνα 28 : *Αγκάθια Hystricidae: (a), (b) σε οριζόντια τομή, (c),(d) σε κάθετη τομή (Karam G.N., 1994)*

Καρύδα

Η καρύδα είναι ο καρπός του δέντρου καρύδας, ένας καρπός που περιέχει πολύτιμη σάρκα και νερό που προστατεύονται από τρία ξεχωριστά τμήματα: το εξωτερικό εξωκάρπιο που μοιάζει με δέρμα, το μεσοκάρπιο και το σκληρό εσωτερικό ενδοκάρπιο. Το σκληρό ξυλώδες κέλυφος που παρέχει τη δομή του πυρήνα και την προστασία του σπόρου είναι γνωστό ότι αποτελείται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη με μικρές ποσότητες πηκτίνης και πρωτεϊνών. Η μηχανική λειτουργία της καρύδας είναι να ανταπεξέλθει στην πτώση από το δέντρο, να διατηρήσει το γάλα καρύδας για το δενδρύλλιο και να εμποδίσει το άνοιγμα από ανθρώπους ή ζώα χωρίς σύγχρονα εργαλεία. Αυτές οι κοινές χρήσεις απαιτούν ένα συνδυασμό αντοχής και σκληρότητας.

Επιτυγχάνεται μέσω των προαναφερθίσας πολυεπίπεδης ιεραρχικής αρχιτεκτονικής που παρέχουν τόσο εγγενείς όσο και εξωγενείς μηχανισμούς αντοχής σε θραύση. Η αντοχή τυπικά προέρχεται στη μικροδομή της ιεραρχικής δομής, όπου οργανικά πολυμερή ή πρωτεΐνες (π.χ. κολλαγόνο, κυτταρίνη, κερατίνη) συντάσσουν φιάλες. Αυτές οι μικροδομές παράγουν δύναμη και αντιστέκονται στην πλαστικότητα μέσω εγγενών μηχανισμών, όπως τέντωμα και ολίσθηση. Η ανθεκτικότητα προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από μεγαλύτερου μήκους κλίμακες (π.χ. οστάδες στα οστά, διαβαθμισμένες διασυνδέσεις σε κλίμακες) που αντιστέκονται στη διάδοση ρωγμών μέσω εξωγενών μηχανισμών σκληρύνσεως, όπως η γεφύρωση ρωγμών και εκτροπής τους.

Στη βιομηχανία, τα μηχανικά χαρακτηριστικά της καρύδας έχει αναγνωριστεί στο πλαίσιο δόμησης σύνθετων υλικών, ιδιαίτερα για την εφαρμογή των ινών της ως φθηνού, φιλικού προς το περιβάλλον σπλισμού μήτρας για πολυμερή. (Gludovatz B., 2017)

Φυσικά υλικά

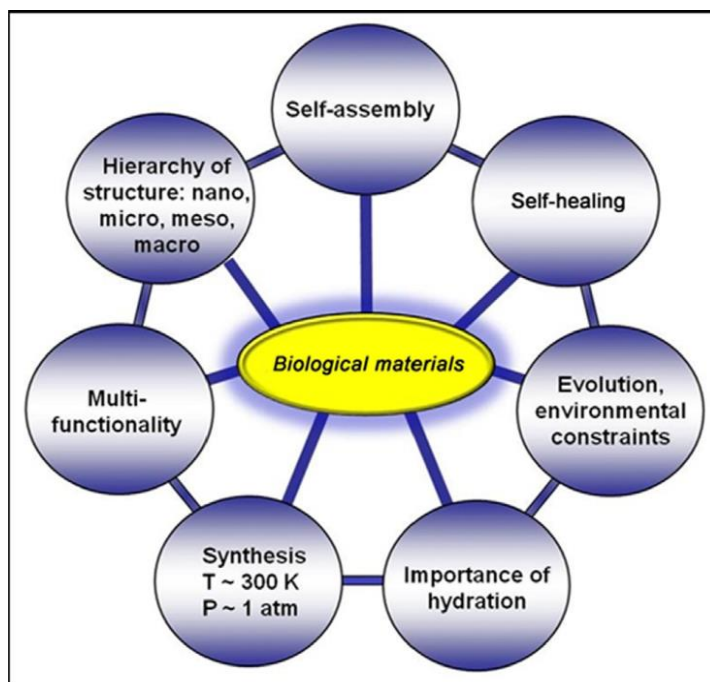
Σε γενικές γραμμές, η φύση παρέχει μια πλούσια πηγή έμπνευσης για το σχεδιασμό και την κατασκευή συνθετικών υλικών και αντικειμένων υψηλής απόδοσης. Τα φυσικά (ή βιολογικά) υλικά είναι γενικά σύνθετα υλικά με χωρικά ετερογενείς και ρυθμιζόμενες ιδιότητες. Αυτά τα υλικά έχουν μοναδικά χαρακτηριστικά που τα διαφοροποιούν από τα συνθετικά, τα εξής επτά (Εικόνα 29):

- αυτοσυναρμολόγηση,
- αυτοθεραπεύμενα
- έχουν εξελικτικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς,
- χρειάζονται ενυδάτωση,
- ήπιες συνθήκες σύνθεσης, κυρίως σε θερμοκρασίες 26,8 οC και πιέσεις 1 atm,
- πολυλειτουργικότητα, και
- ιεραρχία δομής σε νανο-, μικρο-, μεσο- και μακρο-επίπεδα.

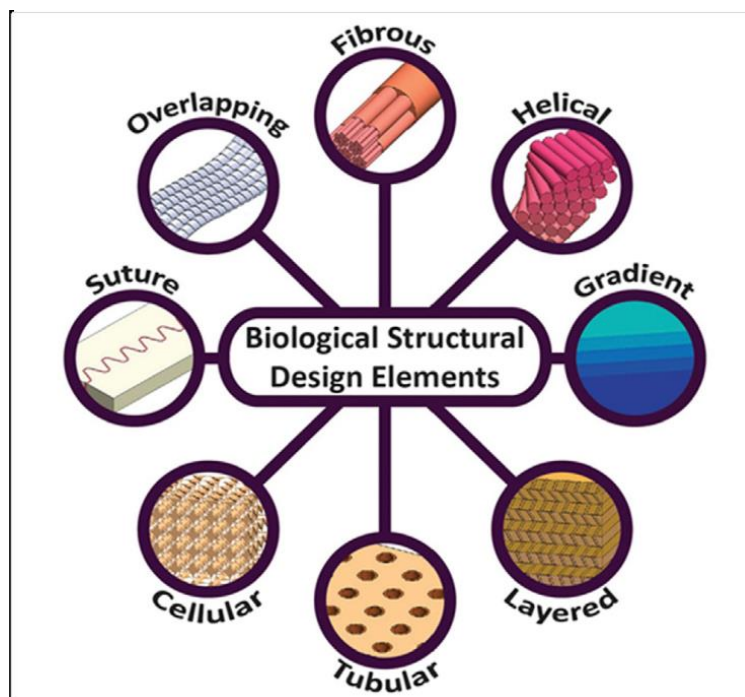
Παρά τη μεγάλη ποικιλία φυσικών υλικών, τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται από τους ζωντανούς οργανισμούς περιορίζονται κυρίως σε σκληρές (βιο-μεταλλικές) και μαλακές (βιο-πολυμερείς) φάσεις, οι οποίες εμφανίζουν σταθερά κατώτερες μηχανικές ιδιότητες από πολλά συνθετικά υλικά. Παρ'όλα αυτά, τα φυσικά υλικά, όπως τα κοχύλια, τα λέπια, τα οστά και τα δόντια, μπορούν να έχουν εξαιρετικά εντυπωσιακούς συνδυασμούς ιδιοτήτων που ξεπερνούν κατά πολύ εκείνα των συστατικών τους.

