

Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φύση Θεού
Αιγαίο



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

Τρισδιάστατη Εκτύπωση στη Βιομηχανία
Τροφίμων



Φοιτητές: Αγγελική Μιχαέλα Δανέση, ΑΜ: 6112012019

Κωνσταντίνος Παπαδόπουλος, ΑΜ: 6112012079

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή: Α. Κουτελιδάκης (Επιβλέπων)

Ζ. Ιωάννου

Χ. Δήμου

Λήμνος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	5
Abstract	6
Περίληψη	7
Κεφάλαιο 1	
1.1. Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 2	
Σχεδιασμός	11
2.1. Ηλεκτρονικά Τμήματα	12
2.2. Λογισμικό	13
2.3. Εργαλεία CAD	13
2.4. Εργαλεία CAM	14
2.5. Υλικολογισμικό (Firmware)	17
Κεφάλαιο 3	
Το 3D τοπίο εκτύπωσης	18
3.1. Διαφορά μεταξύ της εκτύπωσης τροφίμων και της βασισμένης στη ρομποτική βιομηχανία τροφίμων	20
Κεφάλαιο 4	
Το σχέδιο του τρισδιάστατου εκτυπωτή που προορίζεται για γαστρονομική χρήση	21
4.1. Παράδειγμα χρήσης της 3D εκτύπωσης στη βιομηχανία τροφίμων- Μορφοποίηση σοκολάτας	22
4.2. Μέθοδοι εξώθησης υλικού	23
4.2.1. Εξώθηση με περιστροφική βίδα	23
4.2.2. Εξώθηση μέσω αντλίας κοχλίας	23
4.2.3. Εξώθηση μέσω εμβόλου	24
4.3. Έλεγχος εκτυπωτή	25
4.4. Περιγραφή του εκτυπωτή	27
Κεφάλαιο 5	
Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια και την ποιότητα των εκτυπωμένων τροφίμων	30
5.1. Εκτύπωση με βάση την εξώθηση και παράγοντες που επηρεάζουν	31

την ακρίβεια εκτύπωσης	
5.2. Επιλεκτική εκτύπωση που βασίζεται στην πυροσυσσωμάτωση και παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια εκτύπωσης	40
5.3. Η εκτύπωση Binder-jetting και παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια εκτύπωσης	42
5.4. Εκτύπωση μελάνης και παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια εκτύπωσης	44
Κεφάλαιο 6	
Εφαρμογές στα τρόφιμα	47
6.1. Στρατιωτική και διαστημική διατροφή	49
6.2. Φαγητά για τους ηλικιωμένους	51
6.3. Αγορά ζαχαροπλαστικής	51
6.4. Παραδείγματα τρισδιάστατης εκτύπωσης φρούτων και λαχανικών	52
6.4.1. Υλικά και Μέθοδοι	53
6.4.2. Προετοιμασία εκτυπώσιμων τύπων τροφίμων	53
6.4.3. Διεκπεραίωση των 3D πειραμάτων εκτύπωσης	54
6.4.4. Συνθήκες αποθήκευσης και σύνθεσης αερίων τρισδιάστατα τυπωμένων δειγμάτων	56
6.4.5. Χημική και φυσική ανάλυση	56
6.4.6. Ανάλυση της μικροδομής με μικροτομογραφική ακτινογραφία X	56
6.4.7. Αντιοξειδωτική ικανοποίηση και συνολική φαινολική περιεκτικότητα σε τρισδιάστατα τυπωμένα τρόφιμα	57
6.4.8. Μικροβιολογικές αναλύσεις	58
6.4.9. Προσδιορισμός των αισθητήριων χαρακτηριστικών των τρισδιάστατων δειγμάτων	58
6.4.10. Στατιστική ανάλυση	59
Κεφάλαιο 7	
Η αντίληψη των καταναλωτών σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων	59
7.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη στάση και την αντίληψη των καταναλωτών σχετικά με τα νέα τρόφιμα και τη νέα τεχνολογία τροφίμων	60
7.2. Η παρούσα έρευνα	61

Κεφάλαιο 8

Μελλοντική εργασία και συμπεράσματα όσον αφορά την αντίληψη του κοινού	67
Κεφάλαιο 9	
Ιστορική ανάπτυξη του νόμου και της βιβλιογραφίας σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση	68
9.1. Προσδιορισμός και εύρεση του νόμου και της επιστημονικής βιβλιογραφίας που αφορά την τρισδιάστατη εκτύπωση	69
9.2. Μελλοντικές βλέψεις εξέλιξης της νομοθεσίας σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση	70
Συμπεράσματα	71

Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τους Καθηγητές του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής για όλες τις υποδείξεις και συμβουλές τους, αλλά και για τις γνώσεις που αποκομίσαμε καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων. Ακόμη, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τους επιβλέποντες και υπεύθυνους καθηγητές κ. Κουτελιδάκη Αντώνιο και κ. Ιωάννου Ζαχαρία για την πολύτιμη βοήθεια τους στην υλοποίηση της παρούσας πτυχιακής μελέτης, καθώς και για την εκτενή καθοδήγηση και υπομονή τους καθ' όλη τη διάρκεια της σύνταξής της. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την τριμελή επιτροπή αξιολόγησης για την αφιέρωση πολύτιμου χρόνου ώστε να αξιολογηθεί η παρούσα μελέτη.

Abstract

3D Food Printing

Additive Manufacturing or 3D Printing, as it is most commonly known and referred as, is a relatively new and pretty innovative technology, which despite all else, can also be applied to the manufacturing and the processing of foods. Even though this technology is barely 20 years old, it is believed that its possible forthcoming rise and growth will affect all the sectors of the food industry. The foundation of this technology is the 3d printer, a machine vaguely resembling a more advanced commercial 2d printer. Despite the simplicity of its appearance, his function is much more complex. The most common, but still the most fundamental, function of the 3d printer is the method of extruding a material through a nozzle (extrusion method). This application can also take place to a myriad other more diverse and complex techniques and methods of printing (like the melting technique most commonly used for the printing of chocolate). Further printing methods, who do not use this application, are the laser printing and the material spraying techniques. This technology can be used both for the mass production of foods and other edible products and for more diversly different parts of the everyday life. Its application spectrum varies from domestic usage to the military. It must be noted that its use to shape and produce a solid and more “normal” nutrition for the spacemen (NASA/ESA missions) is of a great interest to the scientific community. However, despite all of its applications and its obvious merits to the day-to-day life, both the lack of information and the phenomenon of thechnophobia have delayed its development and have limited its spread. The lack of a formal and more scientifically proven legislation has only worsen this situation. Despite all of these problems, its future, both on a scientific and commercial level, seems hopeful. There are pleasant news for the scientific community but it also raises more suspicions from the consumers.

Περίληψη

Η Προσθετική Κατασκευή (Additive Manufacturing) ή Τρισδιάστατη Εκτύπωση, όπως είναι πλέον γνωστή, αποτελεί μια σχετικά καινούρια και αρκετά καινοτόμα τεχνολογία η οποία βρίσκει εφαρμογή, εκτός των άλλων, και στην παρασκευή και επεξεργασία τροφίμων. Αν και η τεχνολογία είναι μόλις 20 περίπου ετών, πιστεύεται ότι η επερχόμενη ανάπτυξη και εξέλιξή της θα επηρεάσει όλους τους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων. Βάση της τεχνολογίας αυτής αποτελεί ο τρισδιάστατος εκτυπωτής, ένα μηχάνημα που θυμίζει σε εμφάνιση έναν πιο εξελιγμένο δισδιάστατο εκτυπωτή του εμπορίου. Η απλότητα της εμφάνισης του όμως δεν συνάδει με την πολυπλοκότητα της λειτουργίας του. Η βασικότερη λειτουργία της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η μέθοδος εξώθησης του υλικού από ένα ακροφύσιο. Η λειτουργία αυτή βρίσκει εφαρμογή τόσο στην προαναφερθείσα μέθοδο όσο και στις πολυάριθμες λοιπές μεθόδους εκτύπωσης (π.χ. Μέθοδος με λιώσιμο που εφαρμόζεται κατά την εκτύπωση σοκολάτας). Περαιτέρω μέθοδοι εκτύπωσης, που δεν αξιοποιούν την τεχνική αυτή, είναι η εκτύπωση με χρήση λέιζερ καθώς και μέθοδοι που βασίζονται στον ψεκασμό υλικού ή μελάνης συνήθως πάνω σε μια ήδη υπάρχουσα πρώτη ύλη. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να βρει εφαρμογή τόσο στη μαζική παραγωγή τροφίμων και προϊόντων διατροφής όσο και σε ποικίλους άλλους τομείς. Το φάσμα εφαρμογής του κυμαίνεται από οικιακή χρήση μέχρι και τον στρατό. Αξιοσημείωτη ακόμη είναι η αξιοποίηση του για την ανάπτυξη και εφαρμογή σωστής και "φυσιολογικής" διατροφής για τους απεσταλμένους σε διαστημικές αποστολές (NASA/ ESA missions). Παρόλες τις εφαρμογές και τα εμφανή του οφέλη για την βελτίωση της καθημερινότητας, η έλλειψη ενημέρωσης και η φοβία και δυσπιστία του καταναλωτικού κοινού προς τις νέες τεχνολογίες έχουν καθυστερήσει την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής και έχουν περιορίσει την διάδοσή της. Η απουσία υπεύθυνης και επιστημονικά τεκμηριωμένης νομοθεσίας επιβαρύνει αυτή την κατάσταση ακόμη περισσότερο. Παρ'όλα αυτά, το μέλλον της, τόσο σε επιστημονικό όσο και εμπορικό επίπεδο, φαντάζει ευόιο.

1. Εισαγωγή

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (three dimensions printing, 3D) είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία παράγονται αντικείμενα με εναπόθεση στρώματος-προς-στρώμα, ενός υλικού με ένα άλλο συγκολλημένο υλικό, ενώ η κίνηση του εκτυπωτή ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή σύμφωνα με σχέδιο που έχει προκύψει με τη βοήθεια υπολογιστή (computer-aided design ,CAD). Η Προσθετική Παραγωγή αποτελεί μια ευρεία οικογένεια τεχνολογιών, μεταξύ των οποίων η επιλεκτική σύντηξη με χρήση ακτίνων λέιζερ (selective laser sintering, SLS), η στερεοσκοπική λιθογραφία (stereolithography, SL) και η κατασκευή μοντέλων μέσω εναπόθεσης/σύντηξης διαδοχικών στρώσεων (Fused Deposition Modeling, FDM) είναι οι πιο σημαντικές. Η δυνατότητα κατασκευής αντικειμένων με οποιοδήποτε τύπο σχήματος, διάστασης και εσωτερικής δομής (γνωστή και ως μικροδομή), καθώς και τροποποίηση της σύνθεσής τους, είναι τα κύρια πλεονεκτήματα της Τρισδιάστατης εκτύπωσης. Στη μέθοδο αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση (3DSupplyGuys , Άρθρο “3D Printers for History Education” , 2016)

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτοτύπων από σχεδιαστές, μηχανικούς και ομάδες ανάπτυξης νέων προϊόντων, έχουν τη δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής. Η νέα τεχνολογία διαχείρισης και μετακίνησης υλικών (ως έχουν ή με αναπαραγωγή τους), ονομάζεται (ψηφιακό) MatterNet, κατά αναλογία της τεχνολογίας του διαδικτύου (internet), που επιτρέπει την διαχείριση και μεταφορά των πληροφοριών (κειμένων, σταθερών ή κινούμενων εικόνων και ήχου) (3DSupplyGuys , Άρθρο “3D Printers for History Education” , 2016).

Μέσα από τη δεκαετία του '80, κιόλας, η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιήθηκε για τη κατασκευή προτύπων. Πρωτοεφευρέθηκε στα 1982 από τον Chuck Hull. Ο Hull είχε την ιδέα ότι αν μπορούσε να τοποθετήσει χιλιάδες λεπτά στρώματα πλαστικού το ένα πάνω από το άλλο και στη συνέχεια να χαράξει το σχήμα τους, χρησιμοποιώντας το φως, τότε θα ήταν σε θέση να σχηματίσει τρισδιάστατα αντικείμενα. Μετά από ένα χρόνο πειραματιζόμενος με τις ιδέες αυτές, ανέπτυξε ένα σύστημα όπου μια συμπυκνωμένη ακτίνα υπεριώδους φωτός, κινούμενη υπό τον έλεγχο ενός υπολογιστή, χτυπά την επιφάνεια ενός κάδου γεμάτο με υγρό φωτοπολυμερές και όπου χτυπά το υγρό αυτό μετατρέπεται σε ένα τύπο πλαστικού σε σταθερή μορφή. Ο Hull συνειδητοποίησε ότι το εύρημά του δεν περιοριζόταν σε υγρά στοιχεία και ως εκ τούτου η ευρεσιτεχνία του ονομάστηκε

στερεολιθογραφία ή 3D εκτύπωση, καθώς κάλυπτε κάθε υλικό ικανό προς στερεοποίηση ή ικανό να μεταβάλει τη φυσική του κατάσταση. «στερεολιθογραφία» του Hull επέτρεψε την ταχεία χύτευση μεταλλικών εξαρτημάτων για μεγάλους κατασκευαστές όπως εταιρείες αυτοκινητοβιομηχανίας. Η διαδικασία του Hull, η οποία αποτελεί τη βάση της εκτύπωσης 3-D σήμερα, διαφέρει από τις παραδοσιακές διαδικασίες παραγωγής με έναν θεμελιώδη τρόπο: δεν είναι αφαιρετική. Παραδοσιακά, οι περισσότερες τεχνικές παραγωγής δημιουργούν τρισδιάστατα προϊόντα μέσω της «αφαιρετικής κατασκευής», με την οποία αφαιρείται ανεπιθύμητο ή περιττό υλικό για να φτάσει στο επιθυμητό σχήμα. Πρόκειται για μια παλιά διαδικασία. Τα περισσότερα αντικείμενα σήμερα παράγονται εν μέρει με τεχνικές αφαιρετικής κατεργασίας όπως κοπή, διάτρηση, αρχειοθέτηση, στροφή ή άλεση. Ακόμη και τα μη κατεργασμένα προϊόντα κατασκευάζονται κατά παρόμοιο τρόπο, για παράδειγμα, το σιρόπι σφενδάμου παράγεται με βρασμό νερού από το χυμό μέχρι την επιθυμητή συγκέντρωση ζάχαρης. Η αφαίρεση είναι παντού και γι 'αυτό η εκτύπωση 3-D ως πρόσθετη διαδικασία είναι τόσο επαναστατική. Η « προσθετική βιομηχανοποίηση» όπως υποδηλώνει το όνομα, κατασκευάζει προϊόντα από κάτω προς τα πάνω. Η παρασκευή προσθέτων είναι λίγο πιο περίπλοκη, αλλά μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ελεγχόμενο με υπολογιστή πυροβόλο όπλο, το οποίο χρησιμοποιεί έναν προσεκτικά υπολογισμένο και μετρημένο συνδυασμό βασικών στοιχείων που συγκολλούνται μαζί, όπως αυτά καθορίζονται, προσθέτοντας κάθε στρώμα στην προηγούμενη.(Berman, 2012; H. J. Brown, 2012) .

Η δεκαετία του 1990 ήταν η δεκαετία των ταχέων τεχνολογικών εξελίξεων. Η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιήθηκε για να γίνουν γρηγορότερα και φθηνότερα από τις παραδοσιακές διεργασίες τα εξαρτήματα και τα καλούπια. Όταν ένα παραδοσιακό καλούπι θα χρειαζόταν 3-4 εβδομάδες και χιλιάδες δολάρια για να γίνει, ένα τρισδιάστατα-τυπωμένο καλούπι θα μπορούσε να γίνει μέσα σε μια εβδομάδα με πολύ χαμηλότερο κόστος (3DSupplyGuys , Άρθρο “3D Printers for History Education” , 2016).

Με τα χρόνια, η τεχνολογική ανάπτυξη οδήγησε στην παραγωγή φθηνότερων εκτυπωτών οι οποίοι όμως προσφέρουν συνάμα προϊόντα καλύτερης παραγωγικής προέλευσης. Η δεκαετία του 2000 έκανε τους 3d εκτυπωτές πιο προσιτούς για το σπίτι με τιμές που πέφτουν κάτω από 500\$ (USD). Αν και οι τιμές του εκτυπωτή έχουν μειωθεί δραστικά τα τελευταία δύο χρόνια, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές δεν είναι ακόμα τόσο εύχρηστοι, όσο ο εκτυπωτής διδιάστατης εκτύπωσης (TWO DIMENSIONS PRINTING, 2D), για τον μέσο καταναλωτή. Οι πρώτες ομάδες ανθρώπων που υιοθέτησαν τέτοιες τεχνολογίες (μηχανικοί, κατασκευαστές, ακόμη και άτομα που ασχολούνται με αυτό ως χόμπυ) έκριναν πως οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι αρκετά χρήσιμοι και έχουν μεγάλο εύρος δυνατοτήτων ως προς το αντικείμενο που πρόκειται να εκτυπωθεί (3DSupplyGuys , Άρθρο “3D Printers for History Education” , 2016).

Όσον αφορά το μέλλον, οι δυνατότητές της για ερευνητικές και βιομηχανικές εφαρμογές αποτελούν αντικείμενο καθημερινής συζήτησης. Ο Jiang (2017), ο οποίος ανέφερε τα πρώτα αποτελέσματα μιας πρόβλεψης, του πιο πιθανού σεναρίου αναδυόμενων τεχνολογιών το 2030, ανέφερε ότι η Προσθετική Παραγωγή υλικών θα εμπλακεί άμεσα και θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε συστήματα παραγωγής υλικών όπως τα ανταλλακτικά και τα πολυ-υλικά. Ακόμη, υπέθεσε και πιθανή επιπρόσθετη ανάπτυξη στις αλυσίδες εφοδιασμού.

Στον ιατρικό τομέα, η βιομετρική τρισδιάστατη εκτύπωση ιστών αποτελεί την πιο ελκυστική και συναρπαστική εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής, αλλά ενδιαφέρον, για τις εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν παρουσιάσει και διάφοροι κλάδοι της φαρμακοβιομηχανίας (Sobral et al., 2011, Bose et al., 2013, Murphy και Atala , 2013, Pati et al., 2014, 2015, Rodriguez et al., 2017). Πρόσφατα, η Διοίκηση Τροφίμων και Φαρμάκων ενέκρινε το πρώτο δισκίο (χάπι) 3D, που παράγεται με την τεχνολογία ZipDose, το οποίο έχει ως κύριο πλεονέκτημα να αποσυντίθεται γρήγορα έπειτα από δια στόματος χορήγηση (Aprecia, 2015).

Στην παραγωγή τροφίμων, η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει τη δυνατότητα πλήρους ανανέωσης όχι μόνο της διαδικασίας επεξεργασίας τροφίμων αλλά και των τροφίμων των ίδιων. Όπως αναφέρθηκε από τους Ringquist et al, το 2016, στο άρθρο τους “Capitalizing on the shifting consumer food value equation”, η επιλογή του καταναλωτή να αγοράζει τρόφιμα καθοδηγείται από τα ακόλουθα κριτήρια: γεύση, κόστος, εμπειρία, ευκολία και διατροφή. Η τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων (3DFP) είναι ικανή να ικανοποιήσει όλα αυτά τα κριτήρια για την παρασκευή εξατομικευμένων / προσαρμοσμένων ειδών διατροφής για συγκεκριμένες ομάδες καταναλωτών (παιδιά, ηλικιωμένα άτομα, έγκυες γυναίκες, έφηβοι, αθλητές κλπ.) Τόσο από αισθητικές όσο και από θρεπτικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, το έργο PERFORMANCE που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (αριθμός συμφωνίας επιχορήγησης: 312092) βασίζεται στην εφαρμογή τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή ομαλής τροφής για άτομα που έχουν πληγεί από προβλήματα μαστίχας ή κατάποσης. Επιπλέον, εκατοντάδες καινοτόμα τρόφιμα όσον αφορά το σχήμα, τη διάσταση, τη συνοχή, τη μικροδομή, το χρώμα, τη γεύση, το φλοιό κ.λπ. θα μπορούσαν να ληφθούν εκτυπώνοντας μείγματα συστατικών ή με διαδικασία πολλαπλής εκτύπωσης πολλών συστατικών τροφίμων. Τα τελευταία 5 χρόνια, αρκετές έρευνες επισήμαναν την πιθανή εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης ειδών διατροφής σύμφωνα με τις υψηλές δυνατότητες αυτής της τεχνικής (Wegrzyn et al. , 2012; Sun et al., 2015; Pallottino et al., 2016; Godoi et al, 2016; Severini and Derossi, 2016; Sun et al, 2017), καθώς και σύμφωνα με ένα ευρύ φάσμα πρακτικών εφαρμογών στα τυπωμένα ζυμαρικά, το χοιρινό πουρέ, τη σοκολάτα (Hao et al., 2016 · Severin και Derossi, 2016 · Sun et al., 2017), τα υδροκολλοειδείς (Cohen et al., 2009), κτλ. Ωστόσο, πολύ λίγα λεπτομερή επιστημονικά πειράματα για 3D εκτύπωση τροφίμων

έχουν διεξαχθεί και, όπως αναφέρεται από τον Lin (2015), η εκτύπωση τροφίμων όπως η πίτσα είναι πολύ ευκολότερη να ειπωθεί στα λόγια παρά να πραγματοποιηθεί, με βάση την σημερινή τεχνολογία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι εμπορικοί εκτυπωτές 3D σχεδιάζονται και αναπτύσσονται για θερμοπλαστικά υλικά με αμετάβλητες ιδιότητες και όχι για τρόφιμα που εμφανίζουν μεταβλητές μηχανικές ιδιότητες τόσο πριν όσο και μετά την εκτύπωση (Severini et al., 2016).

2. Σχεδιασμός

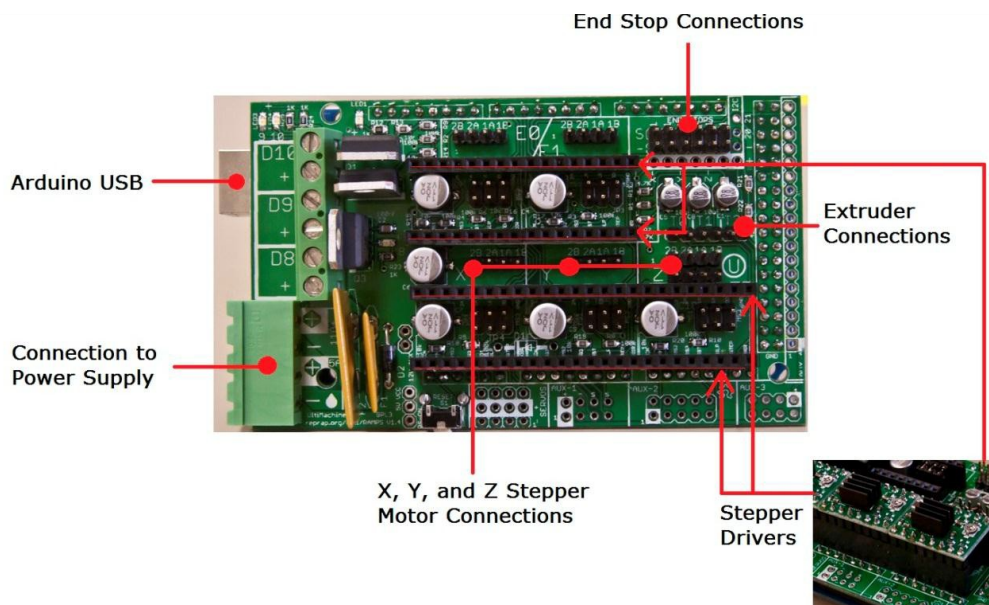
Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν νέα μοντέλα 3-D μέσω ενός ευρέος φάσματος προγραμμάτων μοντελοποίησης με υπολογιστή (CAD) ή προγράμματα μοντελοποίησης animation , που κυμαίνονται από δωρεάν ή σχεδόν δωρεάν επιλογές όπως το Google SketchUp, το 3D Tin ή το TinkerCAD σε σχετικά ακριβά αλλά και πιο προηγμένα προγράμματα όπως το AutoCAD ή Pro / Engineer. Οι εκτυπωτές 3-D μπορούν να εκτυπώσουν με ακρίβεια μέχρι 16 μm (μικρομέτρων), που είναι μικρότερες από τις καλύτερες ανθρώπινες τρίχες. Οι περισσότεροι εκτυπωτές εξακολουθούν να παράγουν μονόχρωμα αντικείμενα, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι όλα τα σχέδια πρέπει απαραίτητα να είναι μονόχρωμα. Ανάλογα με τη διαδικασία εκτύπωσης, το νήμα μπορεί να αλλάξει για να αλλάξει τα χρώματα για μερικά πολύχρωμα αντικείμενα ή οι λεγόμενοι «διπλοί εξωθητήρες» μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτύπωση δύο χρωματισμένων αντικειμένων. Εναλλακτικά, οι χρήστες μπορούν να σαρώσουν τρισδιάστατα υπάρχοντα προϊόντα με απλούς αλλά σχετικά ανακριβείς σαρωτές για κινητά τηλέφωνα και tablet. ή με μεγαλύτερους και πιο ισχυρούς 3D σαρωτές. Μόλις γίνει σάρωση ενός προϊόντος, μπορεί να γίνει χειρισμός χρησιμοποιώντας τα προγράμματα σχεδιασμού 3D που αναφέρονται παραπάνω. Όπως είναι αναμενόμενο, έχουν προκύψει διάφορες ηλεκτρονικές βιτρίνες όπως το Thingiverse, Shapeways ή Ponoko του MakerBot, μέσω των οποίων οι χρήστες μπορούν να μεταφορτώσουν - είτε δωρεάν είτε έναντι αμοιβής - τα σχέδια για όλα τα είδη προϊόντων. Μόλις ολοκληρωθεί το στάδιο του σχεδιασμού, το πρόγραμμα του εξάγεται στην επέκταση αρχείου SLG (για στερεολιθογραφία) αναγνώσιμη από τον 3-D εκτυπωτή (Devijver, Steven, 2011).

Μόλις ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός, ο εκτυπωτής θα το μετατρέψει σε μεμονωμένα 2D επίπεδα. Στη συνέχεια, η κεφαλή εκτύπωσης περνάει πάνω από μια πλατφόρμα οικοδόμησης για να προσθέσει ή να κατεβάσει τα στρώματα του υλικού, ένα κάθε φορά, για να κάνει το 3D αντικείμενο – εξ ου και η ορολογία Προσθετική Παραγωγή . Υπάρχουν τρεις μέθοδοι για τους διάφορους τύπους πρώτων υλών. (physics.org, 2014). Η πρώτη μέθοδος, η αρχική Στερεολιθογραφία (SLA), χρησιμοποιεί το φως - συνήθως από ένα υπεριώδες λέιζερ - για να μετατρέψει τις χημικές ρητίνες από υγρό πλαστικό σε στερεά. Η δεύτερη μέθοδος, γνωστή ως Κατασκευή σύνθετων νημάτων (FFF), δεν απαιτεί πηγή φωτός: η λυωμένη μελάνη της γίνεται απλά στερεά όταν βγαίνει από την κεφαλή του εκτυπωτή, παρόμοια με

το πώς στερεοποιείται η σοκολάτα ή το τυρί όταν κρυνώνει. Και οι δύο μέθοδοι δημιουργούν στρώμα επάνω στο στρώμα μέχρι να τελειώσει το τελικό προϊόν. Η τρίτη μέθοδος, που ονομάζεται Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ r (SLS), διασυνδέει στρώματα σκόνης, όπως σκόνη από ανοξείδωτο χάλυβα. Αφού η σκόνη προθερμανθεί στην κλίνη σκόνης, το λέιζερ του 3-D εκτυπωτή αυξάνει τη θερμοκρασία σκόνης των επιθυμητών περιοχών στο σημείο τήξης για να δημιουργήσει και να ενώσει τα στρώματα του επιθυμητού αντικειμένου 3-D (Devijver, Steven , 2011).

2.1 Ηλεκτρονικά τμήματα

Γενικά, τα ηλεκτρονικά είδη που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης χωρίζονται σε 4 διαφορετικά τμήματα, τον ελεγκτή, τους βηματικούς κινητήρες, τους οδηγούς βηματικών και τους τερματικούς σταθμούς. Ο "εγκέφαλος" της λειτουργίας, ο ελεγκτής, είναι μια στοίβα κυκλωμάτων που μεταφράζει τις εντολές του υπολογιστή σε ενέργειες που ακολουθούνται κατά την εκτύπωση. Τις περισσότερες φορές, ο ελεγκτής είναι ένας μικροελεγκτής Arduino εξοπλισμένος με κάποιον ηλεκτρονικό πίνακα, όπως το RepRap Arduino MEGA 2560 Pololu Shield ή αλλιώς RAMPS εν συντομία . Έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να φέρει ολόκληρο το ηλεκτρονικό σύστημα που απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία ενός 3D εκτυπωτή σε ένα μικρό πακέτο (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Πίνακας RAMPS (RepRap, 10 Mar. 2014)

Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει βύσματα στους οδηγούς βηματικών καθώς και ηλεκτρονικά στοιχεία ελέγχου εξωθητήρων σε προστατευτική θωράκιση Arduino MEGA, με σκοπό την εύκολη συντήρηση και αντικατάσταση εξαρτημάτων. Οι βηματικοί οδηγοί είναι τσιπς που δρουν ως μεσάζοντες μεταξύ ενός βηματικού κινητήρα και του ελεγκτή. Απλοποιούν τα σήματα που πρέπει να αποσταλούν στο βηματικό μοτέρ ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η ομαλή του κίνηση. Οι βηματικοί οδηγοί είναι τοποθετημένοι σε μικρές πλακέτες κυκλωμάτων που συνδέονται απευθείας στον ελεγκτή. Κάθε βηματικός οδηγός είναι συνδεδεμένος με ένα βηματικό κινητήρα. Οι βηματικοί κινητήρες είναι ένας τύπος ηλεκτρικού μοτέρ που μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια από τον ελεγκτή. Ένα ακόμη κομμάτι του υλικού αποτελούν οι τερματικοί σταθμοί. Αυτοί είναι πολύ μικρές και απλές πλακέτες κυκλωμάτων με διακόπτη που “ειδοποιεί” τον ελεγκτή όταν αυτός έχει μετακινηθεί πάρα πολύ προς τη μία μόνο κατεύθυνση (Kirsch, Florian , 2011).

2.2 Λογισμικό

Τώρα που έχει δοθεί επεξήγηση πάνω στο ηλεκτρονικό υλικό, μπορούν να εισαχθούν τα βήματα του λογισμικού που θα αξιοποιηθούν κατά τη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το λογισμικό της 3D εκτύπωσης επιτρέπει την δημιουργία, την προβολή και την αλλαγή των τρισδιάστατων εικόνων, την μετατροπή της εικόνας σε οδηγίες για τον εκτυπωτή και τον “τεμαχισμό” του αρχείου σε οριζόντια κομμάτια, ώστε να καθίστανται κατανοητά από τον εκτυπωτή. Η ροή εργασίας για τη υλοποίηση μιας ιδέας σε 3D εκτύπωση μπορεί να συνοψιστεί ως δημιουργία μοντέλου, τεμαχισμού και εκτύπωσης. Σε κάθε βήμα, υπάρχουν πολλές διαθέσιμες λύσεις λογισμικού που μπορούν να επιλεγούν. Σε γενικές γραμμές, το λογισμικό 3D εκτύπωσης μπορεί να χωριστεί σε 3 διαφορετικές περιοχές, τα εργαλεία CAD, τα εργαλεία CAM και το υλικολογισμικό για ηλεκτρονικά (Makezine.com. "The Ultimate Guide to 3D Printing." , 2013).

2.3 Εργαλεία CAD

Το Σχέδιο με Βοήθεια Υπολογιστή (Computer Aided Design), ή αλλιώς εργαλεία CAD, χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό τρισδιάστατων εξαρτημάτων για εκτύπωση. Τα εργαλεία CAD επιτρέπουν την εύκολη αλλαγή και χειρισμό εξαρτημάτων με βάση τις παραμέτρους που έχουν τεθεί από τον χρήστη. Μία από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στα εργαλεία CAD, για στερεά μοντελοποίηση, είναι η Κατασκευαστική Στερεά Γεωμετρία (Constructive Solid Geometry) ή CSG. Χρησιμοποιώντας το CSG, βασικά σχήματα όπως κύβοι, σφαίρες, κύλινδροι και πυραμίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία πολύπλοκων επιφανειών. Για παράδειγμα, μια κοίλη σφαίρα

μπορεί να μοντελοποιηθεί σχεδιάζοντας δύο στρώσεις επικάλυψης, μία ελαφρώς μικρότερη από την άλλη και αφαιρώντας τις μικρότερες από τις μεγαλύτερες. Απλούστερα, το CSG παρουσιάζει ένα μοντέλο ή μια επιφάνεια που εμφανίζεται οπτικά πολύπλοκη, αλλά είναι απλώς ένας συνδυασμός αντικειμένων. Οι εφαρμογές λογισμικού ανοικτού κώδικα για το CAD είναι οι OpenSCAD, FreeCAD, SketchUp και HeeksCAD και ορισμένα παραδείγματα ιδιόκτητων εργαλείων CAD αποτελούν τα Solidworks και Autodesk Inventor (Kirsch, Florian,2011) .

