



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

Τμήμα Γραφιστικής & Οπτικής Επικοινωνίας
Κατεύθυνση Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
3D Εκτύπωση: Έμφαση στις Σύγχρονες Τεχνολογίες

ΕΥΤΥΧΙΔΗΣ ΛΑΖΑΡΟΣ (15019)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΓΑΤΣΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ

Αθήνα 2021

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Α΄ ΜΕΛΟΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Β΄ ΜΕΛΟΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Γ΄ ΜΕΛΟΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Λάζαρος Ευτυχίδης του Σταύρου, με αριθμό μητρώου 15019 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Γραφιστικής του Τμήματος Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών
Λάζαρος Ευτυχίδης

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υπομονή, ανοχή και στήριξη που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την καθηγήτρια κυρία Χρυσούλα Γάτσου για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε με την υποστήριξη, την κατανόηση, την διαφάνεια και τις συμβουλές από τη στιγμή που ξεκίνησα την πτυχιακή μου.

Περίληψη Εργασίας

Η κατανόηση των τεχνολογιών των τρισδιάστατων εκτυπώσεων με αναφορά στην εξέλιξή τους και έμφαση στην εφαρμογή τους στις σύγχρονες τεχνολογίες αποτελεί τον σκοπό της εργασίας. Τα στοιχεία συγκεντρώθηκαν με βιβλιογραφική ανασκόπηση, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και πηγές από το διαδίκτυο. Η ιδέα των 3D εκτυπωτών ξεκίνησε επίσημα με τη δημοσίευση σχετικού άρθρου του Raymond F. Jones, "Tools of the Trade", σε τεύχος του περιοδικού Astounding Science Fiction το 1950. Έπειτα από μερικά χρόνια εμφανίστηκαν οι πρώτες αιτήσεις ευρεσιτεχνίας και η εξέλιξή τους υπήρξε αλματώδης. Σήμερα υπάρχουν περισσότερες από 10 τεχνολογίες 3D εκτύπωσης. Οι προοπτικές είναι τεράστιες τόσο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας όσο και στην εφαρμογή εξειδικευμένων προϊόντων. Υπάρχουν προοπτικές σε εξέλιξη για χρήση των εκτυπώσεων 3D στο διάστημα και σε τρόφιμα. Η υποστήριξη των τεχνολογικά εξελιγμένων βιομηχανικών μοντέλων θα πρέπει να γίνεται από κατάλληλα καταρτισμένο προσωπικό. Η 3D εκτύπωση συντελεί στην εφαρμογή της τρισδιάστατης αποτύπωσης των ιδεών των σχεδιαστών οπτικής επικοινωνίας. Η εργασία είναι δομημένη σε τρεις ενότητες. Στην πρώτη παρουσιάζονται οι τεχνολογίες των 3D εκτυπωτών, στη δεύτερη αναπτύσσεται η ιστορική τους εξέλιξη και στην τρίτη συζητείται η εφαρμογή της 3D εκτύπωσης στην οπτική επικοινωνία.

Λέξεις Κλειδιά

Εκτυπωτές 3D, Fused Deposition Modeling, Στερεολιθογραφία, Filament, Ρητίνη, Bioprinting,

Abstract

The objective of this assignment are to understand of three-dimensional printing, to mention its evolutionary states and to emphasize its modern applications. Information was collected through the process of book reviewing, while internet sources were also used. The idea of 3D printing officially started with the publishing of an article entitled "Tools of the Trade" by Raymond F. Jones in an issue of the magazine Astounding Science Fiction in 1950. After several years the first patent applications are submitted and their rapid evolution followed through since. Today there are more than 10 individual 3D printing technologies. The prospect regarding both the evolution of the technology and its application in specialized products. In fact, the potential to be applied in space and in foods is getting closer to reality day by day. The use of the technology requires highly trained personnel. 3D printing conducts to the application of realization of the ideas the optical communications' designers have. The assignment is divided in three units. On the first unit the 3D printing technologies are listed and presented, on the second unit their historical evolution is elaborated on and on the third unit the subject of the use of 3D printing is expanded.

Keywords

3D printers, Fused Deposition Modeling, Stereolithography, Filament, Resin, Bioprinting.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη Εργασίας.....	5
Λέξεις Κλειδιά.....	5
Πίνακας Εικόνων.....	9
Πίνακας Σχημάτων.....	10
Πίνακας Σχεδιαγραμμάτων.....	10
Κατάλογος Πινάκων.....	11
1. Εισαγωγή.....	12
2. Σκοπός.....	13
3. Ερευνητική Μεθοδολογία.....	13
4. Τεχνολογίες Τρισδιάστατης Εκτύπωσης.....	14
4.1. Είδη αρχείων πληροφοριών τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	14
4.2. Μέθοδοι Εκτύπωσης 3D.....	19
4.2.1. Εξώθηση Υλικού - Material Extrusion.....	19
4.2.1.1. Μοντελοποίηση Συντηγμένης Εναπόθεσης (τήξης) - Fused Deposition Modeling (FDM).....	20
4.2.2. Δεξαμενή Πολυμερισμού - VAT Polymerization.....	21
4.2.2.1. Στερεολιθογραφία - Stereolithography (SLA).....	22
4.2.2.2. Επεξεργασία Ψηφιακού Φωτός - Digital Light Processing (DLP).....	23
4.2.2.3. Στερεολιθογραφία με Μάσκα - Masked Stereolithography (MSLA).....	24
4.2.3. Σύντηξη Στρώσης Πούδρας - Powder Bed Fusion (Πολυμερή).....	25
4.2.3.1. Επιλεκτική Σύντηξη Laser - Selective Laser Sintering (SLS).....	26
4.2.4. Ψεκασμός Υλικού - Material Jetting.....	27
4.2.4.1. Ψεκασμός Υλικού -Material Jetting (MJ).....	28
4.2.4.2. Εναπόθεση κατ' απαίτηση - Drop on Demand (DOD).....	29
4.2.5. Ψεκασμός Συνδετικού Υλικού - Binder Jetting.....	30
4.2.5.1. Ψεκασμός Συνδετικού Υλικού Άμμου - Sand Binder Jetting.....	31
4.2.5.2. Ψεκασμός Συνδετικού Υλικού Μετάλλου - Metal Binder Jetting.....	33
4.2.6. Σύντηξη Στρώσης Πούδρας - Powder Bed Fusion (μέταλλα).....	34
4.2.6.1. Επιλεκτική Τήξη Μετάλλου - Selective Laser Melting (SLM).....	35
4.2.6.2. Τήξη Δέσμης Ηλεκτρονίων - Electron Beam Melting (EBM).....	36
4.2.7. Εκτύπωση Τροφίμων - Food Printing.....	37
4.2.8. Βιοτυπία - Bioprinting.....	40
5. Εξελίξεις της 3D Εκτύπωσης.....	43
5.1. Η Αρχή της 3D Εκτύπωσης.....	43
5.2. Η Εξέλιξη της 3D Εκτύπωσης.....	44
5.4. Το μέλλον της 3D Εκτύπωσης.....	54