Πολλά ξεπερνούν ακόμη και τα αντίστοιχα που δημιούργησε ο άνθρωπος. Τέτοιες αξιοσημείωτες επιδόσεις ουσιαστικά εξελίσσονται από τον έξυπνο τρόπο που τα δομικά στοιχεία συναρμολογούνται σε κλίμακες πολλαπλών διαστάσεων. Πράγματι, διάφοροι οργανισμοί έχουν αναπτύξει παρόμοιες στρατηγικές σχεδιασμού υλικών για την αντιμετώπιση των φυσικών τους προκλήσεων ως αποτέλεσμα της συγκλίνουσας εξέλιξης (Εικόνα 30) δηλ. τα κοινά χαρακτηριστικά προκύπτουν κατά την ανεξάρτητη εξέλιξη. (Liu Zengqian, 2017)

Σε αυτό το πλαίσιο, λειτουργικές βαθμίδες, οι οποίες έχουν αναγνωριστεί ως ένα βασικό δομικό στοιχείο στη Φύση, χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιολογικά υλικά με ποικίλες αρχιτεκτονικές. Αυτές οι διαβαθμίσεις έχουν εξελιχθεί για να εκπληρώνουν αποτελεσματικά τις λειτουργίες τους μέσα στους ειδικούς περιβαλλοντικούς περιορισμούς τους και ως εκ τούτου αποτελούν ιδανικά παραδείγματα από τα οποία μπορούν να συναχθούν σημαντικές κατευθυντήριες γραμμές για τα συνθετικά υλικά.



Εικόνα 29 : Χαρακτηριστικά φυσικών υλικών (Liu Zengqian, 2017)



Εικόνα 30 : Δομές φυσικών υλικών (Liu Zengqian, 2017)

8. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

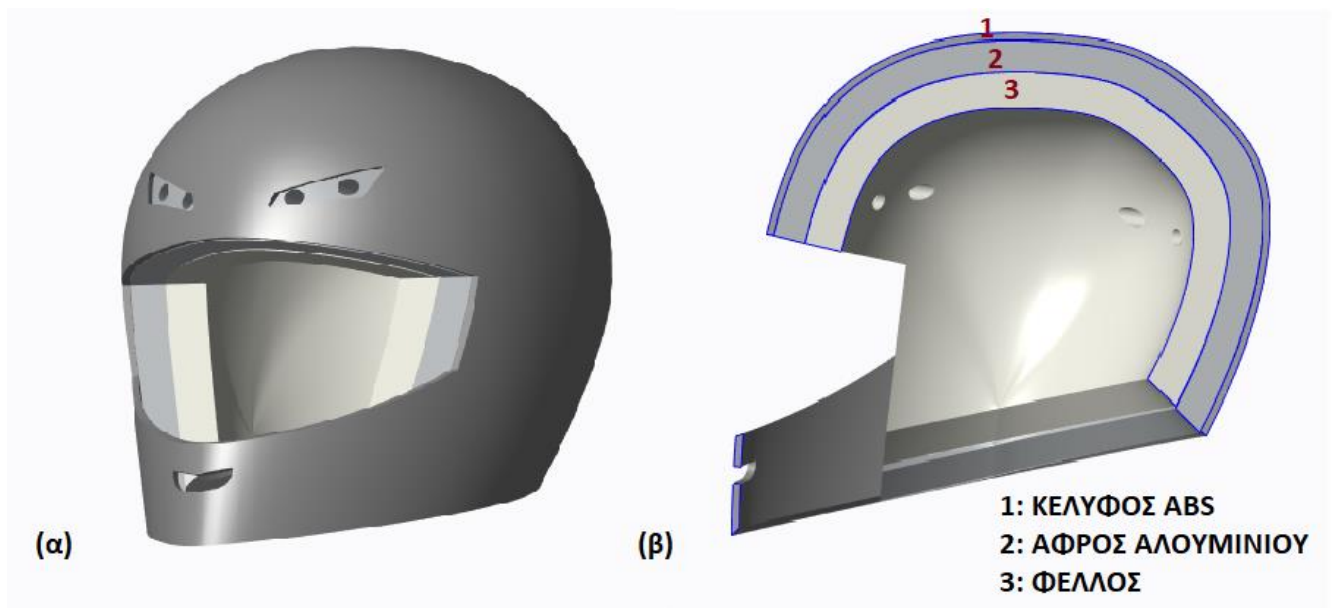
Οι σχεδιαστικές προτάσεις μοντελοποιήθηκαν με το CREO Parametric ενώ για την εύρεση και διατήρηση διαστάσεων που παραπέμπουν σε κράνη παραγωγής, δημιουργήθηκε τρισδιάστατο μοντέλο κεφαλής μεγέθους A, βάση των διαστάσεων του αντίστοιχου μοντέλου που χρησιμοποιείται στις δοκιμές πρόσκρουσης κατά ECE 22.05 (Εικόνα 31). Για την επιλογή υλικών χρησιμοποιήθηκε το CES Edupack.



Εικόνα 31 : Μοντέλο κεφαλιού μεγέθους A

ΠΡΟΤΑΣΗ 1

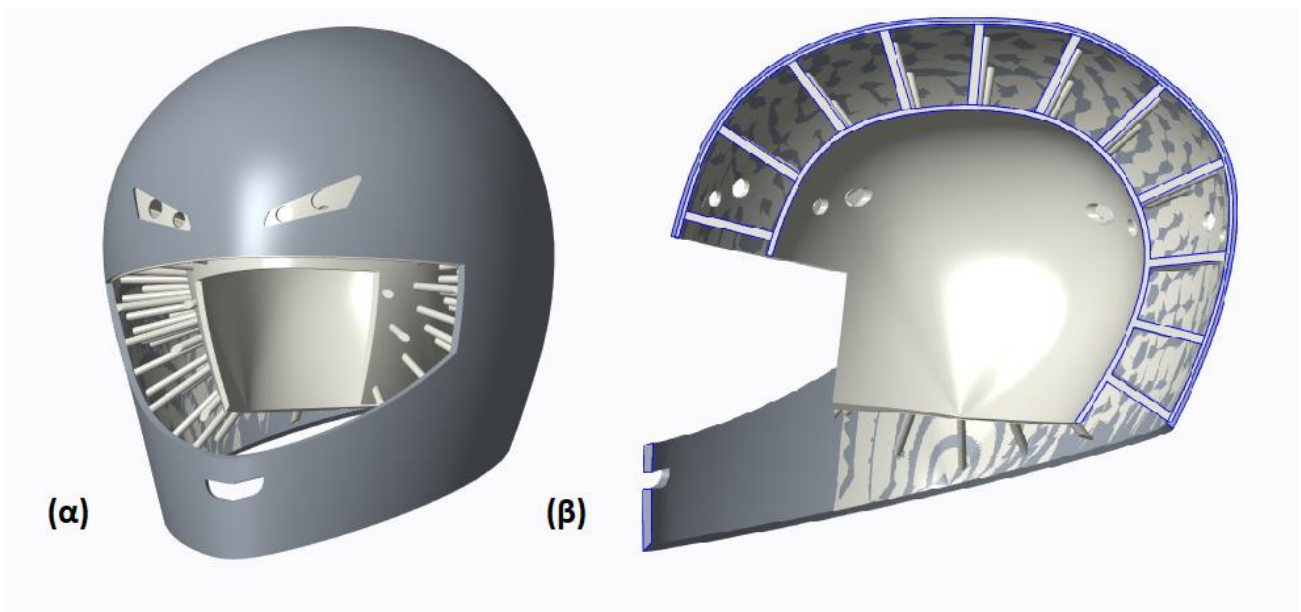
Η Πρόταση 1, *Εικόνα 32*, είναι εμπνευσμένη από τον τρόπο δόμησης κάποιων μορφών στη φύση, όπως τα δόντια, όπου έχουμε μια διαστρωμάτωση υλικών με το σκληρότερο να βρίσκεται στο εξωτερικό και τα επόμενα να είναι μαλακότερα. Σε εφαρμογή στο κράνος η δομή αποτελείται από ένα σκληρό εξωτερικό κέλυφος και δύο στρώματα υλικών απορρόφησης της ενέργειας πρόσκρουσης, με το πρώτο σκληρότερο του δεύτερου. Σαν υλικά εφαρμογής επιλέγονται αφρός αλουμινίου και φελλός για την εσωτερική επένδυση και για το κέλυφος ABS ώστε το κράνος να αποτελείται από ανακυκλώσιμα ή ανακυκλωμένα και στην περίπτωση του φελλού, βιοαποικοδομίσιμα υλικά. Η δομή αυτή θα λειτουργεί θεωρητικά στο μέγιστο για προσκρούσεις χαμηλής και υψηλής ενέργειας καθώς ο φελλός αναλαμβάνει την απόσβεση των προσκρούσεων χαμηλής ενέργειας ενώ σε μεγαλύτερα φορτία βοηθά και ο αφρός αλουμινίου.