Το επόμενο βήμα, στη μετατροπή ενός μοντέλου από CAD, είναι η επικείμενη μετατροπή του σε αρχείο STL. Οι περισσότερες εφαρμογές λογισμικού τρισδιάστατης εκτύπωσης αποθηκεύουν τα αρχεία τους σε μορφή μιας συγκεκριμένης εφαρμογής, αλλά υπάρχουν πολύ λίγες εναλλάξιμες φόρμες αρχείων τύπου CAD. Οι δύο πιο διαδεδομένα χρησιμοποιούμενες εναλλάξιμες μορφές αρχείων CSG που δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν είναι τα STEP και IGES, επειδή και οι δύο απογυμνώνουν τα γεωμετρικά σχήματα από τα προσδίδονται δεδομένα και δημιουργούν επίπεδα στερεά σχήματα. Το ιδανικό αρχείο που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι το αρχείο STL, το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί από το CAD. Τα αρχεία STL μπορούν να τεμαχιστούν και να εκτυπωθούν· μια δυνατότητα που απουσιάζει από τα αρχεία STEP και IGES (Kirsch, Florian, 2011). Ένα από τα πιο συνηθισμένα λάθη που πραγματοποιείται από τους αρχάριους χρήστες είναι η χρήση λανθασμένου τύπου αρχείου. Για τον λόγο αυτό, προτιμάται η χρήση μιας εφαρμογής CSG CAD ενώ ταυτοχρόνως αποθηκεύεται το αρχικό παραμετρικό αρχείο μαζί με τα παραγόμενα αρχεία STL.

2.4 Εργαλεία CAM

Το επόμενο βήμα, στη διαδικασία χρήσης και ορισμού του λογισμικού, είναι η χρήση εργαλείων που συμβάλλουν στην Υποβοηθούμενη από Υπολογιστή Κατασκευή (Computer Aided Manufacturing), ή εν συντομία CAM, και αποσκοπούν στη μετατροπή των αρχείων CAD σε μία “οικεία” προς το μηχάνημα μορφή που χρησιμοποιείται από τα ηλεκτρονικά μέρη του τρισδιάστατου εκτυπωτή. Για να μετατρέψει ένα τρισδιάστατο κομμάτι σε αναγνωρίσιμη από το μηχάνημα μορφή, το λογισμικό CAM χρειάζεται ένα αρχείο STL. Η μορφή αυτή που χρησιμοποιείται για εκτύπωση ονομάζεται G-code. Ο κώδικας-G μεταβιβάζει στον εκτυπωτή την πληροφορία για το πού να μετακινηθεί η κεφαλή εκτύπωσης και πότε πρέπει να εξωθηθεί το πλαστικό, δημιουργώντας μια λίστα εντολών που θα ρυθμίσουν την επιτάχυνση των κινητήρων. Η διαδικασία αυτή αποτελεί μια από τις πιο κρίσιμες φάσεις της διαδικασίας λόγω της προσεκτικής ισορροπίας που πρέπει να επικρατεί μεταξύ της ποιότητας, της ταχύτητας και της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου νήματος. Για την μετατροπή αρχείων STL σε κώδικα-G, χρησιμοποιείται ένα πρόγραμμα τεμαχισμού (Slic3r, Kisslicer, RepSnapper και RepRap). Η διαδικασία μετατροπής του STL σε κώδικα-G τεμαχίζει το μοντέλο και στη συνέχεια

εξετάζει την διατομή κάθε τμήματος και καθορίζει τη διαδρομή που πρέπει να ταξιδέψει η κεφαλή εκτύπωσης για να εξωθήσει το πλαστικό, ενώ συνάμα υπολογίζει την κατάλληλη ποσότητα του νήματος που πρέπει να τροφοδοτηθεί διαμέσου του εξωθητήρα για να καλυφθεί η επιθυμητή αυτή απόσταση (Kirsch, Florian, 2011).

Αφού προκύψει το αρχείο του κώδικα-G, πρέπει να πραγματοποιηθεί η εκτέλεση του αρχείου μέσω ενός κατάλληλου διερμηνέα. Ο διερμηνέας κώδικα-G “διαβάζει” κάθε γραμμή του αρχείου και στέλνει τα πραγματικά ηλεκτρονικά σήματα στους κινητήρες για να καθορίσει τον τρόπο κίνησης του τρισδιάστατου εκτυπωτή. Για την αποστολή των αρχείων G-code σε έναν ολοκληρωμένο ερμηνευτή υλικού, είναι απαραίτητο ένα πρόγραμμα για την τροφοδοσία των G-codes μέσω μιας σύνδεσης USB. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα προαναφερθέντα προγράμματα και λογισμικά RepSnapper, RepRap Host, send.py και Printron. Τα περισσότερα προγράμματα που περικλύπτουν τα αρχεία STL και τα μετατρέπουν σε G-code μπορούν επίσης να στείλουν αρχεία G-code στο υλικολογισμικό (hardware) (Kirsch, Florian, 2011).

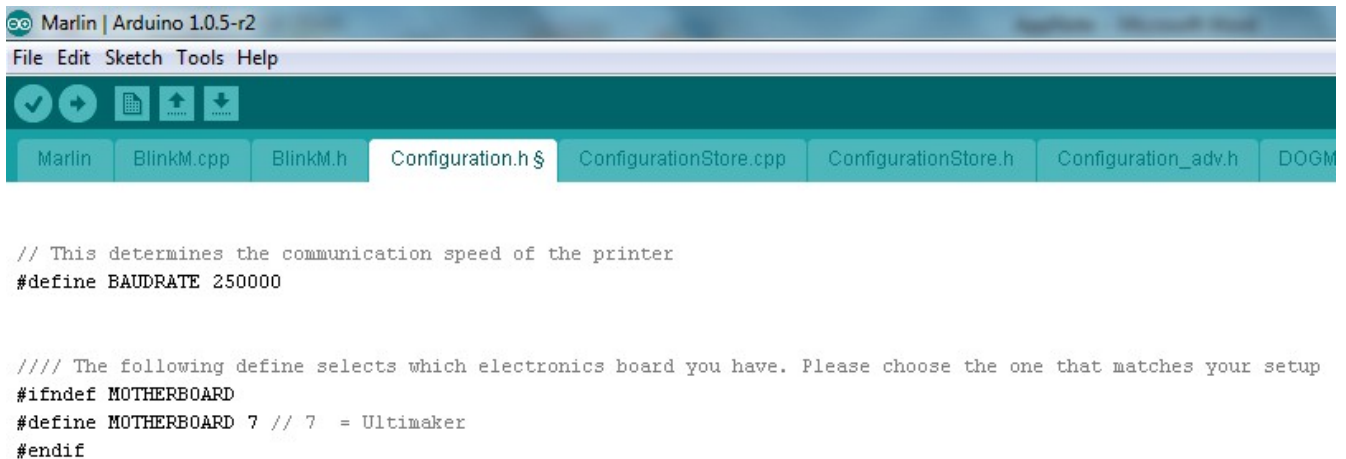
Η διαδικασία του υλικολογισμικού (firmware) μπορεί να περιγραφεί με τα ακόλουθα τέσσερα βήματα:

1. *Λήψη του λογισμικού Arduino IDE*, το οποίο είναι διαθέσιμο για Windows, Linux και Mac.

Το IDE περιέχει μόνο τον επίσημα υποστηριζόμενο οδηγό του συστήματος (system drivers), οπότε είναι σημαντική η κατανόηση του Arduino και των RAMPS προτού συνεχιστεί η διαδικασία.

2. *Λήψη του πηγαίου κώδικα (source code) του υλικολογισμικού (firmware)*. Το υλικολογισμικό και ο πηγαίος κώδικας πρέπει να ληφθούν σε συμπιεσμένο αρχείο ZIP. Δημοφιλή firmwares αποτελούν τα Marlin, Teacup και Sprinter. Αφού φορτωθεί το περιεχόμενο του αρχείου ZIP θα πρέπει να αποσυμπιεστεί και τότε το αρχείο .pde θα πρέπει να επιλεγεί και να ανοιχτεί. Προτού όμως πραγματοποιηθεί η μετάφραση και ανάρτηση του υλικολογισμικού, θα πρέπει να επιλαγούν η πλακέτα και η θύρα που θα χρησιμοποιηθούν. Το βήμα αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα μέσω του μενού των Εργαλείων του υπολογιστή, συνδέοντας την πλακέτα στον υπολογιστή και επιλέγοντας τη θύρα στην οποία είναι συνδεδεμένη.

3. *Τροποποίηση κώδικα.* Μόλις ανοίξει το αρχείο .prd στο Arduino, πρέπει να γίνουν αλλαγές στον κώδικα για να προσαρμοστεί στον εκτυπωτή. Αρχικά, επιλέγεται η καρτέλα "Configuration.h" και στη συνέχεια πρέπει να οριστούν τόσο η μητρική πλακέτα αλλά και η ταχύτητα baud σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα.



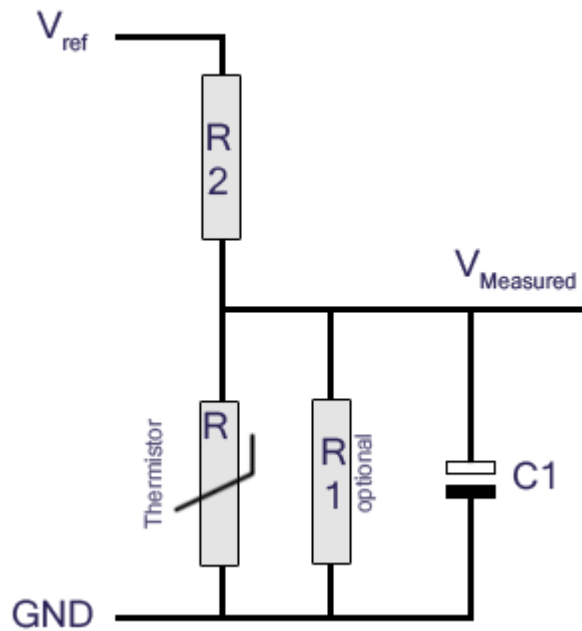
```
// This determines the communication speed of the printer
#define BAUDRATE 250000

//// The following define selects which electronics board you have. Please choose the one that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD 7 // 7 = Ultimaker
#endif
```

4. *Συλλογή και ανέβασμα του υλικολογισμικού στον ελεγκτή.* Αφού ο κωδικός του Configuration.h προσαρμοστεί στον εκτυπωτή, τότε μπορεί να μεταγλωτιστεί και να φορτωθεί στο Arduino. Αφού ο οδηγός στον πίνακα σταματήσει να τρεμοπαίζει, η μεταφόρτωση επαληθεύεται και στη συνέχεια εμφανίζεται το μήνυμα "Αποστολή ολοκληρώθηκε" στο IDE.

Τέλος, αφού ο μικροελεγκτής έχει φορτώσει το υλικολογισμικό του, είναι έτοιμος να δεχτεί G-codes μέσω της θύρας COM. Τα τέσσερα παραπάνω βήματα είναι τα ελάχιστα βήματα που πρέπει να ληφθούν για την εύρυθμη λειτουργία του εκτυπωτή. Υπάρχουν πολλές τροποποιήσεις στον κώδικα για τον έλεγχο της ακρίβειας, ορισμένες από τις οποίες περιλαμβάνουν τα βήματα ανά απόσταση, τη μέτρηση θερμοκρασίας, τον έλεγχο τραντάγματος, τον προγραμματισμό διαδρομής και την εμφάνιση κλπ.

Από αυτές τις επιπλέον τροποποιήσεις, η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι ζωτικής σημασίας για την ακρίβεια της εξώθησης του νήματος. Προτού ελεγχθεί η θερμοκρασία του νήματος, πρέπει αυτό να μετρηθεί. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εγκαταστάθηκε ένας θερμοστάτης NTC (Caroline Kerbelis, 2014), ο οποίος αναπαριστάται στην παρακάτω εικόνα.



Η αντίσταση αλλάζει από τον NTC, δηλαδή με την αυξημένη θερμοκρασία παρατηρείται πτώση της αντίστασης, γεγονός που προκαλεί αλλαγή της μετρούμενης τάσης. Κατόπιν η τάση μετατρέπεται σε 0V (γείωση) και φτάνει μέχρι τα 5V.

3. Το τοπίο 3d εκτύπωσης

Η τεχνοτροπία της τρισδιάστατης εκτύπωσης καθώς και η ανάπτυξη της βρίσκεται σε άνθηση, αν και κυριαρχείται μόνο από λίγες, μεγάλο μέγεθος βιομηχανικές εταιρίες. Η Stratasys και η 3D Systems είναι οι μεγαλύτεροι φορείς αξιοποίησης αυτής της τεχνολογίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Εκτός από αυτούς, υπάρχουν εκατοντάδες μικρές τοπικές ή περιφερειακές επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο, αν και η ενασχόληση τους με την τεχνολογία αυτή δεν φέρει κάποιο σημαντικό αντίκτυπο στο παγκόσμιο τεχνολογικό προσκήνιο. Πιο συγκεκριμένα, η 3D Systems (DDD), που διαθέτει το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς στην τρισδιάστατη εκτύπωση, και μάλιστα έχει κεφαλαιοποίηση της αγοράς ύψους 2 δισ. Δολαρίων (30 Σεπτεμβρίου 2016) (Principal Financial Services, 2016). Όμως, όταν πραγματοποιείται σύγκριση με τον τεχνολογικό κολοσσό που είναι η HP (HPQ) (στα 26 δισ. Δολάρια) συμπεραίνεται ότι η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης ακόμη υστερεί στην αγορά σε σχέση με την 2D εκτύπωση. Όλοι οι κατασκευαστές τρισδιάστατων εκτυπωτών βρίσκονται σε μια συνεχή προσπάθεια να προσφέρουν εκτυπωτές "Ταχύτερους, φθηνότερους και καλύτερους" δηλαδή "Ταχύτερους και φθηνότερους" εκτυπωτές που παράγουν προϊόντα "Φθηνότερης και καλύτερης ποιότητας" (D'Aveni, R., 2015).

Οι παγκόσμιες δαπάνες για τους εκτυπωτές προβλέπεται να ανέλθουν στα 27 δισ. μέχρι το 2019,

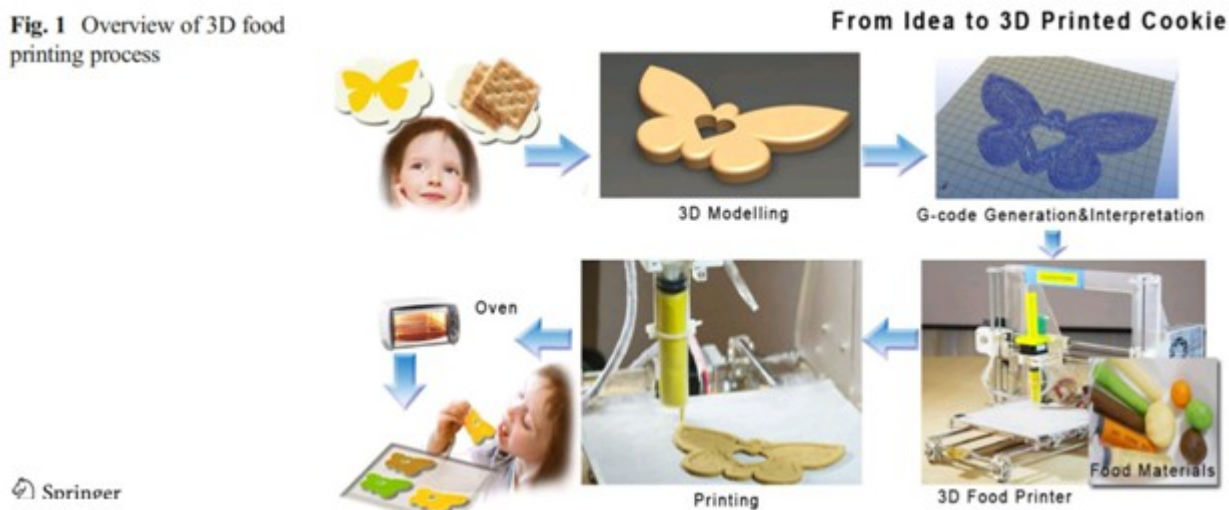
σύμφωνα με την IDC, μια κορυφαία εταιρεία έρευνας αγοράς. Οι ΗΠΑ και η Ευρώπη κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο ζήτησης αυτών των τεχνολογιών. Η τεχνολογική ζήτηση στην Ασία (εκτός από την Ιαπωνία) υστερεί σε σχέση με τις δυτικές τεχνολογικές οικονομίες (D’Aveni, R., 2015).

3.1 Διαφορά μεταξύ της εκτύπωσης τροφίμων και της βασισμένης στη ρομποτική Βιομηχανία τροφίμων

Η επεξεργασία τροφίμων απαιτεί συχνά ταχείες και επαναλαμβανόμενες κινήσεις. Έτσι, η εφαρμογή της αυτοματοποίησης σε μια διαδικασία παραγωγής τροφίμων μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητά της και την προκύπτουσα ποιότητα τροφίμων (Food Bioprocess Technol). Τόσο η εκτύπωση τροφίμων όσο και η κατασκευή με βάση τη ρομποτική μπορεί να αυτοματοποιήσει μια διαδικασία παρασκευής τροφίμων και να μειώσει το φόρτο εργασίας του ανθρώπου, αλλά δημιουργούν εντελώς διαφορετική εμπειρία χρήστη. Η πρώτη μέθοδος θέτει τη δημιουργικότητα και τον έλεγχο των χρηστών στο κέντρο της διαδικασίας, επιτρέποντας στους χρήστες να χειρίζονται άμεσα τις φόρμες και τα υλικά ενώ η δεύτερη έχει ως στόχο τη μείωση της ανθρώπινης συμμετοχής και του φόρτου εργασίας με την αυτοματοποίηση διαφόρων χειρωνακτικών διαδικασιών (Jie Sun et al, 2015).

Οι τεχνολογίες βασισμένες στην ρομποτική έχουν σχεδιαστεί για να αντικαταστήσουν τις έντονες λειτουργικές εργασίες, να αυτοματοποιήσουν μεμονωμένα βήματα ή να αντικαταστήσουν τις χειρωνακτικές λειτουργίες σε οικιακές μονάδες, σε υπηρεσίες τροφοδοσίας φαγητού και σε βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων. Για παράδειγμα, για το ψήσιμο cookies, τα ρομπότ μπορούν να εντοπίσουν τα συστατικά, να τα αναμείξουν με τη σωστή σειρά και να τοποθετήσουν την προκύπτουσα ζύμη σε δίσκο ψησίματος (Bollini et al., 2011). Οι βιβλιοθήκες κινήσεων που ενσωματώνονται σε αυτά τα ρομπότ μπορούν να εκτελέσουν εργασίες μαγειρέματος, μέσω βασικών ενεργειών όπως η ανάληψη ενός αντικειμένου, η τοποθέτηση ή η εκχύλιση (Beetz et al., 2011). Αυτές οι τεχνολογίες άλλαξαν τον τρόπο παραγωγής τροφίμων, βελτίωσαν την αποτελεσματικότητα της παρασκευής τροφίμων, αλλά είχαν πολύ μικρή σχέση με τον έλεγχο της διατροφής και την εξατομικευμένη κατασκευή.

Fig. 1 Overview of 3D food printing process



Εικόνα 1: Σύγκριση Συνταγών για Μπισκότα (Jie Sun et al, 2015)

Η Εικόνα 1 (Jie Sun et al, 2015) παρέχει μια σύγκριση συνταγών για μπισκότα, σοκολατάκια και κύβους ζάχαρης μεταξύ της εκτύπωσης τροφίμων και της παρασκευής τροφίμων με βάση τη ρομποτική. Τα βασικά συστατικά των μπισκότων είναι αρκετά παρόμοια, όπως το αλεύρι, η ζάχαρη, το αυγό και το βούτυρο. Είναι η ίδια περίπτωση για τις συνταγές κύβου ζάχαρης. Για την κατασκευή σοκολάτας με βάση τη ρομποτική, χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες όπως το κακάο, το βούτυρο του κακάου, το πλήρες γάλα της κρέμας γάλακτος και η ζάχαρη. Ωστόσο, οι εμπορικές σοκολάτες χρησιμοποιούνται στην εκτύπωση (Jie Sun et al, 2015) .

Έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την προ-επεξεργασία υλικών κατάλληλων για εκτύπωση και τη βελτίωση της θερμικής τους σταθερότητας για μετα-επεξεργασία. Ως εκ τούτου, οι συνταγές που χρησιμοποιούνται στην εκτύπωση θα πρέπει να είναι ελαφρώς διαφορετικές από τις παραδοσιακές συνταγές (Lipton et al., 2010). Τα συστατικά, ακόμα και με γνωστές ιδιότητες υλικού, πρέπει να προσαρμοστούν για κάθε εφαρμογή εκτύπωσης. Στη μηχανή ChocALM, τα σκευάσματα σοκολάτας τροποποιήθηκαν για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις ρεολογικής* σύντηξης και μετάθεσης/εναπόθεσης κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης (Hao et al., 2010). Αυτές οι τροποποιημένες συνταγές μπορεί να έχουν εμπορική αξία στο εγγύς μέλλον. Επομένως, δεν γνωστοποιούνται πολλές λεπτομέρειες στις δημοσιεύσεις.

4. Το σχέδιο του 3D εκτυπωτή που προορίζεται για γαστρονομική χρήση

Αυτή τη περίοδο, η χρήση της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης, για γαστρονομικούς σκοπούς, βρίσκεται σε άνοδο. Έχει εκτυπωθεί μια μεγάλη ποικιλία συστατικών, από ζύμη πίτσας, κρέας, ζυμαρικά μέχρι και προϊόντα ζαχαροπλαστικής όπως ζάχαρη, σοκολάτα, διακοσμητικά υλικά τούρτας (toppings) καθώς και πολλά άλλα. Οι εταιρείες προσπαθούν να συναγωνιστούν η μία την άλλη ως προς τι είναι ικανός ο εκάστοτε εκτυπωτής (ποιανού έχει ενσωματωμένο φούρνο, ποιανού διαθέτει κεφαλή εκτύπωσης με επαρκή ψύξη) και κατά το πόσο ικανός είναι στην εκτύπωση προϊόντων της καλύτερης δυνατής ποιότητας. Πολλές τεχνολογίες που αφορούν την τρισδιάστατη εκτύπωση υπόκεινται σε διαδικασίες προστασίας ευρεσιτεχνίας, και μάλιστα πολλές διεργασίες κρατούνται και διαφημίζονται ως μυστικές “τεχνογνωσίες” από την κάθε εταιρία (Sun , 2015a).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση βλέπει τις δυνατότητες αυτής της εκτύπωσης σαν ένα νέο τρόπο πιθανής παροχής τροφίμων στους ηλικιωμένους και σε άτομα με προβλήματα στην κατάποση, καθώς στα άτομα αυτά συνήθως συνταγογραφούνται ειδικές δίαιτες οι οποίες όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι άγευστες και ελλιπείς ως προς τη διατροφική τους αξία. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση αυτού του προβλήματος, με την προετοιμασία ειδικώς διαμορφωμένων γευμάτων τα οποία θα εκτυπώνονται σύμφωνα με τις ατομικές διατροφικές απαιτήσεις/ανάγκες του κάθε ατόμου (Jia 2016, Sun 2015a).

Επιπροσθέτως, η χρησιμότητα της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει αναγνωριστεί και από τη NASA, η οποία έχει επενδύσει σημαντικά χρηματικά ποσά στην ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή, με την προοπτική μεταφοράς του σε κάποιον διαστημικό σταθμό, όπου θα εκτυπώνει φαγητό για τους αστροναύτες χρησιμοποιώντας προπαρασκευασμένες γεμίσεις. Με αυτό τον τρόπο, η NASA αποσκοπεί στην μείωση δαπανών, που επιφέρονται από τη συνεχή μεταφορά υλικών και συστατικών τροφίμων στο διάστημα (Lin 2015, Lipton 2015).

Ακόμη, παρατηρείται εμφάνιση καφετεριών, που χρησιμοποιούν την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης, σε όλο τον κόσμο. Οι πιο κοινές εφαρμογές, της τεχνολογίας αυτής, που συναντώνται σε τέτοια καταστήματα είναι η καύση επιθυμητών συστατικών από τον αφρό του καφέ, με τη χρήση ειδικού λείζερ καύσης, καθώς και η μεταφορά ειδικού εκχυλίσματος καφέ στον αφρό (Pallottino 2016).

Άλλος ένας τομέας της γαστρονομίας που εκμεταλλεύεται την ανάπτυξη των τρισδιάστατων εκτυπωτών είναι η εκτύπωση ζυμαρικών. Κύριος στόχος των εταιρειών που εκτυπώνουν ζυμαρικά είναι η δυνατότητα του προσφέρουν στον καταναλωτή το ζυμαρικό/pasta όπως ο ίδιος το επιθυμεί. Ο πελάτης θα μπορεί να έρχεται με ένα φλασάκι USB που θα περιέχει ένα προπαρασκευασμένο

τρισδιάστατο μοντέλο και ο αρμόδιος της επιχείρησης θα επεξεργάζεται το μοντέλο και θα εκτυπώνει το ζυμαρικό σύμφωνα με τις ανάγκες/επιθυμίες του καταναλωτή (TNO 2015).

Ωστόσο, η μεγαλύτερη ανάπτυξη στην τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων συναντάται στην ζαχαροπλαστική. Για ένα τέτοιο είδος εκτύπωσης χρησιμοποιείται μια ευρεία γκάμα/ποικιλία υλικών (π.χ. σοκολάτα, κρέμες, ζαχαρώδη υλικά κ.α), και μπορεί να προκύψει πληθώρα σχημάτων, σχήματα τα οποία δεν μπορούν να δημιουργηθούν με τις συμβατικές μεθόδους μαγειρικής (Godoi 2016).

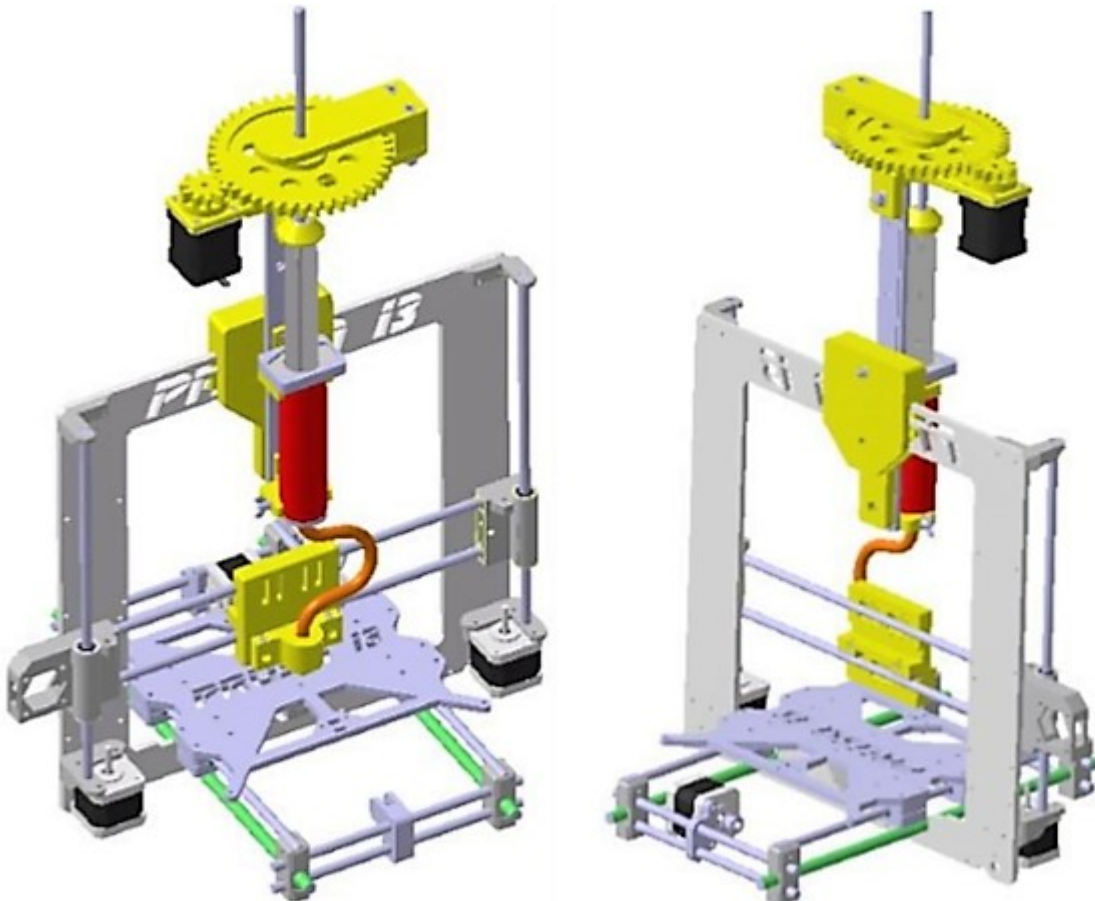
Με την χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή μπορεί να δημιουργηθεί οποιοδήποτε σχήμα κύβου ζάχαρης. Υπάρχουν δύο τρόποι εκτύπωσης ζάχαρης και αυτοί βασίζονται στη θέρμανση, με τη διαφορά όμως ότι καθένας απ' αυτούς χρησιμοποιεί διαφορετικό εύρος θερμοκρασιών. Η χρησιμοποιούμενη θερμοκρασία εξαρτάται από το είδος/τύπο της ζάχαρης καθώς και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (Izdebska 2016).

Η σοκολάτα είναι ένα από τα λίγα υλικά που μπορεί, αποδεδειγμένα, να χρησιμοποιηθεί στην τεχνολογία Συντηγμένης Εναπόθεσης Μοντέλου (Fused Deposition Modelling aka FDM). Η σοκολάτα, λόγω της εύκολης μετάβασής της σε υγρή φάση μέσω θερμότητας, εμφανίζει παρόμοια χαρακτηριστικά με πλαστικά υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται συνηθέστερα στην τρισδιάστατη εκτύπωση μέσω της τεχνολογίας FDM (Jia, 2016). Βάση για επιτυχή εκτύπωση σοκολάτας είναι το κατάλληλο μίγμα σοκολατούχας μάζας. Προτεραιότητα αποτελεί το χρώμα και η γεύση αλλά κυρίως η συνοχή της, καθώς αν το μίγμα είναι πολύ πυκνό δεν θα μπορεί να διαπεράσει το στόμιο του εκτυπωτή. Αντιθέτως, ένα πολύ αραιό σοκολατούχο μίγμα δεν θα μπορεί να διατηρήσει την μορφή/σχήμα του. Για τους λόγους αυτούς, είναι πολύ σημαντικό να παρασκευαστεί το κατάλληλο μίγμα αλλά και να χρησιμοποιηθεί σωστή θέρμανση και ψύξη ώστε να εκτυπωθούν προϊόντα με βάση τη σοκολάτα καθώς και άλλα προϊόντα που εμφανίζουν παρόμοια σύσταση με αυτή (Sun 2015a, Landoni 2014).

4.1 Παράδειγμα χρήσης της 3D εκτύπωσης στη Βιομηχανία Τροφίμων-Μορφοποίηση σοκολάτας

Για την διεκπεραίωση της συγκεκριμένης έρευνας επιλέχθηκε η σοκολάτα ως υλικό εκτύπωσης. Η σοκολάτα είναι κατάλληλη για τρισδιάστατη εκτύπωση, καθώς μπορεί να μετατραπεί πολύ εύκολα στην “πλαστική” της κατάσταση και η επακόλουθη εξώθησή της από ένα ακροφύσιο επιτρέπει την χρήση της στον χώρο εργασίας. Η αρχή της μεθόδου αυτής είναι παρόμοια με την κλασσική τεχνολογία FDM. Η προετοιμασία της σοκολάτας προϋποθέτει την κατάλληλη ανάμιξη και τήξη

αρκετών υλικών.



Εικόνα 1. Προσχέδιο ενός 3D εκτυπωτή εξοπλισμένο με μηχανισμό εξώθησης [Ruzicka 2016]

Το σχέδιο για την κατασκευή του 3D εκτυπωτή (Εικόνα 1) αποτελείται από τρία βήματα, το πρώτο εκ των οποίων είναι ο σκελετός κατασκευής, ο οποίος πρέπει να είναι αρκετά σταθερός ώστε να αντέχει το φορτίο των κινούμενων κομματιών/τμημάτων. Ακόμη, πρέπει να είναι αρκετά ευσταθής ώστε να αποφεύγονται τυχόν παρεκκλίσεις από την θέση ισορροπίας. Ένα εκ των υπολοίπων βημάτων είναι ο σχεδιασμός της κεφαλής εκχύλισης, η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του απαιτούμενου αντικειμένου και είναι προσαρτημένο στο κινούμενο τμήμα του πλαισίου. Τα στοιχεία ελέγχου αποτελούν αναπόσπαστο μέρος αυτών των εκτυπωτών, το οποίο ελέγχεται από έναν υπολογιστή. Μπορούν να εγκατασταθούν στον υπολογιστή διάφορα λογισμικά για τον έλεγχο του 3D εκτυπωτή. Για το έργο αυτό, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το σχέδιο Prusa Mendel i3 (PETR ZELENY et al. , 2017) .

4.2 Μέθοδοι Εξώθησης Υλικού

Υπάρχουν πολλοί τρόποι εξώθησης της σοκολάτας, είτε πολύπλοκοι είτε απλοί, για την επίτευξη της ομοιόμορφης εξώθησης του μέσου πάνω στον πάγκο εργασίας.