6.1. Γενικές Εφαρμογές της 3D Εκτύπωσης	60
6.2. Εφαρμογές της 3D Εκτύπωσης στο Πεδίο των Γραφικών Τεχνών.....	63
6.2.1. Οι 3D Εκτυπώσεις στην Οπτική Επικοινωνία	63
6.2.1.1. Ο Ρόλος της Εφαρμογής Τρισδιάστατων εκτυπώσεων στις Γραφικές Τέχνες	63
6.2.1.2. Γιατί είναι απαραίτητη η οπτική επικοινωνία	63
6.2.1.3. Ο Ρόλος της Εφαρμογής Τρισδιάστατων εκτυπώσεων στις Γραφικές Τέχνες	64
6.2.2. Παραδείγματα Εφαρμογών 3D Εκτυπώσεων στην Οπτική Επικοινωνία	65
6.2.2.1. Η Καλλιτεχνική Πλευρά των 3D Εκτυπώσεων.....	66
6.2.2.2. Οι 3D Εκτυπώσεις στο Οπτικό Μάρκετινγκ	70
6.2.3. Οι Προοπτικές της 3D Εκτύπωσης στην Οπτική Επικοινωνία	74
7. Συμπεράσματα	76
Βιβλιογραφία-Αναφορές	79

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Εκτύπωση 3D πίτσας από την NASA το 2016, πηγή (Carlota 2019)	38
Εικόνα 2: Συνεστιακή μικροσκοπική εικόνα διατομής τρισδιάστατου τυπωμένου, αγγειοποιημένου ιστού πάχους ενός εκατοστού τρισδιάστατου, πηγή (Wyss Institute, 2020).....	41
Εικόνα 3: Σταθμός εκτύπωσης 3D Bioprinter της RegenHU, πηγή (RegenHU, 2020).....	42
Εικόνα 4: Η πατέντα του Hideo Kodama, πηγή (italiantechweek.org. 2020).....	43
Εικόνα 5: Ο πρώτος 3D εκτυπωτής από τον Chuck Hull, πηγή (3DINSIDER, 2020).	44
Εικόνα 6: Το πρώτο εκτυπωμένο προσθετικό άκρο	46
Εικόνα 7: το πρώτο αυτοκίνητο εξ' ολοκλήρου από τον ίδιο εκτυπωτή	46
Εικόνα 8: Το πρώτο εκτυπωμένο τρόφιμο.....	47
Εικόνα 9: Η πρώτη εκτυπωμένη σιαγόνα	48
Εικόνα 10: Ελαστικό εκτυπωμένο οστό, πηγή (BLOKO.GR, 2016).....	49
Εικόνα 11: 3D εκτυπωμένο σπίτι, πηγή (Cowan, 2018).....	49
Εικόνα 12: 3D εκτύπωση μπλοκ αλουμινίου, πηγή (Αγαπητός, 2020)	54
Εικόνα 13: Η Porche και η Mahle συνεργάστηκαν στην εξέλιξη εμβόλων κινητήρα εσωτερικής καύσεως, πηγή (Αγαπητός, 2020), (Παπαλάμπρος, 2020)	55
Εικόνα 14: 3D εκτύπωση προπέλας, πηγή (NAYTIKA XPONIKA, 2018)	56
Εικόνα 15: Ποδηλατικό πόδι με εκτύπωση 3D, πηγή (RehabLine.gr, 2019)	56
Εικόνα 16: Ο αστροναύτης Barry (Butch) Wilmore κρατά στο χέρι του ένα εργαλείο που κατασκευάστηκε στο διάστημα το 2014, πηγή (NASA, 2019)	57
Εικόνα 17: Οι προοπτικές του 3D printing, πηγή (MenOfStyle.gr, 2020)	58
Εικόνα 18: Ο Gilles Azzaro ποζάρει μαζί με το 3D δημιούργημά του, απόσπασμα ομιλίας του Προέδρου των ΗΠΑ B. Obama, πηγή (Azzaro, 2020).....	67
Εικόνα 19: Το 3D μοντέλο του Gilles Azzaro τοποθετημένο στην ειδικά διαμορφωμένη διαδραστική βάση, πηγή (Azzaro, 2020).....	67
Εικόνα 20: Τρισδιάστατη Τυπογραφία Ρητίνης του Richard Ardagh. Photography: Hervé Véronèse. Courtesy of Centre Pompidou	68
Εικόνα 21: Τομή ενός τρικύλινδρου εμβολοφόρου κινητήρα σε μινιατούρα με κινούμενα μέρη, εκτυπωμένου σε 3D, πηγή (Mélanie, 2020)	69
Εικόνα 22: 3D “Print-in-Place”, πηγή (Mélanie 2020).....	69
Εικόνα 23: Το 3D printing project “Mini Me” της Coca Cola στο Ισραήλ, πηγή (Lam, 2013)	71
Εικόνα 24: Στάδια επεξεργασίας και εφαρμογής του 3D printing project της Volkswagen, πηγή (Drupa Redaktion, 2017).....	72

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Material Extrusion, πηγή: (All3DP, 2020).....	20
Σχήμα 2: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της FDM, πηγή: (Serrano, 2017)	21
Σχήμα 3: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου VAT Polymerization, πηγή: (All3DP, 2020)	22
Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου SLA, πηγή: (Biega, 2020)	23
Σχήμα 5: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου DLP, πηγή: (Kadry, 2019)	24
Σχήμα 6: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Masked Stereolithography bottom-up system (αριστερά) and top-down system (δεξιά), πηγή: (Mao, 2019)	25
Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Powder Bed Fusion, πηγή: (All3DP, 2020)	26
Σχήμα 8: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Selective Laser Sintering, πηγή: (MANUFACTUR3D, 2018).....	27
Σχήμα 9: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Material Jetting, πηγή: (All3DP 2020)	28
Σχήμα 10: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Material Jetting, πηγή: (Silbernagel, 2018).....	29
Σχήμα 11: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Drop on Demand, πηγή: (Burgués-Ceballos, 2014).....	30
Σχήμα 12: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Binder Jetting, πηγή: (All3DP, 2020)	31
Σχήμα 13: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Sand Binder Jetting, πηγή: (Alexandrea 2019)	32
Σχήμα 14: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Metal Binder Jetting, πηγή: (Bournias-Varotsis, 2020) 34	
Σχήμα 15: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Metal Powder Bed Fusion, πηγή: (All3DP 2020)	35
Σχήμα 16: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Direct Metal Laser Sintering, πηγή: (Marrey, 2019)	36
Σχήμα 17: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Electron Beam Melting, πηγή: (WHITECLOUDS 2020)	37

Πίνακας Σχεδιαγραμμάτων

Σχεδιάγραμμα 1: Συγκριτικά στοιχεία υλικών 3D εκτυπώσεων για τα έτη 2017 και 2018, πηγή: (Columbus, 2018) 51	
Σχεδιάγραμμα 2: Συγκριτικά στοιχεία τεχνολογιών 3D εκτυπώσεων για τα έτη 2017 και 2018, πηγή : (Columbus, 2018).....	52
Σχεδιάγραμμα 3: Συγκριτικά στοιχεία φινιρίσματος 3D εκτυπώσεων για τα έτη 2017 και 2018, πηγή : (Columbus, 2018).....	52
Σχεδιάγραμμα 4: Συγκριτική απεικόνιση εφαρμογών 3D εκτυπώσεων για τα έτη 2017 και 2018, πηγή: (Columbus, 2018).....	53

Σχεδιάγραμμα 5: Συγκριτική απεικόνιση χρηστών 3D εκτυπώσεων ανά τμήμα για τα έτη 2017 και 2018, πηγή: (Columbus, 2018)53

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Συγκριτικά στοιχεία αποθήκευσης πληροφοριών 3D εκτύπωσης, πηγή: (All3DP, 2020)17

Πίνακας 2: Τεχνολογίες και υλικά 3D εκτύπωσης τροφίμων, πηγή: (FutureBridge, 2020)39

Πίνακας 3: Εφαρμογές και τεχνολογία 3D printing61

1. Εισαγωγή

«Δαιδάλου ποίημα!» Ίσως είναι η πιο χαρακτηριστική φράση για να περιγράψει κάποιος την τρισδιάστατη εκτύπωση! Πρόκειται για ένα τεχνολογικό εγχείρημα που για να δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα συνδυάζει την εφαρμογή πολλών επιστημών και τεχνολογιών! Αυτός είναι και ο λόγος που μας κίνησε το ενδιαφέρον να εστιάσουμε και να ασχοληθούμε σε βάθος με την τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια και έχει σημειώσει αλματώδη πρόοδο. Εντυπωσιακή είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας και των εφαρμογών, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια αφού ξεκίνησε από τη βιομηχανία και μέχρι σήμερα να έχει φτάσει να χρησιμοποιείται από μικρές επιχειρήσεις αλλά να έχει παρουσία ακόμα και σε μερικές οικίες.