Εικόνα 32: (α) Απεικόνιση (β) Τομή Πρότασης 1

ΠΡΟΤΑΣΗ 2

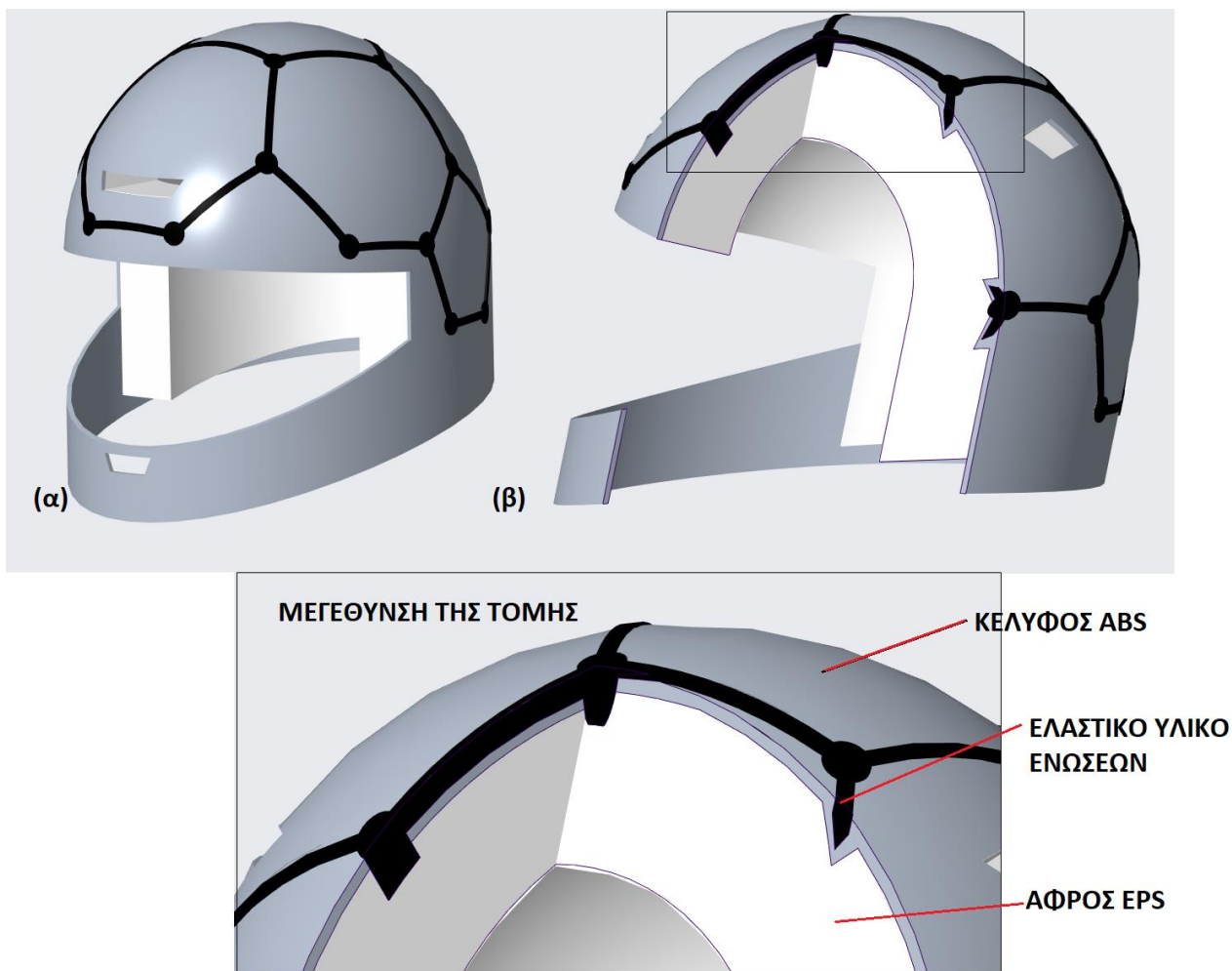
Η Πρόταση 2, *Εικόνα 33*, είναι εμπνευσμένη από τον τρόπο που αποσβαίνεται η ενέργεια πρόσκρουσης από τα αγκάθια κάποιων ζώων, μέσω του λυγισμού αυτών. Αυτή η δομή μπορεί να ωφελήσει στην μείωση των περιστροφικών δυνάμεων που προκαλούν, όπως προαναφέρθηκε, εσωτερικούς τραυματισμούς. Το υλικό και η γεωμετρία της δομής θα πρέπει να αντέχουν το φορτίο λυγισμού προτού διαρρεύσουν σε προσκρούσεις υψηλής ενέργειας χωρίς να παραμένουν άκαμπτα σε προσκρούσεις χαμηλής ενέργειας. Έτσι προτείνεται η εφαρμογή λάστιχου με την ενίσχυση σε σημεία αν κριθεί απαραίτητο. Για το κέλυφος θα χρησιμοποιηθεί ABS. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αναμένεται να έχει ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα στον αερισμό του κεφαλιού και την απαγωγή θερμότητας.



Εικόνα 33: (α) Απεικόνιση (β) Τομή Πρότασης 2

ΠΡΟΤΑΣΗ 3

Η Πρόταση 3, *Εικόνα 34*, εμπνέεται από το κέλυφος της χελώνας όπου έχουμε κομμάτια τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μπαίνοντας το ένα μέσα στο άλλο ενώ σε περίπτωση που εφαρμοστεί δύναμη υπάρχει παραμόρφωση και εμπλοκή μεταξύ τους. Σε εφαρμογή κράνους υπάρχει ένα σκληρό κέλυφος αποτελούμενο από κομμάτια που είναι ενωμένα σε ένα ενιαίο σύνολο, με τις ενώσεις να επιτρέπουν την μεταξύ τους παραμόρφωση και η ύπαρξη ελαστικού υλικού να αναλαμβάνει την σταδιακή απόσβεση του φορτίου. Η λύση αυτή αποσκοπεί στην μεγαλύτερη κατανομή του φορτίου μέσω της παραμόρφωσης και την απόσβεση μεγαλύτερου ποσοστού αυτού από το κέλυφος, σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ABS για το κύριο μέρος του κελύφους και λάστιχο για τις ενώσεις ενώ υπάρχει εσωτερική επένδυση από διογκωμένη πολυστερίνη για την απόσβεση που υπόλοιπου ποσοστού ενέργειας πρόσκρουσης.