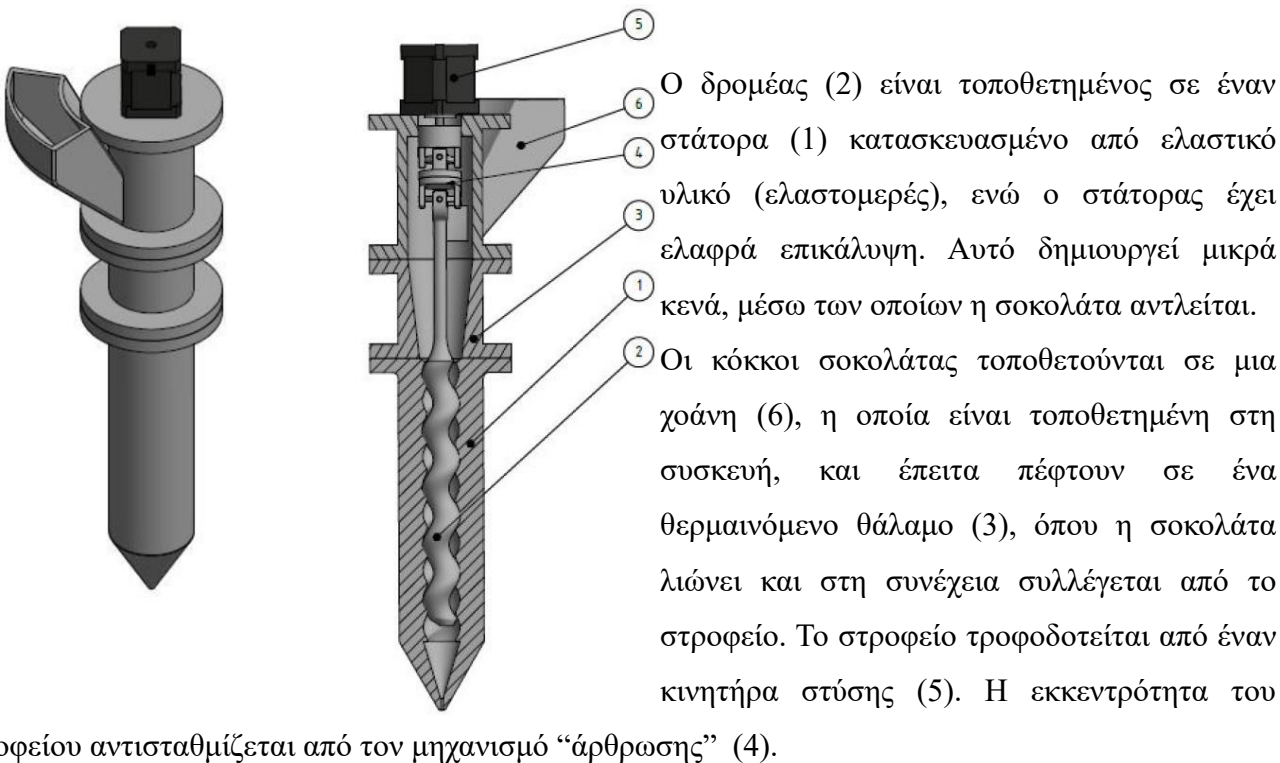
4.2.1. Εξώθηση με περιστροφική βίδα

Αυτή η μέθοδος εξώθησης είναι παρόμοια με την εξώθηση πλαστικών υλικών. Αρχικά, οι κόκκοι σοκολάτας τοποθετούνται σε χοάνη πάνω από τη περιστρεφόμενη βίδα. Ο κοχλίας περιστρέφεται και μεταφέρει τους κόκκους σε έναν θάλαμο ο οποίος θερμαίνεται από την εξωτερική πλευρά, που συνεπώς λιώνει τη σοκολάτα και της προσδίδει δομή που θυμίζει πλαστικό. Στο άκρο αυτού του θαλάμου τοποθετείται ακροφύσιο (εξωθητήρας) από το οποίο εξωθείται η σοκολάτα και καταλήγει στην επιφάνεια εργασίας (PETR ZELENY et al. , 2017) .

4.2.2. Εξώθηση μέσω αντλίας κοχλίας

Στα πλαίσια αυτής της μεθόδου, μια κεφαλή εξώθησης, που χρησιμοποιεί μια αντλία κοχλίας μαζί με έναν εκκεντρικό βρόχο, σχεδιάστηκε ως μία από τις παραλλαγές (Σχήμα 2).

Σχήμα 2. Εξωθητήρας με αντλία κοχλίας [Ruzicka 2016]



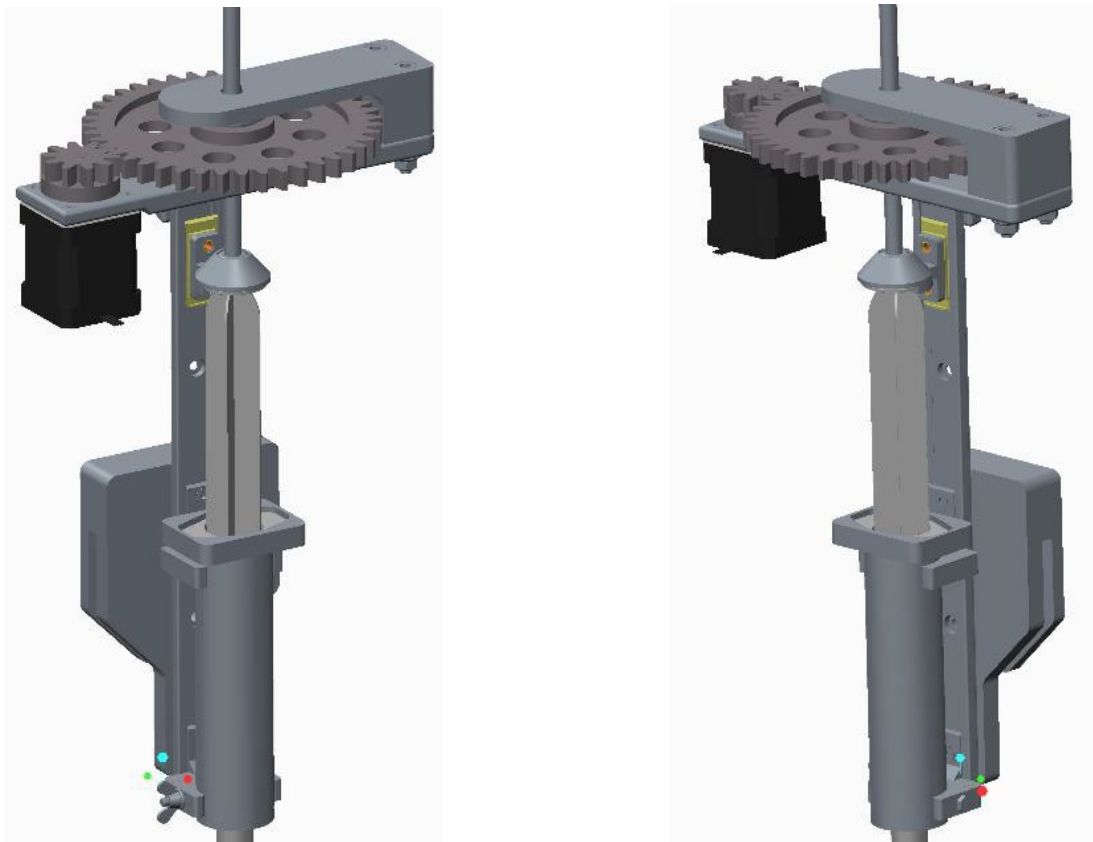
4.2.3. Εξώθηση μέσω εμβόλου

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος εξώθησης σοκολάτας σε μια τρισδιάστατη εκτύπωση είναι η εξώθηση του μέσου από ένα έμβολο. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται σύριγγα. Αυτή είναι η πιο οικονομικά προσιτή και απλή μέθοδος εξώθησης της σοκολάτας.

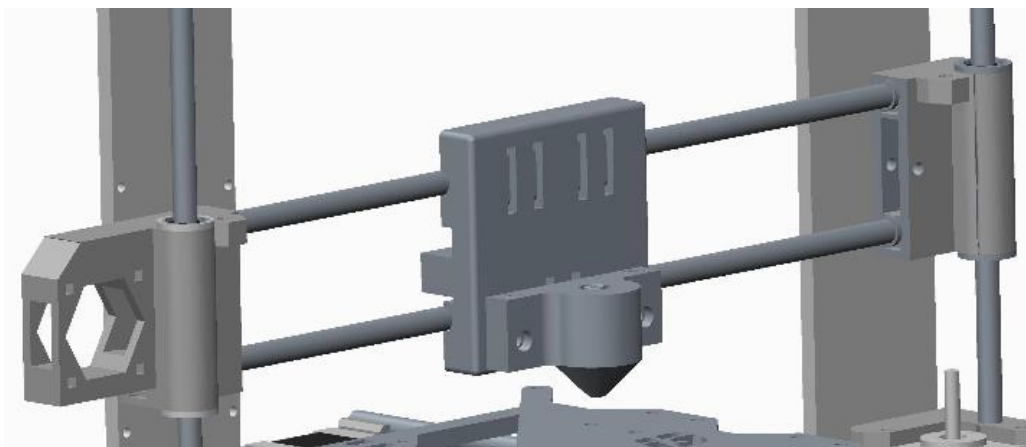
Εκτελώντας πειράματα, μπορεί να προσδιοριστεί η απαιτούμενη δύναμη εξώθησης που πρέπει να εφαρμοστεί στο έμβολο. Σύμφωνα με αυτή τη δύναμη, υπολογίζονται οι σχέσεις μετάδοσης και η απαιτούμενη ισχύς σε έναν κινητήρα, ο οποίος ενεργοποιεί τον μηχανισμό εξώθησης. Ο επιλεγμένος κινητήρας θα είναι πανομοιότυπος με τους κινητήρες, οι οποίοι ήταν ήδη συνδεδεμένοι στον μηχανισμό του εκτυπωτή και πραγματοποιούσαν κίνηση των αξόνων. Αυτό επιτρέπει απλούστερη σύνδεση με τη μονάδα ελέγχου του εκτυπωτή.

Τα περισσότερα μέρη του μηχανισμού εξώθησης (Σχήμα 3) εκτυπώθηκαν σε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή χρησιμοποιώντας υλικό ABS. Τα βασικά εξαρτήματα είναι μια ράβδος με σπείρωμα, έδρανα, ολισθαίνουσες κατευθυντήριες ράγες με φορείο και συνδετήρες.

Σχήμα 3. Μηχανισμός εξώθησης εμβόλου (Ruzicka 2016)



Λόγω του μεγάλου βάρους του (1,4 kg), ολόκληρος ο μηχανισμός είναι τοποθετημένος στο πλαίσιο της συσκευής που απεικονίζεται στο Σχήμα 1 και η έξοδος της σύριγγας συνδέεται με το ακροφύσιο μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα, ο οποίος είναι τοποθετημένος στον φορέα του εκτυπωτή και όχι στη κεφαλή εκτύπωσης (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Ακροφύσιο εκτύπωσης τοποθετημένο στο φορέα του εκτυπωτή (Ruzicka 2016)

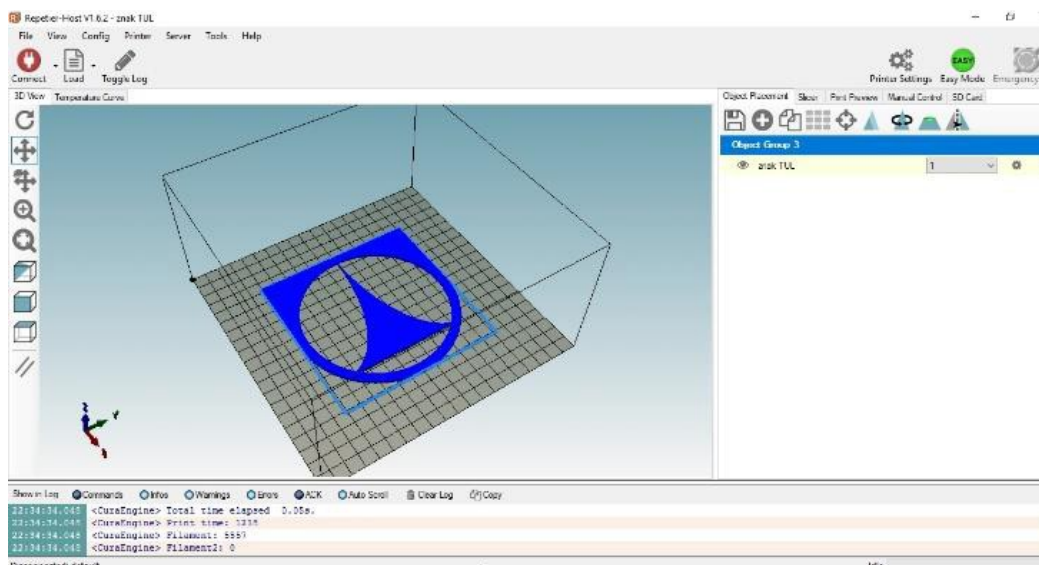
4.3 Έλεγχος Εκτυπωτή

Το πρόγραμμα Repetier-host χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του εκτυπωτή. Το Repetier-host είναι ένα δωρεάν λογισμικό ανεπτυγμένο από ανεξάρτητους προγραμματιστές, που διατίθεται στον ιστότοπο του προγραμματιστή (repetier.com). Το λογισμικό χαρακτηρίζεται από εύκολη και εύκολα κατανοητή δυνατότητα ελέγχου. Ο υπολογιστής με το λογισμικό συνδέεται στη μονάδα ελέγχου του εκτυπωτή μέσω θύρας USB. Η μονάδα ελέγχου του εκτυπωτή βασίζεται στην κεντρική πλακέτα Arduino Mega2560 Rev3 (PETR ZELENY et al. , 2017) .

Η προετοιμασία των δεδομένων για την εκτύπωση είναι παρόμοια με την προετοιμασία δεδομένων για 3D εκτύπωση μέσω της τεχνολογίας FDM. Αφού συνδεθεί ο εκτυπωτής και ο κεντρικός πίνακας με ένα πρόγραμμα οδήγησης, μπορεί να πατηθεί το κουμπί Connect. Ο υπολογιστής θα αναγνωρίσει στη συνέχεια τον εκτυπωτή και θα προσαρμόσει το χώρο εργασίας σε διαστάσεις ανάλογες

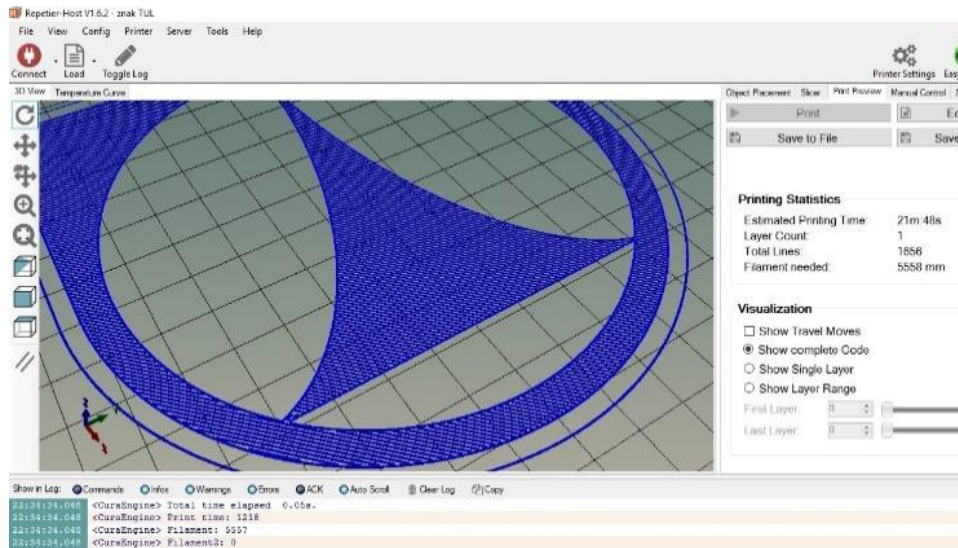
με τον συνδεδεμένο εκτυπωτή (PETR ZELENY et al. , 2017) .

Ένα άλλο βήμα είναι να προστεθεί ένα μοντέλο στον χώρο εργασίας (Σχήμα 5). Αυτό γίνεται κάνοντας κλικ σε ένα κουμπί με ένα συν στο δεξί μέρος της οθόνης. Το μοντέλο προστίθεται σε μορφή STL, ένα γενικό αρχείο 3D CAD, το οποίο είναι πολύ συνηθισμένο είδος αρχείου για εκτύπωση 3D. Αφού εισαχθεί το μοντέλο στον χώρο εργασίας, μπορεί να διευρυνθεί και να καθοριστεί η θέση του.



Σχήμα 5. Τοποθέτηση του μοντέλου στον χώρο εργασίας του εκτυπωτή (PETR ZELENY et al. , 2017) .

Αφού τοποθετηθεί το μοντέλο, επιλέγεται μια μέθοδος τεμαχισμού του, προσδιορίζεται μια διαδρομή ακροφυσίων και δημιουργείται ένας κώδικας G. Το λογισμικό Repetier προσφέρει δύο μεθόδους τεμαχισμού - Slic3er και CuraEngine. Για αυτή την εφαρμογή επιλέγεται η μέθοδος CuraEngine. Στις ρυθμίσεις , μπορεί να προσαρμοστεί η ταχύτητα τροφοδοσίας, το πάχος του πρώτου και τελευταίου στρώματος και πολλές άλλες παράμετροι. Το σχήμα 6 δείχνει τη διαδρομή του ακροφυσίου που δημιουργείται από το πρόγραμμα. Είναι σαφές ότι το περίγραμμα του απαιτούμενου αντικειμένου εκτυπώνεται πρώτα και στη συνέχεια γεμίζεται με υλικό εκτύπωσης. Το δεξιό μέρος του σχήματος δείχνει τον χρόνο εκτύπωσης, τον αριθμό των στρώσεων και τις γραμμές του κώδικα G.



Σχήμα 6. Επίδειξη της διαδρομής του ακροφυσίου (PETR ZELENY et al. , 2017) .

Ο παραγόμενος G κώδικας μπορεί να τροποποιηθεί ελεύθερα. Εάν ο χρήστης είναι ικανοποιημένος με όλες τις ιδιότητες, πατά το πλήκτρο που θα εκκινήσει την εκτύπωση. Η υπόλοιπη διαδικασία πραγματοποιείται αυτόματα. Στην περίπτωση εκτύπωσης σοκολάτας, είναι απαραίτητο να επιλεγεί ένα μοντέλο που απαιτεί μόνο μία σύριγγα γεμίσματος. Επομένως, τα μοντέλα πρέπει να είναι μικρά.

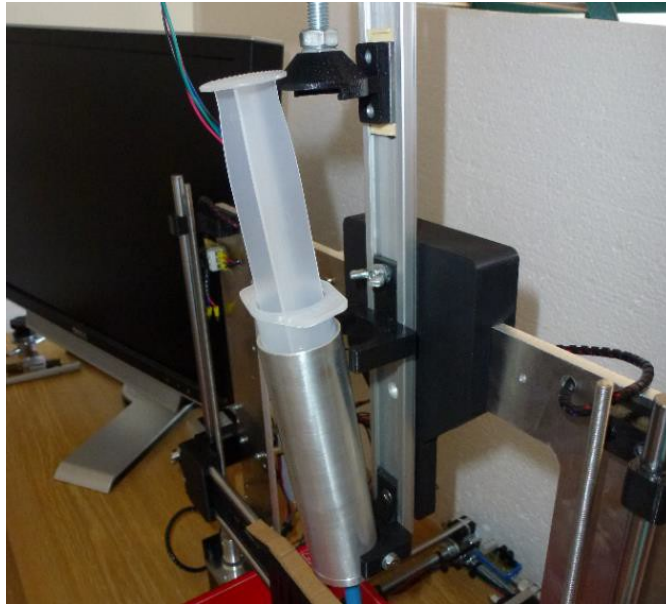
Στη συνέχεια, για την εκτύπωση περαιτέρω στρωμάτων, πρέπει να εφαρμοσθεί μια αποτελεσματική ψύξη για να εξασφαλιστεί η άμεση ψύξη της τυπωμένης σοκολάτας σε στερεή κατάσταση.

4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ

Ο σχεδιασμός του 3D εκτυπωτή βασίστηκε σε ένα έργο της RepRap, στο οποίο έρχονται σε επαφή ενδιαφερόμενοι από όλο τον κόσμο. Αποτελεί προϊόν σχεδιασμού της Prusa Research s. r. o. και πιο συγκεκριμένα στο σχέδιο Prusa Mendel i3. Επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί ένα ήδη υπάρχον σχέδιο έτσι ώστε να εξοικονομηθεί χρόνος και λόγω του ότι το προκύπτον σχέδιο θα είναι πανομοιότυπο με το ήδη υπάρχον.

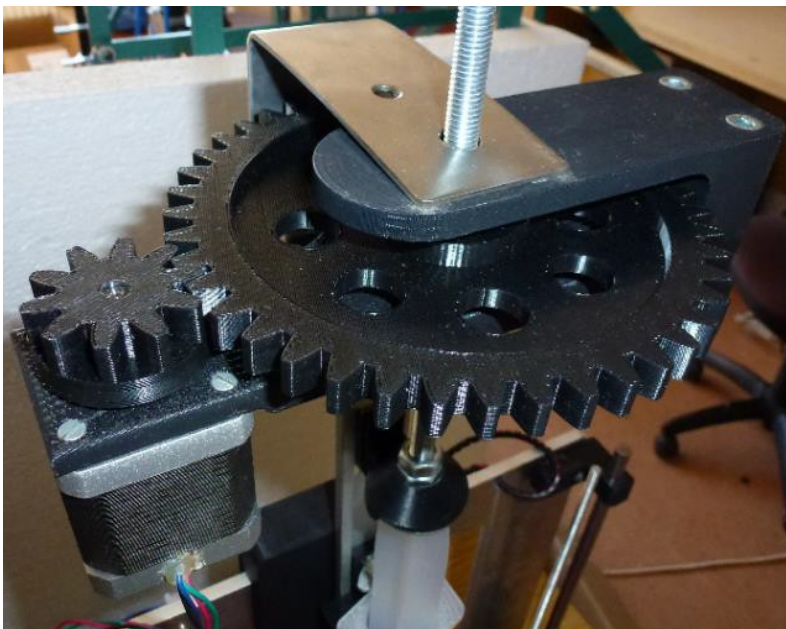
Η αρχή της συμπίεσης της σύριγγας έγκειται στην τοποθέτησή της σε ένα θάλαμο αλουμινίου, όπου στερεώνεται σε μια δεδομένη θέση. (Σχήμα 7). Το περίβλημα αλουμινίου μπορεί να περιτυλιχθεί με

φύλλο θέρμανσης για να διατηρηθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία μέσα στη σύριγγα. Η κορυφή του εμβόλου στερεώνεται με ειδική θήκη, μέσα στην οποία βιδώνεται μια βίδα με σπείρωμα.



Σχήμα 7. Τοποθέτηση της σύριγγας στο περίβλημα αλουμινίου (PETR ZELENY et al. , 2017) .

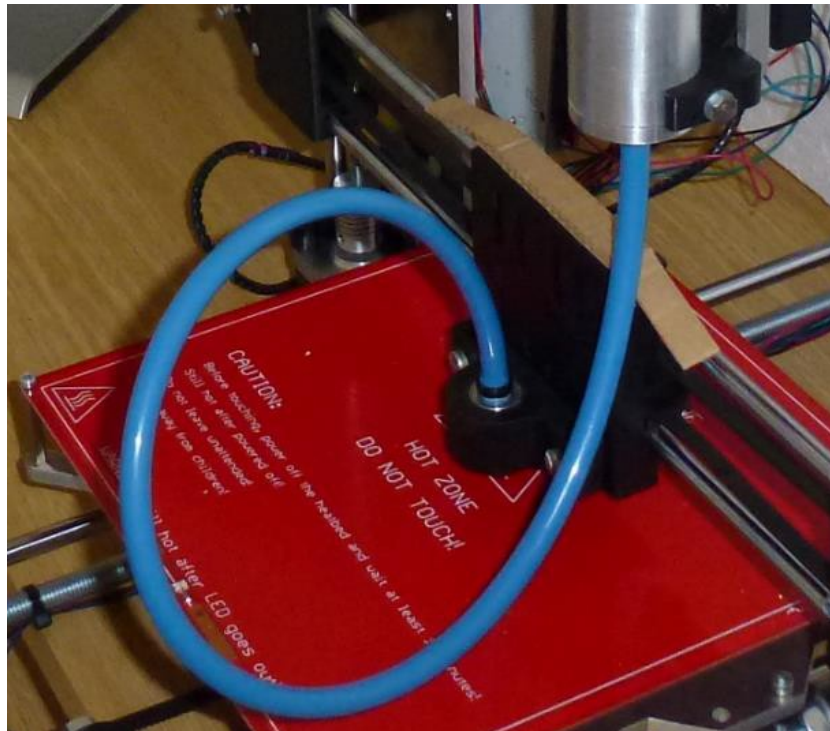
Η ράβδος κινείται σε ένα γρανάτζι, το οποίο είναι συνδεδεμένο με ένα περικόχλιο. Η περιστροφή του γραναζιού προκαλεί περιστροφή του περικοχλίου, συνεπώς η ράβδος με σπείρωμα αρχίζει να κινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω (ανάλογα με την κατεύθυνση περιστροφής). Η περιστροφή των γραναζιών πραγματοποιείται με κινητήρα ο οποίος είναι στερεωμένος στη θήκη μαζί με τα γρανάτζια. Η ροπή μεταδίδεται στην αξονική δύναμη που συμπίεζει το έμβολο της σύριγγας (Σχήμα 8).



Σχήμα 8. Μηχανισμός μετάδοσης κίνησης που ενεργοποιεί το έμβολο (PETR ZELENY et al. , 2017) .

Λόγω του βάρους (1,4 kg) του σχεδίου, αποφασίζεται να τοποθετηθεί η κεφαλή του εξωθητήρα στο πλαίσιο του τρισδιάστατου εκτυπωτή. Με το τρόπο αυτό εξαλείφεται ο κίνδυνος απώλειας ενός βήματος του κινητήρα καθώς και απώλεια μείωση της ακρίβειας τοποθέτησης. Η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής στοχεύει στην ανάπτυξη μιας ελαφριάς βάσης μηχανής σχεδίασης ή υποκατάστασης με μια πλατφόρμα που μπορεί να κινηθεί σε άξονες X και Y.

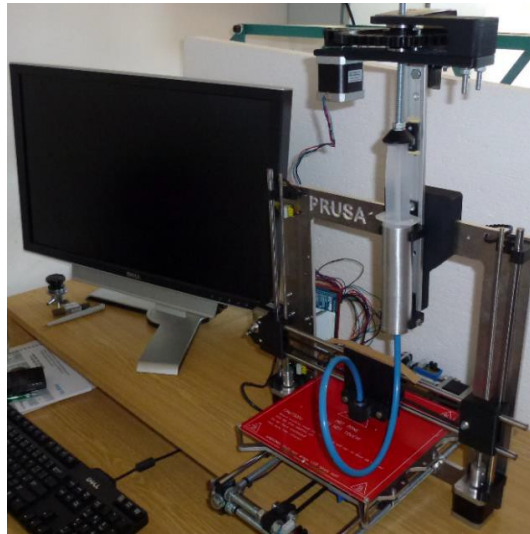
Η ίδια η εκτύπωση σοκολάτας εξασφαλίζεται από ακροφύσιο ανοξείδωτου χάλυβα που εισάγεται σε παρασκεύασμα τοποθετημένο στο φορείο. Η σύνδεση της σύριγγας με το ακροφύσιο εκτελείται από έναν εύκαμπτο σωλήνα που είναι σταθερά τοποθετημένος και στα δύο άκρα για να αποφευχθεί η αποσύνδεσή του (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Σύνδεση της σύριγγας στο ακροφύσιο με τη χρήση σωλήνα (PETR ZELENY et al. , 2017).

Επί του παρόντος, πραγματοποιούνται συνεχείς δοκιμές και βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διαδικασίας κατασκευής (Σχήμα 10). Ο εκτυπωτής που σχεδιάστηκε στο συγκεκριμένη άσκηση μπορεί να εκτυπώσει επίπεδα αντικείμενα από ένα στρώμα σοκολάτας. Ο σχεδιασμός του εκτυπωτή επιτρέπει την εκτύπωση τροφίμων χρησιμοποιώντας και άλλα υλικά πέρα από τη σοκολάτα, όπως για παράδειγμα ένα διακοσμητικό κάλυμμα πάνω σε κέικ ή υλικά με παρόμοια συνοχή. Για το λόγο αυτό, είναι κατάλληλο για ζαχαροπλάστες που θέλουν να κάνουν κάτι διαφορετικό από τους ανταγωνιστές τους και να προσφέρουν

κάτι καινούργιο, που συνήθως δεν βλέπουν οι πελάτες.



Σχήμα 10. Πρωτότυπο για την εκτύπωση 3D σοκολάτας (PETR ZELENY et al. , 2017) .

Εάν πρόκειται να εκτυπωθούν περισσότερα στρώματα, είναι απαραίτητο να παρέχεται επαρκής ψύξη για να εξασφαλιστεί ότι η σοκολάτα στερεοποιείται κατάλληλα έτσι ώστε να σχηματίσει μια σταθερή βάση για ένα άλλο στρώμα. Αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί τοποθετώντας τον εκτυπωτή σε ένα δροσερό περιβάλλον και με θέρμανση της σοκολάτας μέσα στη σύριγγα για να διασφαλιστεί ότι δεν θα στερεοποιηθεί πριν από την εφαρμογή. Μια άλλη επιλογή ψύξης της εξωθιμένης σοκολάτας είναι να εξοπλιστεί η συσκευή με έναν ανεμιστήρα που θα μπορούσε να ψύξει τον αέρα γύρω από το τυπωμένο μοντέλο έτσι ώστε η σοκολάτα να μπορεί να κρυώσει ταχύτερα. Η επίλυση αυτού του ζητήματος θα αποτελέσει το επίκεντρο της περαιτέρω ανάπτυξης αυτού του σχεδιασμού.

5. Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια και την ποιότητα των εκτυπωμένων τροφίμων

Η ποιότητα και η ακρίβεια των τυπωμένων αντικειμένων εξαρτάται από τις ιδιότητες των υλικών, τους παράγοντες επεξεργασίας καθώς και από την μετέπειτα επεξεργασία που αυτά θα υποστούν. Κάθε τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης τροφίμων έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και περιορισμούς.

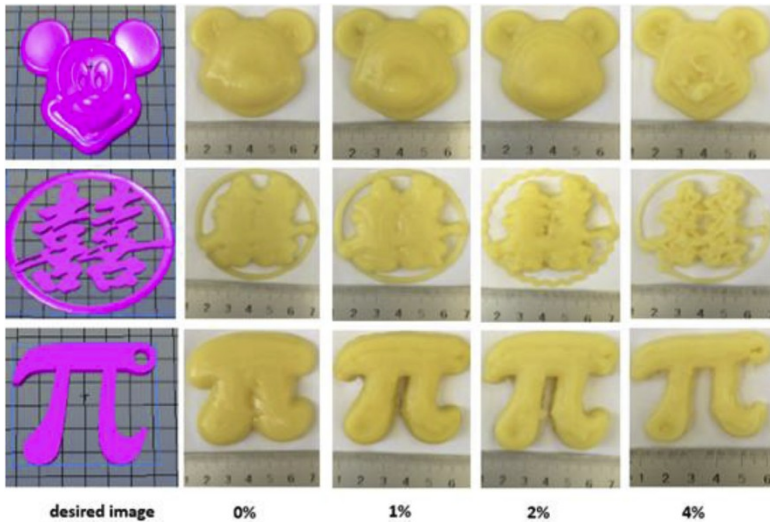
5.1 Εκτύπωση με βάση την εξώθηση και παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια της εκτύπωσης

Η εκτύπωση με βάση την εξώθηση, γνωστή και ως τήξη εναπόθεσης (FDM), εισήχθη αρχικά για την κατασκευή πλαστικών (Ahn, Montero, Odell, Roundy, & Wright, 2002). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης τροφίμων, το λιωμένο υλικό ή ο πολτός που μοιάζει με πάστα εξωθείται συνεχώς από ένα κινούμενο ακροφύσιο και συγκολλάται στις προηγούμενες στρώσεις έπειτα από εφαρμογή ψύξης. Η εκτύπωση με βάση την εξώθηση βρίσκει εφαρμογή στην εκτύπωση σοκολάτας και άλλων μαλακών υλικών, όπως ζύμη, πολτοποιημένες πατάτες, τυρί και πάστα κρέατα (Lipton και συνεργάτες, 2010; Yang και συνεργάτες, 2015). Αν και αυτή η τεχνική έχει ήδη εφαρμοστεί για την παραγωγή μιας ευρείας ποικιλίας μαλακών υλικών, η μετατροπή τους σε πιο σύνθετα και ευαίσθητα σχήματα και μορφές είναι σχετικά περισσότερο περιορισμένη καθώς αυτά είναι θεμελιωδώς επιρρεπή στη στρέβλωση και την αλλοίωση. Για την κατασκευή λεπτών και περίπλοκων σχημάτων κατά την διαδικασία εξώθησης μαλακού υλικού, είναι απαραίτητο να εκτυπώνονται τα επιπρόσθετα δομικά συστατικά τα οποία διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην γεωμετρική υποστήριξη του προϊόντος. Οι δομές υποστήριξης πρέπει να απομακρύνονται χειροκίνητα κατά το τελικό στάδιο. Αυτή η χρονοβόρος όμως διαδικασία, και θα επιβραδύνει την ταχύτητα εκτύπωσης αλλά και θα αυξήσει το κόστος υλικού (Hasseln, 2013, Hasseln & Williams, 2014, Von Williams & Gale, 2015). Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η ορθή και ολοκληρωτική κατανόηση των ιδιοτήτων των υλικών και των σχετικών τεχνολογιών, έτσι ώστε να διεκπεραιωθεί η αποτελεσματική παραγωγή τρισδιάστατων προϊόντων. Η ευκρίνεια και η ακρίβεια της εκτύπωσης είναι κρίσιμης σημασίας για την παραγωγή ενός ελκυστικού εμφανισιακά και γευστικά αντικειμένου. Η ακρίβεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης επηρεάζεται από το μηχανισμός εξώθησης που θα χρησιμοποιηθεί, από τις ιδιότητες των αξιοποιήσιμων υλικών, όπως ρεολογικές ιδιότητες, ζελατινοποίηση, τήξη και θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως (T_g), από παράγοντες επεξεργασίας όπως το ύψος του ακροφυσίου, η διάμετρος του ακροφυσίου και η ταχύτητα της εξώθησης αλλά και από τις διεργασίες που εφαρμόζονται μετά την επεξεργασία.