Η χρήση 3D εκτυπωτών εξασφαλίζει την βέλτιστη οικονομία χρήσης πρώτων υλών. Πράγμα που είναι πολύ σημαντικό λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι 3D εκτυπωτές μπορούν να επεξεργαστούν ακριβά υλικά όπως ανθρακονήματα και σπάνια ορυκτά μέταλλα όπως το τιτάνιο. Οι εκτυπωτές αυτοί προσφέρουν μοναδικές δυνατότητες δημιουργίας αντικειμένων τα οποία μπορεί να είναι κούφια ή να έχουν περίτεχνο σχήμα. Παρότι δεν υπάρχει ο τέλειος εκτυπωτής που μπορεί να κάνει τα πάντα, υπάρχει αρκετά μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών όπου κάθε μια έχει την δικιά της θέση στην βιομηχανία.

Η εργασία πραγματεύεται την τρισδιάστατη εκτύπωση με έμφαση στις σύγχρονες τεχνολογίες. Για το σκοπό αυτό είναι δομημένη σε ενότητες όπου στην πρώτη συζητούνται οι τεχνολογίες εκτυπωτών τρισδιάστατης εκτύπωσης, στη δεύτερη οι εξελίξεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης και στην τελευταία οι εφαρμογές των 3D εκτυπωτών με έμφαση στο πεδίο των γραφικών τεχνών.

2. Σκοπός

Σκοπό της δοθείσας εργασίας αποτελεί η μελέτη προς κατανόηση των τεχνολογιών των τρισδιάστατων εκτυπώσεων με αναφορά στην εξέλιξή τους και έμφαση στην εφαρμογή τους στις σύγχρονες τεχνολογίες.

3. Ερευνητική Μεθοδολογία

Η ερευνητική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση, δηλαδή μια συλλογή από επιλεγμένες δημοσιευμένες πηγές σχετικές με το θέμα της εργασίας. Οι πηγές για το σύγχρονο πεδίο της 3D εκτύπωσης, εντοπίστηκαν κυρίως σε σχετικά άρθρα του διαδικτύου.

Παρότι μια επιτόπια επίσκεψη σε εγκατεστημένα συστήματα θα εμπλούτιζε την έρευνα με τη δημιουργία ερωτημάτων προς συζήτηση επάνω στην τεχνολογία και την εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης, τούτο δεν κατέστη δυνατό λόγω του περιορισμού κινήσεων που επιβλήθηκαν από τις δράσεις αντιμετώπισης της πανδημίας κατά τη χρονική περίοδο της συγγραφής.

Χρειάστηκε να συγκεντρωθούν και στη συνέχεια να επιλεγθούν τα βασικότερα στα οποία εστίασε αυτή η εργασία, με βάση τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις. Με τον τρόπο αυτό ο αναγνώστης θα είναι σε θέση να κατανοήσει τις τεχνολογίες και το πεδίο εφαρμογής των σημερινών τρισδιάστατων εκτυπωτών.

4. Τεχνολογίες Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

4.1. Είδη αρχείων πληροφοριών τρισδιάστατης εκτύπωσης

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι πριν την εκτύπωση πρέπει να υπάρχει ένα ψηφιακό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό μπορεί να δημιουργηθεί με λογισμικό CAD (Computer Aided Design), με 3D σαρωτή ή με ψηφιακές κάμερες σε συνδυασμό με φωτομετρικό software. Υπάρχουν αρχεία που τα πνευματικά τους δικαιώματα ανήκουν σε εταιρείες που κατασκευάζουν εκτυπωτές, αρχεία που είναι αφιερωμένα στο 3D λογισμικό και αρχεία που δημιουργούν οι τρισδιάστατοι σαρωτές. Από τους δημοφιλέστερους τύπους αρχείων ξεχωρίζουμε (Jakk, 2016):

.stl (Standard Triangle Language/Standard Tessellation Language): Αποτελείται από δεδομένα όψεως (facet data). Πρόκειται για τον πιο κοινό τύπο αρχείου που επικοινωνεί μεταξύ των πιο κοινών αρχείων σχεδιαστικών λογισμικών (CAD) και 3D εκτυπωτών. Δεν αποθηκεύει χρωματισμούς – αφορά μονόχρωμες εκτυπώσεις – ούτε υφή (texture) και έχει τη δομή μιας τριγωνικής αναπαράστασης ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Είναι το “αρχαιότερο” αρχείο που χρησιμοποιείται για αποθήκευση δεδομένων 3D εκτυπώσεων και χρησιμοποιείται από το 1987. Είναι το πιο δημοφιλές και ευέλικτο αρχείο καθώς χρησιμοποιείται ευρέως και απροβλημάτιστα από σχεδόν όλα τα λογισμικά 3D προς εκτύπωση (Chen, 2019).

.obj (Wavefront OBJect): το δεύτερο κατά σειρά δημοφιλές αρχείο που χρησιμοποιείται στις 3D εκτυπώσεις. Χρησιμοποιείται ευρέως καθώς τα περισσότερα λογισμικά 3D έχουν τη δυνατότητα να εξάγουν πληροφορίες σε αυτή τη μορφή. Έχει παρόμοια δομή με το .stl. Αποθηκεύει πληροφορίες μόνο 3D γεωμετρίας, όπως κανονικές κορυφές, γεωμετρικές κορυφές, πολυγωνικές όψεις και συντεταγμένες υφής (Jakk, 2016). Τα .obj αρχεία πρωτοχρησιμοποιήθηκαν από τους σχεδιαστές 3D καθώς ήταν τα πιο κατάλληλα για την διαμεταγωγή των πληροφοριών από 3D σχεδίαση σε 3D εκτύπωση. Τα .obj αποθηκεύουν και στοιχεία για χρώμα, δίνουν τη δυνατότητα σχεδίασης καμπύλων και επιφανειών σε ελεύθερη

μορφή. Χρησιμοποιούνται πιο συχνά στην αεροδιαστημική και στην σχεδίαση αυτοκινήτων (Chen, 2019).

.gcode ή **.g** ή **.gco**: περιέχει πληροφορίες του κώδικα G (G-code data). Τέτοια αρχεία δημιουργούνται καθώς ένα λογισμικό ξεχωρίζει τα επίπεδα που κατασκευάζει ένα λογισμικό 3D και τα μεταφράζει σε τρόπο που μπορεί να αντιληφθεί ένας 3D εκτυπωτής. Παρόμοια αρχεία είναι τα **.x3g** και τα **.s3g**.

.vrmf ή “vermal” ή **.wrl** (Virtual Reality Modelling Language) περιέχουν πληροφορίες όπως τα **.stl** αλλά έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν και πληροφορίες για χρώμα, διαθέτοντας παλέτα UV.