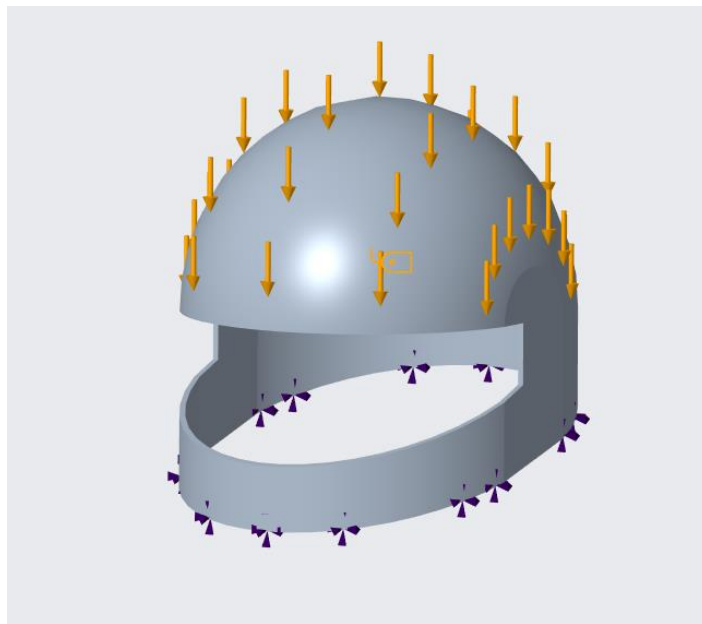
Εικόνα 34: (α) Απεκόνιση (β) Τομή Πρότασης 3

9. ΑΝΑΛΥΣΗ

Για την ανάλυση των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το CREO Simulate και απλοποιημένα μοντέλα των προτάσεων για να εξεταστεί η μηχανική τους συμπεριφορά σύμφωνα με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την πρόσκρουση. Η ρεαλιστική προσομοίωση θα περιλάμβανε τόσο το κέλυφος και την εσωτερική επένδυση του κράνους όσο και το ομοίωμα του κεφαλιού και την επιφάνεια πρόσκρουσης, τα οποία έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Η ανάλυση αυτή είναι μη γραμμική ως προς τις επιφάνειες επαφής και τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών και δεν εξετάζεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

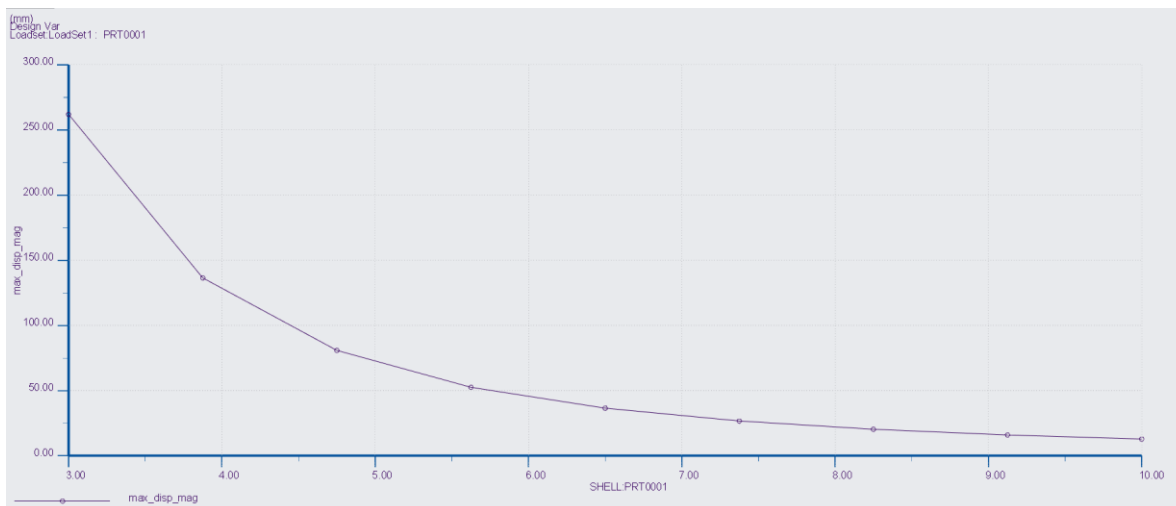
Η δύναμη που εφαρμόζεται για βάρος κεφαλιού (3kg) και κράνους (1.5kg) και για επιτάχυνση της βαρύτητας που δεν πρέπει, σύμφωνα με των κανονισμό ECE 22.05, να ξεπερνά τα 275g, είναι $F= 12$ kN.

Αρχικά έγινε η εξέταση των κελυφών τα οποία πακτώθηκαν στο κάτω μέρος με την δύναμη να εφαρμόζεται στην πάνω επιφάνεια, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 35*.

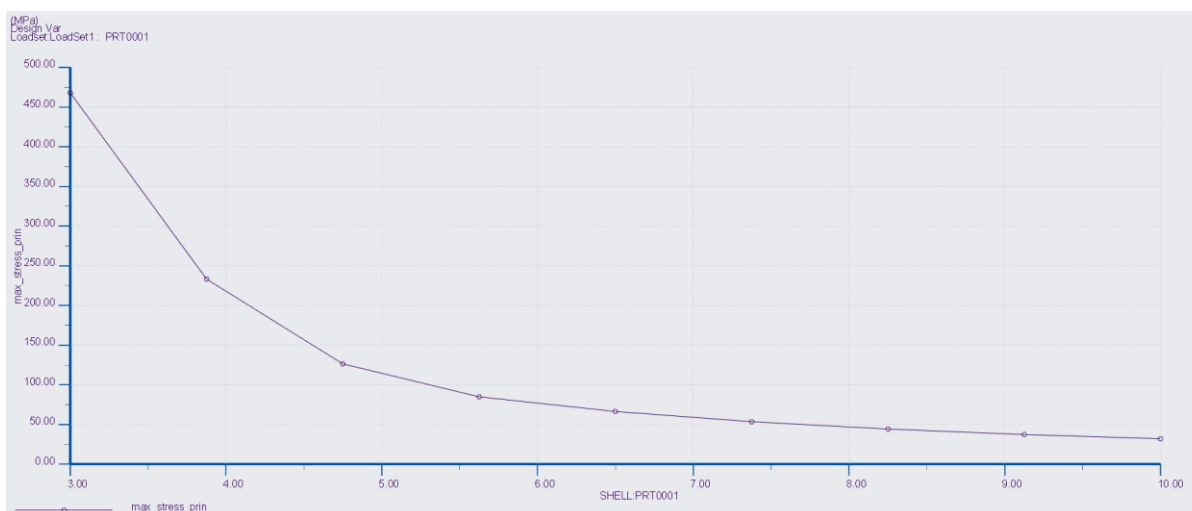


Εικόνα 35 : Απεικόνιση εφαρμογής δυνάμεων και σημείων πάκτωσης κελύφους

Τα κελύφη των Προτάσεων 1 και 2 είναι ίδια και όμοια με κοινά κελύφη που βρίσκονται στο εμπόριο, με αυτό της Πρότασης 3 να διαφέρει όπως προαναφέρθηκε. Για να βρεθεί το απαραίτητο πάχος υλικού ABS ($E= 2,3$ GPa, 1×10^{12} kg/m³) έγινε μελέτη ευαισθητοποίησης με παράμετρο το πάχος κελύφους, *Εικόνα 36* και *Εικόνα 37*, το οποίο κρίθηκε στα 6mm.