Έχουν εφαρμοστεί τρεις μηχανισμοί εξώθησης στην τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων: εξώθηση μέσω βίδας, εξώθηση με βάση την πίεση αέρα και εξώθηση μέσω σύριγγας. Στη διαδικασία εξώθησης με βίδα, τα υλικά τροφίμων τοποθετούνται στον τροφοδότη δειγμάτων και μεταφέρονται στην άκρη του ακροφυσίου με τη συμβολή κινούμενης βίδας. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας εξώθησης, τα υλικά μπορούν να τροφοδοτούνται συνεχώς στη χοάνη, πραγματοποιώντας έτσι τη συνεχή εκτύπωση. Εντούτοις, η εξώθηση με βίδα δεν είναι κατάλληλη για τον πολτό τροφής με υψηλό ιξώδες και υψηλή μηχανική αντοχή, διότι τα τυπωμένα δείγματα δεν επιτυγχάνουν την κατάλληλη

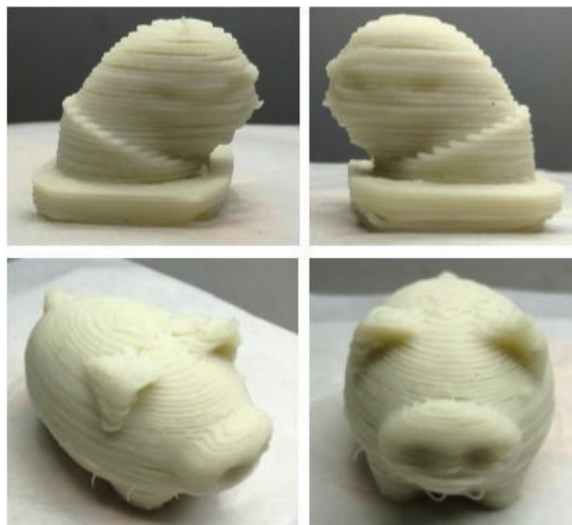
μηχανική αντοχή για να στηρίζουν τα επόμενα εναποτιθέμενα στρώματα και συνεπώς οδηγούν σε μια φαινομενικά συμπίεσμένη παραμόρφωση και κακή ανάλυση (Liu et al., 2017). Η εξώθηση με βάση την πίεση αέρα, κατά την οποία τα υλικά τροφίμων ωθούνται στο ακροφύσιο με την πίεση του αέρα, είναι κατάλληλη για την εκτύπωση υγρών ή χαμηλού ιξώδους υλικών (Sun et al., 2017). Η μονάδα εξώθησης με βάση τη σύριγγα είναι κατάλληλη για την εκτύπωση τροφίμων με υψηλό ιξώδες και υψηλή μηχανική αντοχή, συνεπώς δύναται να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πολύπλοκων δομών 3D με υψηλή ανάλυση. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η εξώθηση με βάση την πίεση αέρα και η εξώθηση βάσει σύριγγας δεν επιτρέπουν τη συνεχή τροφοδοσία υλικών τροφίμων κατά την εκτύπωση. Στην εκτύπωση με βάση την εξώθηση, οι ιδιότητες του υλικού διατροφής, όπως η περιεκτικότητα σε υγρασία, οι ρεολογικές ιδιότητες, οι ειδικοί μηχανισμοί σταυρωτής σύνδεσης και οι θερμικές ιδιότητες, είναι κρίσιμες για την επιτυχή εκτύπωση. Για παράδειγμα, κατά την εκτύπωση της βιομάζας μιας ομάδας κυανοβακτηριών (*Nostocaphaeroides*), η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρέασε σημαντικά τη συμπεριφορά εκτύπωσης και η ελαφρώς υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία ήταν χρήσιμη για τη διαμόρφωση μιας ομαλής δομής. Το ιξώδες του μαλακού υλικού θα πρέπει να είναι τόσο χαμηλό ώστε να εξωθείται εύκολα μέσω ενός λεπτού ακροφυσίου και αρκετά υψηλό ώστε να συγκρατεί τα εν συνεχεία εναποτιθέμενα στρώματα (Godoi et al., 2016). Οι Wang και Shaw (2005) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι πολλοί πορσελάνης από οδοντόβουρτσες με διατμητική συμπεριφορά είναι ευεργετικοί για την κατασκευή αντικειμένων, καθώς μπορούν εύκολα να εξωθηθούν από το ακροφύσιο με την εφαρμογή διατμητικής τάσης και γίνονται άκαμπτοι και στερεοποιούνται κατά την αναχώρηση από τον εξωθητήρα (Wang & Shaw, 2005). Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Liu και τους συνεργάτες του το 2017, ερευνήθηκε η επίδραση των ρεολογικών ιδιοτήτων της πολτοποιημένης πατάτας (MP) στην 3D εκτύπωση με την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων αμύλου πατάτας (PS) και προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα επιθυμητά υλικά για την εκτύπωση τρισδιάστατων εδωδιμων ειδών δεν έπρεπε να έχουν μόνο κατάλληλη τάση απόδοσης (t_0) και μέτρο ελαστικότητας (G_0) ώστε να είναι ικανά να διατηρούν τυπωμένα σχήματα, αλλά επίσης σχετικά χαμηλό δείκτη συσχέτισης (K) και δείκτη συμπεριφοράς της ροής (n) για εύκολη διέλαση από το ακροφύσιο σε εκτυπωτή τύπου εξώθησης. Το MP με προσθήκη 2% PS έδειξε εξαιρετική δυνατότητα εξαγωγής και εκτυπώσεως, δηλαδή παρουσίασε διατμηματική συμπεριφορά, δείκτη συσχέτισης (K) που ισούται με 118,44 (Pa sn) και αρκετά ισχυρή μηχανική αντοχή με τάση απόδοσης (t_0) ίση 312,16 Pa και κατάλληλο μέτρο ελαστικότητας (G_0). Ως εκ τούτου, τα αντικείμενα θα μπορούσαν να αντέξουν το σχήμα με την πάροδο του χρόνου και να έχουν ομαλή μορφή και ανάλυση. Μη προσθήκη του αμύλου (PS) προκλήθηκε πτώση τόσο στην τάση απόδοσης t_0 (195.90 Pa) όσο και στο ελαστικό μέτρο G_0 , έχοντας ως αποτέλεσμα, τα τυπωμένα αντικείμενα να παραμορφώνονται κατά την πάροδο του χρόνου εξαιτίας της

χαλάρωσης. Αν και ο MP με την προσθήκη 4% PS παριστάνεται καλή συγκράτηση του σχήματος λόγω των κατάλληλων t_0 (370,33 Pa) και G_0 , η κακή εξώθηση καθιστά δύσκολη την εκτύπωση λόγω του υψηλού K (214,27 Pa sn) και του ιξώδους. Τα τυπωμένα δείγματα απεικονίζονται στην Εικόνα 1 (Liu et al, 2017).



Εικόνα 1: Επιθυμητές εικόνες και εκτυπωμένα προϊόντα από πολτό πατάτας με ανάλογη προσθήκη αμύλου πατάτας (Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. (2017))

Διερευνήθηκε, επίσης, η συμπεριφορά εκτύπωσης του MP με την προσθήκη διαφορετικών υδροκολλοειδών. Στην Εικόνα 2 απεικονίζονται εικόνες των δειγμάτων.

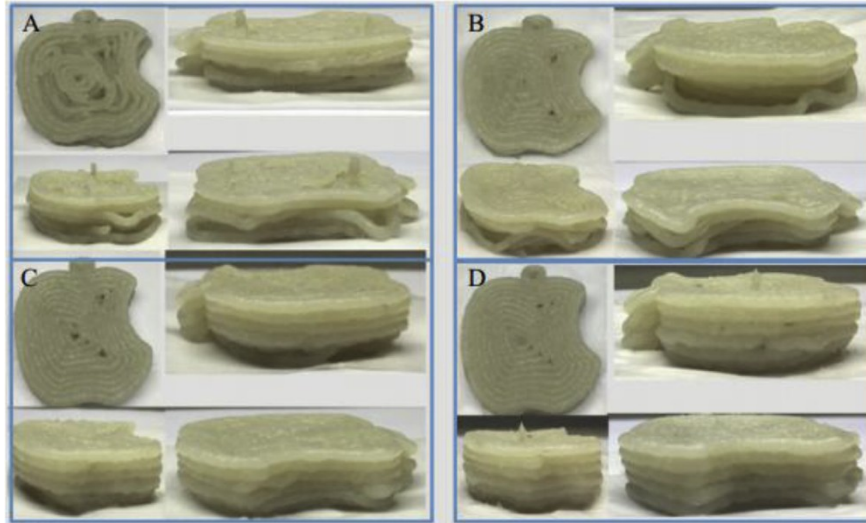


Εικόνα 2 : Εκτυπωμένα δείγματα με πρώτη ύλη την πολτοποιημένη πατάτα (Zhenbin Liu, Min Zhang, Bhesh Bhandari, Yuchuan Wang)

Επιπλέον, μελετήθηκε το τζελ ψαριού surimi ως πιθανό υλικό για την εκτύπωση 3D (Wang et al, 2017). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το surimi με υψηλό ιξώδες και η εφαπτομένη χαμηλής απώλειας (και $\frac{1}{4} G_{00} / G_0$) δεν μπορούσε να εξωθηθεί ομαλά με μεγάλες ποσότητες σπασμένων κατατεθειμένων

γραμμών. Χλωριούχο νάτριο (NaCl) μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ρυθμίσει την ιξωδοελαστικότητα του surimi και των τυπωμένων προϊόντων από surimi με προσθήκη 1,5 g / 100 g NaCl. Προέκυψε έτσι μια ομαλή δομή επιφάνειας, καλύτερα προσαρμοσμένη με τη γεωμετρία στόχου και χωρίς συμπιεσμένη παραμόρφωση.

Τα τυπωμένα δείγματα δείχνονται στην Εικόνα 3 (Wang, Zhang, Bhandari, & Yang, 2017).



Εικόνα 3 : Διαφορετικά γεωμετρικά σχήματα τρισδιάστατων δειγμάτων πηκτώματος σουρίμι με προσθήκη τριών διαφορετικών επιπέδων NaCl (A = "Τυφλό", B = 0,5 g / 100 g, C = 1,0 g / 100 g, D = 1,5 g / 100 g).

Οι παράμετροι εξώθησης είναι η διάμετρος ακροφυσίου 2.0 mm, το ύψος ακροφυσίου 5.0 mm, η ταχύτητα μετακίνησης ακροφυσίου 28 mm / s και ο ρυθμός εξώθησης 0.003 cm³ / s. (Wang,

L., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. (2017)

Στο προηγούμενο πείραμα της εκτύπωσης 3D οι Vegemite et al. (2017) έδειξαν ότι τα η και K ήταν κρίσιμα για να καθοριστεί αν ένα υλικό είναι κατάλληλο για εκτύπωση 3D καθώς και για τον καθορισμό των επιθυμητών ρυθμών εξώθησης. Οι Zhang Zhang et al.(2015) ανέφεραν επίσης ότι η γέλη (gel) με υψηλότερα t_0 και G_0 είχε καλύτερη απόδοση στην υποστήριξη των πρόσθετα εναποτιθέμενων στρωμάτων στην εκτύπωση υδροπηκτών διπλής απόκρισης. Για να επιτευχθούν ιδανικές ρεολογικές ιδιότητες, ώστε να μπορούν να συγκρατούνται οι δομές 3D, μπορούν να προστεθούν ρεολογικοί τροποποιητές, όπως υδροκολλοειδή και διαλυτές πρωτεΐνες, οι οποίοι όμως θα πρέπει να είναι σύμφωνοι με τα πρότυπα ασφάλειας των τροφίμων. Επιπλέον, η κατάσταση κρυστάλλωσης και η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g) του υλικού είναι επίσης κρίσιμες για να καταστεί το εναποτιθέμενο υλικό ικανό να στηρίξει τη δική του δομή μετά την εκτύπωση (Godoi και συνεργάτες, 2016). Στην εξώθηση της σοκολάτας σε θερμή τήξη, η κατανόηση των ιδιοτήτων της σοκολάτας είναι κρίσιμη για την ποιότητα των τυπωμένων αντικειμένων λόγω των σύνθετων συνθέσεων και των έξι διαφορετικών φάσεων κρυσταλλικού βάρους για το βούτυρο του κακάου (Marangoni & McGauley, 2003).

Οι Hao, L. et al. (2010) διερεύνησε τον χαρακτηρισμό του υλικού για την ποιότητα των τυπωμένων αντικειμένων. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, προστέθηκε ένας σπόρος στην προ-λιωμένη σοκολάτα για να δημιουργηθούν περισσότεροι κρύσταλλοι V που ήταν επιθυμητοί στην εναπόθεση "καλής" σοκολάτας. Οι πολλοί σοκολάτας με ψευδοπλαστική ιδιότητα σε διαφορετικές θερμοκρασίες ήταν ιδιαίτερα επιθυμητοί στην εναπόθεση τρισδιάστατων κατασκευών (Hao et al., 2010).

Οι παράμετροι επεξεργασίας, όπως η διάμετρος του ακροφυσίου, το ύψος του ακροφυσίου, ο ρυθμός εξώθησης και η ταχύτητα μετακίνησης του ακροφυσίου, είναι επίσης κρίσιμες για την ποιότητα των προκύπτοντων τυπωμένων κατασκευασμάτων. Σε ερευνητική μελέτη από τον Hao και τους συνεργάτες του, που πραγματοποιήθηκε το 2010, για την εναπόθεση σοκολάτας, έδειξε ότι η απόσταση μεταξύ του άκρου του ακροφυσίου και της πλατφόρμας κατασκευής διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των δομημένων αντικειμένων και με βάση τα αποτελέσματα τους αναπτύχθηκε εξίσωση (1) σχετικά με το κρίσιμο ύψος του ακροφυσίου:

(1)

$$h_c \geq \frac{1}{4} \frac{V_d}{v_n D_n}$$

Όπου το h_c είναι το κρίσιμο ύψος του ακροφυσίου,

V_d ο όγκος των πολλών εξωθείται ανά μονάδα χρόνου (cm^3 / s),

v_n η ταχύτητα κίνησης του ακροφυσίου (mm / s),

D_n η διάμετρος του ακροφυσίου (mm) και

h_c το βέλτιστο ύψος του ακροφυσίου.

Από αυτή τη μελέτη προέκυψε ότι όταν εφαρμοζόταν ένα χαμηλότερο ύψος ακροφυσίου από το βέλτιστο (h_c), ο όγκος της εξωθημένης σοκολάτας θα ήταν πολύ μεγάλος για το χώρο μεταξύ της πλατφόρμας κατασκευής και του ακροφυσίου. Έτσι, ο πολλός αναγκάστηκε να εξαπλωθεί στις κατευθύνσεις κάθετα προς την εναποτιθέμενη γραμμή πολλού και τα προκύπτοντα εξωθημένα αντικείμενα παρουσίαζαν ένα φαινόμενο συμπίεσης και κακής ακριβείας. Αντίστροφα, η εφαρμογή μεγαλύτερου ύψους ακροφυσίου, είχε ως αποτέλεσμα τα μέρη της σοκολάτας να μην φτάνουν στην επιφάνεια του μαρμάρου, στον επιθυμητό χρόνο, οδηγώντας σε μαζικά ανακριβή μέρη (Hao και συνεργάτες, 2010). Οι επιδράσεις του ύψους του ακροφυσίου στη συμπεριφορά εκτύπωσης μελετήθηκαν από τη συγκεκριμένη επιστημονική ομάδα στο πείραμα αυτό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή ενός ύψους ακροφυσίου χαμηλότερο από το βέλτιστο (h_c) οδήγησε σε παχύτερα

εξωθημένες γραμμές από τις προβλεπόμενες. Η εφαρμογή ενός ύψους ακροφυσίου υψηλότερου από το hc οδήγησε σε τμήματα εξωθημένων γραμμών surimi που δεν φθάνουν στην επιφάνεια κατασκευής, πριν το ακροφύσιο στραφεί σε γωνία, και συνεπώς οδήγησε σε μαζικά ανακριβείς τομές (Wang κ.ά., 2017). Η επίδραση διαφόρων διαμέτρων ακροφυσίων στην ενσωματωμένη κατασκευή ήταν αποτέλεσμα απλού προσδιορισμού. Ένα αποτελεσματικό μέτρο ασφαλείας που μπορεί να ληφθεί είναι η επιλογή του μικρότερου άκρου του ακροφυσίου, που επιτρέπει την εύκολη εξώθηση του υλικού. Αυτό το βήμα μπορεί να επιτρέψει την κατασκευή αντικειμένου με καλύτερη ανάλυση και ομαλότερη επιφάνεια. Έπειτα από τα αποτελέσματα αυτά, ο Wang και οι συνεργάτες του (2017) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι "η διάμετρος του ακροφυσίου επηρέασε σημαντικά την ακρίβεια της εκτύπωσης και την επιφάνεια". Ουσιαστικά, μικρή διάμετρος ακροφυσίου είναι χρηστικότερη για την εκτύπωση αντικειμένων υψηλότερης ανάλυσης, αλλά όπως είναι αναμενόμενο, μικρότερη εξώθηση υλικού συνεπάγεται με μεγαλύτερο χρόνο εκτύπωσης. Κατά συνέπεια, απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος εκτύπωσης όταν χρησιμοποιείται ακροφύσιο μικρής διαμέτρου. Πρέπει λοιπόν να υπάρχει καλή ισορροπία μεταξύ της παραγωγικότητας και της ακρίβειας της εκτύπωσης (Zhenbin Liu et al.). Ο ρυθμός εξώθησης και η ταχύτητα κίνησης του ακροφυσίου είναι επίσης σημαντικοί σε εκτυπώσεις με βάση την εξώθηση. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα αποτελέσματα και τις παρατηρήσεις, προτάθηκε ότι ο κρίσιμος ρυθμός κίνησης του ακροφυσίου μπορεί να προσδιοριστεί από την ακόλουθη εξίσωση που προκύπτει από την Εξίσωση (1) (Khalil & Sun, 2007):

$$V_n \geq \frac{1}{4} \frac{4Q}{\rho D^2 N}$$

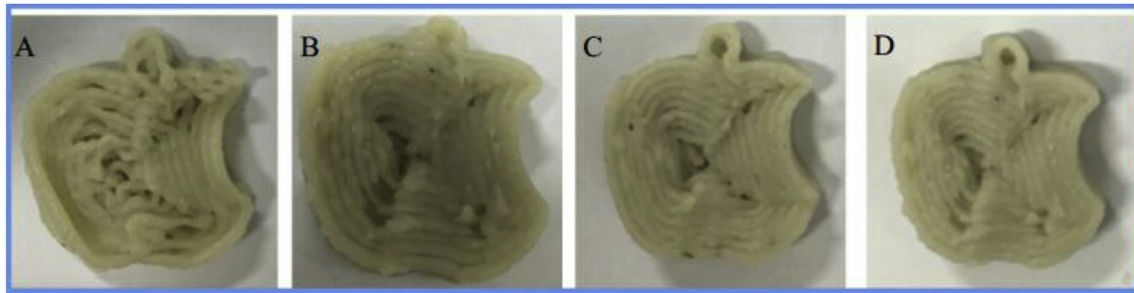
Όπου V_n είναι η βέλτιστη ταχύτητα του ακροφυσίου (mm / s),

Q η ταχύτητα ροής υλικού (cm^3 / s) και

DN η διάμετρος του ακροφυσίου.

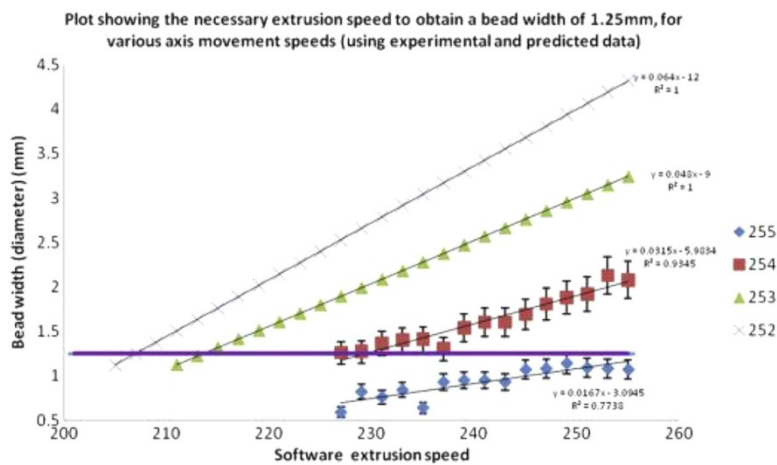
Αποδεικνύεται έτσι, ότι μία ταχύτητα ακροφυσίου μεγαλύτερη από V_n θα οδηγούσε σε σφαιρίδιο υλικού μικρότερης διαμέτρου από εκείνη του ακροφυσίου, ενώ μια ταχύτητα ακροφυσίου μικρότερη από V_n θα οδηγούσε σε σφαιρίδιο υλικού μεγαλύτερης διαμέτρου. Κανένα όμως από αυτά δεν ήταν επιθυμητό στην εκτύπωση (Khalil & Sun, 2007). Ο Wang (2017) πρότεινε ότι η αλλοίωση της

ταχύτητας του ακροφυσίου θα επηρέαζε το κρίσιμο του ύψος όταν διατηρούσαν σταθερές όλα τις άλλες παραμέτρους. Η υπερβολικά υψηλή ταχύτητα (32 mm / s) είχε ως αποτέλεσμα ένα φαινόμενο “σύρσης” που προκάλεσε επακόλουθη θραύση των εξωθημένων νημάτων πολτού. Ενώ, η πολύ χαμηλή κινούμενη ταχύτητα (20 mm / s) είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αστάθειας ροής πολτού και σχηματισμού πηγίων (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Σχήμα γεωμετρίας δειγμάτων τυποποιημένου πηκτώματος σουρίμι (περιεκτικότητα NaCl 1,5 g / 100 g) με διαφορετική ταχύτητα κίνησης ακροφυσίων (A= 20, B= 24, C= 28, D = 32 mm / s). Άλλες παράμετροι εξώθησης είναι διάμετρος ακροφυσίου 2,0 mm, ύψος ακροφυσίου 5,0 mm και ρυθμός εξώθησης 0,003 cm³ / s (Wang, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. (2017))

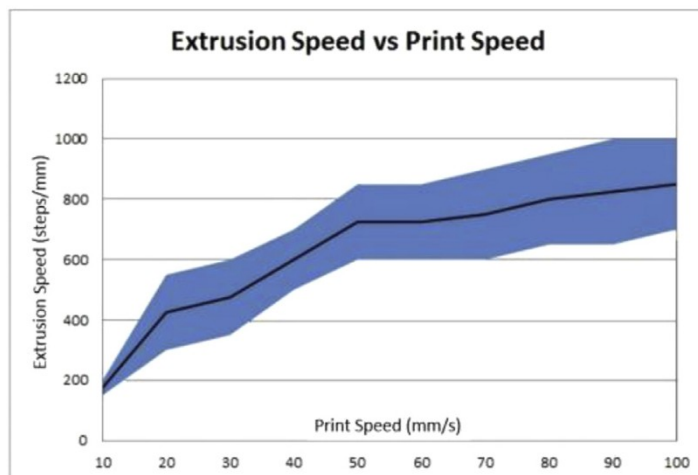
Επίσης, η επιστημονική αυτή ομάδα, πρότεινε ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του ρυθμού εξώθησης και της διαμέτρου των γραμμών surimi. Ο υπερβολικά υψηλός ρυθμός εξώθησης (0,004 cm³ / s) έδωσε μεγαλύτερη διάμετρο διέλασης γραμμών από την επιθυμητή λόγω της εξώθησης μεγαλύτερου όγκου υλικού. Η υπερβολικά χαμηλή ταχύτητα εκχύλισης (0,002 cm³ / s) οδήγησε σε ένα ασυνεπές εναίωρημα surimi (Wang et al., 2017). Κατά την τρισδιάστατη εκτύπωση της σοκολάτας, παρατηρήθηκε ότι η ακρίβεια της εκτύπωσης επηρεάστηκε σοβαρά από τον ρυθμό εξώθησης και την ταχύτητα κίνησης του ακροφυσίου. Συγκεκριμένα, η διάμετρος των σφαιριδίων, στη σοκολάτα, μειώθηκε ανάλογα με τον ρυθμό κίνησης του ακροφυσίου ενώ αυξήθηκε με τον ρυθμό της εξώθησης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5 (Hao et al. , 2010).



Εικόνα 5: Σχέση μεταξύ του λογισμικού του ποσοστού εξώθησης και της διαμέτρου του σφαιριδίου που προκύπτει

από την εκτύπωση σοκολάτας (Hao, et al., 2010).

Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν επίσης κατά τη δημιουργία λεπτομερών και σύνθετων κεραμικών μερών με εκτύπωση με βάση την εξώθηση (Rueschhoff et al., 2016). Σε προηγούμενη μελέτη (Zhuo, 2015) σχετικά με την ανάπτυξη 3D εκτυπωτή τροφίμων, μελετήθηκε μια θετική γραμμική σχέση μεταξύ της ταχύτητας κίνησης του ακροφυσίου και της ταχύτητας εξώθησης. Όπως υποδηλώνεται στην Εικόνα 6, η μπλε περιοχή αντιπροσωπεύει τις αποδεκτές εκτυπώσεις και οι τυχόν τιμές εκτός των ορίων οδήγησαν σε κακές εκτυπώσεις (Zhuo, 2015).



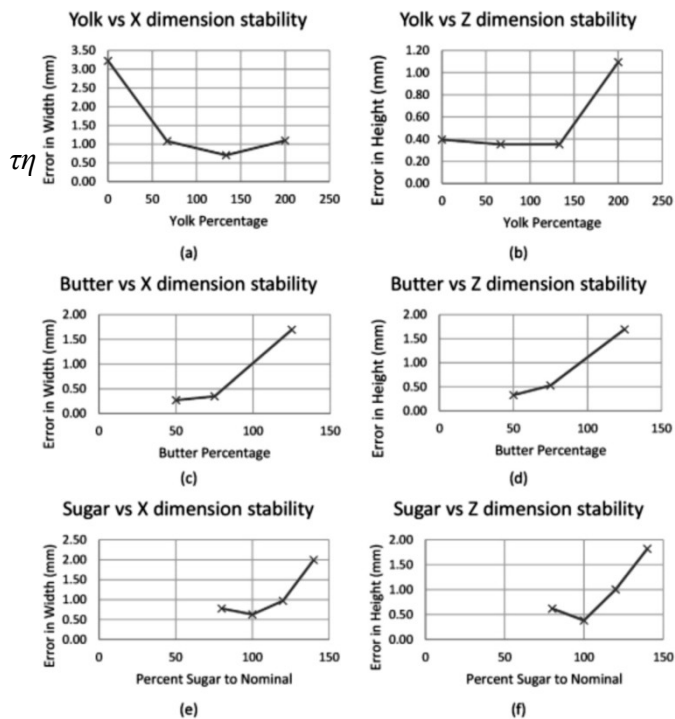
Εικόνα 6: Γράφημα της σχέσης της ταχύτητας διέλασης και της ταχύτητας εκτύπωσης κατά την εκτύπωση μπισκότων (Zhuo, 2015).

Η θερμοκρασία εκτύπωσης θα πρέπει επίσης να ρυθμιστεί με ακρίβεια, καθώς το ιξώδες του τροφιμογενούς υλικού συσχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή έτσι ώστε η εξωθημένη σοκολάτα να σκληραίνει γρήγορα στο υπόστρωμα χωρίς όμως να ρέει πάρα πολύ (Periard, et al., (2007)). Στο προηγούμενο πείραμα των Vegemite και Marmite για την τρισδιάστατη εκτύπωση (Hamilton et al., (2017)), το ιξώδες μειώθηκε όταν αυξήθηκε η θερμοκρασία. Χρησιμοποιήθηκε πίεση 172kPa για την εξώθηση και των δύο υλικών στους 25 ° C αλλά θα πρέπει να μειωθεί στα 103 kPa στους 45 ° C. Η εφαρμογή πίεσης 172 kPa για την κατασκευή αντικειμένων στους 45 ° C οδήγησε σε υπερβολικά μεγάλο ρυθμό ροής και στον σχηματισμό μιας λακούβας στο υλικού.

Με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας στους 65 ° C, πραγματοποιήθηκε πολύ γρήγορη εξώθηση του υλικού ακόμη και με την εφαρμογή μιας πολύ χαμηλής πίεσης (<34 kPa) (Hamilton κ.ά., 2017).

Ιδανικά, οι δομές των τρισδιάστατων τροφίμων θα πρέπει να αντιστέκονται στην μετέπειτα επεξεργασία (ψήσιμο, μαγείρεμα, τηγάνισμα κ.λπ.), καθώς τα περισσότερα τρόφιμα που καταναλώνονται στην καθημερινή ζωή πρέπει να υποβληθούν σε αυτές τις διαδικασίες.

Η εναπόθεση διαφόρων ειδών μαλακού υλικού, όπως η ζύμη μπισκότων, το τυρί και το γλάσο του κέικ, έχουν γίνει μέσω τεχνικής εκτύπωσης 3D που βασίζεται σε εξώθηση (Lipton et al., (2010)). Ωστόσο, αυτά τα αντικείμενα δεν ήταν κατάλληλα για τις συμβατικές τεχνικές επεξεργασίας τροφίμων και θα παραμορφώνονταν σε μεγάλο βαθμό από τις μετέπειτα επεξεργασίες που θα εφαρμοζόταν μετά την διαδικασία εκτύπωσης. Προκειμένου να υλοποιηθεί η ευρεία εφαρμογή της διαδικασίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης στα τρόφιμα, αυτή θα πρέπει να καταστεί εύκολα συμβατή με τα παραδοσιακά βήματα επεξεργασίας τροφίμων (Lipton et al., 2015). Δύο κύριοι τρόποι που εφαρμόστηκαν για τη διατήρηση της σταθερότητας του σχήματος των αντικειμένων μετά την δευτερεύουσα επεξεργασία είναι ο έλεγχος των συνταγών και η προσθήκη προσθέτων (Lipton et al. (2010)). Πρόσθετα διαφόρων συγκεντρώσεων της τρανσγλουταμινάσης αναμίχθηκαν με άπαχη πάστα βόειου για να διατηρηθεί η σταθερότητα του τυπωμένου σχήματος μετά το μαγείρεμα. Αποδείχθηκε ότι η προσθήκη 0.5% ,κατά βάρος, της τρανσγλουταμινάσης αύξησε σημαντικά τη σταθερότητα της δομής μετά το μαγείρεμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η προσθήκη της τρανσγλουταμινάσης οδήγησε στο σχηματισμό νέας πρωτεϊνικής μήτρας με την πάροδο του χρόνου. Η βιωσιμότητα των προϊόντων που παρήχθησαν έπειτα από μακρόχρονο τηγάνισμα καθώς και του κρέατος γαλοπούλας, που προέκυψε έπειτα από εφαρμογή μαγειρέματος sous-vide, διερευνήθηκε και παρατηρήθηκαν εξαιρετικά αποτελέσματα (Lipton et al. (2010)). Σε άλλη μελέτη, η σύνθεση της συνταγής των μπισκότων βρέθηκε να έχει σημαντικές επιπτώσεις στη δυνατότητα εκτύπωσης και στη σταθερότητα του σχήματος του μπισκότου. Αποδείχθηκε ότι η αύξηση της περιεκτικότητας σε βούτυρο αύξησε την δυνατότητα εκτύπωσης αλλά μείωσε τη σταθερότητα του σχήματος μετά το ψήσιμο. Αντιθέτως, η αύξηση των συγκεντρώσεων του κρόκου αύξησε τη σταθερότητα του σχήματος, όπως φαίνεται στο Εικόνα 7 (Lipton et al., (2010)). Η εφαρμογή διαφόρων εκτελέσεων της συνταγής για τη ζύμη μπισκότων με σκοπό την επίτευξη της επιθυμητής ευπρεπτότητας και της σταθερότητας του σχήματος μετά το ψήσιμο έχει επίσης διερευνηθεί (Zhuo, 2015). Οι Godoi, Prakash, & Bhandari, (2016) υποστηρίζουν ότι οι τρισδιάστατες τυπωμένες δομές, που μπορούν να αντέξουν την δευτερεύουσα επεξεργασία, μπορούν να επιτευχθούν με τον έλεγχο των φυσικο-χημικών, ρεολογικών, δομικών και μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών.