.3mf (3D Manufacturing Format): αρχείο βασισμένο σε φορμάτ XML που δημιουργήθηκε από την Microsoft το 2015 για να συνεργαστούν με τα windows 10. Στη συνέχεια υιοθετήθηκε και από άλλες εταιρείες όπως Autodesk, 3D Systems, EOS, Stratasys, Ultimaker. Σύμφωνα με τον (Chen, 2020) «Έχει στόχο να δημιουργήσει μια απρόσκοπτη και υψηλής ποιότητας εμπειρία εκτύπωσης 3D για καταναλωτές και κατασκευαστές.». Μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει ευρέως αποδεκτό από τους επαγγελματίες χρήστες της 3D εκτύπωσης. Αποθηκεύσει πληροφορίες όπως πλέγμα, υφή, υλικά και χρώματα. Λόγω των χαρακτηριστικών του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύπλοκες εφαρμογές 3D εκτύπωσης.

.x3g (X3G): καταχωρημένο από την Makerbot, αφιερωμένο στα λογισμικά MakerWare και ReplicatorG (WHITECLOUDS, 2020), διαδικό αρχείο στο οποίο αποθηκεύονται επιπλέον πληροφορίες για τον 3D εκτυπωτή, όπως ρυθμίσεις, τότε και με ποια ταχύτητα θα οδηγηθούν τα κινούμενα μέρη του εκτυπωτή, καθώς και γενικότερα στοιχεία που ο 3D εκτυπωτής μπορεί να διαβάσει και να μεταφράσει. Τα **.x3g** αρχεία είναι το διάδοχο σχήμα των **.s3g**.

.amf (Additive Manufacturing File Format): βασίζονται σε XML ανοιχτού κώδικα λογισμικό 3D εκτύπωσης που υποστηρίζει χρώμα και είναι παρόμοιας μορφής με το αρχείο **.stl** αλλά συμπιεσμένο και πιο εξελιγμένο. Βασίζεται στην κωδικοποίηση XML, την οποία η 3D εκτύπωση αδρανεί στην εκμετάλλευσή της. Συνδυάζει πλεονεκτήματα με κυριότερο την ακρίβεια (Chen, 2019).

.fbx (Autodesk Filmbox format): καταχωρημένο από την Autodesk και ανεπτυγμένο από την Kaydara, χρησιμοποιείται για να ανταλλάξει μορφές μεταξύ των προγραμμάτων

λογισμικού της εταιρείας, ενώ προσδίδει και δια-συνεργασία με την 3ds Max, AutoCAD και Maya (WHITECLOUDS, 2020). Η μορφή αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη στην παραγωγή φιλμ και στην ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών επειδή προσφέρει βελτιώσεις στη ροή εργασίας.

.ply: Polygon File Format, είναι τα αρχεία που δημιουργούνται από τους 3D σαρωτές. Αποθηκεύει κορυφές, όψεις και άλλα στοιχεία, όπως λεπτομέρειες χρώματος, διαφάνειας, επιφάνειας και υφής και πολλά άλλα. Όταν το αρχείο πρόκειται να αποσταλεί στον εκτυπωτή, τότε οι πληροφορίες μεταφράζονται σε αρχείο που να μπορεί να αντιληφθεί.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση μεγεθών των πληροφοριών των αρχείων 3D εκτύπωσης σε σχέση με την πληθώρα των πληροφοριών 3D εκτύπωσης που αποθηκεύουν. Συγκριτικά στοιχεία παρουσιάζονται στον *πίνακα 1*.

Συγκριτικός πίνακας κωδικοποίησης δεδομένων αρχείων 3D εκτύπωσης για όγκο δεδομένων ~63.000 τριγωνικών φάσεων, με ταξινόμηση ανά μέγεθος αρχείου				
A/A	Τύπος Αρχείου 3D	Ονοματολογία Αρχείου 3D	Κωδικοποίηση Δεδομένων	Μέγεθος σε MegaBytes
1.	PLY	Polygon File Format	Binary	1.1
2.	X3DB	Extensible 3D Binary	Binary	1.3
3.	OBJ	Wavefront OBJect	ASCII	2.0
4.	PLY	Polygon File Format	ASCII	2.0
5.	X3D	Extensible 3D	ASCII	2.1
6.	VRML	Virtual Reality Modeling Language	ASCII	2.7
7.	STL	Standard Triangle (or Tessellation) Language	Binary	3.0
8.	STL	Standard Triangle (or Tessellation) Language	ASCII	11

Πίνακας 1: Συγκριτικά στοιχεία αποθήκευσης πληροφοριών 3D εκτύπωσης, πηγή: (All3DP, 2020)

Τα 3D μοντέλα τα οποία έχουν δημιουργηθεί με CAD προφανώς εμφανίζουν λιγότερα σφάλματα σε σύγκριση με τα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί με τις άλλες μεθόδους. Όταν

το μοντέλο δεν έχει δημιουργηθεί με CAD πριν την εκκίνηση παραγωγής του θα πρέπει να υποστεί επεξεργασία ώστε να επιδιορθωθούν σφάλματα τα οποία έχουν προκύψει.

Τα αρχεία CAD στα πρώτα χρόνια της επανάστασης των 3D εκτυπωτών αποθηκεύονταν στο Stereolithography File Format (STL), αλλά από το 2011 και μετά άρχισε να επικρατεί η χρήση του Additive Manufacturing File Format (AMF). Το format STL προϋπήρχε του AMF. Τα αρχεία AMF είναι καλύτερα από τα STL επειδή αποθηκεύουν την πληροφορία σε κυρτούς τριγωνισμούς και έτσι δεν χρειάζεται να ελέγξουμε και να επιδιορθώσουμε τυχόν ελαττώματα που θα προκύψουν με τη χρήση αρχείου STL όπως τρύπες, παραμορφώσεις λόγω εσφαλμένης αντίληψης φωτοσκιάσεων, εσφαλμένες αυτοπαρεμβολές, θόρυβος στα μοντέλα λόγω εσφαλμένων συντεταγμένων και χρήση γεωμετριών οι οποίες δεν εφαρμόζουν στην πραγματικότητα (manifold errors).

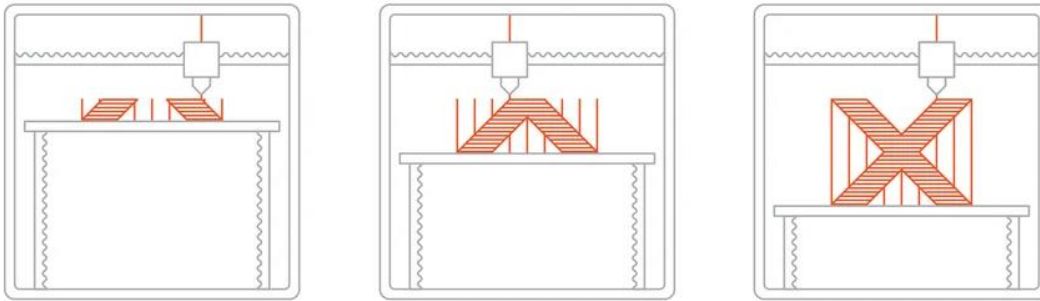
4.2. Μέθοδοι Εκτύπωσης 3D

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι εκτύπωσης 3D και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες. Κάθε κατηγορία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσον αφορά τις ταχύτητες, τα κόστη, την ευελιξία στη χρήση υλικών, τους γεωμετρικούς περιορισμούς και τις μηχανικές και φανερές ιδιότητες των εκτυπωμένων όπως υφή, χρώμα και αντοχή. Αυτές είναι:

4.2.1. Εξώθηση Υλικού - Material Extrusion

Το Material Extrusion είναι μια μέθοδος 3D εκτύπωσης όπου ένα νημάτιο στερεού θερμοπλαστικού υλικού πιέζεται διά μέσου ενός θερμαινόμενου ακροφύσιου με αποτέλεσμα να λιώσει κατά τη διαδικασία αυτή. Ο εκτυπωτής τοποθετεί το προκείμενο υλικό πάνω σε μια πλατφόρμα ακολουθώντας ένα προκαθορισμένο δρομολόγιο. Όταν το υλικό κρυώσει και έπειτα στερεοποιηθεί τότε σχηματίζεται ένα στερεό αντικείμενο. Οι εκτυπωτές τύπου Material Extrusion είναι οι πιο ευρέως διαθέσιμοι και πιο οικονομικοί στην αγορά παγκοσμίως. Είναι γνωστοί ως FDM (Fused Deposition Modeling) και FFF (Fused Filament Fabrication) (All3DP, 2020).