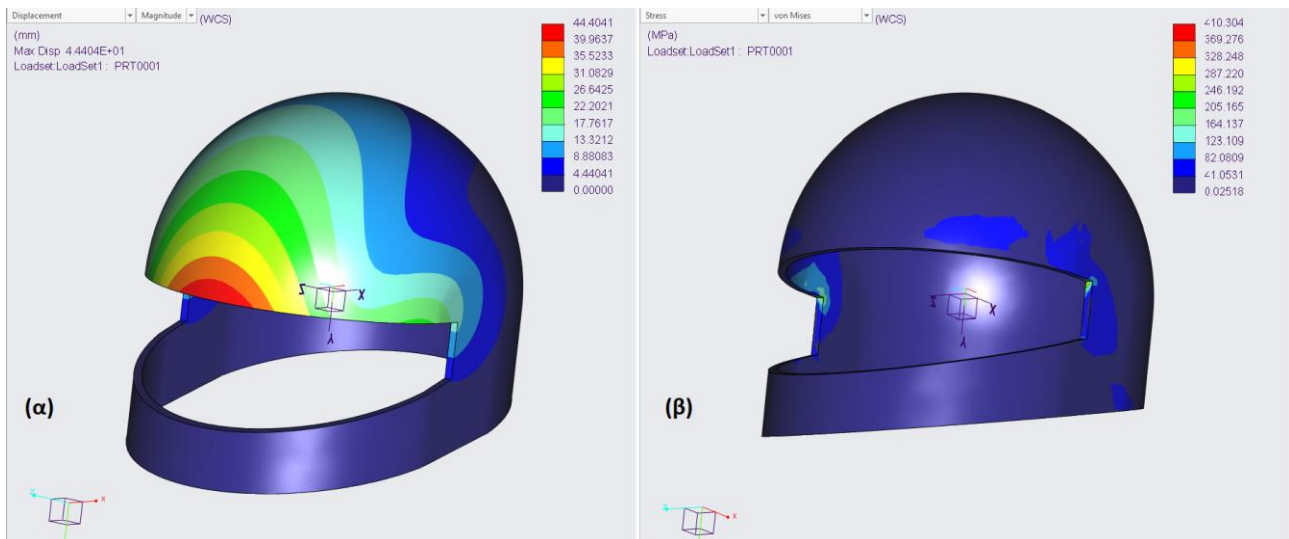


Εικόνα 36 : Διάγραμμα παραμόρφωσης-πάχους κελύφους ανάλυσης ευαισθητοποίησης

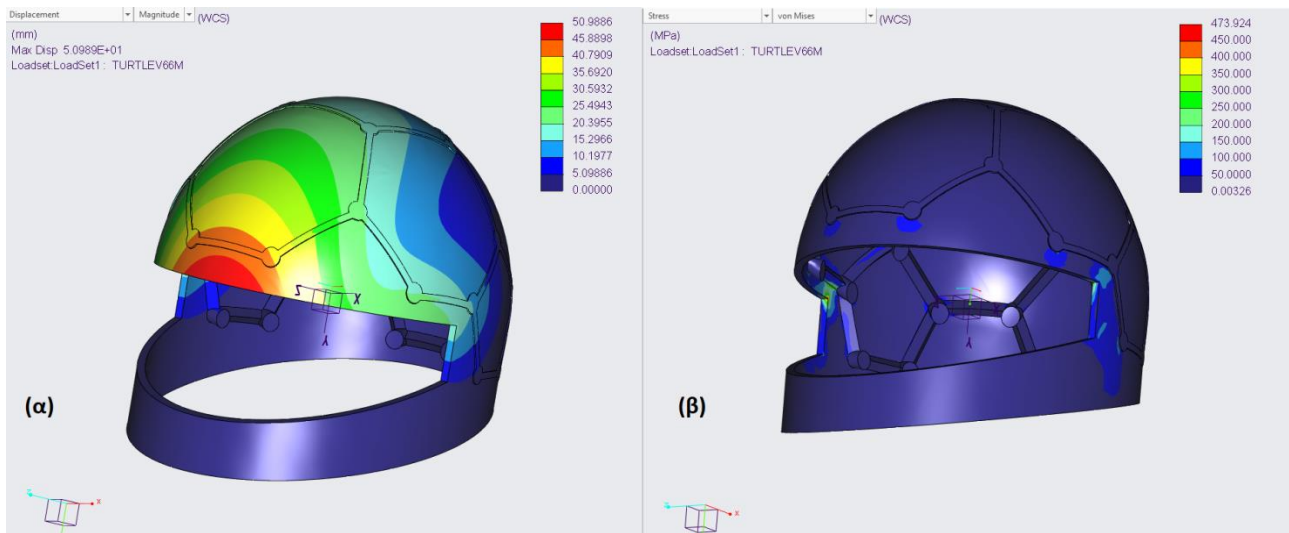


Εικόνα 37 : Διάγραμμα τάσης-πάχους κελύφους ανάλυσης ευαισθητοποίησης

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων ως προς τις τάσεις και τις παραμορφώσεις φαίνονται στις *Εικόνες 38 και 39*. Η μέγιστη παραμόρφωση για το κέλυφος των Προτάσεων 1 και 2 είναι 44mm, ενώ για αυτό της Πρότασης 3 50,8mm και εμφανίζονται στο μπροστά μέρος του κράνους, στην περιοχή του μετώπου. Η μέγιστη τάση των Προτάσεων 1 και 2 είναι 410 MPa και εμφανίζεται στα πλάγια του κράνους, στη γεωμετρία που σχηματίζει το ανοιχτό κομμάτι στην αντίστοιχη περιοχή των κροτάφων. Η αντίστοιχη για το κέλυφος της Πρότασης 3 είναι στο ίδιο σημείο με μέγιστο τα 473 MPa, όμως παρατηρείται εμφάνιση τάσεων στους κόμβους και τις ενώσεις των κομματιών.

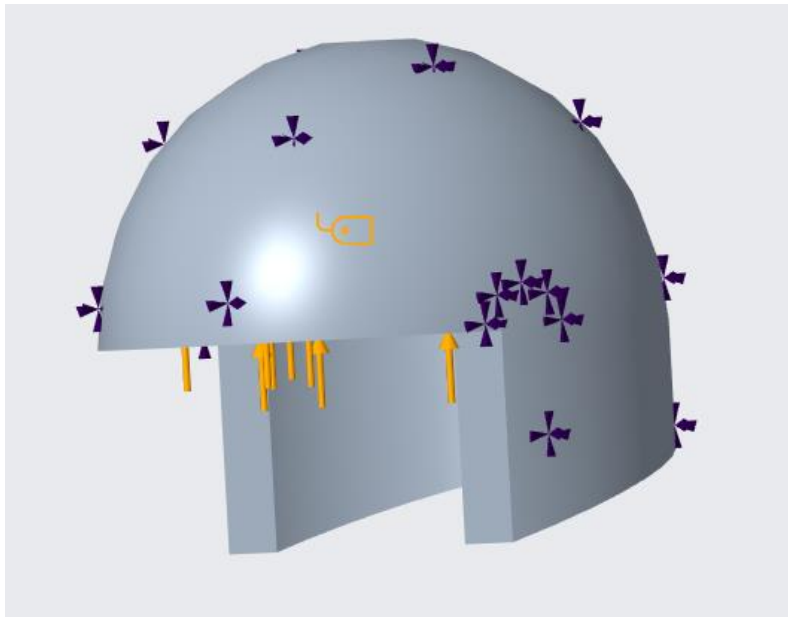


Εικόνα 38 : (α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων (β) τάσεων, κελύφους Πρότασης 1 και 2



Εικόνα 39 : (α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων (β) τάσεων, κελύφους Πρότασης 3

Αντίστοιχες αναλύσεις έγιναν και για τις εσωτερικές επενδύσεις με τη διαφορά ότι η τάση εφαρμόστηκε στην εσωτερική καμπυλότητα, προσομοιώνοντας κατά κάποιον τρόπο τη δύναμη σύνθλιψης που ασκεί το κεφάλι στην εσωτερική επένδυση, *Εικόνα 40*.