Εικόνα 7: Διακυμάνσεις της ποσότητας του βουτύρου, του κρόκου και της ζάχαρης σε σχέση με συνταγή των επονομαζόμενων μπισκότων επηρεάζουν τη σταθερότητα του σχήματος. Η συγκέντρωση του κρόκου μπορεί να βελτιώσει τη σταθερότητα στην κατεύθυνση X (στο επίπεδο της πλάκας στήριξης) σε βάρος της σταθερότητας στην κατεύθυνση Z (ύψος). Έτσι, δημιουργείται μια στενή ζώνη, μεταξύ δύο και ενός και τρίτου φυσιολογικού, όπου η συγκέντρωση του κρόκου μπορεί να μεταβληθεί και να εκτυπωθεί. Για κάθε σημείο δεδομένων έγιναν δέκα κύβοι και μετρήθηκαν σε 3 θέσεις κατά μήκος των κατευθύνσεων X και Z

(Lipton et al. 2010)

5.2. Επιλεκτική εκτύπωση που βασίζεται στην πυροσυσσωμάτωση και παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια εκτύπωσης

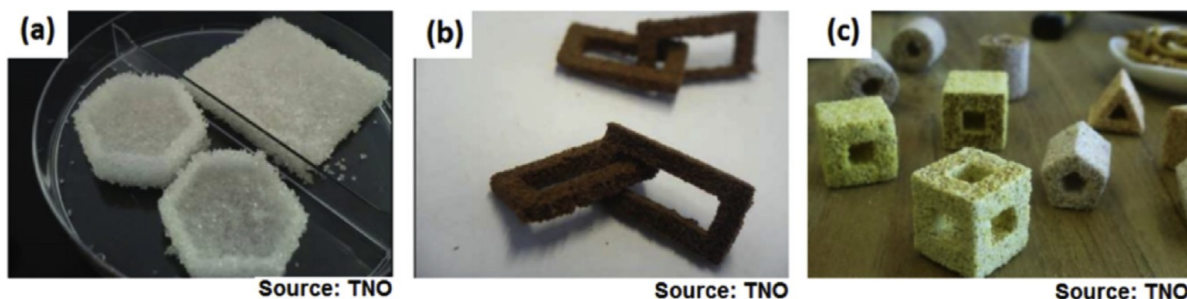
Η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS) είναι μια τεχνολογία που αξιοποιεί ένα λέιζερ ισχύος για να διασυνδέσει επιλεκτικά τα σωματίδια της σκόνης, στρώση προς στρώση, σε μία τελική τρισδιάστατη δομή. Το λέιζερ σαρώνει τις διατομές στην επιφάνεια κάθε στρώματος και συνδέει επιλεκτικά τη σκόνη. Μετά τη σάρωση κάθε διατομής, η κλίνη πούδρας πέφτει και ένα νέο στρώμα σκόνης καλύπτεται στην κορυφή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η επιθυμητή δομή. Τέλος, η μη συντηγμένη σκόνη απομακρύνεται και αποκαθίσταται ώστε να είναι διαθέσιμη για επόμενη εκτύπωση (Noort et al. (2016).). Η SLS έχει εφαρμοστεί ευρέως στη βιομηχανία μετάλλου και κεραμικής. Παρουσιάζονται, όμως, αρκετά εμπόδια στη χρήση του SLS στον τομέα των τροφίμων. Αρχικά, πρέπει να βρεθεί κατάλληλο κονιοποιημένο υλικό το οποίο μπορεί να συνενώνεται χωρίς την αποσύνθεση του ίδιου του υλικού κατά την διαδικασία κατασκευής και δεύτερον κατά την παραγωγή διαφόρων βρώσιμων αντικειμένων που αξιοποιούν ένα ευρύ φάσμα πρώτων υλών τροφίμων (Diaz et al., 2014). Γενικά, το SLS επιτρέπει την παραγωγή ελεύθερων

διαρθρωμένων τρισδιάστατων δομών με υψηλή ανάλυση, αλλά το διαθέσιμο υλικό περιορίζεται σε υλικό από σκόνη, όπως σάκχαρα, λίπος ή άμυλο κοκκίου. Είναι απαραίτητο να επεκταθεί το διαθέσιμο εύρος συστατικών τροφίμων έτσι ώστε να διευρυνθεί και η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στο πιο παραδοσιακό φαγητό. Στην SLS, οι ιδιότητες των υλικών και οι παράγοντες επεξεργασίας (είδος λέιζερ, ισχύς λέιζερ, διάμετρος κηλίδων λέιζερ κ.λπ.) είναι κρίσιμοι για την ακρίβεια εκτύπωσης και των κατασκευασμένων μερών (Shirazi et al., (2015)). Οι ιδιότητες των υλικών, όπως το μέγεθος των σωματιδίων, η ρευστότητα, η ογκώδης ποσότητα και η διαβρεξιμότητα του υλικού σε σκόνη, έχουν μεγάλη επίδραση στην ακρίβεια εκτύπωσης και την ακρίβεια των παραγόμενων αντικειμένων στο SLS (Godoi et al. 2016). Η πυκνότητα της σκόνης και η συμπίεστικότητα είναι επίσης σημαντικά στην SLS, καθώς επηρεάζουν σημαντικά την ρευστότητα της σκόνης μέσα στο δοχείο, η οποία με τη σειρά της συμβάλλει στο σχηματισμό μοτίβων, όταν εφαρμόζεται η πηγή λέιζερ στην κλίνη σκόνης (Berretta, Ghita, Evans, Anderson, & Newman, (2013) και Schmid, Amado, Levy, & Wegener, 2013). Η προτιμώμενη βρώσιμη σκόνη σε SLS θα πρέπει να είναι μια ελεύθερα ρέουσα σκόνη η οποία μπορεί να χυθεί χωρίς ουσιαστική συσσώρευση. Επιπλέον, το κονιοποιημένο υλικό δεν πρέπει να είναι κολλώδες και επομένως να μην έχει καμία τάση ή συσσωμάτωση ή προσκόλληση σε επιφάνειες επαφής (Diaz et al. 2014). Το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζει την ακρίβεια εκτύπωσης και την ανάλυση των κατασκευασμένων αντικειμένων (Duan et al. (2010) και Sun et al.(2015a)). Ένα μικρότερο πάχος στρώματος έχει ως αποτέλεσμα ισχυρότερη μηχανική αντοχή και μείωση του πορώδους των κατασκευασμένων δομών, ενώ το ελάχιστο πάχος στρώματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε SLS καθορίζεται από το μέγιστο μέγεθος σωματιδίων της σκόνης (Fred et al. 2014). Οι Diaz, Van, Noort, Henket & Brier επινοούν μια μέθοδο για την παραγωγή φαγώσιμων αντικειμένων με υψηλό βαθμό ανάλυσης και ακρίβειας χρησιμοποιώντας SLS. Σύμφωνα με αυτή την εφεύρεση, οι δομές πολλαπλών υλικών δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας μία σύνθεση σκόνης που περιλαμβάνει ένα δομικό στοιχείο και ένα συνδετικό συστατικό. Τυπικά, η θερμοκρασία τήξης (T_m) ή η θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως (T_g) του συνδετικού συστατικού κυμαίνεται μεταξύ 10 και 200°C. Το συνδετικό υλικό πρέπει να υποβληθεί σε τήξη και υαλώδη μετάβαση σε λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα, ενώ το δομικό συστατικό θα πρέπει να μη τήκεται στις θερμοκρασίες κάτω από 200 °C (Diaz et al. 2014). Επιπλέον, οι Diaz, Van, Noort, Henket & Brier κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το συνδετικό υλικό που περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο ενώσεις που διαφέρουν ως προς την T_g ή T_m τους, όπως η σκόνη φοινικέλαιου με T_m 30 °C και μαλτοδεξτρίνη με T_g 62° C, έδειξε εξαιρετική απόδοση σε πτυχές της ακρίβειας εκτύπωσης και των τυπωμένων αντικειμένων.

Οι συντελεστές επεξεργασίας, όπως οι τύποι λέιζερ, η διάμετρος λέιζερ, η ισχύς λέιζερ και η ταχύτητα σάρωσης, θα πρέπει επίσης να ρυθμιστούν με ακρίβεια για να επιτευχθεί το επιθυμητό

αποτέλεσμα. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των κονιοποιημένων υλικών και της δέσμης λέιζερ είναι κρίσιμη για την ποιότητα των κατασκευαζόμενων δομών στη διαδικασία SLS, καθώς η δύναμη της αλληλεπίδρασης εξαρτάται από τους τύπους λέιζερ και η σύντηξη υλικού επηρεάζεται από την πυκνότητα ενέργειας του λέιζερ (Gu et al. 2012). Μία υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας, η οποία μπορεί να επιτευχθεί ρυθμίζοντας την ταχύτητα σάρωσης και την ισχύ του λέιζερ, οδηγεί σε πυκνότερα μέρη με ισχυρότερη μηχανική αντοχή λόγω μακρύτερου χρόνου αλληλεπίδρασης. Μια πορώδης και εύθραυστη δομή θα επιτευχθεί όταν εφαρμόζεται μια χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας λέιζερ (Fred et al. (2014)). Το μηχάνημα CandyFab χρησιμοποιεί ζεστό αέρα για να συσσωρεύσει επιλεκτικά και να λειώσει σκόνη ζάχαρης λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας τήξης αυτής της σκόνης. Ο χρόνος αλληλεπίδρασης μεταξύ του κανίστρου που εκπέμπει θερμό αέρα και της σκόνης ζάχαρης ήταν από 1 έως 3 δευτερόλεπτα και καθορίστηκε από τη θερμοκρασία του αέρα και το πάχος του στρώματος. Μεγαλύτερη διάμετρος της εφαπτόμενης κηλίδας λέιζερ έκανε τα κατασκευάσματα λιγότερο πιθανό να σπάσουν και επιτεύχθηκε υψηλότερος ρυθμός κατασκευής αυξάνοντας τη θερμότητα και την ταχύτητα, ενώ η ακρίβεια και η ανάλυση του προκύπτοντος αντικειμένου ήταν κακή. Η αλλαγή της διάμετρος του λέιζερ από 5 mm σε περίπου 1,6 mm βελτίωσε την ανάλυση και την ακρίβεια της εκτύπωσης, αλλά με τη μείωση του ρυθμού κατασκευής και τη μείωση της μηχανικής αντοχής του τυπωμένου αντικειμένου (CandyFab, 2009). Στην κατασκευή ενός πολύχρωμου και λεπτομερούς βρώσιμου αντικειμένου, η διαδικασία SLS εκτελέστηκε από τους Diaz et al. (2014) χρησιμοποιώντας ένα λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα με κηλίδα διαμέτρου 0,6 mm και λαμβάνοντας ειδικές παραμέτρους (απόσταση στρώματος 0,1 mm, ταχύτητα τύπωσης 1250 mm / s, ισχύ λέιζερ 50% και στρώμα πάχους 0,3 mm).

Τα τυπωμένα αντικείμενα σε εκλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ μπορεί να απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία μετά την αρχική, όπως η αφαίρεση της περίσσειας σκόνης τροφίμου υλικού για να βελτιωθεί η ομαλή επιφάνεια και η περαιτέρω θέρμανση για να ενισχυθεί η μηχανική αντοχή.



Εικόνα 8: Εικόνα 8. Παραδείγματα τεχνικής 3D εκτύπωσης βασισμένης στην τεχνολογία SLS: (α) Ζάχαρη, (β) Nesquik και (γ) Κατασκευές Πυραμίδας Cubber Curry, Πυραμίδα Πικραμίδας, Κύλινδρος Κανέλλας και Pepernoot Pentagon που εκτυπώθηκε από τον TNO (Van Bommel, 2014).

5.3. Η εκτύπωση Binder jetting και οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια της εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση Binder jetting, γνωστή και ως 3DP εκτύπωση με ψεκασμό, εισήχθη αρχικά από τους Sachs, Haggerty, Cima και Williams (1994), κατά την οποία τα κονιοποιημένα υλικά εναποτέθηκαν στρώμα προς στρώμα και το συνδετικό υλικό εκτοξεύτηκε επιλεκτικά σε κάθε στρώση υλικού, σε ορισμένες περιοχές που βασίζονται σε ένα αρχείο δεδομένων καθορισμένο για το παραγόμενο προϊόν. Ο συνδετήρας ασφαρίζει τις τρέχουσες διατομές στις προηγούμενες και στις μετέπειτα διατομές. Η μη τήξη σε σκόνη υποστηρίζει τα συντηρημένα μέρη ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής, επιτρέποντας την παραγωγή περίπλοκων και σύνθετων δομών. Τέλος, η μη συνδεδεμένη σκόνη απομακρύνεται και ανακυκλώνεται για περαιτέρω χρήση (Sachs et al. 1994). Η τεχνολογία Binder jetting μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή σύνθετων και ευαίσθητων δομών 3D και έχει τη δυνατότητα να παράγει πολύχρωμα 3D βρώσιμα αντικείμενα με διαφορετική σύνθεση. Ωστόσο, το δομικό υλικό περιορίζεται μόνο σε υλικά από σκόνη και το βρώσιμο συνδετικό υλικό επηρεάζει την ευρεία εφαρμογή του στον τομέα των τροφίμων, ειδικά στον τομέα των παραδοσιακών τροφίμων που καταναλώνονται στην καθημερινή ζωή.

Στη διαδικασία Binder jetting, οι ιδιότητες του κονιοποιημένου και του συνδετικού υλικού είναι κρίσιμες για την επιτυχή κατασκευή των τμημάτων των τροφίμων. Το συνδετικό υλικό πρέπει να έχει κατάλληλο ιξώδες, επιφανειακή τάση, πυκνότητα μελάνης και κατάλληλες ιδιότητες για την αποτροπή της ξεχύλισης από τα ακροφύσια. Η συγκέντρωση του συνδετικού υλικού ήταν επίσης σημαντική για την επιτυχή κατασκευή τμημάτων με επιθυμητή ακρίβεια διαστάσεων (Peters et al. (2006).). Σε μια επιτυχημένη διαδικασία κατασκευής, οι δεσμευμένες δομές πρέπει να διαθέτουν επαρκή ισχύ προϊόντος με ελάχιστη συρρίκνωση ή επέκταση και ελάχιστη «αιμορραγία» του συνδετικού υλικού σε γειτονικά συσσωματώματα (voxels) (Hasseln et al.2015a). Επιπλέον, σημαντική είναι και η ροή της σκόνης. Η σκόνη με κατάλληλη δυνατότητα ροής επιτρέπει στον κύλινδρο να δημιουργεί εύκολα λεπτά στρώματα, γεγονός που διευκολύνει την κατασκευή με μεγάλη ακρίβεια και ανάλυση. Αντίθετα, η χαμηλή ρευστότητα μειώνει την ανάλυση και την ακρίβεια των κατασκευασμένων προϊόντων λόγω ανεπαρκούς επαναβαφής (Lanzetta & Sachs, 2003). Μία ελευθέρως ρέουσα σκόνη με κατάλληλες ιδιότητες διασποράς και συσκευασίας προτιμάται στην τεχνική εκτόξευσης συνδετικού υλικού. Αυτό σημαίνει ότι η σκόνη δεν πρέπει να είναι κολλώδης και συνεπώς να μην έχει σχεδόν καθόλου ή καθόλου έλλειψη συσσωματωμάτων ή να προσκολλάται στις επιφάνειες επαφής. Τυπικά, η γωνία ανάπαυσης της σκόνης πρέπει να είναι χαμηλή, π.χ. μικρότερο από 30 (Diaz et al. 2015).

Η διαβρεξιμότητα της σκόνης είναι ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ακριβή

εκτύπωση. Έχει προταθεί ότι πολύ χαμηλή διαβροχή υλικού σκόνης οδηγεί στην αναδιάταξη της κλίνης της κόλλας που είναι επιζήμια για την εκ των υστέρων εκτύπωση. Η υπερβολικά υψηλή διαβροχή και αργή αντίδραση μεταξύ σκόνης και συνδετικού υλικού μειώνουν την ανάλυση και την ακρίβεια των κατασκευασμένων αντικειμένων (Hogekamp & Pohl, 2004, Shirazi et al. 2015). Η περιεκτικότητα σε υγρασία της βρώσιμης σκόνης που χρησιμοποιείται στο πλέγμα συνδετικού υλικού πρέπει να είναι μικρότερη από 6% με βάση τη σύνθεση υλικού σκόνης (Von et al. 2015b). Επιπλέον, εφαρμόστηκαν μέθοδοι διαβροχής για να μειωθεί η μετανάστευση μη δεσμευμένης σκόνης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής (Hunter et al. 2008). Ακόμη, το μέγεθος των σωματιδίων και η κατανομή των σκονών επηρεάζουν την ακρίβεια και την ανάλυση της εκτύπωσης, καθώς η μεταβολή του μεγέθους των σωματιδίων επηρεάζει την κατανομή μεγέθους των πόρων στο στρώμα σκόνης και επηρεάζεται έτσι η συμπεριφορά σύνδεσης ενός συνδετικού υλικού με βάση το νερό (Hargood, et al. 2015a). Για να επιτευχθεί μια βρώσιμη σκόνη με κατάλληλες ιδιότητες διασποράς και συσκευασίας, τα χονδροειδή σωματίδια σκόνης μπορούν να αναμειχθούν με λεπτά σωματίδια σκόνης (Von Hasseln, 2013, Von Hasseln, Von Hasseln & Williams, 2014, Von κ.ά., 2015a).

Οι παράγοντες επεξεργασίας, όπως τύποι κεφαλής, ταχύτητα εκτύπωσης, διαδρομή σταγονιδίων, διάμετρος ακροφυσίων και συχνότητα συντονισμού της κεφαλής, επηρεάζουν επίσης την ακρίβεια των τυπωμένων αντικειμένων. Γενικά, η μεγαλύτερη διάμετρος του ακροφυσίου βοηθά στην αύξηση της ταχύτητας εκτύπωσης, αλλά μειώνει την ανάλυση και την ακρίβεια των κατασκευασμένων αντικειμένων (Shirazi et al. , 2015). Για να επιτευχθεί επιτυχής εκτύπωση, οι συντελεστές επεξεργασίας που αναφέρονται παραπάνω πρέπει να προσαρμοστούν κατάλληλα.

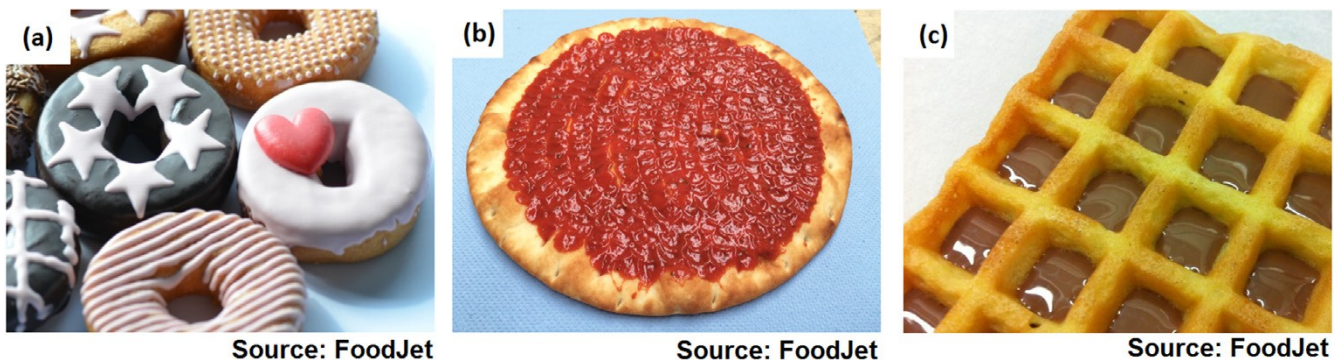
Τα κατασκευασμένα αντικείμενα σε εκτόξευση συνδετικού υλικού μπορεί να απαιτούν περαιτέρω μετέπειτα επεξεργασία, όπως ψήσιμο, θέρμανση ή απομάκρυνση της περίσσειας σκόνης τροφής για βελτίωση της μηχανικής αντοχής ή ακρίβειας (Von Hasseln et al., 2014, Von et al. 2015a).

Χρησιμοποιώντας την απορροφητικότητα των πόρων εντός των τυπωμένων τμημάτων, ένα πρόσθετο μπορεί να ψεκαστεί πάνω από την επιφάνεια των εδώδιμων κατασκευών για να προσθέσει διαφορετικές γεύσεις ή χρώματα για να βελτιώσει την εμφάνιση του φαγητού (Lai & Cheng, 2008).

5.4. Εκτύπωση inkjet και παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια της εκτύπωσης

Η εκτύπωση inkjet εκπέμπει ένα ρεύμα σταγονιδίων από μια θερμική ή πιεζοηλεκτρική κεφαλή σε ορισμένες περιοχές για την πλήρωση της επιφάνειας ή για την τοποθέτηση διακοσμητικής εικόνας

στις επιφάνειες των τροφίμων, όπως στα μπισκότα, στα κέικ και στην πίτσα (Kruth et al. 2007). Υπάρχουν δύο τύποι μεθόδων εκτύπωσης μελάνης: η συνεχής εκτύπωση με εκτόξευση και εκτύπωση "drop-on-demand". Σε έναν συνεχή εκτυπωτή inkjet, το μελάνι εκβάλλεται συνεχώς μέσω ενός πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου που δονείται με σταθερή συχνότητα. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή δυνατότητα ροής της μελάνης, αυτός φορτίζεται με την προσθήκη ορισμένων αγωγίμων παραγόντων. Σε έναν εκτυπωτή drop-on-demand, το μελάνι εκτοξεύεται από τις κεφαλές υπό πίεση που ασκείται από μια βαλβίδα. Γενικά, οι ρυθμοί εκτύπωσης των συστημάτων drop-on-demand είναι βραδύτεροι από εκείνους των συστημάτων συνεχούς ρεύματος, αλλά η ανάλυση και η ακρίβεια των παραγόμενων εικόνων είναι υψηλότερες. Μια τυπική μέγιστη ανάλυση για μια ενιαία εικόνα εκτυπωτή συνεχούς εκτύπωσης με κεφαλή εκτύπωσης είναι περίπου 70-90 κουκίδες ανά τετραγωνική ίντσα (dpi) (Willcocks et al., 2011). Γενικά, η εκτύπωση με ψεκασμό χειρίζεται υλικά χαμηλού ιξώδους που δεν διαθέτουν επαρκή μηχανική αντοχή για να διατηρήσουν την τρισδιάστατη δομή. Επομένως, συνήθως χρησιμοποιείται για την εκτύπωση δισδιάστατων εικόνων. Όσον αφορά την ανάλυση και την ακρίβεια της εκτύπωσης, η συμβατότητα μεταξύ της επιφάνειας μελάνης και του υποστρώματος, του ιξώδους και των ρεολογικών ιδιοτήτων του μελανιού, της θερμοκρασίας και του ρυθμού εκτύπωσης είναι σημαντικές για την επιτυχή εκτύπωση.



Εικόνα 9: Παραδείγματα τεχνικής 3D εκτύπωσης βασισμένης στην τεχνολογία inkjet: (α) γραφική διακόσμηση, (β) επιφανειακή αναδίπλωση και (γ) εναπόθεση κοιλοτήτων. Οι εικόνες (α), (β) και (γ) επαναλήφθηκαν από τα διαθέσιμα δεδομένα στη διεύθυνση <http://foodjet.com>.

5.4. Εκτύπωση μελάνης και παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια της εκτύπωσης

Η συμβατότητα της εκτυπωμένης εικόνας με επιφάνειες υποστρωμάτων παίζει καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό της τελικής ποιότητας και ανάλυσης της εικόνας. Η επιφανειακή χημεία των υποστρωμάτων και αυτή της μελάνης επηρεάζει τη συμπεριφορά αλληλεπίδρασης όταν τα σταγονίδια

μελάνης εκτοξευθούν πάνω στην επιφάνεια. Μερικές φορές είναι απαραίτητο να βελτιωθεί η συμβατότητα της επιφάνειας του υποστρώματος με επικάλυψη της επιφάνειας με μια συνδετική μεμβράνη ή άλλη μεμβράνη ενίσχυσης της συμβατότητας πριν εκτυπωθεί μια εικόνα (Shastry, Ben & Collins, 2006, Shastry κ.ά., 2004, Willcocks κ.ά. , 2011). Σε προηγούμενη εργαστηριακή μελέτη (Mandery, 2010), προστέθηκε στη βρώσιμη μελάνη ένα συνδετικό υλικό όπως το shellac ή η πολυ 1-βινυλ-2-πυρρολιδόνη για να αυξηθεί η συμβατότητα μεταξύ του μελανιού και του υποστρώματος (Mandery, 2010). Υλικά με βάση το νερό που περιέχουν κόμματα ή άλλες επιφανειοδραστικές ουσίες, όπως ελαϊκές πολυγλυκερόλες και πολυσορβικά, χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την κατάλληλη τροποποίηση της σοκολάτας ώστε να επιτραπεί η εκτύπωση εικόνων υψηλής ανάλυσης στην επιφάνεια. Επιπλέον, η εφαρμογή πολυστρωματικών επιφανειοδραστικών ουσιών στην επιφάνεια υποστρώματος πριν από την εκτύπωση μιας εικόνας αύξησε τη συμβατότητα δραστικά. Έτσι οι εκτυπωμένες εικόνες ήταν καλύτερες με υψηλή ακρίβεια εκτύπωσης και ανάλυση (Willcocks et al.2011). Η γωνία επαφής του σταγονιδίου μελάνης στην επιφάνεια, που σχετίζεται στενά με τη συμβατότητα και την πρόσφυση μεταξύ της μελάνης και του υποστρώματος, είναι επιθυμητά μικρότερη από περίπου 50 ° C. Μια άλλη ένδειξη της συμβατότητας, η επιφανειακή τάση των μελανιών, προτιμάται περισσότερο όταν βρίσκεται κάτω των 35 dyn / cm (Shastry et al., 2004). Οι Shastry et al.(2006) έδειξαν επίσης ότι ένα υλικό χαμηλής πολικότητας όπως το κερί καρναούβης επικαλύπτεται τυπικά στην επιφάνεια πολλών σκληρών καρυκευμάτων σακχαροκαλάμων, πράγμα που δείχνει δυσμενή επίδραση στην εκτύπωση μιας εικόνας με μεγάλη ακρίβεια και υψηλή ανάλυση λόγω της χαμηλής επιφάνειας πολικότητας. Έτσι, μια υδρόφιλη ουσία συνήθως επικαλυπτόταν στην επιφάνεια των υποστρωμάτων για να σχηματίσει μια επιφάνεια τροποποιημένη με πολικότητα για να βελτιώσει τη συμβατότητα μελάνης, με βάση το νερό, με το υπόστρωμα (Shastry et al. 2006).

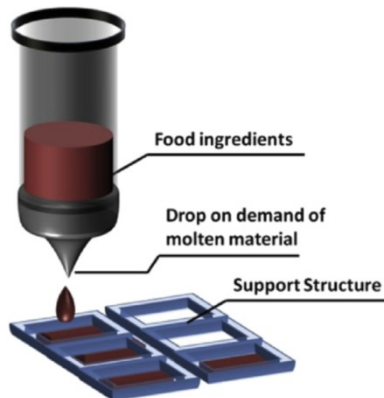
Το ιξώδες και οι ρεολογικές ιδιότητες της βρώσιμης μελάνης είναι επίσης κρίσιμες για την ακρίβεια και την ακρίβεια της εκτύπωσης (Godoi et al., 2016). Γενικά, είναι απαραίτητο οι βρώσιμες μελάνες να έχουν χαμηλό ιξώδες έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να εκτοξευθούν μέσα από τα μικροσκοπικά στόμια της εκτυπωτικής κεφαλής (Shastry et al., 2006).

Το ιξώδες και οι ρεολογικές ιδιότητες της βρώσιμης μελάνης είναι επίσης κρίσιμες για την ακρίβεια και την ανάλυση της εκτύπωσης (Godoi et al. 2016). Γενικά, είναι απαραίτητο οι βρώσιμες μελάνες να έχουν χαμηλό ιξώδες έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να εκτοξευθούν μέσα από τα μικροσκοπικά στόμια της εκτυπωτικής κεφαλής (Shastry et al. 2006). Οι επιθυμητές μελάνες, σε συνεχή πίδακα, έχουν ένα στενό εύρος αποδεκτού ιξώδους. Το ιξώδες πάνω από 10 mPas οδηγεί εύκολα στην “σπηλαίωση” της αντλίας μέσα στην εκτυπωτική κεφαλή κατά την εκτύπωση. Η μελάνη με ιξώδες κάτω από περίπου 2 mPas δεν είναι σταθερή. Έτσι, το πιο επιθυμητό ιξώδες των μελανιών

σε εκτυπωτή συνεχούς εκτόξευσης πρέπει να είναι μεταξύ περίπου 2,8 έως περίπου 6 mPas (Shastry et al.2004). Οι Willcocks et al. (2011) πρότειναν επίσης ότι τα μελάνια θα πρέπει να έχουν ιδανικό ιξώδες για να επιτρέπουν τη σωστή ροή.

Η θερμοκρασία είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας στην εκτόξευση μελάνης, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξομαλύνει τις ρεολογικές ιδιότητες και την επιφανειακή ενέργεια των μελανιών. Η χαμηλή θερμοκρασία μπορεί να εφαρμοστεί στη χαμηλότερη επιφανειακή ενέργεια και να μειωθεί η τάση διάχυσης των μελανιών στην επιφάνεια της σοκολάτας (Shastry et al., 2006, Willcocks et al., 2011). Η θερμοκρασία που απαιτείται για την επίτευξη του επιθυμητού ιξώδους επίσης αλλάζει με τα συστατικά του μελανιού (Shastry et al., 2004).

Οι σωστοί ρυθμοί εκτόξευσης και η ταχεία ξήρανση σταγονιδίων μελανιού απαιτούνται για την ακριβή εφαρμογή της μελάνης κατά την inkjet εκτύπωση. Όταν διοχετεύεται πάρα πολύ μελάνι σε ένα μεμονωμένο τμήμα, τα σταγονίδια μελανιού θα συσσωρευτούν σε μεγαλύτερα σταγονίδια εξαιτίας της έλλειψης επαρκούς χρόνου ώστε η μελάνη να στεγνώσει τελείως, με αποτέλεσμα την απώλεια ακρίβειας και την κακή ποιότητα εικόνας. Η εφαρμογή ενός ρεύματος ξηρού αερίου και η προσθήκη αλκοόλης για να εξασφαλιστεί η ταχεία ξήρανση σταγονιδίων μελανιού μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια και την ανάλυση της εκτύπωσης (Shastry κ.ά., 2006, Willcocks κ.ά., 2011).



Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση εκτύπωσης με μελάνι

Συστατικά Τροφίμων , Πτώση του λιωμένου υλικού και τέλος μία Δομή υποστήριξης

*(Fernanda C. Godoi, Sangeeta Prakash, Bhesh R. Bhandari)
(2016)*

6. Εφαρμογές στα τρόφιμα

Η τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση (περισσότερο τεχνικά γνωστή ως παραγωγή προσθέτων) περιλαμβάνει τη χρήση λογισμικού σχεδιασμού με υπολογιστή (CAD) που καθοδηγεί μια ψηφιακή μηχανή

κατασκευής για την εξώθηση υλικών σε ένα στρώμα διαμόρφωσης αντικειμένων. Η τροφή μπορεί να τυπωθεί σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Ο χρόνος της εκτύπωσης εξαρτάται από τα υλικά, τη συνταγή και την πολυπλοκότητα του σχήματος που θέλουμε. Θεωρείται σε ορισμένες περιοχές ως μια αποδιοργανωτική και επαναστατική τεχνολογία που συμβάλλει σε μια τρίτη βιομηχανική επανάσταση όσον αφορά τις αλλαγές που μπορεί να επιφέρει στην μεταποιητική βιομηχανία και στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού καθώς και στην οικονομία (Mohr & Khan, 2015). Στην περίπτωση τυπωμένων τρισδιάστατων ειδών διατροφής, σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιούνται φυσίγγια γεμάτα με βρώσιμα υλικά - πάστες, πούδρες, σκόνες, ζύμες, υγρά και πηκτές από ουσίες όπως ζάχαρη, σοκολάτα, τυρί, αλεύρι, φρούτα, λαχανικά και ζωικές πρωτεΐνες . Οι πάστες εξωθούνται μέσω ακροφυσίων για την παραγωγή εδώδιμων ουσιών και μπορούν να επιτύχουν περίπλοκα σχέδια. Μέχρι στιγμής, τέτοιου είδους αντικείμενα όπως διακοσμήσεις σοκολάτας ή ζάχαρης, γλυκά και ερήμους, τηγανίτες, βάσεις πίτσας, μπισκότα, ψωμί, ζυμαρικά και σχήματα από πουρέ έχουν κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας τεχνολογίες 3D εκτύπωσης (Mohr & Khan, 2015).