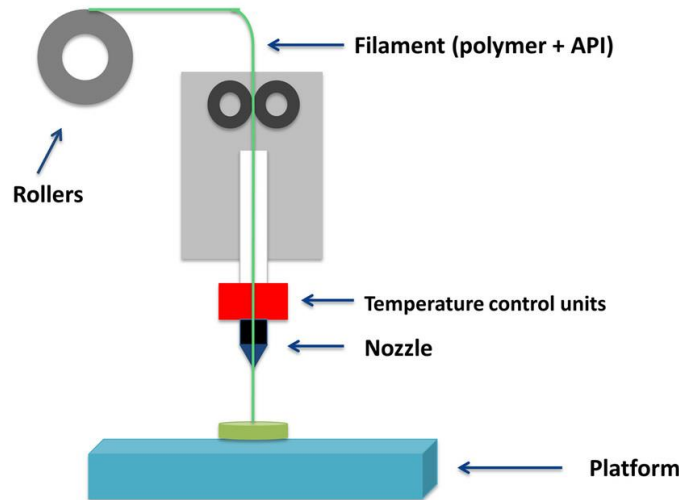
- Τύποι Τεχνολογίας: Fused Deposition Modeling (FDM), μερικές φορές αποκαλείται Fused Filament Fabrication (FFF)
- Εντυπωνόμενα υλικά: Thermoplastic filament (PLA, ABS, PET, PETG, TPU)
- Ακρίβεια: $\pm 0.5\%$ (lower limit ± 0.5 mm)
- Πλεονεκτήματα: Υψηλής ποιότητας επιφάνειες, Έγχρωμες εκτυπώσεις και χρήση πολλαπλών υλικών
- Μειονεκτήματα: Ευθραυστότητα= ακατάλληλη για κατασκευή μηχανικών εξαρτημάτων, Υψηλότερα κόστη από τις SLA και DLP.



Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Material Extrusion, πηγή: (All3DP, 2020)

4.2.1.1. Μοντελοποίηση Συντηγμένης Εναπόθεσης (τήξης) - Fused Deposition Modeling (FDM)

Ο τρόπος λειτουργίας είναι ο εξής: Ένα καρούλι filament τοποθετείται στον εκτυπωτή και τροφοδοτεί διά μέσου ενός ακροφυσίου στην κεφαλή εξώθησης. Το εκτυπωτικό ακροφύσιο έχει προθερμανθεί στην επιθυμητή θερμοκρασία, όπου και ένα μοτέρ σπρώχνει το filament μέσα από αυτό με αποτέλεσμα να λιώνει. Ο εκτυπωτής έπειτα μετακινεί την κεφαλή εξώθησης σύμφωνα με τις καθορισμένες συντεταγμένες τοποθετώντας το λιωμένο υλικό πάνω στην πλατφόρμα κατασκευής όπου ψύχεται και στερεοποιείται. Αφού ολοκληρωθεί ένα επίπεδο, ο εκτυπωτής προχωράει στο επόμενο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η εκτύπωση του επιθυμητού αντικειμένου. Ανάλογα με την γεωμετρία του μοντέλου προσθέτονται στηρίγματα όπου χρειάζεται (Serrano, 2017).

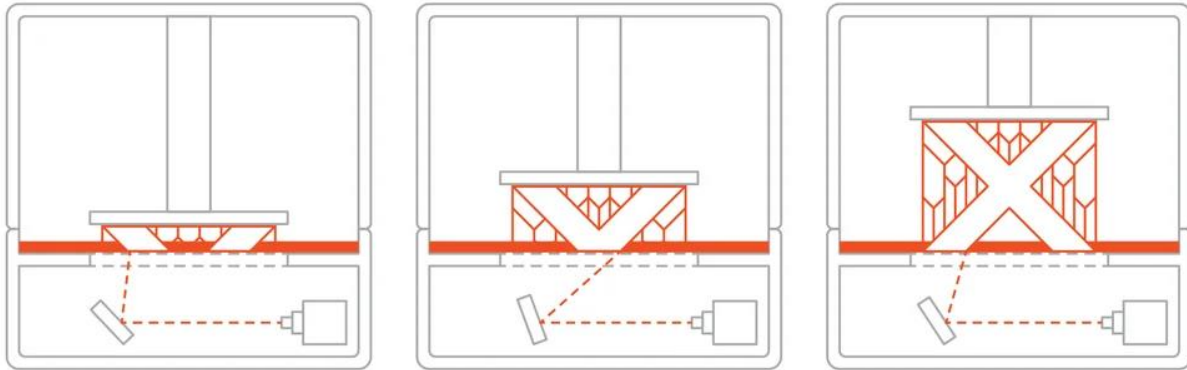


Σχήμα 2: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της FDM, πηγή: (Serrano, 2017)

4.2.2. Δεξαμενή Πολυμερισμού - VAT Polymerization

Το VAT Polymerization είναι μια διαδικασία 3D εκτύπωσης όπου ένας πομπός φωτός επιλεκτικά στερεοποιεί μία φωτοπολυμερική ρητίνη μέσα σε ένα δοχείο (vat). Οι δύο πιο γνωστές μορφές της VAT Polymerization είναι η Stereolithography (SLA) και η Digital Light Processing (DLP). Η μόνη τους διαφορά είναι οι αρχές λειτουργίας. Οι εκτυπωτές SLA χρησιμοποιούν Laser ενώ οι DLP χρησιμοποιούν Voxel (All3DP, 2020).

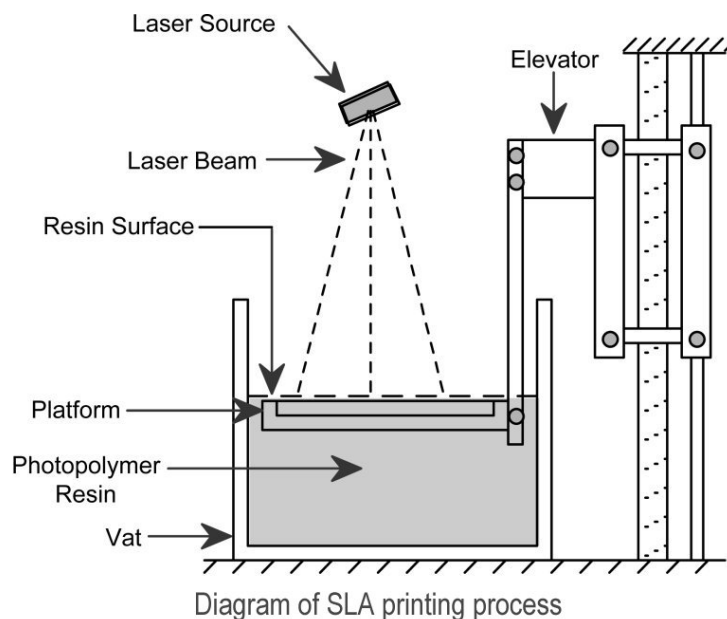
- Τύποι Τεχνολογίας: Stereolithography (SLA), Masked Stereolithography (MSLA), Direct Light Processing (DLP)
- Εντυπωνόμενα υλικά: Φωτοπολυμερική ρητίνη (Standard, Castable, Transparent, High Temperature)
- Ακρίβεια: $\pm 0.5\%$ (lower limit ± 0.15 mm)
- Πλεονεκτήματα: Λείες επιφάνειες, Υψηλή ευκρίνεια
- Μειονεκτήματα: Ευθραυστότητα= ακατάλληλη για κατασκευή μηχανικών εξαρτημάτων