Εικόνα 40 : Απεικόνιση εφαρμογής δυνάμεων και σημείων πάκτωσης εσωτερικής επένδυσης

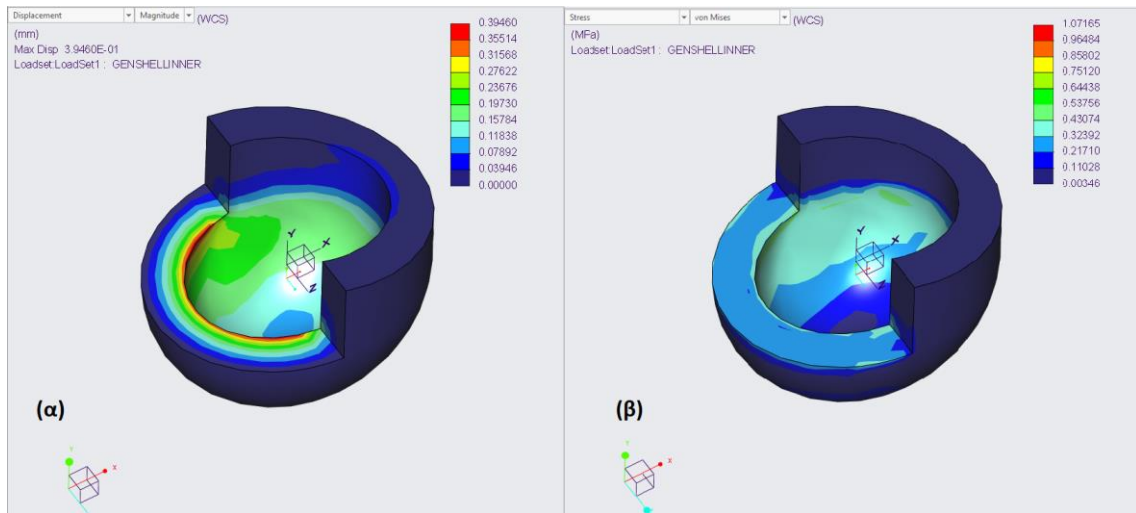
Για την εσωτερική επένδυση της Πρότασης 1, για την απλοποίηση της ανάλυσης, υπολογίστηκαν χαρακτηριστικά υλικού από τον συνδυασμό αυτών του φελλού ($E_{\varphi} = 0,03 \text{ GPa}$, $\rho_{\varphi} = 180 \text{ kg/m}^3$) και του αφρού αλουμινίου ($E_{Al} = 5,3 \text{ GPa}$, $\rho_{Al} = 520 \text{ kg/m}^3$). Έτσι έχουμε:

$$E = \frac{E_{Al} E_{\varphi}}{(v_{Al} E_{Al} + v_{\varphi} E_{\varphi})} = 0,059 \text{ GPa}$$

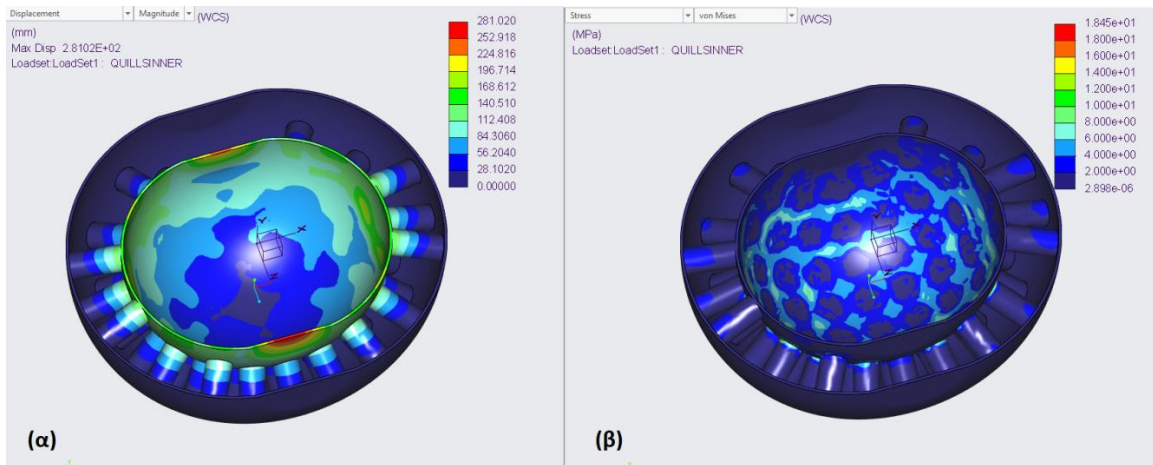
$$\rho = v_{\varphi} \rho_{\varphi} + v_{Al} \rho_{Al} = 350 \text{ kg/m}^3$$

όπου v_{φ} και v_{Al} τα ποσοστά κατ'όγκο των υλικών

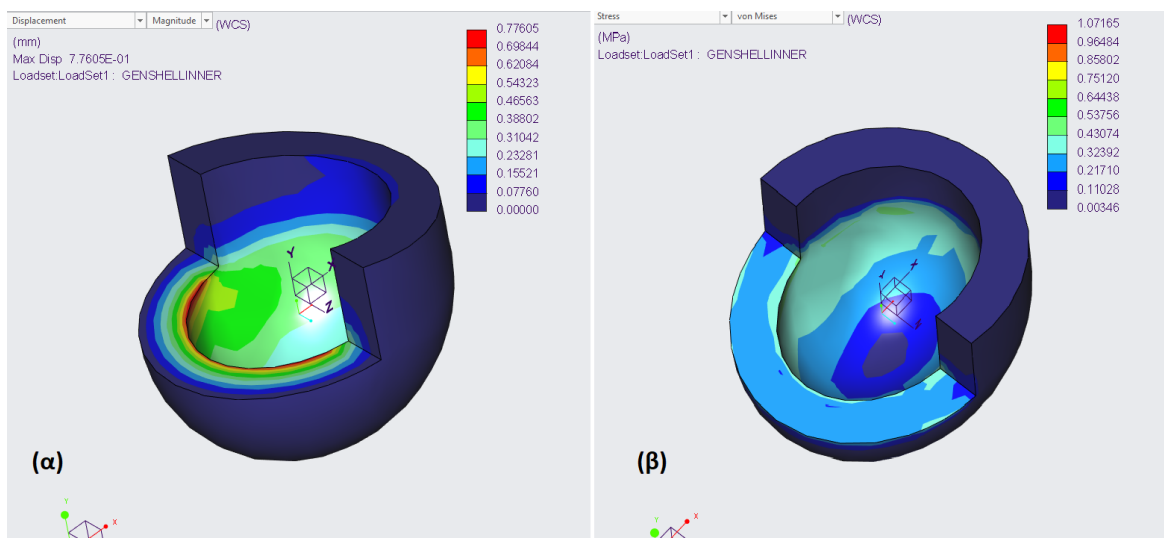
Τα αποτελέσματα φαίνονται στην *Εικόνα 41* και είναι 0,39mm μέγιστη μετατόπιση και 1,07 MPa η μέγιστη τάση. Για την εσωτερική επένδυση της Πρότασης 2 το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι silicone rubber στη γραμμική περιοχή του και τα αποτελέσματα έδειξαν μέγιστη μετατόπιση 281 mm και μέγιστη τάση 18 MPa, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 42*. Στην εσωτερική επένδυση της Πρότασης 3 χρησιμοποιήθηκε αφρός διογκωμένης πολυστερίνης EPS ($E = 0,03 \text{ GPa}$, $\rho = 53 \text{ kg/m}^3$) και τα αποτελέσματα έδειξαν μέγιστη μετατόπιση 0,77mm και μέγιστη τάση 1,07 MPa, *Εικόνα 42*.