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές για την παρασκευή τροφίμων έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα. Ορισμένοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές τροφίμων χρησιμοποιούνται ήδη σε εμπορικούς χώρους και γηροκομεία, ενώ άλλοι στην αναπτυξιακή και πειραματική φάση και ορισμένοι παραμένουν στο κερδοσκοπικό στάδιο. Ωστόσο, οι ερευνητές και οι προγραμματιστές προβλέπουν ότι αυτές οι μηχανές μπορεί μία μέρα να είναι μέρος σύγχρονων οικιακών κουζινών, επιτρέποντας στους ανθρώπους να προετοιμάζουν εύκολα θρεπτικά τρόφιμα για τον εαυτό τους και τα μέλη των οικογενειών τους. Για παράδειγμα, η εταιρεία Natural Machines αναπτύσσει τον εκτυπωτή Foodini 3D για οικιακή χρήση, διαφημίζοντας την ως «συσκευή κουζίνας νέας γενιάς» (Natural Machines, 2016). Η παραγωγή τροφίμων με χρήση της τεχνολογίας 3D εκτύπωσης έλαβε ιδιαίτερη προσοχή τα τελευταία χρόνια όχι μόνο στα επιστημονικά περιοδικά της επισιτιστικής βιομηχανίας και της επιστήμης των τροφίμων, αλλά και σε ειδησεογραφικά δελτία και ιστολόγια, ειδικά εκείνα που επικεντρώνονται στην τρισδιάστατη εκτύπωση γενικά (όπως τα blogs της βιομηχανίας 3DPrint .com, 3DSystems.com και 3DIndustry.com). Δύο συνεδριάσεις 3D εκτύπωσης τροφίμων πραγματοποιήθηκαν (το 2015 και το 2016) για να συγκεντρώσουν όσους ασχολούνται με την τεχνολογία. Σε αυτά τα φόρουμ, έχει προταθεί ότι αυτή η τεχνολογία έχει πολλές χρήσεις. Αυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Νεωτερισμός / διασκέδαση / δημιουργικότητα: ωραία τραπεζαρία / δημιουργική γαστρονομία, δημιουργική εγχώρια μαγειρική: διακοσμητικά αντικείμενα (για παράδειγμα, για κέικ), τρόφιμα για ειδικές περιπτώσεις ,τρόφιμα για παιδιά

- Ευκολία και αποτελεσματικότητα: τρόφιμα για δύσκολες καταστάσεις - αστροναύτες, στρατιωτικοί, επιβάτες αεροπορικών μεταφορών. Γρήγορη και εύκολη προετοιμασία σπιτικών γευμάτων και σνακ.

- Υγεία / διατροφή: ενθάρρυνση των παιδιών να τρώνε υγιεινά τρόφιμα. Ευκολία να ετοιμαστούν υγιεινά σνακ στο σπίτι. Τρόφιμα για άτομα με δυσφαγία (δυσκολίες μάσησης και κατάποσης) ή άλλες διατροφικές δυσκολίες. Τρόφιμα σχεδιασμένα για προσωπικές διατροφικές ανάγκες των ατόμων · έλεγχο της πρόσληψης τροφής για τη διαχείριση του βάρους ή ειδικές διατροφικές ανάγκες (π.χ. αποφυγή αλλεργιογόνων ή ζωικών προϊόντων).

- Μείωση των αποβλήτων και ενίσχυση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας: αποτελεσματικότερη αποθήκευση, μεταφορά και προετοιμασία των τροφίμων. Επαναχρησιμοποίηση των απορριφθέντων τροφίμων · παραγωγή βρώσιμων συσκευασιών τροφίμων ή μαχαιροπίρουνων.

- Ανακούφιση της πείνας στον κόσμο: αποτελεσματικότερη χρήση των διαθέσιμων τροφίμων. χρήση εναλλακτικών πηγών τροφίμων.

- Ηθική παραγωγή κρέατος ή υποκατάστατου κρέατος: χρήση εργαστηριακών ζωικών πρωτεϊνών ή φυτικών πρωτεϊνών για τη δημιουργία υποκατάστατων κρέατος.

6.1 Στρατιωτική και διαστημική διατροφή

Ο Στρατός των ΗΠΑ έχει δείξει μεγάλο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης τροφίμων στις στρατιωτικές τροφές για πολλούς λόγους. Αρχικά, η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την παραγωγή κατά παραγγελία γευμάτων στο πεδίο της μάχης, γρήγορα και αποτελεσματικά. Ακόμα, τα γεύματα μπορούν να εξατομικευτούν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τις ανάγκες διατροφής και ενεργειακής κατανάλωσης του κάθε στρατιώτη. Αυτή η τεχνολογία θα

μπορούσε να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του φαγητού, αποθηκεύοντάς τα σε μορφή πρώτης ύλης και όχι σε μορφή τελικού προϊόντος (Jennifer, 2014). Η χρήση του υπερηχητικού συσσωματώματος για την τήξη σωματιδίων, σε συνδυασμό με τα επιστρεφόμενα υπερηχητικά κύματα, στην τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων, στον Αμερικανικό Στρατό, έχουν αξιοποιηθεί όσον το δυνατό καλύτερα για να παράγουν μια ευρύτερη ποικιλία γευμάτων και έτσι να προσφέρουν περισσότερες επιλογές στα τρόφιμα του στρατιώτη. Ο Αμερικανικός Στρατός σκόπευε επίσης να δημιουργήσει μια τρισδιάστατη συμπαγή μονάδα, η οποία μπορεί να μετατρέψει τα φυτικά υλικά (όπως το φλοιό δέντρων, τα μούρα) σε τρόφιμα (Davide & Xavier, 2015, Jasmine, 2014).

Η εταιρεία NASA χρηματοδότησε την Εταιρεία Έρευνας Συστημάτων και Υλικών (SMRC) με σκοπό την παραγωγή και χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή τροφίμων κατά τη διάρκεια μεγάλων διαστημικών αποστολών (Lin, 2015, Lipton et al. 2015). Η NASA ήθελε να χρησιμοποιήσει την εκτύπωση 3D τροφίμων για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της ασφάλειας των τροφίμων, της θρεπτικής σταθερότητας και της αποδοχής των γευμάτων για μεγάλες διαστημικές αποστολές, χρησιμοποιώντας τη λιγότερη ποσότητα διαστημικών πόρων. Επί του παρόντος, το σύστημα τροφίμων στη NASA δεν θα μπορούσε να καλύψει τις απαιτήσεις θρεπτικής και πενταετούς διάρκειας ζωής για μακρινές αποστολές, καθώς τα ατομικά συσκευασμένα τρόφιμα που έχουν υποστεί επεξεργασία με παραδοσιακές μεθόδους μαγειρέματος διαθέτουν ελάχιστα μικροθρεπτικά συστατικά λόγω της υποβάθμισης με την πάροδο του χρόνου. Ο εξοπλισμός ψύξης θα δαπανούσε πολλούς χρήσιμους και περιορισμένους πόρους των διαστημοπλοίων. Επιπλέον, το σημερινό σύστημα διαστημικών τροφίμων δεν μπορούσε να ικανοποιήσει τις εξατομικευμένες διατροφικές και ενεργειακές απαιτήσεις των αστροναυτών (Davide & Xavier, 2015, Lin, 2015, Lipton et al. 2015). Σύμφωνα με την πρόταση της SMRC, προκειμένου να σχεδιαστεί ένα σύστημα τροφίμων για την κάλυψη των διατροφικών και εξατομικευμένων απαιτήσεων για μεμονωμένους αστροναύτες, για μεγάλες διαστημικές αποστολές, η τρισδιάστατη εκτύπωση θα χρησιμοποιηθεί για την αποτελεσματική παροχή μακροθρεπτικών συστατικών (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπος), δομής και υφής, καθώς και για την παροχή μικροθρεπτικών συστατικών, γεύσης και οσμής. Στερεά αποστειρωμένα δοχεία θα χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση των μακροθρεπτικών αποθεμάτων και αποστειρωμένες συσκευασίες για την αποθήκευση των μικροθρεπτικών συστατικών και γευστικών ουσιών ως υγρών, υδατικών διαλυμάτων ή διασπορών. Κατά την παραγωγή τροφίμων, τα αποθέματα μακροθρεπτικών συστατικών θα τροφοδοτούνται απευθείας στον εκτυπωτή συνδυάζοντας τα με νερό ή λάδι και αναμιγνύοντας τα με γεύσεις και τροποποιητές υφής μέσω της χρήσης της κεφαλή εκτύπωσης. Στη συνέχεια τα μίγματα θα εξωθούνται στις επιθυμητές δομές και σχήματα. Αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε όχι μόνο να επιλύσει την ομοιόμορφη μακροπρόθεσμη αποθήκευση και

διατήρηση, αλλά και να ανταποκριθεί στις εξατομικευμένες διατροφικές ανάγκες και να βελτιώσει την ευχαρίστηση του φαγητού (Irvin, 2013).

6.2 Φαγητό για τους ηλικιωμένους

Πολλές χώρες αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της γήρανσης, όπως η Ιαπωνία, η Σουηδία και ο Καναδάς. Περίπου 15% -25% των ηλικιωμένων άνω των 50 ετών και έως 60% των κατοίκων νοσοκομείων υποφέρουν από δυσκολίες μάσησης και κατάποσης (Sun et al. 2015). Οι άνθρωποι που πάσχουν από αυτή την ασθένεια συχνά τροφοδοτούνται με ανεπιτήδευτο «χοιρινό τρόφιμο», το οποίο προκαλεί την απώλεια της όρεξης και μπορεί να οδηγήσει μέχρι και σε διατροφικές ανεπάρκειες. Για να αντιμετωπίσει αυτό το ζήτημα, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) χρηματοδότησε το έργο PERFORMANCE, στοχεύοντας στο σχεδιασμό μιας αυτοματοποιημένης μεθόδου παραγωγής τροφίμων και προσφέροντας εξατομικευμένα και ειδικής υφής τρόφιμα με την τεχνολογία 3D εκτύπωσης (PERFORMANCE, 2012). Οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν τρόφιμα προσομοίωσης, με βάση τα μπιζέλια, και δημιούργησαν τρόφιμα με όμοια γεύση και υφή. Όχι μόνο οι ηλικιωμένοι προτιμούσαν να τρώνε αυτά τα τρόφιμα από άποψη γεύσης, αλλά και η μαλακή, καθαρή υφή τους τα καθιστούσε ευκολότερα στην κατάποση.

Εκτός αυτού, τα εξατομικευμένα θρεπτικά γεύματα κάθε ατόμου μπορούν να παραχθούν με βάση την ηλικία, τη φυσική κατάσταση και τις απαιτήσεις σε ειδική διατροφή και ενέργεια (Davide & Xavier, 2015, Severini & Derossi, 2016). Μια έρευνα που έγινε από την PERFORMANCE, σχετικά με την τρισδιάστατη τροφή για εκτύπωση σε εστίες στέγασης ηλικιωμένων, έχει δείξει ότι το 54% των συμμετεχόντων αισθάνθηκε ότι η υφή του φαγητού ήταν καλή, το 79% σκέφτηκε ότι τα τυπωμένα τρόφιμα είναι ισοδύναμα με εκείνα που παρασκευάζονται με την παραδοσιακή μέθοδο μαγειρέματος και το 43% τα προτίμησε όταν έπασχε δυσφαγία (Lunardo, 2016). Στη Γερμανία, μερικές τέτοιες εστίες σέρβιραν ήδη από το 2015 εκτυπωμένο μαλακό φαγητό σε ηλικιωμένους που υποφέρουν από δυσκολίες μάσησης και κατάποσης (Wiggers, 2015). Τα πιο νόστιμα τρισδιάστατα τρόφιμα παρασκευασμένα από μπιζέλια, πατάτες και μπρόκολο έχουν εισέλθει με επιτυχία στην αγορά και 1.000 εγχώριοι προμηθευτές παρέχουν καθημερινά αυτό το είδος τροφής (Wiggers, 2015).

6.3 Αγορά ζαχαροπλαστικής

Τα γλυκά, τα οποία αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο μέρος της αγοράς τροφίμων, καταναλώνονται ευρέως στον κόσμο. Οι περισσότερες από τις κορυφαίες εταιρείες και ερευνητικά κέντρα των τρισδιάστατων παραγωγών τροφίμων όπως τα Hershey, ChocEdge και 3D Systems εστιάζουν σε γλυκά. Ένας από τους μεγαλύτερους παγκοσμίως κατασκευαστές βιομηχανικών τρισδιάστατων εκτυπωτών, η 3D Systems, συνεργάζεται με την Hershey (ηγέτη στην παραγωγή σοκολάτας και επιδόρπιων), και έχει

αναπτύξει έναν εκτυπωτή σοκολάτας που ονομάζεται Cocoljet, ο οποίος μπορεί να τυπώνει διάφορα σχήματα σε σοκολάτα (Millen, 2012; Zhuo, 2015). Ο πρώτος εμπορικός εκτυπωτής σοκολάτας που ονομάζεται ChocCreator, σχεδιάστηκε από τους επιστήμονες του Πανεπιστημίου του Exeter (Davide & Xavier, 2015). Ο Hans Fouche εφηύρε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή που τυπώνει τσιπ σοκολάτας και χρησιμοποίησε αυτό το σύστημα για να πειραματιστεί με διάφορα είδη σοκολάτας (Victor, 2015). Σήμερα, η περισσότερη τρισδιάστατη σοκολάτα δημιουργείται με εκτυπωτή βασισμένο σε εξώθηση, ενώ τέσσερις φοιτητές που ονομάζονται 3D Chocolateering προέρχονται από το Πανεπιστήμιο του Waterloo και έχουν κατασκευάσει επιλεκτικούς εκτυπωτές με βάση την πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ. Το ερευνητικό έργο CandyFab (έργο CandyFab, 2007) ήταν το πρώτο που δημιούργησε τρισδιάστατες δομές διαστάσεων χρησιμοποιώντας ζάχαρη (2007) και εισήγαγε έναν επιλεκτικό εκτυπωτή με βάση την πυροσυσσωμάτωση, τον CandyFab. Δημιούργησαν μια τεχνολογία SHASAM (επιλεκτική θερμοσυσσωμάτωση και τήξη με ζεστό αέρα), στην οποία χρησιμοποιήθηκε μια εστιασμένη πηγή θερμότητας για τη σύντηξη των σωματιδίων για να δημιουργηθούν σύνθετες δομές (έργο CandyFab, 2007). Το 3D Systems ChefJet Pro είναι σε θέση να εκτυπώνει τόσο νόστιμα και οπτικά ελκυστικά γλυκά και διακοσμήσεις τροφίμων χρησιμοποιώντας διάφορα συστατικά, όπως ζάχαρη, σοκολάτα και τυρί. Στο σύστημα αυτό δημιουργήθηκαν πολύπλοκες δομές όπως ζευγαρώματα ζαχαροπλαστικής, διάφορα γλυπτά ζάχαρης και ολόκληρα γαμήλια κέικ. Επιπλέον, το ChefJet Pro, εξοπλισμένο με τέσσερις κεφαλές εκτύπωσης, ήταν σε θέση να δημιουργήσει πολύχρωμη δομή, όπως πολύχρωμες διακοσμήσεις κοκτέιλ (iReviews, 2014). Επιπροσθέτως, με το έργο GumLab που δημιουργήθηκε από δύο φοιτητές με έδρα το Λονδίνο, εφευρέθηκε ένας εκτυπωτής GumJet 3D για να εκτυπώσει μια "ελκυστική" τσίγλα. Ο εκτυπωτής βασισμένος σε εξώθηση, εξοπλισμένος με καρτεσιανή πλατφόρμα, ήταν σε θέση να τυπώνει ρητίνη τσίγλας μαζί με άρωμα στρώμα προς στρώμα (Krassenstein, 2015). Ο Wacker έχει σχεδιάσει έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή τσίγλας, ο οποίος θα μπορούσε να δημιουργήσει τσίγλες με χυμούς φρούτων, καρύδας και εκχυλίσματα φυτών επιτρέποντας έτσι την παραγωγή μαστίχας με διαφορετική αίσθηση στο στόμα, ως προς την υφή, και γεύση. Επιπλέον, ο Wacker εφηύρε μια νέα μέθοδο που ονομάζεται Candy2Gum έτσι ώστε να μετατρέψει την υπάρχουσα καραμέλα σε τσίγλα. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να χειριστεί τα συστατικά που περιέχουν νερό και λιπαρά, ενώ η παραδοσιακή μέθοδος ξηρής ζύμωσης δεν μπορεί (Corey, 2016).

6.4 Παράδειγμα Τρισδιάστατης Εκτύπωσης Φρούτων και Λαχανικών

6.4.1 Υλικά και Μέθοδοι

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατανάλωση φρούτων και λαχανικών διαφορετικών χρωμάτων πρέπει να ενθαρρύνεται επειδή περιέχουν διαφορετικές θρεπτικές και λειτουργικές ενώσεις (ιταλικό Υπουργείο Υγείας, 2015) επιλέχθηκαν, για την διεκπεραίωση της επιστημονικής μελέτης των C. Severini, A. Derossi, I. Ricci, R. Caporizzi, A. Fiore, οι ακόλουθες πρώτες ύλες: καρότα (*Daucus carota* L., var. Maestro) , αχλάδια (*Pyrus communis*, var Abate), ακτινίδια (*Actinidia arguta*, var. Hayward), φύλλα μπρόκολο raab (*Brassica rapa* L. var. Esculenta) και αβοκάντο (*Persea Americana*, var). Όλα τα φρούτα και τα λαχανικά αγοράστηκαν τοπικά και αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες ψύξης στους 4 ° C έως την πραγματοποίηση του πειράματος, για μέγιστο διάστημα 2 ημερών.

6.4.2. Προετοιμασία εκτυπώσιμων τύπων τροφίμων

Τα φρούτα και τα λαχανικά (τα συστατικά) πλύθηκαν, ξεφλουδίσθηκαν και κόπηκαν με το χέρι για να αφαιρεθούν τα μη βρώσιμα μέρη και για να παρασκευαστεί ένα μείγμα που συνίσταται σε περιεκτικότητα μάζας 36,5%, 45%, 7%, 10% και 1,5% w/w % για καρότα, αχλάδια, ακτινίδιο, μπρόκολο τα φύλλα raab και το αβοκάντο, αντίστοιχα. Η εγγύς σύνθεση του μίγματος καθορίστηκε με βάση τα αποτελέσματα αρκετών πειραμάτων, στα οποία ένα μη εξειδικευμένο εργαστηριακό πάνελ αξιολόγησε τις κύριες αισθητικές ιδιότητες των διαφορετικών μιγμάτων των συστατικών (τα δεδομένα δεν δίδονται). Στη συνέχεια, η στερεή φάση του μίγματος διαχωρίστηκε από την υγρή φάση (από το χυμό δηλαδή) με χρήση επεξεργαστή χυμού (Ιταλικής μάρκας De Longhi). Αυτό ήταν απαραίτητο επειδή πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να μειώσει το ιξώδες της φόρμουλας τροφίμων καθιστώντας πολύ δύσκολο να εκτυπωθεί με εξώθηση. Επιπλέον, προτιμήθηκε η μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία έναντι των υψηλών συγκεντρώσεων των ενισχυτών όπως υδροκολλοειδή ή πρωτεΐνες. Στη συνέχεια, η στερεά φάση των μιγμάτων εισήχθη σε ένα γυάλινο φούρνο και ομογενοποιήθηκε με τη χρήση μίας συσκευής διασποράς Ultra Turrax T50 Basic (Ika, Werke) στις 6400 στροφές ανά λεπτό έως ότου προκύψει μια ομοιογενής πάστα φρούτων και λαχανικών, η οποία και λαμβάνεται για περαιτέρω χρήση και επεξεργασία. Τέλος, η προκύπτουσα πάστα πολτοποιήθηκε μέσω ενός κόσκινου 1000 mm, με σκοπό να αποφευχθεί ο σχηματισμός και να πραγματοποιηθεί απομάκρυνση των φραγμένων σωματιδίων στην έκταση και εσοχή του ακροφυσίου και προστέθηκε το fishcolagen (κολλαγόνο ιχθύος) (Paneangeli, Cameo spa, Italy) σε ποσοστό 1% για ελαφρά αύξηση του

ιξώδους της πάστας . Η συγκέντρωση αυτή καθορίστηκε με βάση προκαταρκτικά πειράματα εκτύπωσης, που πραγματοποιήθηκαν από την συγκεκριμένη επιστημονική ομάδα, κατά την διάρκεια των οποίων αξιολογήθηκε η ικανότητα της φόρμουλας τροφίμων να ρέει συνεχώς διαμέσου του ακροφυσίου. Τέλος, το μίγμα τροφίμων αποθηκεύτηκε σε συνθήκες ψύξης στους 4 ° C για 2 ώρες έως ότου εκτυπωθούν τα πειράματα.

6.4.3. Διεκπεραίωση των 3D πειράματων εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση εκτελέστηκε με τη χρήση ενός μοντέλου 3D Printer, το εμπομαζόμενο Delta 2040 (έργο Wasp, Ιταλία), εφοδιασμένο με το κιτ εξωθητήρα πηλού 2.00 (Wasproject, Italy) με ένα βηματικό κινητήρα NEMA 17 που ελέγχει την εναπόθεση υλικού. Ο τύπος τροφής εισήχθη σε ένα θάλαμο ανοξειδωτού εμβόλου και πιέστηκε προς την κεφαλή του εξωθητήρα εφαρμόζοντας πίεση 1,3 bar. Ένας πλήρης παραγοντικός σχεδιασμός 3 k, όπου k είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών, χρησιμοποιήθηκε για να μελετήσει την επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών, της ταχύτητας εκτύπωσης (mm / s) και της ροής (%), στην εκτύπωση και στην ποιότητα των τρισδιάστατων δειγμάτων τροφής. Η ταχύτητα εκτύπωσης, επίσης γνωστή ως ρυθμός τροφοδοσίας, υποδεικνύει την ταχύτητα της κίνησης του εκτυπωτή κατά την εκτύπωση, ενώ η ροή ελέγχει την ποσότητα υλικού που παραδίδεται στο ακροφύσιο. Ρυθμίζεται, στη συνέχεια, η ταχύτητα εκτύπωσης και η ροή σε τρία διαφορετικά επίπεδα: 10,97 mm / s, 15,87 mm / s και 20,77 mm / s για ταχύτητα εκτύπωσης και 69,25%, 98,35% και 127,45% για ροή. Αυτά τα επίπεδα διακύμανσης επιλέχθηκαν με βάση τα προαναφερθέντα προκαταρκτικά πειράματα. Ελήφθησαν συνολικά 9 πειραματικές συνθήκες τρισδιάστατης εκτύπωσης όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα Α.

Πίνακας Α: 9 Πειραματικές συνθήκες τρισδιάστατης εκτύπωσης (C. Severini et al., 2018)

Κωδική Αξία	Ροή (%)	Ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)
-1	69.25	10.97
0	98.35	15.87
+1	127.45	20.77
Συνθήκες τρισδιάστατης εκτύπωσης	Ταχύτητα εκτύπωσης (mm/s)	Ροή(%)
9	20.77	127.45
2	10.97	98.35
8	20.77	98.35
6	15.87	127.45

5	15.87	98.35
1	10.97	69.25
3	10.97	127.45
4	15.87	69.25
7	20.77	69.25

Κάθε πείραμα επαναλήφθηκε εις τριπλούν (σύνολο 27 πειράματα). Άλλες μεταβλητές εκτύπωσης ορίστηκαν ως εξής: πάχος ακροφυσίου= 1,2 mm. ύψος στρώματος= 1,1 mm. , ταχύτητα “προορισμού” =20 mm / s. ταχύτητα απόσυρσης =20 mm / s, προεπιλεγμένη τιμή Ελ=400, όπως ορίστηκε από τους δράστες του πειράματος.

Η επιστημονική ομάδα επέλεξε ένα εικονικό μοντέλο που αποτελείται από μια πυραμίδα 10 τριγωνικών όψεων με βάση 30*30 mm και ύψος 22 mm, η οποία σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό ανοιχτού κώδικα Tinkercad (Autodesk Inc.). Στη συνέχεια, λήφθηκε ένα αρχείο .stl για τη μεταφορά του εικονικού μοντέλου σε λογισμικό τεμαχισμού. Το κόψιμο έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό CURA ver. 14.7 (Ulti-maker), με το οποίο το εικονικό μοντέλο τεμαχίστηκε σε παράλληλα επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό διαδρομής εξώθησης. Επίσης, το CURA χρησιμοποιήθηκε για να ρυθμίσει όλες τις μεταβλητές εκτύπωσης. Στη συνέχεια, η καθορισμένη διαδρομή και συνθήκες εξώθησης αποθηκεύτηκαν σε αρχεία κώδικα G, που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κίνησης του εκτυπωτή κατά την εκτύπωση. Το λογισμικό, ανοικτού κώδικα, Firmware Marlin ver. 14.01 χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του μικροελεγκτή. Μετά την εκτύπωση, τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για μικροτομογραφικές εικόνες καταψύχθηκαν στους 21 ° C για 2 ώρες πριν από τη σάρωση. Επίσης, ο εκτιμώμενος ρυθμός απόθεσης (DR) που υποδεικνύει τον όγκο της φόρμουλας τροφίμων που έχει κατατεθεί κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης μπορεί να ληφθεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$DR \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{s}} \right) = \pi * \left(\frac{N}{2} \right)^2 * S * \text{flow}$$

Όπου, N= διάμετρος του ακροφυσίου σε (mm) και S = η ταχύτητα της εκτύπωσης σε (mm/s)

6.4.4. Συνθήκες αποθήκευσης και σύνθεση αερίων τρισδιάστατων τυπωμένων δειγμάτων

Αφού ορίστηκε η καλύτερη κατάσταση εκτύπωσης από πλευράς αναπαραγωγιμότητας του εικονικού μοντέλου, δημιουργήθηκε μια πρόσθετη σειρά δειγμάτων 3D και τοποθετήθηκε σε κύπελλα από πολυπροπυλένιο (PP) (μάρκας Carton Pack, Italy). Ορισμένα δείγματα συσκευάστηκαν στον αέρα (20% O₂, 80% N₂) ενώ άλλα αποθηκεύτηκαν σε τροποποιημένη συσκευασία ατμόσφαιρας (MAP) (5% O₂, 95% N₂). Όλα τα μπουκάλια σφραγίστηκαν με φίλτρο PP / EBOH χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό συσκευασίας mod. T520 (Tecnovac, Italy). Τα δείγματα αναλύθηκαν στις 0, 3, 6 και 8 ημέρες αποθήκευσης στους 5 ° C. Για κάθε δείγμα, το ποσοστό οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα μέσα στους σάκους μετρήθηκε χρησιμοποιώντας αναλυτή αερίου (CheckMate3, Dansensor, Denmark) κατά τη διάρκεια του χρόνου αποθήκευσης. Τουλάχιστον 3 επαναλήψεις για κάθε χρόνο δειγματοληψίας αναλύθηκαν μετρώντας τα χαρακτηριστικά ποιότητας όπως περιγράφεται παρακάτω.

6.4.5. Χημική και φυσική ανάλυση

Η περιεκτικότητα σε υγρασία μετρήθηκε βαρυμετρικά με ξήρανση 3 g δειγμάτων στους 105 ° C μέχρι σταθερού βάρους, ενώ η διαλυτή στερεή περιεκτικότητα προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας ένα διαθλασίμετρο mod. PAL-3 (ATAGO Co., Japan). Το pH μετρήθηκε απευθείας στον τύπο τροφής πριν από την εκτύπωση, χωρίς οποιαδήποτε αραίωση, χρησιμοποιώντας ένα pHμετρητή mod Basic 20 (Crison, Ιαπωνία) προηγουμένως βαθμονομημένο με ρυθμιστικά διαλύματα, σε τιμές pH 4 και 7 αντίστοιχα. Οι μεταβολές του βάρους των δειγμάτων μετρήθηκαν με εκτύπωση 3D αντικειμένου απευθείας σε αναλυτικό ζυγό (Gibertini, Ιταλία) και απόκτηση του βάρους κάθε 30 s μέχρι το τέλος της εκτύπωσης. Ο συνολικός χρόνος εκτύπωσης, ο οποίος ορίζεται ως ο χρόνος που πέρασε από την αρχή μέχρι το τέλος της απόθεσης της φόρμουλας τροφίμων, αποκτήθηκε με τη χρήση ενός εργαστηριακού χρονοδιακόπτη (C. Severini et al., 2018)

6.4.6. Ανάλυση της μικροδομής με μικροτομογραφική ακτινογραφία X

Οι μικροτομογραφικές εικόνες των ακτίνων X αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή Sky-Scan 1174 micro-CT (Brüker, Kontich, Βέλγιο). Πριν από τη σάρωση, τα τυπωμένα τρισδιάστατα δείγματα σταθεροποιήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για 1 ώρα. Επιπρόσθετα, μερικά πειράματα προκαταρκτικής σάρωσης επέτρεψαν να διαπιστωθεί ότι ένας καλός λόγος μεταξύ του χρόνου σάρωσης και της αντίθεσης για την τμηματοποίηση της εικόνας και το κατώφλι λήφθηκε

χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες συνθήκες: τάση 50 kV, ρεύμα 800 mA, χρόνος έκθεσης 1600 ms, εικονοστοιχεία 28,5 mm, περιόδους περιστροφής 0,5 °, γωνία περιστροφής 180 ° και μέσου όρου χαμηλού πλαισίου 2 για συνολικά 360 προβολές και χρόνο σάρωσης 19 λεπτών. Εικόνες ανασυνδυασμένης διατομής ελήφθησαν με χρήση του Nrecon 1.6.2.0 (Bruker, Kontich, Belgium). Διεξήχθησαν δισδιάστατη και τρισδιάστατη ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιώντας CTAn 1.12.0.0 (Bruker microCT, Βέλγιο). Συγκεκριμένα, η επεξεργασία εικόνας περιελάμβανε την οριακή τιμή της εικόνας, η οποία εκτελείται με τη μέθοδο του Otsu, σύμφωνα με τον οποίο ο ορισμός μιας συναρτησιακής περιοχής ενδιαφέροντος (ROI) που αποκτάται με τη χρήση της συνάρτησης συρρίκνωσης λειτουργίας, περιτυλίγει αυτόματα το αρχικό ROI γύρω από τα όρια του αντικειμένου. Στη συνέχεια, αξιοποιήθηκε μια λειτουργία απομάκρυνσης κηλίδων για την αφαίρεση των κηλίδων κάτω από 3 εικονοστοιχεία από το ROI. Οι κύριες ιδιότητες της μικροδομής αξιολογήθηκαν για όλο το αντικείμενο που συνίσταται από ολικές εικόνες εγκάρσιας τομής πάντα μεγαλύτερες από 400. Επίσης, οι λειτουργίες κατανομής μεγέθους κενών και στερεών φάσεων αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας τη λειτουργία διαχωρισμού δομής και τη λειτουργία πάχους δομής, αντίστοιχα (C. Severini et al., 2018).

6.4.7. Αντιοξειδωτική ικανότητα και συνολική φαινολική περιεκτικότητα σε τρισδιάστατα τυπωμένα δείγματα

Η ακόλουθη μέθοδος εκχύλισης διεξήχθη τόσο για συνολική φαινολική περιεκτικότητα όσο και για αναλύσεις αντιοξειδωτικής δραστηριότητας. Πέντε γραμμάτια τρισδιάστατου δείγματος ομογενοποιήθηκαν σε ένα Ultraturrax (IKA T18 βασικό, ΗΠΑ) για 1 λεπτό με 10 mL μέσου εκχύλισης, διάλυμα 2 mM NaF μεθανόλη: νερό (80:20) (Toma's-Barbera'n et al. , 2001). Το ομογενοποίημα φυγοκεντρίστηκε δια 2 υφασμάτων και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκε στους 5 ° C και στις 9000 στροφές το λεπτό, για συνολικό χρονικό διάστημα 5 λεπτών. Το υπερκείμενο διατηρήθηκε και χρησιμοποιήθηκε ως εκχύλισμα.

Η ανάλυση αντιοξειδωτικού διεξήχθη, από την ερευνητική ομάδα των C. Severini et al. , ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται από τους Brands Williams et al. (1995) με μικρές τροποποιήσεις. 100 mL του αραιωμένου δείγματος μεταφέρθηκαν με πιπέτα σε 1,9 mL διαλύματος DPPH (διφαινυλ-πικρύλ-υδραζύλιο) για να ξεκινήσει η αντίδραση. Οι κυψελίδες κλείστηκαν με πώμα και στερεώθηκαν με παραφίνη για να αποφευχθεί η εξάτμιση κατά τη διάρκεια 24 ωρών στο σκοτάδι. Η απορρόφηση διαβάστηκε, φασματοφωτομετρικά, μετά από 24 ώρες στο σκοτάδι, στα 515 nm. Το Trolox (6-υδροξύ-2,5,7,8-τετραμεθυλοχρωμαιο-2-καρβοξυλικό οξύ) χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο της μέτρησης και η αντιοξειδωτική δράση αναφέρθηκε ως mg ισοδυνάμων Trolox (TE) ανά 100 g νωπού

βάρους (fw).

Οι συνολικές φαινόλες προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο των Singleton και Rossi (1965). Κάθε εκχύλισμα (100 mL) αναμίχθηκε με 1,58 mL απεσταγμένου νερού, 100 mL αντιδραστηρίου FolineCiocalteu και 300 mL υδατικού διαλύματος ανθρακικού νατρίου (7,5%). Μετά από 2 ώρες στέγνωμα στο σκοτάδι, η απορρόφηση μετρήθηκε στα 765 nm έναντι ενός τεμαχίου χρησιμοποιώντας ένα φασματοφωτόμετρο (Perkin Elmer Lambda 25 UV / VIS). Η περιεκτικότητα σε ολικές φαινόλες υπολογίστηκε με βάση την καμπύλη βαθμονόμησης χλωρογενικού οξέος και εκφράστηκε ως mg ισοδυνάμων χλωρογενικού οξέος (GAE) ανά 100 g νωπού βάρους (κ.β.).