Σχήμα 3: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου VAT Polymerization, πηγή: (All3DP, 2020)

4.2.2.1. Στερεολιθογραφία - Stereolithography (SLA)

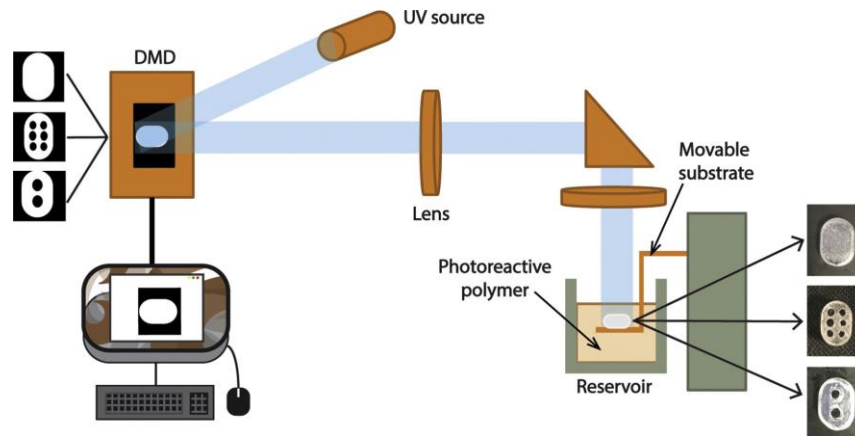
Η SLA κοσμείται με τον χαρακτηρισμό της πρώτης 3D εκτυπωτικής τεχνολογίας. Ο εκτυπωτής SLA χρησιμοποιεί δύο καθρέπτες, γνωστούς ως γαλβανόμετρα ή galvos. Το ένα είναι τοποθετημένο στον άξονα X και το άλλο στον Y. Τα galvos σημαδεύουν ταχεία μία ακτίνα Laser η οποία διασχίζει ένα δοχείο που περιέχει ρητίνη και έτσι επιλεκτικά σκληραίνουν και στερεοποιούν ένα διασταυρωτικό τμήμα μέσα σε αυτή, χτίζοντας το αντικείμενο στρώμα-στρώμα. Οι περισσότεροι SLA εκτυπωτές χρησιμοποιούν lasers και αυτό έχει το μειονέκτημα ότι παίρνει παραπάνω χρόνο να εντοπιστεί το διασταυρωτικό τμήμα του αντικειμένου σε σύγκριση με την DLP (Biega, 2020).



Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου SLA, πηγή: (Biega, 2020)

4.2.2.2. Επεξεργασία Ψηφιακού Φωτός - Digital Light Processing (DLP)

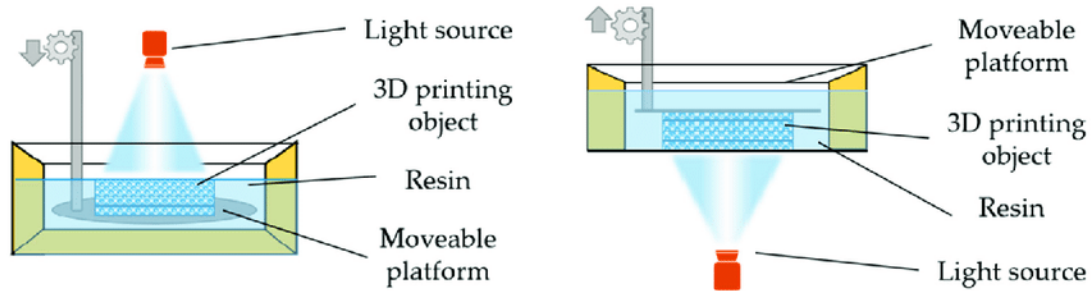
Η κύρια διαφορά μεταξύ των εκτυπωτών DLP και SLA είναι ότι οι DLP χρησιμοποιούν ένα ψηφιακό προβολέα φωτός για να φωτίσουν ένα είδωλο για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα ένα στρώμα τη φορά ή πολλαπλές γρήγορες λάμπεις για μεγαλύτερα τμήματα. Επειδή ο προβολέας είναι μία ψηφιακή οθόνη, η εικόνα του κάθε στρώματος συντίθεται από τετράγωνα pixels με αποτέλεσμα ένα στρώμα να δημιουργείται από μικρούς κύβους που ονομάζονται voxels. Voxels ονομάζονται τα pixels στον τρισδιάστατο χώρο. Η DLP μπορεί να κατορθώσει μεγαλύτερες ταχύτητες εκτύπωσης σε σύγκριση με την SLA. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε στρώμα εκτίθεται στο φως εξ' ολοκλήρου. Στην DLP το φως προβάλλεται στην ρητίνη χρησιμοποιώντας LED οθόνες ή υπεριώδους ακτινοβολίας - UV (Ultra Violet) λάμπες. Η ακτινοβολία κατευθύνεται στην επιθυμητή επιφάνεια από την Digital Micromirror Device (DMD). Η DMD είναι μία σειρά από μικροσκοπικούς καθρέπτες που ελέγχουν που θα προσπέσει το φως και δημιουργούν ένα μοτίβο φωτός πάνω στην επιφάνεια εκτύπωσης (Kadry et al, 2019).



Σχήμα 5: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου DLP, πηγή: (Kadry, 2019)

4.2.2.3. Στερεολιθογραφία με Μάσκα - Masked Stereolithography (MSLA)

Η MSLA χρησιμοποιεί μία σειρά LED ως πομπό φωτός, για να εκπέμψει UV φως διά μέσου μιας LCD οθόνης η οποία επιδεικνύει μονό στρώμα ως μάσκα. Όπως και στην DLP η φωτομάσκα της LCD είναι ψηφιακά απεικονιζόμενη και αποτελείται από Pixels. Το μέγεθος των pixel της φωτομάσκας LCD καθορίζει την ανάλυση της εκτύπωσης. Έτσι, η ακρίβεια XY είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από το πόσο καλά μπορεί να γίνει το ζουμ/κλίμακα του φακού, όπως συμβαίνει με την DLP. Άλλη μία διαφορά μεταξύ των εκτυπωτών DLP και MSLA είναι ότι στην MSLA χρησιμοποιείται μία σειρά από εκατοντάδες πομπούς ενώ η DLP χρησιμοποιεί πομπούς που μπορούν να σημαδέψουν μόνο ένα σημείο όπως το Laser ή η λάμπα DLP. Η MSLA μπορεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες να καταφέρει ταχύτερες εκτυπώσεις σε σύγκριση με την SLA και την DLP. Λόγω του χαμηλού κόστους των LCD οθονών η MSLA έχει γίνει η πρώτη επιλογή όσον αφορά τον τομέα επιτραπέζιων εκτυπωτών ρητίνης χαμηλού κόστους (Mao, 2019).