Εικόνα 41 : (α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων (β) τάσεων, εσωτερικής επένδυσης Πρότασης 1



Εικόνα 42 : (α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων (β) τάσεων, εσωτερικής επένδυσης Πρότασης 2



Εικόνα 43 α) Απεικόνιση κατανομής παραμορφώσεων, β) τάσεων, εσωτερικής επένδυσης Πρότασης 3

ΣΧΟΛΙΑ

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της ανάλυσης των κελυφών παρατηρείται σχετικά μεγάλη παραμόρφωση και στα δύο, μιας και εξετάστηκαν σε γραμμική συμπεριφορά των υλικών τους. Σε μη γραμμική ανάλυση τα αποτελέσματα θα είναι διαφορετικά ενώ σε πραγματικές συνθήκες πιθανότατα να βλέπαμε και αστοχία υλικών. Η κατανομή τάσεων στο κέλυφος της Πρότασης 3 έγινε όπως αναμενόταν, στους κόμβους και τις ενώσεις των κομματιών, χρειάζεται όμως περισσότερη διερεύνηση στη συμπεριφορά του λόγω της χρήσης λάστιχου.

Το ίδιο ισχύει και για την εσωτερική επένδυση της Πρότασης 2 όπου οι τάσεις και παραμορφώσεις είναι ήδη πολύ μεγάλες στη γραμμική περιοχή. Πέραν τούτου η συγκεκριμένη γεωμετρία υπόκειται σε λυγισμό όπου αν ξεπεραστεί ένα όριο, η δομή δεν φέρει αντίσταση. Στην περίπτωση της εσωτερικής επένδυσης της Πρότασης 1 που χρησιμοποιούνται δύο αφροί πρέπει να εξεταστεί η συμπεριφορά του συνόλου εκτενέστερα ως προς την απόσβεση φορτίου διότι έχουν διαφορετική συμπεριφορά. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι ο συνδυασμός αυτών των δύο υλικών, φελλού και αφρού αλουμινίου, δίνει ένα βαρύ αποτέλεσμα το οποίο είναι μειονέκτημα για εφαρμογή σε κράνος μοτοσυκλέτας. Όσο για τον αφρό EPS είναι ένα δοκιμασμένο υλικό στα κράνη αλλά έχει και αυτός μη γραμμική συμπεριφορά καθώς συνθλίβεται οπότε τα αποτελέσματα της στατικής, γραμμικής ανάλυσης δεν είναι απόλυτα.

Τέλος σε επίπεδο ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων η εξέταση ενός συστήματος που θα περιελάμβανε τα κομμάτια των προτάσεων, την πλάκα πρόσκρουσης και το κεφάλι, ως προς το χρόνο, την ενέργεια πρόσκρουσης που απορροφάται και τα g που περνούν στον εγκέφαλο θα έδιναν ακριβέστερα αποτελέσματα για την αποτελεσματικότητα των μοντέλων. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί εμβιομηχανικό μοντέλο θα προκύψει μια καλή οπτική για το τι συμβαίνει στο εσωτερικό του κρανίου.

10. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής ήταν η εύρεση και σχεδίαση λύσεων που αφορούν την απορρόφηση ενέργειας πρόσκρουσης για κράνη μοτοσυκλέτας με βάση τις αρχές της Βιομίμησης. Έτσι μέσω έρευνας κατέστησαν γνωστοί ο ρόλος και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση των κρανών, οι λύσεις και τάσεις που υπάρχουν στην αγορά καθώς και οι περιπτώσεις χρήσεις και οι απαιτήσεις των σύγχρονων αναβατών. Περαιτέρω ανάλυση των επιμέρους κομματιών γνωστοποίησαν τη λειτουργία, τα υλικά και τον τρόπο κατασκευής των κρανών ενώ η ανάλυση marketing καθόρισε την ομάδα χρηστών και τις προσδοκώμενες αξίες του επερχόμενου προϊόντος.

Η παραπάνω έρευνα συντέλεσε στον ορισμό Brief και σχεδιαστικών προδιαγραφών για την επιλεγείσα ομάδα χρηστών, ενώ με τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη βιομίμηση βρέθηκαν οι κατάλληλες πληροφορίες ώστε να παραχθούν οι σχεδιαστικές προτάσεις. Η ανάλυση αυτών μέσω πεπερασμένων στοιχείων έδειξε τη μηχανική συμπεριφορά τους κάτω από φορτίο πρόσκρουσης για να συγκριθούν και να προκύψει το επικρατέστερο. Έτσι υλοποιείται ο τελικός στόχος της διπλωματικής, δηλαδή η παραγωγή προτάσεων ενός καινοτόμου κράνους εμπνευσμένο από τη φύση το οποίο φέρνει μια διαφορετική οπτική για ένα αντικείμενο μείζονος σημασίας της σωματικής ακεραιότητας των μοτοσυκλετιστών.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 6D Helmets. (n.d.). <https://www.6dhelmets.com>. Retrieved from <https://www.6dhelmets.com/ats-1r/>:
<https://www.6dhelmets.com/ats-1r/>
- Achrai Ben, W. H. (2017). The turtle carapace as an optimized multi-scale biological composite armor – A review. *Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 50-67.
- Airoh. (n.d.). <https://www.xmoto.gr>. Retrieved from <https://www.xmoto.gr/twist-iron-blue>:
<https://www.xmoto.gr/twist-iron-blue>
- Arai. (n.d.). <https://www.araihelmet.eu>. Retrieved from <https://www.araihelmet.eu/en/technology>:
<https://www.araihelmet.eu/en/technology>
- AskNature. (2016, October 1). <https://asknature.org/idea/phillips-head-protection-system-phps/>. Retrieved from <https://asknature.org>: <https://asknature.org/idea/phillips-head-protection-system-phps/>
- Bell Helmet. (n.d.). <https://www.bellhelmets.com/technology/mips>. Retrieved from <https://www.bellhelmets.com/technology/mips>:
<https://www.bellhelmets.com/technology/mips>
- Bell Helmets. (n.d.). <https://www.btosports.com/>. Retrieved from <https://www.btosports.com/atv/bell-2016-moto-9-carbon-flex-strapped-helmet>:
<https://www.btosports.com/atv/bell-2016-moto-9-carbon-flex-strapped-helmet>
- Beusenberg Marc, H. R. (1995). Helmet optimization: outer and inner shell behavior with respect to various criteria. *International Journal for Consumer and Product Safety*, 149-162.
- Bosch, v. d. (2006). *Crash helmet testing and design specification*. Technische Universiteit Eindhoven.
- Broeckhoven Chris, A. d. (2018). Analyzing nature's protective design: The glyptodont body armor. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 218-223.
- Brühwiler P.A., B. C. (2008). The role of head tilt, hair and wind screen convective heat loss through fullface helmets: A thermal manikin study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 346-354.
- Brühwiler Paul A., B. M. (2006). Facial warming and tinted helmet visors. *Journal of Industrial Ergonomics* 30, 11-16.
- Carley M., K. J. (2011). Aeroacoustic sources of motorcycle helmet noise. *Acoustical Society of America*.
- Carley Michael, H. N. (2010). Noise mechanisms in motorcycle helmet noise,. *Acoustical Society of America*,.
- Carnevale, L. S. (2014). , A new helmet testing method to access potential damages in the brain and the head due to rotational energy.
- Chen Irene H., K. J.-Y. (2011). Armadillo armor: Mechanical testing and micro-structural evaluation. *Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 713-722.
- De-Shin Liua, C.-Y. C.-M.-L. (2002). Influence of environmental factors on energy absorption degradation of polystyrene foam in protective helmet.
- Double D. (n.d.). <https://bluegrassendurotour.net/>. Retrieved from <https://bluegrassendurotour.net/doubled-strap-instruction>:
<https://bluegrassendurotour.net/doubled-strap-instruction>
- F.M. Shuaeib, A. H. (2001). Motorcycle helmet Part II Materials and design issues. *Journal of Materials Processing Technology* 123, 422-431.
- Fábio A. O. Fernandes 1, R. J. (n.d.). Helmet Design Based on the Optimization of Biocomposite Energy-Absorbing Liners under Multi-Impact Loading.
- Fernandes, R. A. (2013). Motorcycle helmets—A state of the art review. *Accident Analysis and Prevention*, 1-21.