6.4.8. Μικροβιολογικές αναλύσεις

Χρησιμοποιήθηκαν πρότυπες μέθοδοι απαρίθμησης για τον προσδιορισμό της μικροβιακής ανάπτυξης σύμφωνα με τους Martínez-Herna'ndez et al. (2017), αλλά με ελαφρές τροποποιήσεις. 5 g τρισδιάστατα τυπωμένα δείγματα αναμίχθηκαν με 45 ml αποστειρωμένου διαλύματος αλατόνευρου (9 g NaCl L-1) για 1 λεπτό με ένα stomacher (LAB Blender, Pbi International, Italy). 100 mL της κατάλληλης αραιώσης δείγματος επώαστηκαν σε άγαρ μέτρησης πλάκας (PCA, Oxoid, Basingstoke, UK) επώαστηκαν στους 30 ° C / 24e48 h και 5 ° C / 10 ημέρες για συνολικά αερόβια μεσόφιλα και ψυχοφιλικά βακτηρίδια, αντίστοιχα. Για τους ζυμομύκητες, 100 mL της κατάλληλης αραιώσης δείγματος απλώθηκαν σε βάση άγαρ δεξτρόζης πατάτας (PDA, Oxoid) με 100 mgL⁻¹ χλωραμφενικόλης (Carlo Erba, Milano, Italy) στους 25 ° C / 48 h. Όλοι οι μικροβιακοί απαριθμήσεις αναφέρθηκαν ως μονάδες σχηματισμού αποικιών log ανά γραμμάριο (logCFUg⁻¹). Κάθε μία από τις ανατυπώσεις αναλύθηκε εις διπλούν (C. Severini et al., 2018) .

6.4.9. Προσδιορισμός των αισθητήριων χαρακτηριστικών των τρισδιάστατων δειγμάτων

Οι μη εξειδικευμένοι συμμετέχοντες (n = 20) αξιολόγησαν τα τρισδιάστατα τυπωμένα δείγματα για τη συνολική εμφάνιση, το χρώμα, την οσμή, τη γεύση και την αποφλοιώση. Οι πάντες κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν μια κλίμακα από 1 (εξαιρετικά αρνητική) έως 5 (όπως εξαιρετικά) για όλες τις αισθητικές ιδιότητες εκτός από την οσμή και την ανοικτή οσμή για την οποία η τιμή 1 υποδεικνύει αμελητέο ελάττωμα ενώ τιμή 5 υποδεικνύει σοβαρά ελαττώματα. Γενικά, μια τιμή 3 θεωρείται ως όριο για την εμπορευσιμότητα και 2 ως το όριο για την κατανάλωση (Derossi et al., 2016).

6.4.10. Στατιστική ανάλυση

Τα πειραματικά δεδομένα αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας ένα πολυωνυμικό μοντέλο προκειμένου να προσδιοριστούν οι επιδράσεις των ανεξάρτητων μεταβλητών στα χαρακτηριστικά ποιότητας του δείγματος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο πολυωνυμικό μοντέλο:

$$y = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ii} x_i^2 + \sum B_{ij} x_{ij}$$

Όπου B_0 είναι η αρχική τιμή των εξαρτημένων μεταβλητών, οι B_i , B_{ii} , B_{ij} είναι οι συντελεστές παλινδρόμησης, x_i και x_j υποδεικνύουν το γραμμικό αποτέλεσμα των ανεξάρτητων μεταβλητών, το x^2 αναφέρεται στο μη γραμμικό (τετραγωνικό) αποτέλεσμα οι ανεξάρτητες μεταβλητές ενώ το x_{ij} αναφέρεται στο γραμμικό και αλληλεπιδραστικό αποτέλεσμα των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών. Η αξιοπιστία της τοποθέτησης αξιολογήθηκε με συντελεστή συσχέτισης (r), σημαντικό (p -level) και αντίστοιχο τυπικό σφάλμα (SE) για κάθε συντελεστή παλινδρόμησης που εκτιμήθηκε. Χρησιμοποιήθηκαν 3D οικόπεδα για να δείξουν την επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών σε κάθε δείκτη ποιότητας που αναλύθηκε. Κατά την αποθήκευση σε ψυγείο, προσδιορίστηκαν σημαντικές μεταβολές στην αντιοξειδωτική ικανότητα, ολική περιεκτικότητα πολυφαινόλης, μικροβιακές μετρήσεις και αισθητήρια χαρακτηριστικά με τη δοκιμή ANOVA - Tukey ($p < 0,05$). Για κάθε στατιστική ανάλυση αξιοποιήθηκε το λογισμικό StaSoft ver. 10 (Tulsa, USA).

7. Η αντίληψη των καταναλωτών σχετικά με την εκτύπωση 3D τροφίμων

Αν και τα πλεονεκτήματα και οι πολυάριθμες πιθανές χρήσεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης τροφίμων έχουν ήδη συζητηθεί ευρέως (Izdebska & Zolek-Tryznowska, 2016; Sun et al., 2015), έχουν διεξαχθεί πολύ λίγες έρευνες σχετικά με τις αντιλήψεις του καταναλωτικού κοινού για την τρισδιάστατη εκτύπωση. Παρατηρήθηκε από τους Thomas A. et al., ότι η συμβολή των Lupton και Turner (2016) είναι η πρώτη και μοναδική προσπάθεια κατανόησης του πώς οι καταναλωτές μπορούν να ανταποκριθούν στα τρόφιμα που παράγονται με αυτή την τεχνολογία. Στη διαδικτυακή συζήτηση της ομάδας εστίασης, της συγκεκριμένης μελέτης, παρατηρείται ότι η δημόσια γνώση τόσο για την τεχνολογία όσο και για τα χαρακτηριστικά των τροφίμων που σχετίζονται μαζί της ήταν πρακτικά ανύπαρκτη. Αρκετοί συμμετέχοντες φοβούνταν ότι τα τρόφιμα που παράγονται με εκτυπωτή θα ήταν μη βρώσιμα, μη ασφαλή ή τουλάχιστον θρεπτικά μειωμένα και ότι μάλιστα, ο ίδιος ο δισδιάστατος

εκτυπωτής, που συνήθως συνδέεται με τη βιομηχανία υλικών και αντικειμένων εκτός του διατροφικού φάσματος, φαίνεται να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην αποδοχή των συμμετεχόντων. Ούτε η προβολή φωτογραφιών τρισδιάστατων τροφίμων και γευμάτων ούτε τα επιχειρήματα ότι η τεχνολογία αυτή θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των απορριμμάτων τροφίμων και στην ανακούφιση της πείνας στον κόσμο ήταν επιτυχείς για να ξεπεράσουν το σκεπτικισμό των περισσότερων συμμετεχόντων. Παρόλα αυτά, μια μικρή μειοψηφία, που περιγράφει τους εαυτούς τους ως περιπετειώδεις "φαγάδες", έδειξε ότι ήταν πιο δεκτικοί στην κατανάλωση τρισδιάστατων τροφίμων.

7.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη στάση και την αντίληψη των καταναλωτών σχετικά με τα νέα τρόφιμα και τη νέα τεχνολογία τροφίμων

Οι καταναλωτές αντιμετωπίζουν γενικά τις νέες τεχνολογίες τροφίμων και τα προϊόντα τους με καχυποψία (Pora & Pora, 2012). Ωστόσο, δεν προκαλούν όλες οι νέες τεχνολογίες τροφίμων και τα τρόφιμα τις ίδιες αντιδράσεις. Τόσο η ίδια η τεχνολογία (Cardello, 2003, Frewer et al., 2011) όσο και η ατομική εμπειρία και γνώση διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία αξιολόγησης και διαμόρφωσης άποψης από το κοινό (Greeky, et al., 2013, Olsen, Grunert, & Sonne, 2010). Εντούτοις, από τη βιβλιογραφία μπορούν να αντληθούν γενικοί παρακινητικοί ή κατασταλτικοί παράγοντες όπως η βελτιωμένη γεύση, η όλο και αυξανόμενη πρόσβαση στις νέες τεχνολογίες, οι ιδιότητες βελτίωσης της υγείας και η εγγύτητα ή απομίμηση φυσικών διεργασιών, τα οποία αποτελούν τα κύρια επιχειρήματα που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της αποδοχής των νέων τροφίμων από τους καταναλωτές (Bruhn, 2008 · Cox, Evans, & Lease, 2007 · Rollin, Kennedy, & Wills, 2011 · Siegrist, 2008 · Siegrist, Stampf, & Kastenholz, 2009).

Επαναλαμβανόμενη έκθεση σε διαφορετικά είδη νέων τροφίμων και οπτικών αναπαραστάσεων αυτών (Bruhn, 2007 · Cardello, 2003 · Cardello, Schutz, & Leshner, 2007 · Frewer et al., 2011 · Jaeger, Knorr, Szabó, Hámosi, & Bánáti, 2015) μπορούν επίσης να συμβάλουν στη δημιουργία νέων τεχνικών προσέγγισης και στην εξοικείωση των καταναλωτών με νέα τρόφιμα, γεγονός που με τη σειρά του επηρεάζει τις στάσεις των καταναλωτών (Lyndhurst, 2009). Αντίθετα, η υποψία ύπαρξης επιβλαβών υποπροϊόντων και, γενικότερα, οποιονδήποτε δυνητικό κίνδυνο για την υγεία που συνδέεται με την κατανάλωση νέων τροφίμων, αναμφισβήτητα θα προκαλέσει την δυσπιστία αλλά και το ενδιαφέρον των καταναλωτών για κατανάλωση τέτοιων τροφίμων (Bruhn, 2008, Cardello κ.ά. 2007, Siegrist, 2008). Ο χημικός μετασχηματισμός (π.χ. η τροποποίηση της σύνθεσης των τροφίμων) είναι ένας επιπλέον παράγοντας που καθορίζει την αποδοχή των νέων τροφίμων και νέων τεχνολογιών από τους ανθρώπους (Cardello et al., 2007, Lyndhurst, 2009, Siegrist, 2008). Η βιβλιογραφία παραμένει

ασυμβίβαστη και εν μέρει αντιφατική ως προς την αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας και της εκπαίδευσης των καταναλωτών (Rollin et al., 2011). Πράγματι, οι ερευνητές συμφωνούν ότι οι μονομερείς και τεχνολογικά καθοδηγούμενες πληροφορίες δεν καταφέρνουν να πείσουν τους καταναλωτές για τα οφέλη των νέων τροφίμων (Cox et al. , 2007 · Scholderer & Frewer, 2003). Ωστόσο, μια καθορισμένη και προσεγμένη επικοινωνία (Rollin et al. , 2011) που θα αφορά τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας (συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της εμπιστοσύνης των καταναλωτών σε σχετικούς δημόσιους οργανισμούς ενώ παρέχονται ταυτόχρονα επαρκείς πληροφορίες για τα οφέλη και τα ρίσκα της εν λόγω τεχνολογίας) (Jaeger et al. , 2015), χρησιμοποιώντας επιστημονική, αλλά εύκολα κατανοητή, ορολογία, που αναφέρεται σε συγκρίσιμες και πιο οικείες τεχνολογίες (Bruhn, 2007, 2008, Jaeger et al., 2015, Ronteltap et al., 2007 (Bruhn, 2007, 2008, Cardello, 2003, Lyndhurst, 2009, Siegrist, 2008) και έχει τη δυνατότητα να εξετάσει και να αποκριθεί στις βασικές ερωτήσεις των καταναλωτών, οι οποίες αφορούν την ασφάλεια των προϊόντων και τις απτές τελικές χρήσεις. Όλα αυτά, συμβάλλουν στην ευρύτερη αποδοχή νέων τροφίμων και νέων τεχνολογιών τροφίμων. Η εμπιστοσύνη των καταναλωτών στην βιομηχανία, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, τους επιστήμονες και την κυβέρνηση διαδραματίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της κοινής γνώμης, ιδίως όταν η διαδικασία λήψης γνώμης ακολουθεί μια αρνητικά καθοδική πορεία, ιδίως όταν πρόκειται για νέες και αμφιλεγόμενες τεχνολογίες (Søndergaard et al. , 2005). Στην Ευρώπη, οι οργανώσεις καταναλωτών, οι επαγγελματίες του τομέα της υγείας και οι ανεξάρτητοι επιστήμονες ανήκουν στις πλέον αξιόπιστες πηγές και συνεπώς οφείλουν να συμμετέχουν στη συζήτηση και ενημέρωση του καταναλωτικού κοινού (Rollin et al., 2011, Siegrist, 2008). Λαμβάνοντας όλα αυτά υπόψη, η καλύτερη επικοινωνιακή στρατηγική μπορεί να αποτύχει να αλλάξει την άποψη του κοινού σχετικά με ένα νέο τρόφιμο όταν το περιεχόμενό του δεν ταιριάζει με προϋπάρχουσες γνώσεις και αξίες (Greehy et al., 2013, Lyndhurst, 2009). Μελέτες σχετικά με τον αντίκτυπο των κοινωνικοδημοκρατικών καθοριστικών παραγόντων οδήγησαν σε αντιφατικά αποτελέσματα (Lyndhurst, 2009). Επιπλέον, η εξηγητική δύναμη αυτών των παραγόντων έχει αποδειχθεί ότι εξαφανίζεται όταν ανταγωνίζεται τους γνωστικούς και συμπεριφορικούς καθοριστικούς παράγοντες (Verbeke, 2005). Μία αξιοσημείωτη εξαίρεση αποτελεί η διαρκώς πιο επιφυλακτική στάση που εκφράζουν οι γυναίκες σε πολλά νέα τρόφιμα και νέες τεχνολογίες τροφίμων (Lyndhurst, 2009).

7.2. Η παρούσα έρευνα

Σκοπός της μελέτης των Thomas A. Brunner, Mathilde Delley, Christoph Denkel είναι η κάλυψη του σημερινού "κενού γνώσης" με τη διεξαγωγή ποσοτικής έρευνας σχετικά με τη στάση των

καταναλωτών απέναντι στα τρισδιάστατα τρόφιμα. Για το σκοπό αυτό και με βάση τις αρχικές ιδέες που έλαβαν οι Lupton και Turner (2016), αναπτύχθηκε μια έρευνα καταναλωτών και πραγματοποιήθηκε κατευθυνόμενη ανάλυση των αποτελεσμάτων. Παρατηρήθηκαν συγκεκριμένα μοτίβα που σχετίζονται με την αποδοχή των καταναλωτών προς τα νέα τρόφιμα και τις νέες τεχνολογίες τροφίμων σύμφωνα με την προαναφερθείσα ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και αξιολογήθηκαν, έπειτα από χειρόγραφο ανασκόπηση του ερωτηματολογίου. Παράγοντες που συμπεριλήφθηκαν είναι και η νεοφοβία, ως προς τις νέες τεχνολογίες τροφίμων, η προγενέστερη γνώση της τεχνολογίας, η ατομική συνείδηση του κάθε ερωτώμενου, η σημασία τόσο της υγιεινής διατροφής (υγείας) όσο και της φυσικής περιεκτικότητας σε τρόφιμα (Πίνακας 2). Περιλήφθηκαν επίσης κοινωνικοδημογραφικές μεταβλητές. Άλλα πορίσματα, από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη μιας βάσης πληροφοριών, η οποία ήταν παρούσα στο κάθε ερωτηματολόγιο. Τέλος, συμπεριλήφθηκε στην έρευνα μια σειρά επιπρόσθετων παραγόντων, οι οποίοι θεωρήθηκε ότι συμμετείχαν στη διαδικασία διαμόρφωσης της οπτικής αντίληψης όσον αφορά τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα τρόφιμα. Η ευεξία, η προτίμηση για κατανάλωση, η διασκέδαση στη χρήση, η μαγειρική δημιουργικότητα, η εμπλοκή των τροφίμων, η προτίμηση για οικεία τρόφιμα (εξοικείωση) και η επαφή των καταναλωτών με ψηφιακά "εργαλεία"/εφόδια κατατάχθηκαν σε αυτήν την ομάδα παραγόντων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν επέτρεψαν (α) την αξιολόγηση της υπάρχουσας δημόσιας προσφοράς για τρισδιάστατα τρόφιμα (β) την κατανόηση των καθοριστικών παραγόντων μιας θετικής έναντι μιας αρνητικής αντίδρασης προς αυτή τη νέα τεχνολογία. (γ) την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την εκάστοτε συμπεριφορά (δ) την έρευνα του εάν οι καταναλωτές ανταποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο στο θέμα της εκτύπωσης τρισδιάστατων ειδών διατροφής καθώς και σε άλλες τεχνολογίες νέων τροφίμων.

7.2.1. Συλλογή δεδομένων και δείγμα

Μια έρευνα καταναλωτών με ερωτηματολόγιο αποστέλλεται σε τυχαία επιλεγμένο δείγμα γερμανόφωνου πληθυσμού στην Ελβετία, των οποίων οι διευθύνσεις λήφθηκαν από τον τηλεφωνικό κατάλογο. Η αλληλογραφία περιελάμβανε μια συνοδευτική επιστολή που εισήγαγε τη μελέτη, το ίδιο το ερωτηματολόγιο και ένα φάκελο επιστροφής με προκαταβολή. Το άτομο στο νοικοκυριό που είχε τα επόμενα γενέθλια και ήταν 19 ετών ή μεγαλύτερα κλήθηκε να συμπληρώσει το ερωτηματολόγιο. Συνολικά απεστάλησαν 274 ερωτηματολόγια (ποσοστό απάντησης 13,4%). Μετά τη διαγραφή μιας περίπτωσης με περισσότερες από 40 απαντήσεις που λείπουν και 13 περιπτώσεις που απέτυχαν σε

απλή δοκιμή συνέπειας, παρέμειναν 260 για την ανάλυση.

Η μέθοδος προσλήψεων των συμμετεχόντων στη χρήση τηλεφωνικών συνδιαλέξεων και η απαίτηση ηλικίας 18 ετών και άνω οδήγησε σε υπερεκπροσώπηση των ηλικιωμένων. Οι αλλοδαποί, οι λιγότερο μορφωμένοι και οι εργαζόμενοι πλήρους απασχόλησης ίσως αισθάνονταν ελάχιστη ανησυχία σχετικά με το θέμα ή ήταν πολύ απασχολημένοι για να συμμετάσχουν στην ολοκλήρωση της έρευνας και, κατά συνέπεια, υποεκπροσωπούνται στο δείγμα. Λεπτομέρειες των χαρακτηριστικών του δείγματος σε σύγκριση με τον γενικό ελβετικό πληθυσμό μπορούν να βρεθούν στον Πίνακα 1. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε μεταξύ Μαΐου και Ιουνίου 2017.

Characteristics	Sample population	Swiss population
Gender		
men	46%	49%
women	54%	51%
Age groups		
0–19	1%	20%
20–39	12%	27%
40–64	54%	35%
65–79	27%	13%
≥80	6%	5%
Nationality		
Swiss	92%	75%
other	8%	25%
Residence area		
urban	56%	76%
rural	43%	24%
Education		
none/compulsory	4%	13%
sec. professional	33%	38%
sec. General	6%	8%
tert. Professional	27%	14%
tert. University	30%	27%
Household size		
1 person	21%	22%
2 persons	45%	44%
3 persons	11%	13%
4 persons	17%	13%
5 persons	4%	4%
≥6 persons	2%	2%
Occupation		
full time	30%	45%
part time	34%	25%
none	36%	30%

Πίνακας 1: Παρουσιάζονται τα ποσοστιαία δεδομένα και τα βασικά στοιχεία (πχ εκπαίδευση) των ερωτηθέντων

7.2.2. Ερωτηματολόγιο

Το ερωτηματολόγιο ξεκίνησε με μια σύντομη παράγραφο σχετικά με το σκοπό της μελέτης - κατανόηση των στάσεων των καταναλωτών απέναντι σε τρισδιάστατα τρόφιμα - όπου οι συμμετέχοντες πληροφορήθηκαν ότι η τεχνολογία 3D εκτύπωσης, η οποία εφαρμόζεται κυρίως στον τομέα μεταποίησης μετάλλων και πλαστικών, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ειδικών τροφίμων. Οι αρχικές στάσεις των συμμετεχόντων σχετικά με τρισδιάστατα τρόφιμα αξιολογήθηκαν αμέσως μετά από αυτή τη δήλωση. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μια σημασιολογική διαφοροποιημένη κλίμακα που περιλαμβάνει τέσσερα στοιχεία. Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να δηλώσουν εάν πιστεύουν ότι τα τρόφιμα που παράγονται με έναν 3D εκτυπωτή είναι κακό - καλά, ασήμαντα - σημαντικά, δεν υποστηρίζονται - υποστηρίζονται και αρνητικά - θετικά σε μια αριθμητική κλίμακα έξι σημείων. Αυτό το κατασκευάσμα συνιστά την εξαρτώμενη μεταβλητή στην ανάλυση που αξιολογεί την αρχική συμπεριφορά των συμμετεχόντων. Στη συνέχεια, η 3D εκτύπωση τροφίμων παρουσιάστηκε σε μια σύντομη παράγραφο και το προηγούμενο επίπεδο γνώσεων των συμμετεχόντων σχετικά με τα τρισδιάστατα τρόφιμα αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας τέσσερα στοιχεία, στα οποία οι συμμετέχοντες έπρεπε να υποδείξουν τη συμφωνία τους σε μία κλίμακα Likert έξι σημείων που κυμαίνεται από 1 = 'δεν συμφωνώ καθόλου' με 6 = 'απολύτως συμφωνώ'. Τέσσερις πιθανές περιοχές εφαρμογών 3D εκτυπωτών στην επεξεργασία τροφίμων παρουσιάστηκαν: (α) η δημιουργία νέων οπτικών σχεδίων, που αντιπροσωπεύουν τη διασκέδαση. (β) τη διευκόλυνση του μαγειρέματος ή του βελτιωμένου χειρισμού του προϊόντος (π.χ. (γ) την προσαρμογή της σύνθεσης των τροφίμων ώστε να ανταποκρίνονται στις ειδικές διατροφικές ανάγκες (π.χ. μείωση του αλατιού), τις ανάγκες σε τρόπους ζωής (π.χ. χορτοφάγους) ή να αυξάνουν την αποδοχή των φυτών και των καρπών από τα παιδιά (π.χ. - φάσματα), που αντιπροσωπεύουν την πτυχή της υγείας και δ) τη σύνθεση των τροφίμων και την αίσθηση της εξατομικευμένης αισθητικής σύμφωνα με τις ατομικές ανάγκες και επιθυμίες των καταναλωτών, που αντιπροσωπεύουν την εξατομικευμένη διατροφική διάσταση του θέματος.

Πίνακας 2: Ερωτηματολόγιο που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα των

Thomas A. et al.

1. Previous Knowledge (Cronbach's $\alpha = 0.80$)	new
I've already read/heard a lot about 3D-printed food	
I already knew about these facts [*]	
I know roughly how a 3D printer works	
I've already dealt with 3D food printing	
2. Benefit perception (Cronbach's $\alpha = 0.90$)	new
I see an advantage in this application, also if I do not necessarily intend to make use of it (<i>argument: fun</i>)	
I see an advantage in this application... (<i>argument: convenience</i>)	
I see an advantage in this application... (<i>argument: health</i>)	
I see an advantage in this application... (<i>argument: nutrition</i>)	
3. Willingness to consume (Cronbach's $\alpha = 0.95$)	new
I would have no trouble consuming this product (<i>argument: fun</i>)	
I would have no trouble consuming this product (<i>argument: convenience</i>)	
I would have no trouble consuming this product (<i>argument: health</i>)	
I would have no trouble consuming this product (<i>argument: nutrition</i>)	
4. Fun to use (Cronbach's $\alpha = 0.96$)	new
I would have fun producing such a food in my own kitchen (<i>argument: fun</i>)	
I would have fun... (<i>argument: convenience</i>)	
I would have fun... (<i>argument: health</i>)	
I would have fun... (<i>argument: nutrition</i>)	
5. Cooking creativity (Cronbach's $\alpha = 0.73$)	new
Cooking allows me to express my creativity	
When I cook, I like to try new recipes	
The best of cooking is to develop own recipes or optimise existing ones	
6. Food neophobia (Cronbach's $\alpha = 0.77$)	(Pliner & Hobden, 1992)
I am constantly sampling new and different foods ^R	
I do not trust new foods	
If I do not know what is in a food, I won't try it	
I like foods from different countries ^R	
Ethnic food looks too weird to eat	
At dinner parties, I will try a new food ^R	
I am afraid to eat things I have never had before	
I am very particular about the foods I will eat	
I will eat almost anything ^R	
I like to try new ethnic restaurants ^R	
7. Food technology neophobia (Cronbach's $\alpha = 0.73$)	(Cox & Evans, 2008)
There are plenty of tasty foods around, so we don't need to use new food technologies to produce more	
The benefits of new food technologies are often grossly overstated	
New food technologies decrease the natural quality of food	
There is no sense trying out high-tech food products because the ones I eat are already good enough	
8. Convenience orientation (Cronbach's $\alpha = 0.72$)	(Candel, 2001)
The less physical energy I need to prepare a meal, the better	
The ideal meal can be prepared with little effort	
Preferably, I spend as little time as possible on meal preparation	
I want to spend as little time as possible cooking	
At home, I preferably eat meals that can be prepared quickly	
9. Food involvement (Cronbach's $\alpha = 0.68$)	(Bell & Marshall, 2003)
I don't think much about food each day ^R	
Cooking or barbecuing is not much fun ^R	
Is familiar	
Is like the food I ate when I was a child	
13. Digital native (Cronbach's $\alpha = 0.89$)	(Teo, 2013)
I use computers for many things in my daily life	
I use the computer for leisure every day	
I am able to communicate with my friends and do my work at the same time	
I am able to use more than one applications on the computer at the same time	
I use a lot of graphics and icons when I send messages	
I use pictures to express my feelings better	
I expect quick access to information when I need it	
I expect the websites that I visit regularly to be constantly updated	
14. Nutritional knowledge ^D (Cronbach's $\alpha = 0.76$)	(Dickson-Spillmann, Siegrist, & Keller, 2011)
Lentils contain only a few useful nutrients; therefore, their health benefit is not great ^R	
The health benefit of fruit and vegetables lies only in the supply of vitamins and minerals ^R	
A healthy diet means nothing else than eating vitamins ^R	
Fat is always bad for your health; you should therefore avoid it as much as possible ^R	
A healthy meal should consist of half meat, a quarter vegetables and a quarter side dishes ^R	
If you have eaten high-fat foods, you can reverse the effects by eating apples ^R	
Whole meal foods contain fiber, which is of no use for digestion ^R	
To eat healthily, you should eat less; whatever foods you decrease does not matter ^R	
If chips did not contain so much salt, you could eat more of them without any problem ^R	
All dietary oils have the same ingredients; the oils differ only in taste ^R	

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει πολλές πιθανές εφαρμογές στον τομέα των τροφίμων, πόρισμα που προέκυψε έπειτα από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (Lupton & Turner, 2016), την τρέχουσα χρήση στις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων και τροφοδοσίας και τις προσωπικές υποθέσεις των συγγραφέων σχετικά με τα πιο συναρπαστικά επιχειρήματα από την πλευρά των τελικών χρηστών. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να υποδείξουν τη συμφωνία τους πάνω στην ίδια κλίμακα Likert έξι σημείων από πριν. Η προσκόλληση σε καθένα από τα τέσσερα επιχειρήματα αξιολογήθηκε ξεχωριστά, με τα τρία αυτά στοιχεία να καλύπτουν τρεις διαφορετικές πτυχές: την αντίληψη της ωφέλειας, την προθυμία κατανάλωσης και τη διασκέδαση στη χρήση. Μια ανάλυση παραγόντων αποκάλυψε ότι δεν ήταν τα επιχειρήματα που είχαν σημασία αλλά μάλλον οι διαφορετικές πτυχές μεταξύ των τεσσάρων επιχειρημάτων. Το επόμενο τμήμα του ερωτηματολογίου μέτρησε την προσκόλληση των καταναλωτών σε δέκα επιπλέον αντιλήψεις, οι οποίες υποτίθεται ότι σχετίζονταν με ενδιαφέρον, στάση ή αποδοχή προς νέες τεχνολογίες τροφίμων ή συνδέονταν με τα μεγάλα οφέλη των τρισδιάστατων εκτυπωτών, όπως αυτά είχαν διατυπωθεί από τους υποστηρικτές της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Όποτε ήταν δυνατόν, χρησιμοποιήθηκαν επικυρωμένες κλίμακες. Ορισμένες, βεβαίως, έπρεπε να μειωθούν για να αποφευχθεί η επιβάρυνση των ερωτηθέντων με ένα μακρύ ερωτηματολόγιο. Οι συμμετέχοντες αξιολόγησαν τη συμφωνία τους σε όλους, αλλά τα στοιχεία σχετικά με τη γνώση πάνω στη διατροφή αξιοποιήθηκαν με χρήση της προαναφερθείσας κλίμακας Likert έξι σημείων. Τέλος, οι γνώσεις για τη διατροφή αξιολογήθηκαν από 10 στοιχεία για τα οποία οι ερωτώμενοι είχαν την επιλογή μεταξύ τριών επιλογών απάντησης: «αληθινό», «ψευδές» και «δεν γνωρίζω». Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τις 14 κλίμακες και τα στοιχεία τους, συμπεριλαμβανομένου του Cronbach's και των πηγών. Στο τέλος της έρευνας, η στάση των συμμετεχόντων απέναντι σε τρισδιάστατα τρόφιμα αξιολογήθηκε για δεύτερη φορά χρησιμοποιώντας την ίδια δομή με την αρχή της έρευνας, αλλά αυτή τη φορά ζητούσε από τους συμμετέχοντες να εξετάσουν τις νέες γνώσεις που αποκτήθηκαν. Το μέτρο αυτό αντιπροσωπεύει την εξαρτώμενη μεταβλητή στην ανάλυση που μετρά τις στάσεις των ενημερωμένων καταναλωτών. Το ερωτηματολόγιο ολοκληρώθηκε με μια σειρά κοινωνικοδημογραφικών ερωτήσεων, από τις οποίες μερικές χρησιμοποιήθηκαν και ως μεταβλητές πρόβλεψης στις αναλύσεις (φύλο, ηλικία, εκπαίδευση και κατάσταση εργασίας).

Πίνακας 3: Αντιλήψεις Ερωτηθέντων πριν και μετά την ενημέρωση πάνω στην τεχνολογία 3D

(C. Severini *et al.* 2018)

Scales and items	M	SD
1. At the beginning of the questionnaire (Cronbach's $\alpha = 0.95$)		
<i>I think that foods produced with 3D printers are generally...</i>		
Bad – good	2.42	1.36
Unimportant – important	2.26	1.28
Not to be supported – to be supported	2.30	1.47
Negative – positive	2.29	1.35
2. At the end of the questionnaire (Cronbach's $\alpha = 0.95$)		
<i>I think that foods produced with 3D printers are generally...</i>		
Bad – good	3.06	1.36
Unimportant – important	2.57	1.35
Not to be supported – to be supported	2.78	1.47
Negative – positive	2.93	1.41

Notes: Measured on a six-point semantic differential.

Στον Πίνακα 3 αναγράφονται οι αρχικές αντιλήψεις των ερωτηθέντων καθώς και οι αντιλήψεις τους έπειτα από ενημέρωση πάνω στο αντικείμενο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Τα Μέσα αναγράφονται αποτελέσματα αναπαρίστανται με βάση την κλίμακα Likert 6 σημείων, η οποία επεξηγήθηκε προηγουμένως.

Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα, παρατηρείται ότι η άποψη των ερωτηθέντων για την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης βελτιώθηκε σε σχετικά μεγάλο βαθμό, της τάξεως του 0.64. Τέλος, μπορεί να διαπιστωθεί ότι ένα σημαντικό ποσοστό των ερωτηθέντων κατανόησαν την σημασία της τεχνολογίας αυτής και υποστηρίζουν την ανάπτυξη της (0.31 και 0.48 βαθμίδες διαφορά στις εκάστοτε ενότητες).

8. Μελλοντική εργασία και συμπέρασμα όσον αφορά την αντίληψη του κοινού

Η 3D εκτύπωση τροφίμων έχει αποδείξει την ικανότητά της να κάνει εξατομικευμένες σοκολάτες ή να παράγει απλά ομοιογενή σνακ. Ωστόσο, αυτές οι εφαρμογές είναι ακόμα πρωτόγονες με περιορισμένες εσωτερικές δομές ή μονότονες υφές. Είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί ένας συστηματικός τρόπος διερεύνησης των υλικών εκτύπωσης, του σχεδιασμού πλατφορμών, των τεχνολογιών εκτύπωσης και των επιδράσεών τους στην παρασκευή τροφίμων. Εν τω μεταξύ, η

διαδικασία σχεδιασμού τροφίμων θα πρέπει να είναι διαρθρωμένη ώστε να προωθεί τη δημιουργικότητα του χρήστη, η διαδικασία κατασκευής θα πρέπει να ποσοτικοποιείται για την επίτευξη συνεκτικών αποτελεσμάτων κατασκευής και θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης για τη σύνδεση του σχεδιασμού και της κατασκευής με τον έλεγχο των θρεπτικών ουσιών. Με την ανάπτυξη μιας διαδραστικής ανοικτής διαδικτυακής διεπαφής χρήστη, οι εκτυπωτές τροφίμων μπορούν να γίνουν μέρος ενός οικολογικού συστήματος, όπου οι δικτυωμένες μηχανές μπορούν να παραγγείλουν νέα συστατικά, να προετοιμάσουν φαγητό κατά παραγγελία και ακόμη να συνεργαστούν με τους γιατρούς για να αναπτύξουν υγιεινότερες διατροφές.