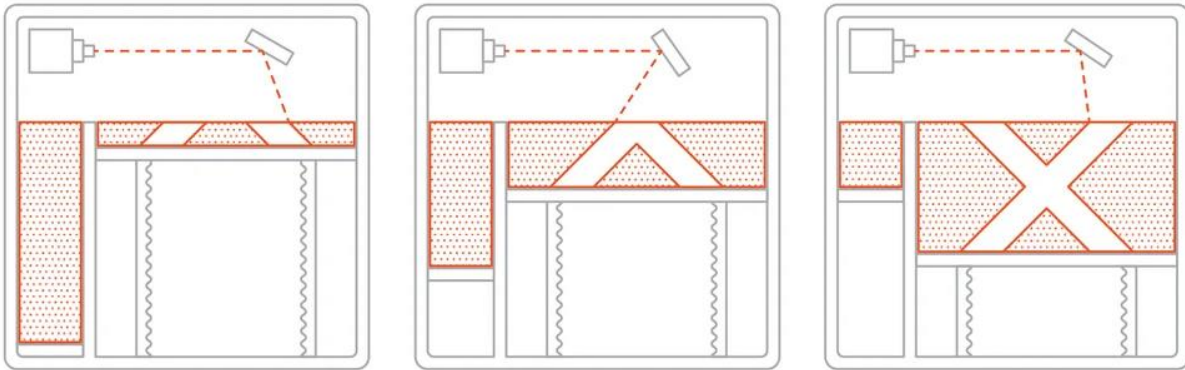


Σχήμα 6: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Masked Stereolithography bottom-up system (αριστερά) and top-down system (δεξιά), πηγή: (Mao, 2019)

4.2.3. Σύντηξη Στρώσης Πούδρας - Powder Bed Fusion (Πολυμερή)

Το Powder Bed Fusion είναι μια 3D εκτυπωτική διαδικασία όπου μία πηγή θερμικής ενέργειας επιλεκτικά προκαλεί σύντηξη μεταξύ σωματιδίων πούδρας μέσα στην περιοχή χτισίματος για να δημιουργηθεί ένα στερεό αντικείμενο. Πολλοί Powder Bed Fusion εκτυπωτές έχουν επίσης έναν μηχανισμό ο οποίος εφαρμόζει μια ποσότητα πούδρας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της κατασκευής. Ως αποτέλεσμα το τελικό αντικείμενο είναι καλυμμένο και δομικά υποστηριζόμενο από την πούδρα που δεν χρησιμοποιείται (All3DP, 2020).

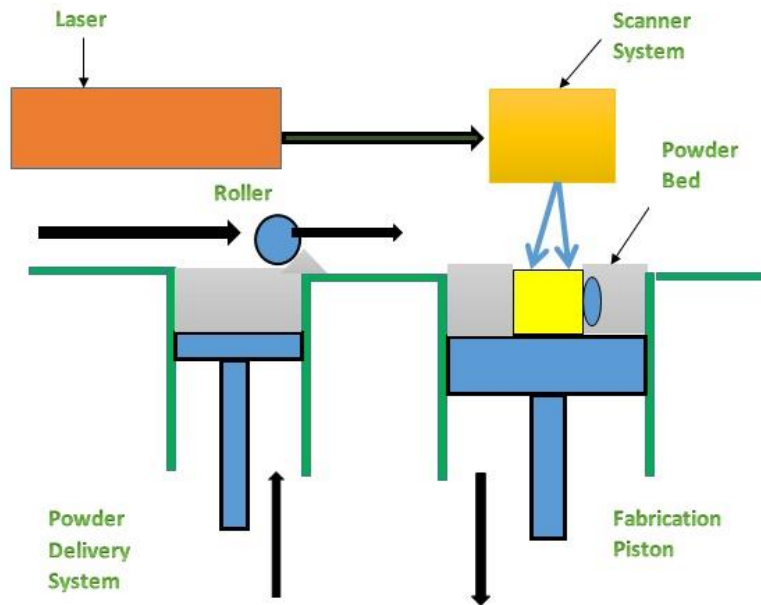
- Τύποι Τεχνολογίας: Selective Laser Sintering (SLS)
- Εντυπωνόμενα υλικά: Θερμοπλαστική πούδρα (Nylon 6, Nylon 11, Nylon 12)
- Ακρίβεια: $\pm 0.3\%$ (lower limit ± 0.3 mm)
- Πλεονεκτήματα: λειτουργικά προϊόντα, άριστες μηχανικές ιδιότητες, πολύπλοκες γεωμετρίες
- Μειονεκτήματα: αργότερες ταχύτητες παραγωγής, υψηλότερο κόστος από την FFF



Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Powder Bed Fusion, πηγή: (All3DP, 2020)

4.2.3.1. Επιλεκτική Σύντηξη Laser - Selective Laser Sintering (SLS)

Selective Laser Sintering (SLS) ονομάζεται η δημιουργία ενός αντικειμένου με τη χρήση της τεχνολογίας Powder Bed Fusion και πολυμερικής πούδρας. Αρχικά, ένα δοχείο με πολυμερή πούδρα θερμαίνεται σε θερμοκρασία ελαφρώς χαμηλότερη από το σημείο τήξης του. Έπειτα μία λεπίδα απάλειψης εναποθέτει ένα πολύ λεπτό στρώμα του πουδραρισμένου πολυμερούς υλικού (πάχους 0,2mm) επάνω στην πλατφόρμα. Μία ακτίνα Laser CO₂ ξεκινάει και σκανάρει την επιφάνεια. Το Laser φρύγει επιλεκτικά την πούδρα και στερεοποιεί μία διατομή του αντικειμένου. Όπως ακριβώς και στην SLA το Laser εστιάζεται στην κατάλληλη τοποθεσία από ένα ζεύγος galvos. Όταν ολόκληρη η διατομή σκαναριστεί, η πλατφόρμα θα μετακινηθεί ένα βήμα πιο κάτω σε ύψος, το οποίο ισούται με το πάχος της στρώσης πούδρας. Η λεπίδα επίστρωσης εναποθέτει ένα φρέσκο στρώμα πούδρας πάνω από το στρώμα που έχει πρόσφατα σκαναριστεί και το Laser φρύγει την επόμενη διατομή του αντικειμένου επάνω στις προηγουμένως στερεοποιημένες διατομές. Αυτά τα βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι το επιθυμητό αντικείμενο να κατασκευαστεί ολοκληρωτικά. Η πούδρα που δεν έχει τηχθεί παραμένει στη θέση της προκειμένου να παρέχει στήριξη στο αντικείμενο. Για αυτό το λόγο δεν χρειάζονται στηρίγματα για το αντικείμενο (MANIFACTUR3D, 2018).