- Fulmer. (n.d.). <http://fulmerpowersports.com>. Retrieved from <http://fulmerpowersports.com/accessories-shields-replacement-parts/helmet-accessories-breath-guards-inner-liner/201-zen-helmet-liner.html>: <http://fulmerpowersports.com/accessories-shields-replacement-parts/helmet-accessories-breath-guards-inner-liner/201-zen-helmet-liner.html>
- Gludovatz B., W. F. (2017). Multiscale structure and damage tolerance of coconut shells. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 1-9.
- Huang Wei, Z. A.-Y. (2017). Hierarchical structure and compressive deformation mechanisms of bighorn sheep (*Ovis canadensis*) horn. *Acta Biomaterialia*, 1-14.
- Ingrid de Pauw - Prabhu Kandachar - Elvin Karana - David Peck. (2010). Nature inspired design: Strategies towards sustainability. *Research Gate*, 22.
- John W.C. Dunlop. (2011). Artful Interfaces within Biological Materials. *Research Gate*, 10.
- Karam G.N., G. L. (1994). Biomimicking of animal quills and plant stems: natural cylindrical shells with foam cores. *Materials Science and Engineering*, 113-132.
- Kulin Robb M., C. P.-Y. (2010). Dynamic Fracture Resilience of Elk Antler: Biomimetic Inspiration For Improved Crashworthiness. *Materials for Crashworthiness and Defense vol.62 No.1*, 41-46.
- Liu Zengqian, M. A. (2017). Functional gradients and heterogeneities in biological materials: Design principles, functions, and bioinspired applications. *Progress in Materials Science*, 467-498.
- Lizhen Wang, J. T.-M. (2011). Why Do Woodpeckers Resist Head Impact Injury: A Biomechanical Investigation. *Plos One - Volume 6 - Issue 10*, 8. Retrieved from <https://asknature.org/strategy/skull-protects-brain-from-impact/>: <https://asknature.org/strategy/skull-protects-brain-from-impact/>
- Lizzie Harper. (n.d.). <https://lizzieharper.co.uk>. Retrieved from <https://lizzieharper.co.uk/2018/03/woodpecker-skull-biomechanics-natural-history-illustration/>: <https://lizzieharper.co.uk/2018/03/woodpecker-skull-biomechanics-natural-history-illustration/>
- LS2. (n.d.). <https://www.aliexpress.com>. Retrieved from <https://www.aliexpress.com/i/32964420334.html?spm=2114.12057483.0.0.8af639b5cz71cy>: <https://www.aliexpress.com/i/32964420334.html?spm=2114.12057483.0.0.8af639b5cz71cy>
- Mazdak Ghajari, D. G. (2008). Comparison of safety helmet testing standards. *MYMOSA*.
- Mazdak Ghajari, S. P. (2010). Influence of the body on head rotational acceleration in motorcycle helmet oblique impact tests. *Ircobi Conference*.
- McKittrick J., C. P.-Y. (2010). Energy absorbent natural materials and bioinspired design strategies: A review. *Materials Science and Engineering C*, 331-342.
- Orsi C., S. A. (2012). Motorcycle riders' perception of helmet use: Complaints and dissatisfaction. *Accident Analysis and Prevention*, 111-117.
- P.A. Bruhwiler, R. S. (2005). CO₂ and O₂ concentrations in integral motorcycle helmets. *Applied Ergonomics*, 625-633.
- Pinnoji K. Praveen, H. Z. (2008). Design of ventilated helmets: computational fluid and impact dynamics studies.
- Po-Yu Chen, M. J. (2012). Biological materials: Functional adaptations and bioinspired designs. *Progress in Materials Science*, 1492-1702.
- Praveen K. Pinnoji, N. B. (2008). New motorcycle helmets with metal foam shell. *IRCOBI Conference*, 449-452.
- Quick Release. (n.d.). <https://articulo.mercadolibre.com>. Retrieved from https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-556617789-broche-para-casco-de-moto-quick-release-universal-_JM?quantity=1&variation=20075990065: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-556617789-broche-para-casco-de-moto-quick-release-universal-_JM?quantity=1&variation=20075990065

- Quick Release. (n.d.). <https://www.teknistore.com>. Retrieved from <https://www.teknistore.com/es/cascos/17376-car-plastic-motorcycle-helmets-clip-chin-strap-quick-release-buckle.html>: <https://www.teknistore.com/es/cascos/17376-car-plastic-motorcycle-helmets-clip-chin-strap-quick-release-buckle.html>
- Scorpion Helmets. (n.d.). <http://www.roffhausheating.com>. Retrieved from <http://www.roffhausheating.com/scorpion-exo-920-solid-flipup-black-helmetsscorpion-merchandisingcorpion-exo-helmet-for-salediscount-sale-p-1397.html>: <http://www.roffhausheating.com/scorpion-exo-920-solid-flipup-black-helmetsscorpion-merchandisingcorpion-exo-helmet-for-salediscount-sale-p-1397.html>
- Sherman Vincent R., Q. H. (2017). A comparative study of piscine defense: The scales of *Arapaima gigas*, *Latimeria chalumnae* and *Atractosteus spatula*. *Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 1-16.
- Shoei Helmets. (n.d.). <https://www.shoei-helmets.com>. Retrieved from <https://www.shoei-helmets.com/helmets/hornet-x2.html>: <https://www.shoei-helmets.com/helmets/hornet-x2.html>
- Thai Kim T., M. A. (2015). Factors Affecting Motorcycle Helmet Use: Size Selection, Stability, and Position. *Traffic Injury Prevention*, 276-282.
- United Nations (2002). Uniform provisions concerning the approval of protective helmets and their visors for drivers and passengers of motorcycles and mopeds, *Addendum 21: Regulation No. 22, Revision 4*
- Yescom. (n.d.). <https://www.ebay.com>. Retrieved from <https://www.ebay.com/itm/DOT-Motorcycle-German-Style-Half-Open-Face-Helmet-Chopper-Cruiser-Scooter-M-L-XL-/302378951235>: <https://www.ebay.com/itm/DOT-Motorcycle-German-Style-Half-Open-Face-Helmet-Chopper-Cruiser-Scooter-M-L-XL-/302378951235>