Παρόλο που είναι διαθέσιμες αρκετές τεχνολογίες εκτύπωσης τροφίμων, υπάρχει ακόμα πολύς δρόμος για την περαιτέρω ανάπτυξή τους για εμπορική χρήση. Από αυτή την μελέτη(λέω εγώ) (τεχνολογική ανασκόπηση λει το κειμενο) φαίνεται ότι η εκτύπωση τροφίμων μπορεί να ασκήσει σημαντική επίδραση σε διάφορους τύπους επεξεργασίας τροφίμων, οι οποίοι επιτρέπουν στους σχεδιαστές / χρήστες να χειρίζονται μορφές και υλικά με ενισχυμένη και άνευ προηγουμένου δυνατότητα. Αυτή η ευελιξία, που εφαρμόζεται στην εγχώρια κουζίνα ή στην υπηρεσία τροφοδοσίας, μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα για να προσφέρει στους καταναλωτές υψηλής ποιότητας, φρέσκα τρόφιμα, να προσφέρει εξατομικευμένη διατροφή και να επιτρέψει στους χρήστες να αναπτύξουν νέες γεύσεις, υφές και σχήματα για να δημιουργήσουν εντελώς νέες εμπειρίες φαγητού (C. Severini et al., 2018).

9. Ιστορική ανάπτυξη του νόμου και της βιβλιογραφίας σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση (Jasper Tran, The Law and 3D Printing, 2015)

Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι τα συνταγματικά ζητήματα που αφορούν την τρισδιάστατη εκτύπωση κεντρίζουν το ενδιαφέρον ενός μεγάλου αριθμού των μελετητών του νόμου. Για παράδειγμα, νόμοι που αφορούν την τρισδιάστατη εκτύπωση έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον σχετικά με την επίδραση των τρισδιάστατων όπλων στα πλαίσια της Δεύτερης Συνταγματικής Τροπολογίας (Second Amendment). Υποστηρίζεται από πολλούς ότι οι εκτυπωτές 3D υπάγονται στην ευρεία έννοια της Ρήτρας Εκτύπωσης, σύμφωνα με την οποία η εκτύπωση υλικών αντιμετωπίζεται ως τεχνολογία και ως βιομηχανία και συνεπώς υπάρχουν νομικές ελευθερίες στο τι θέλει να τυπώσει ο καθένας (Jasper Tran, The Law and 3D Printing, 2015).

Παρομοίως, τίθενται όλο και συχνότερα και με εντονότερο βαθμό ερωτήματα που αφορούν την πνευματική ιδιοκτησία, ειδικά όταν πρόκειται για διπλώματα ευρεσιτεχνίας (patents) και τα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας (copyrights). Στην πραγματικότητα, η τρισδιάστατη εκτύπωση αρχίζει και παραμορφώνει το τοπίο των πνευματικών δικαιωμάτων, το οποίο αρχικά θεμελιώθηκε

βασιζόμενο σε (2D) έντυπα έγγραφα.

Άλλα ενδιαφέροντα ζητήματα που απασχολούν τη νομοθεσία της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η ρύθμιση παραμέτρων και ορίων καθώς και η ασφάλεια που πρέπει να “συνοδεύει” τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Για παράδειγμα, το Κογκρέσο εξακολουθεί να προβληματίζεται σχετικά με τον τρόπο ρύθμισης της εκτύπωσης 3D και των τρισδιάστατα εκτυπωμένων προϊόντων, ειδικότερα με τα εκτυπωμένα είδη τροφίμων, ιατρικών συσκευών, και άλλων υλικών βιολογικής υπόστασης. Όσον αφορά την ασφάλεια, η διασταύρωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της ευθύνης ως προς το προϊόν παρουσιάζει ένα ενδιαφέρον και αμφιλεγόμενο ζήτημα.

Επί του παρόντος, δεν υπάρχει επίσημο σημείο δημοσίευσης δικαίου που αφορά την 3D εκτύπωση.

Νομική βιβλιογραφία μπορεί να εντοπιστεί είτε σε ειδικά επιστημονικά περιοδικά είτε σε λιγότερο αξιόπιστες δημοσιεύσεις. Προς το παρόν δεν υπάρχει κάποιο βιβλίο σχετικό με την τρισδιάστατη εκτύπωση και τη νομοθεσία που ενδείκνυται για αυτή.

Σήμερα, το λογισμικό ηλεκτρονικών υπολογιστών και οι ασύρματες τεχνολογίες διαδραματίζουν τον καθοριστικό παράγοντα στην πληθώρα των δικαστικών διαδικασιών που περιβάλουν τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας.

9.1 Προσδιορισμός και εύρεση του νόμου και της επιστημονικής βιβλιογραφίας που αφορά την τρισδιάστατη εκτύπωσης

Η Βιβλιογραφία του Νόμου και της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης εστιάζει την προσοχή της σε ερευνητικές μελέτες που έχουν ασχοληθεί με την “ουσιώδη διασταύρωση” του νόμου και της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Δηλαδή, εστιάζει μόνο σε μελέτες που ενσωματώνουν τόσο νομική όσο και επιστημονική συζήτηση στα πλαίσιά τους ή και αναλύσεις ήδη υπαρχόντων κειμένων, αποφεύγοντας έρευνες που μπορεί να επιφέρουν νομικές επιπτώσεις ή που μπορεί να αξιοποιούν τεχνολογίες τέτοιου είδους αποσκοπώντας σε όφελος από ορισμένες πτυχές τους.

Τα ευρήματα της συγκεκριμένης έρευνας βασίζονται στη βιβλιογραφία που συγκέντρωσε ο Jasper Tran και η οποία δημοσιεύτηκε στο *The John Marshall Journal of Information and Technology and Privacy Law*. Η βιβλιογραφία αυτή ολοκληρώθηκε μέσω ηλεκτρονικών αναζητήσεων στις βάσεις δεδομένων του Journals and Law Reviews (JLR) της WestlawNext, στο Social Science Research Network (SSRN). Ακόμη, διεκπεραιώθηκαν επιπρόσθετες αναζητήσεις σε επιστημονικές βάσεις δεδομένων όπως το PubMed και το ScienceDirect.

9.2 Μελλοντικές βλέψεις εξέλιξης της νομοθεσίας σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση

Οι παλαιότερες επιδόσεις στον νόμο και στην επιστημονική μελέτη της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να μην αποδώσουν τις αναμενόμενες μελλοντικές απολαβές στον τομέα της νομοθεσίας σχετική με την τρισδιάστατη εκτύπωση. Για να αποφευχθεί τέτοια κατάληξη, τόσο οι εφευρέτες όσο και οι δικηγόροι πρέπει να πραγματοποιήσουν το δύσκολο “μεταφραστικό” έργο που θα επιτρέψει την ομαλή και κατανοητή μετάβαση των δεδομένων και πληροφοριών από το εργαστήριο στα πλαίσια του νόμου. Ερευνητές, μελετητές, νομικοί βιβλιοθηκονόμοι και σπουδαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ανάγνωσμα “Βιβλιογραφία του Νόμου και Τρισδιάστατης Εκτύπωσης” ως εργαλείο όταν διεκπεραιώνουν κάποια διεπιστημονική εργασία. Αλλά σαφώς, όσοι επιθυμούν να κατανοήσουν και να ασχοληθούν περισσότερο στο συγκεκριμένο τομέα δεν μπορούν να αρκестούν μόνο σε αυτό.

Νέα προϊόντα τυπώνονται τρισδιάστατα καθημερινά. Το πεδίο της τρισδιάστατης εκτύπωσης δεν βρίσκεται πλέον στην απαρχή του, αλλά συνάμα δεν έχει φτάσει και σε ώριμο και αξιοποιήσιμο στάδιο. Διαταραχές στο υπάρχον νομικό σύστημα, που αφορά την τρισδιάστατη εκτύπωση, ανέρχονται κάθε φορά που ένα νέο 3D προϊόν εμφανίζεται στο προσκήνιο (π.χ. τρισδιάστατα εκτυπωμένα όπλα). Συνεπώς, απαιτούνται νομικοί μελετητές ικανοί να εργαστούν και να αντιμετωπίσουν αυτά τα αναδυόμενα ζητήματα στον όλο και επεκτεινόμενο τομέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Συμπεράσματα

Η 3D εκτύπωση τροφίμων έχει αποδείξει την ικανότητά της να παρασκευάζει εξατομικευμένες σοκολάτες ή να παράγει απλά ομοιογενή σνακ. Επί του παρόντος, οι εφαρμογές αυτές είναι ακόμα πρωτόγονες, με περιορισμένες εσωτερικές δομές και μονότονες υφές. Είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί ένας συστηματικός τρόπος διερεύνησης των συνταγών, του σχεδιασμού πλατφορμών, των τεχνολογιών εκτύπωσης και των επιδράσεών τους στην παρασκευή τροφίμων. Εν τω μεταξύ, η διαδικασία σχεδιασμού τροφίμων θα πρέπει να δομηθεί έτσι ώστε να προωθηθεί η δημιουργικότητα του χρήστη, η διαδικασία παρασκευής θα πρέπει να ποσοτικοποιηθεί για να επιτευχθούν συνεπή αποτελέσματα κατασκευής και θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης για τη σύνδεση του σχεδιασμού και της κατασκευής με τον έλεγχο των θρεπτικών ουσιών.

Οι τεχνολογίες εκτύπωσης τροφίμων εφαρμόζουν ψηφιακές τεχνολογίες για τον χειρισμό μορφών και υλικών τροφίμων. Αυτή η ευελιξία, που εφαρμόζεται στην εγχώρια κουζίνα ή στην υπηρεσία τροφοδοσίας, θα επιτρέψει την αποτελεσματική διανομή υψηλής ποιότητας, φρεσκοπαρασκευασμένων ειδών διατροφής στους καταναλωτές. Μπορεί επίσης να προσφέρει εξατομικευμένη διατροφή, νέες γεύσεις, υφές και σχήματα των προϊόντων διατροφής.

Με την ανάπτυξη μιας ανοιχτής διαδικτυακής διεπαφής μέσω, οι εκτυπωτές τροφίμων μπορούν να διαμορφώσουν μια οικολογία δικτυωμένων μηχανών που μπορούν να παραγγείλουν νέα συστατικά, να προετοιμάσουν τα αγαπημένα τρόφιμα κατόπιν ζήτησης και ακόμη και να συνεργαστούν με τους γιατρούς για να αναπτύξουν υγιεινότερες διατροφές.

Όσον αφορά το παρόν και μέλλον, της τεχνολογίας, που συνδέεται με το καταναλωτικό κοινό, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα: αφενός, η πρώτη εντύπωση που έχουν οι καταναλωτές και επομένως ο ρόλος που διαδραματίζει ο πρώτος πάροχος πληροφόρησης είναι σημαντικός για τη διαμόρφωση γνώμης. Από την άλλη, η καλά σχεδιασμένη επικοινωνία έχει τη δυνατότητα να διαμορφώσει θετικά τις στάσεις των καταναλωτών απέναντι στα τρισδιάστατα τρόφιμα. Το σημερινό πολύ περιορισμένο επίπεδο γνώσεων των καταναλωτών μας επέτρεψε να δοκιμάσουμε τον αντίκτυπο της παροχής πληροφοριών. Η απόπειρά μας, η οποία περιελάμβανε θεμελιώδεις και πραγματικές πληροφορίες σχετικά με την τεχνολογία και περιγραφή των σεναρίων εφαρμογής, ευελπιστούμε να επηρεάσει θετικά τις στάσεις των καταναλωτών που θα την διαβάσουν, ιδίως μεταξύ εκείνων που δεν είχαν καθόλου ή πολύ περιορισμένες προηγούμενες γνώσεις. Από την άλλη πλευρά, οι εξειδικευμένοι συμμετέχοντες επηρεάστηκαν ελάχιστα από την παρεχόμενη επιχειρηματολογία. Τα αποτελέσματά μας υπογραμμίζουν επίσης ότι ορισμένοι από τους φόβους και τις απροθυμίες που διαμόρφωσαν την

αρχική συμπεριφορά των καταναλωτών ήταν ιδιαίτερα δύσκολες να απομακρυνθούν, παρά την επικοινωνία-στόχος που στόχευε στην υπέρβαση αυτού του τεκμηρίου. Η νεοφοβία της τεχνολογίας τροφίμων συνέχισε και ενισχύθηκε ακόμη και μεταξύ των ενημερωμένων καταναλωτών, παρά την προσπάθειά μας να την συγκρίνουμε με παρόμοιο γνωστό εξοπλισμό κουζίνας. Επειδή η ενδεχομένως υπερβολικά ορθολογική προσέγγιση και η γραπτή μορφή ερωτηματολογίου θα μπορούσαν να διαδραματίσουν κάποιο ρόλο σε αυτό το αποτέλεσμα, εναλλακτικές μορφές επικοινωνίας θα πρέπει να εξεταστούν σε μελλοντικές μελέτες έρευνας και μάρκετινγκ.

Βιβλιογραφία

1. Ahn, S. H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S., & Wright, P. K. (2002). Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. *Rapid Prototyping Journal*, 8, 248e257
2. Alkon, A. H., & Norgaard, K. M. (2009). Breaking the food chains: An investigation of food justice activism. *Sociological Inquiry*, 79(3), 289-305.
3. Ashley, B., Hollows, J., Jones, S., & Taylor, B. (2004). *Food and Cultural Studies*. London: Routledge
4. Bell, R., & Marshall, D. W. (2003). The construct of food involvement in behavioral research: Scale development and validation. *Appetite*, 40(3), 235–244. [http://dx.doi.org/10.1016/S0195-6663\(03\)00009-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0195-6663(03)00009-6).
5. Berretta, S., Ghita, O., Evans, K. E., Anderson, A., & Newman, C. (2013). Size, shape and flow of powders for use in selective laser sintering (SLS). In *High value Manufacturing: Advanced research in virtual and rapid Prototyping: Proceedings of the 6th international conference on advanced research in virtual and rapid prototyping*, Leiria, Portugal, 1-5 October, 2013 (p. 49). CRC Press.
6. Brands Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT e Food Sci. Technol.* 28, 25e30.
7. Bredahl, L. (2001). Determinants of consumer attitudes and purchase intentions with regard to genetically modified food—results of a cross-national survey. *Journal of Consumer Policy*, 24(1), 23-61.
8. Bruhn, C. M. (2007). Enhancing consumer acceptance of new processing technologies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(4), 555–558. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.006>.
9. Bruhn, C. M. (2008). Editorial. *Innovation*, 10(1), 91–95. <http://dx.doi.org/10.5172/impp.453.10.1.91>.
10. Burnett, J. (2013). *Plenty and Want: A Social History of food in England from 1815 to the Present Day*. London: Routledge.
11. Candel, M. J. J. M. (2001). Consumers' convenience orientation towards meal preparation: Conceptualization and measurement. *Appetite*, 36(1), 15–28. <http://dx.doi.org/10.1006/appe.2000.0364>.
12. CandyFab. (2009). The CandyFab project.
13. Chen, Z. (2016). Research on the impact of 3D printing on the international supply chain. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, 16.
14. Cardello, A. V. (2003). Consumer concerns and expectations about novel food processing technologies: Effects on product liking. *Appetite*, 40(3), 217–233.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0195-6663\(03\)00008-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0195-6663(03)00008-4).

15. Cardello, A. V., Schutz, H. G., & Lesher, L. L. (2007). Consumer perceptions of foods processed by innovative and emerging technologies: A conjoint analytic study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), 73–83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2006.07.002>.

16. Corey, C. (2016). Wacker create new way to 3D print chewing gum.

17. Cox, D. N., Evans, G., & Lease, H. J. (2007). The influence of information and beliefs about technology on the acceptance of novel food technologies: A conjoint study of farmed prawn concepts. *Food Quality and Preference*, 18(5), 813–823. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.01.011>.

18. Cox, D. N., & Evans, G. (2008). Construction and validation of a psychometric scale to measure consumers' fears of novel food technologies: The food technology neophobia scale. *Food Quality and Preference*, 19(8), 704–710. <http://dx.doi.org/10.1016/j.Foodqual.2008.04.005>.

19. Davies, A. R. (2014). Co-creating sustainable eating futures: Technology, ICT and citizen–consumer ambivalence. *Futures*, 62, Part B, 181–193.

20. Davide, S., & Xavier, T. (2015). Review of 3D food printing.

21. Devijver, Steven. "Building Your Own 3D Printer." *Building Your Own 3D Printer*. RepRap, 2011. Web. 27 Mar. 2014. <<http://reprapbook.appspot.com/#d0e436>>.

22. Derossi, A., Mastrandrea, L., Amodio, M.L., de Chiara, M.L.V., Colelli, G., 2016. Application of multivariate accelerated test for the shelf life estimation of freshcut lettuce. *J. Food Eng.* 169, 122e130.

23. Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., Severini, C., 2017. Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit based snack for children. *J. Food Eng.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015> (in press).

24. Diaz, J. V., Van, B. K. J. C., Noort, M.W. J., Henket, J., & Brier, P. (2014). Method for the production of edible objects using sls and food products. In Google patents.

25. Diaz, J. V., Noort, M. W. J., & Van, B. K. J. C. (2015). Method for the production of an edible object by powder bed (3d) printing and food products obtainable therewith. In Google patents.

26. Dickson-Spillmann, M., Siegrist, M., & Keller, C. (2011). Development and validation of a short, consumer-oriented nutrition knowledge questionnaire. *Appetite*, 56(3), 617–620. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2011.01.034>.

27. Duan, B., Wang, M., Zhou, W. Y., Cheung, W. L., Li, Z. Y., & Lu, W. W. (2010). Threedimensional nanocomposite scaffolds fabricated via selective laser sintering for bone tissue

engineering. *Acta Biomaterialia*, 6, 4495e4505.

28. Evans, D., Campbell, H., & Murcott, A. (2012). A brief pre-history of food waste and the social sciences. *The Sociological Review*, 60, 5-26.

29. Falk, P. (1994). *The Consuming Body*. London: Sage.

30. Federal Statistical Office. (2013, June 26). Ménages privés selon le canton, la région linguistique, la région urbaine/rurale et le type de ménage. Retrieved July 26, 2017, from <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics/economic-social-situation-population/gender-equality/balancing-work-family/employment-couple-households.assetdetail.279806.html>.

31. Federal Statistical Office. (2016a, August 26). Population résidante permanente selon l'âge, par canton, district et commune. Retrieved July 26, 2017, from <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/population.assetdetail.290792.html>.

32. Federal Statistical Office. (2016b, August 26). Structure de la population résidante permanente selon les cantons. Retrieved July 26, 2017, from <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/population/effectif-evolution.assetdetail.80431.html>.

33. Federal Statistical Office. (2016c, November 24). Ménages privés selon le canton et la taille du ménage. Retrieved July 26, 2017, from <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home.assetdetail.1362681.html>.

34. Federal Statistical Office. (2017a, May 23). Grandes régions: personnes actives occupées à plein temps et à temps partiel selon le sexe et la nationalité. Retrieved July 26, 2017, from <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home.assetdetail.2641569.html>.

35. Federal Statistical Office. (2017b, May 30). Niveau de formation de la population résidante selon l'âge et le sexe. Retrieved July 26, 2017, from <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/education-science/niveau-formation-competences.assetdetail.2662054.html>.

36. Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics: And sex and drugs and rock'n'roll* (4th ed.). London: Sage.

37. Fischler, C. (1988). Food, self and identity. *Social Science Information*, 27(2), 275-292.

38. Frewer, L. (1998). Consumer perceptions and novel food acceptance. *Outlook on Agriculture*, 27(3), 153-156.

39. Frewer, L., Bergmann, K., Brennan, M., Lion, R., Meertens, R., Rowe, G., ... Vereijken, C. (2011). Consumer response to novel agri-food technologies: Implications for predicting consumer acceptance of emerging food technologies. *Trends in Food Science &*

Technology, 22(8), 442–456. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.005>

40. Godoi, F. C., Prakash, S., & Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>.

41. Greehy, G. M., McCarthy, M. B., Henchion, M. M., Dillon, E. J., & McCarthy, S. N. (2013). Complexity and conundrums. Citizens' evaluations of potentially contentious novel food technologies using a deliberative discourse approach. *Appetite*, 70, 37–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2013.06.083>.

42. Gu, D. D., Meiners, W., Wissenbach, K., & Poprawe, R. (2012). Laser additive manufacturing of metallic components: Materials, processes and mechanisms. *International Materials Reviews*, 57, 133e164.

43. Hamilton, C. A., Alici, G., & Marc, P. (2017). 3D printing vegemite and Marmite: Redefining “breadboards”. *Journal of Food Engineering*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.008>.

44. Hao, L., Mellor, S., Seaman, O., Henderson, J., Sewell, N., & Sloan, M. (2010). Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*, 5, 57e64.

45. Hasseln, K. W. (2013). Apparatus and method for producing a three-dimensional food product. In Google patents.

46. Hasseln, K. W., Hasseln, E. M., & Williams, D. X. (2014). Apparatus and method for producing a three-dimensional food product. In Google patents.

47. Hoge Kamp, S., & Pohl, M. (2004). Methods for characterizing wetting and dispersing of powder. *Chemie Ingenieur Technik*, 76, 385e390.

48. Hunter, S. D., Kasperchik, V. P., Nielsen, J. A., Collins, D. C., & Cruz-Uribe, T. (2008). Fabricating a three-dimensional object. In Google patents.

49. iReviews. (2014). 3D systems ChefJet Pro.

50. Izdebska, J., & Zolek-Tryznowska, Z. (2016). 3D food printing – Facts and future. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 27(2), 33–37.

51. Jaeger, H., Knorr, D., Szabó, E., Hámori, J., & Bánáti, D. (2015). Impact of terminology on consumer acceptance of emerging technologies through the example of PEF technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 87–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.12.004>.

52. Jasmine, H. (2014). 3D-Printed food could soon feed the planet.

53. Jennifer, H. (2014). US Army looks to 3D print food for soldiers.

- 54.Khalil, S., & Sun, W. (2007). Biopolymer deposition for freeform fabrication of hydrogel tissue constructs. *Materials Science and Engineering: C*, 27, 469e478.
- 55.Kirsch, Florian. "OpenCSG." *The CSG Rendering Library*. Hasso-Plattner-Institute Potsdam, 12 Feb. 2011. Web. 25 Mar. 2014. <<http://opencsg.org/>>.
- 56.Krassenstein, B. (2015). GumJet-3D print your own chewing gum.
- 57.Kruth, J. P., Levy, G., Klocke, F., & Childs, T. H. C. (2007). Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 56, 730e759.
- 58.Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Noren, N., et al. (2010). Mutlimaterial food printing with complex internal structure suitable for conventional post- processing.
- 59.Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D., & Lipson, H. (2015). Additive manufacturing for the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 43, 114e123.
- 60.Lai, W. H., & Cheng, C. I. (2008). Manufacturing method of three-dimensional food by rapid prototyping. In Google patents.
- 61.Lanzetta, M., & Sachs, E. (2003). Improved surface finish in 3D printing using bimodal powder distribution. *Rapid Prototyping Journal*, 9, 157e166.
- 62.Lin, C. (2015). 3D food printing: A taste of the future. *Journal of Food Science Education*, 14, 86e87.
- 63."List of Firmware." *RepRapWiki*. RepRap, 10 Mar. 2014. Web. 28 Mar. 2014. <<http://reprap.org/wiki/Firmware>>.
- 64.Lupton, D. (1996). *Food, the Body and the Self*. London: Sage.
- 65.Lupton, D., & Turner, B. (2016). "Both Fascinating and Disturbing": *Consumer Responses to 3D Food Printing and Implications for Food Activism* (SSRN Scholarly Paper No. ID 2799191). Rochester, NY: Social Science Research Network. Retrieved from <https://papers.ssrn.com/abstract=2799191>.
- 66.Lyndhurst, B. (2009). *An Evidence Review of Public Attitudes to Emerging Food Technologies* (p. 89). UK: Social Science Research Unit Food Standards Agency. Retrieved from <https://www.food.gov.uk/sites/default/files/multimedia/pdfs/emergingfoodtech>. Pdf.
- 67.Italian Ministry of Health, 2015. Mangia a colori. Frutta e verdure 5 porzioni al giorno. http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_opuscoliPoster_245_allegato.pdf.
- 68.Malone, E., & Lipson, H. (2007). Fab@Home: the personal desktop fabricator kit. *Rapid Prototyping Journal*, 13(4), 245–255. <http://dx.doi.org/10.1108/13552540710776197>.
- 69.Mandery, K. (2010). Method, formulas, and product for biocidal treatment of a cooling

lubricant. In Google patents.

70.Marangoni, A. G., & McGauley, S. E. (2003). Relationship between crystallization behavior and structure in cocoa butter. *Crystal Growth & Design*, 3, 95e108.

71.Martínez-Hernandez, G.B., Amodio, M.L., Colelli, G., 2017. Carvacrol-loaded chitosan nanoparticles maintain quality of fresh-cut carrots. *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.* 41, 56e63.

72.Medina, M.B., 2011. Determination of the total phenolics in juice and superfruits by a novel chemical method. *J. Funct. Foods* 3, 79e87.

73.Messer, E. (2007). Food definitions and boundaries. In J. MacClancy, J. Henry & H. Macbeth (Eds.), *Consuming the Inedible: Neglected Dimensions of Food Choice* (pp. 53-66). New York: Berghan Books.

74.Mims, C. (2013). The audacious plan to end world hunger with 3-D printed food. *Quartz*. Retrieved from <http://qz.com/86685/the-audacious-plan-to-end-hunger-with-3-d-printed-food/>

75.Mintz, S. W., & Du Bois, C. M. (2002). The anthropology of food and eating. *Annual Review of Anthropology*, 31, 99-119.

76.Mohr, S., & Khan, O. (2015). 3D printing and its disruptive impacts on supply chains of the future. *Technology Innovation Management Review*, 5(11), 20-25.

77.Natural Machines. (2016). *Natural Machines/FAQs*. Retrieved from <https://www.naturalmachines.com/faq/>

78.Noort, M. W. J., Diaz, J. V., Van, B. K. J. C., Renzetti, S., Henket, J., & Hoppenbrouwers, M. B. (2016). Method for the production of an edible object using sls. In Google patents.

79.Olsen, N. V., Grunert, K. G., & Sonne, A.-M. (2010). Consumer acceptance of high-pressure processing and pulsed-electric field: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(9), 464–472. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.07.002>.

80.Pliner, P., & Hobden, K. (1992). Development of a scale to measure the trait of food neophobia in humans. *Appetite*, 19(2), 105–120. [http://dx.doi.org/10.1016/0195-6663\(92\)90014-W](http://dx.doi.org/10.1016/0195-6663(92)90014-W).

81.PERFORMANCE. (2012). Personalized food using rapid manufacturing for the nutrition for the elderly customers.

82.Periard, D., Schaal, N., Schaal, M., Malone, E., & Lipson, H. (2007). Printing food. In Proceedings of the 18th solid freeform fabrication symposium, Austin TX (pp. 564e574). Citeseer.

83.Peters, F., Groisman, D., Davids, R., Hanel, T., Dürr, H., & Klein, M. (2006). Comparative Study of patient individual implants from b-tricalcium phosphate made by different techniques based on CT data. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 37, 457e461.

84. Popa, M. E., & Popa, A. (2012). Consumer behavior: Determinants and trends in novel food choice. *Novel technologies in food science: Their impact on products, consumer trends and the environment*. Vol. 7. *Novel technologies in food science: Their impact on products, consumer trends and the environment* (pp. 137–156). New York, NY: Springer.
85. Rollin, F., Kennedy, J., & Wills, J. (2011). Consumers and new food technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2), 99–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.09.001>.
86. Ronteltap, A., van Trijp, J. C. M., Renes, R. J., & Frewer, L. J. (2007). Consumer acceptance of technology-based food innovations: Lessons for the future of nutrigenomics. *Appetite*, 49(1), 1–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2007.02.002>.
87. Rosin, C., Stock, P., & Campbell, H. (Eds.). (2013). *Food Systems Failure: The Global Food Crisis and the Future of Agriculture*. London: Routledge. 17
88. Rozin, P. (2005). The meaning of 'natural'. *Psychological Science*, 16(8), 652–658.
89. Rozin, P., Fischler, C., & Shields-Argelès, C. (2012). European and American perspectives on the meaning of natural. *Appetite*, 59(2), 448–455.
90. Rueschhoff, L., Costakis, W., Michie, M., Youngblood, J., & Trice, R. (2016). Additive manufacturing of dense ceramic parts via direct ink writing of aqueous alumina suspensions. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 13, 821e830
91. Savini, A., & Savini, G. G. (2015). A short history of 3D printing, a technological revolution just started. In: *2015 ICOHTEC/IEEE international history of high-technologies and their socio-cultural contexts conference (HIST_{EL}CON)* (pp. 1–8). doi: 10.1109/HIST_{EL}CON.2015.7307314.
92. Sachs, E. M., Haggerty, J. S., Cima, M. J., & Williams, P. A. (1994). Three-dimensional printing techniques. In Google patents.
93. Schmid, M., Amado, F., Levy, G., & Wegener, K. (2013). Flowability of powders for selective laser sintering (SLS) investigated by round robin test. In *High value Manufacturing: Advanced research in virtual and rapid Prototyping: Proceedings of the 6th international conference on advanced research in virtual and rapid prototyping*, Leiria, Portugal, 1-5 October, 2013 (p. 95). CRC Press.
94. Scholderer, J., & Frewer, L. J. (2003). The biotechnology communication paradox: Experimental evidence and the need for a new strategy. *Journal of Consumer Policy*, 26(2), 125–157. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1023695519981>.
95. Severini, C., Derossi, A., Azzolini, D., 2016. Variables affecting the printability of

- foods: preliminary tests on cereal-based products. *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.* 38, 281e291.
96. Severini, C., Derossi, A., 2016. Could the 3D printing technology be a useful strategy to obtain customized nutrition? *J. Clin. Gastroenterol.* 175e178. September 13- 15.
97. Siegrist, M. (2008). Factors influencing public acceptance of innovative food technologies and products. *Trends in Food Science & Technology*, 19(11), 603–608. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2008.01.017>.
98. Siegrist, M., Stampfli, N., & Kastenholz, H. (2009). Acceptance of nanotechnology foods: A conjoint study examining consumers' willingness to buy. *British Food Journal*, 111(7), 660–668. <http://dx.doi.org/10.1108/00070700910972350>.
99. Singleton, S.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16, 144e158.
100. Soares, S., & Forkes, A. (2014). *Insects Au Gratin an investigation into the experiences of developing a 3D printer that uses insect protein based flour as a building medium for the production of sustainable food*. Paper presented at the Proceedings of the 16th International Conference on Engineering and Product Design, University of Twente, the Netherlands.
101. Søndergaard, H. A., Grunert, K. G., & Scholderer, J. (2005). Consumer attitudes to enzymes in food production. *Trends in Food Science & Technology*, 16(10), 466–474. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2005.06.003>.
102. Steptoe, A., Pollard, T. M., & Wardle, J. (1995). Development of a measure of the motives underlying the selection of food: The food choice questionnaire. *Appetite*, 25(3), 267–284. <http://dx.doi.org/10.1006/appe.1995.0061>.
103. Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J. Y. H., Hong, G. S., & Chiu, A. (2015). A review on 3D printing for customized food fabrication. *Procedia Manufacturing*, 1, 308–319. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.057>.
104. Tenbült, P., de Vries, N. K., Dreezens, E., & Martijn, C. (2005). Perceived naturalness and acceptance of genetically modified food. *Appetite*, 45(1), 47-50.
105. Teo, T. (2013). An initial development and validation of a Digital Natives Assessment Scale (DNAS). *Computers & Education*, 67, 51–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.012>.
106. Tomas-Barberan, F.A., Gil, M.I., Cremin, P., Waterhouse, A.L., Hess-Pierce, B., Kader, A.A., 2001. HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *J. Agric. Food*

Chem. 49, 4748e4760.

107. Verbeke, W. (2005). Consumer acceptance of functional foods: Socio-demographic, cognitive and attitudinal determinants. *Food Quality and Preference*, 16(1), 45–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.01.001>.
108. Victor, A. (2015). Food 3D printing starts from the sweet ending. Von Hasseln, K. W. (2013). Apparatus and method for producing a threedimensional food product. In Google patents.
109. Von Hasseln, K. W., Von Hasseln, E. M., & Williams, D. X. (2014). Apparatus and method for producing a three-dimensional food product. In Google patents.
110. Von, H. K. W., Von, H. E. M., Williams, D. X., & Gale, R. R. (2015a). Method for producing a three-dimensional food product. In Google patents.
111. Von, H. K. W., Von, H. E. M., Williams, D. X., & Gale, R. R. (2015b). Procédé de production d'un produit alimentaire en trois dimensions. In Google patents.
112. Wang, J., & Shaw, L. L. (2005). Rheological and extrusion behavior of dental porcelain slurries for rapid prototyping applications. *Materials Science and Engineering: a*, 397, 314e321.
113. Wang, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. (2017). Investigation on fish surimi gel as promising food material for 3D printing. *Journal of Food Engineering*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.029>.
114. Willcocks, N. A., Shastry, A., Collins, T. M., Camporini, A. V., & Suttle, J. M. (2011). High resolution ink-jet printing on edibles and products made. In Google patents.
115. Yang, F., Zhang, M., & Bhandari, B. (2015). Recent development in 3D food printing. *Critical Reviews in Food science and Nutrition*, 00e00.
116. Zhang, M., Vora, A., Han, W., Wojtecki, R. J., Maune, H., Le, A. B. A., et al. (2015). Dualresponsive hydrogels for direct-write 3D printing. *Macromolecules*, 48, 6482e6488.
117. Zhuo, P. (2015). 3D food printer: Development of desktop 3D printing system for food processing.