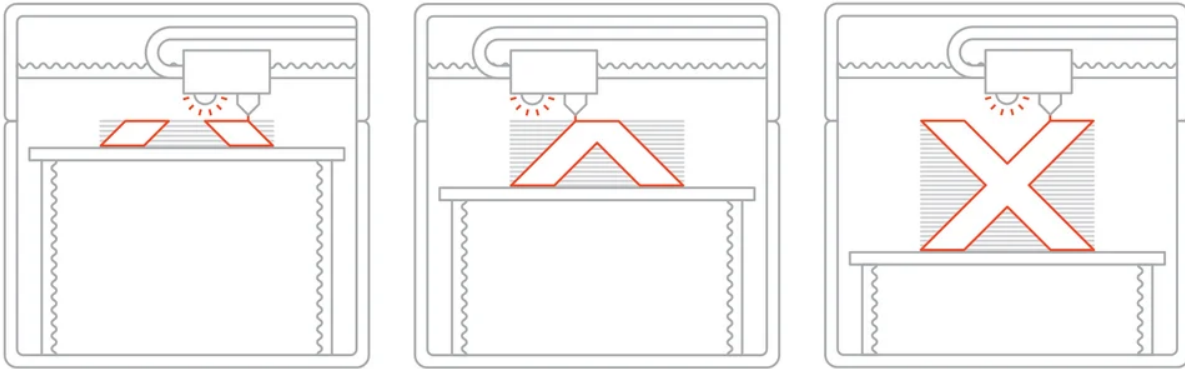
Σχήμα 8: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Selective Laser Sintering, πηγή: (MANIFACTUR3D, 2018)

4.2.4. Ψεκασμός Υλικού - Material Jetting

Το Material Jetting είναι μια 3D εκτυπωτική διαδικασία όπου σταγονίδια ενός υλικού καταθέτονται επιλεκτικά και στερεοποιούνται σε μία πλατφόρμα. Τα αντικείμενα χτίζονται σε σταδιακά επίπεδα χρησιμοποιώντας σταγονίδια φωτοπολυμερικών ή κεριού τα οποία στερεοποιούνται όταν εκτεθούν στο φως. Η φύση της εκτύπωσης με Material Jetting επιτρέπει διαφορετικά είδη υλικών να εκτυπωθούν στο ίδιο αντικείμενο (All3DP, 2020).

- Τύποι Τεχνολογίας: Material Jetting (MJ), Drop on Demand (DOD)
- Εντυπωνόμενα υλικά: Φωτοπολυμερική ρητίνη (Standard, Castable, Transparent, High Temperature)
- Ακρίβεια: ± 0.1 mm
- Πλεονεκτήματα: άριστο φινίρισμα επιφανειών; έγχρωμη εκτύπωση πολλαπλών υλικών

- Μειονεκτήματα: Ευθραυστότητα= ακατάλληλη για κατασκευή μηχανικών εξαρτημάτων, Υψηλότερο κόστος από SLA/DLP

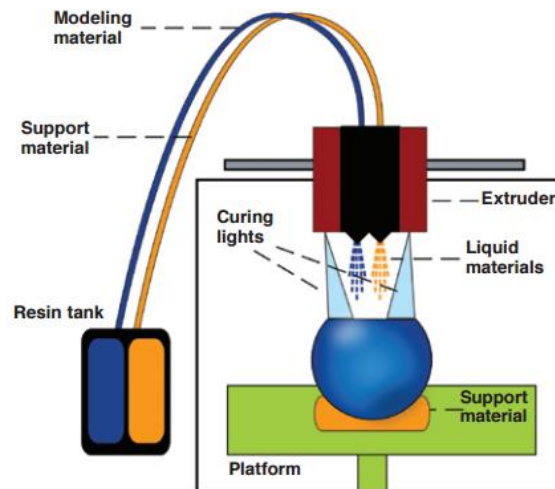


Σχήμα 9: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Material Jetting, πηγή: (All3DP 2020)

4.2.4.1. Ψεκασμός Υλικού -Material Jetting (MJ)

Το Material Jetting (MJ) λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με αυτό των εκτυπωτών Inkjet. Η κύρια διαφορά είναι ότι αντί να εκτυπώνει μία στρώση μελανιού, εκτυπώνονται πολλές στρώσεις η μία επάνω από την άλλη προκειμένου να δημιουργήσουν ένα στερεό αντικείμενο. Η εκτυπωτική κεφαλή εκτοξεύει με πίεση εκατοντάδες μικροσκοπικά σταγονίδια φωτοπολυμερών και έπειτα τα στερεοποιεί χρησιμοποιώντας UV ακτινοβολία. Αφότου ένα στρώμα προστεθεί και στερεοποιηθεί η πλατφόρμα χαμηλώνει σε διαδρομή όσο και το πάχος του στρώματος και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί το αντικείμενο. Οι MJ είναι διαφορετική από τους άλλους τρεις τύπους εκτυπωτών που προσθέτουν, φρύγουν ή στερεοποιούν το υλικό χρησιμοποιώντας εναπόθεση σημείου. Αντί να χρησιμοποιεί ένα σημείο για να ακολουθήσει ένα μονοπάτι που περιβάλλει την περιοχή διατομής ενός στρώματος, οι μηχανές MJ εναποθέτουν το υλικό σε στιγμιαίο, γραμμικό τρόπο. Το πλεονέκτημα της γραμμικής εναπόθεσης είναι ότι οι MJ εκτυπωτές μπορούν να κατασκευάσουν πολλαπλά αντικείμενα γραμμικά χωρίς να επηρεάσουν την ταχύτητα κατασκευής. Όσο τα μοντέλα να είναι σωστά ταξινομημένα και οι αποστάσεις τους να είναι

βέλτιστες, οι MJ μπορούν να παράγουν αντικείμενα σε υψηλότερες ταχύτητες από τους άλλου είδους εκτυπωτές. Τα αντικείμενα που κατασκευάζονται με MJ χρειάζονται στηρίγματα τα οποία εκτυπώνονται ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια κατασκευής από διαλυτό υλικό το οποίο έπειτα αφαιρείται αφότου τελειώσει η εκτύπωση. Οι MJ είναι η μοναδική κατηγορία εκτυπωτών που μπορούν να εκτυπώσουν αντικείμενα τα οποία έχουν και διαφορετικά υλικά και διαφορετικά χρώματα (Silbernagel, 2018).

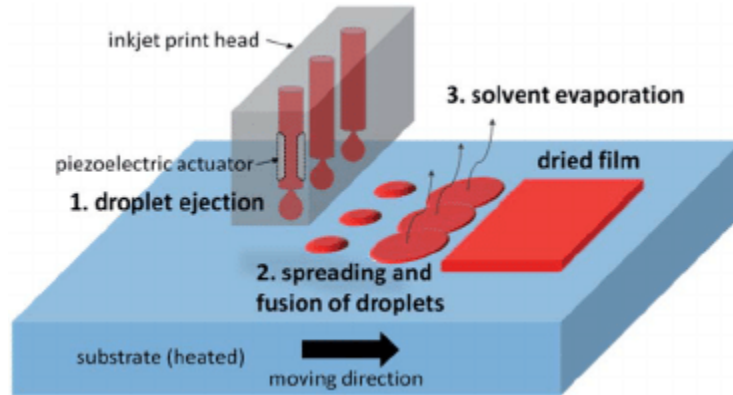


Σχήμα 10: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Material Jetting, πηγή: (Silbernagel, 2018)

4.2.4.2. Εναπόθεση κατ' απαίτηση - Drop on Demand (DOD)

Η τεχνολογία DOD χρησιμοποιεί ένα ζευγάρι εκτυπωτών Inkjet. Ο ένας εναποθέτει τα δομικά υλικά τα οποία συνήθως έχουν μορφή παρόμοια με κεριού και ο δεύτερος εναποθέτει διαλυτά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή στηριγμάτων. Όπως και άλλοι εκτυπωτές, οι DOD ακολουθούν προκαθορισμένο μονοπάτι για να εκτοξεύσουν με πίεση υλικό με γραμμική εναπόθεση χρησιμοποιώντας την περιοχή διατομής ενός αντικειμένου στρώμα ανά στρώμα. Οι εκτυπωτές DOD χρησιμοποιούν επίσης μαχαίρι τόννου το οποίο λειαίνει την περιοχή εκτύπωσης μετά από κάθε εναπόθεση στρώματος, εξασφαλίζοντας το λείο της

επιφάνειας στο βέλτιστο πριν την επόμενη εναπόθεση. Οι εκτυπωτές DOD χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν πρότυπα για δημιουργία καλουπιών (Burgués-Ceballos, 2014).



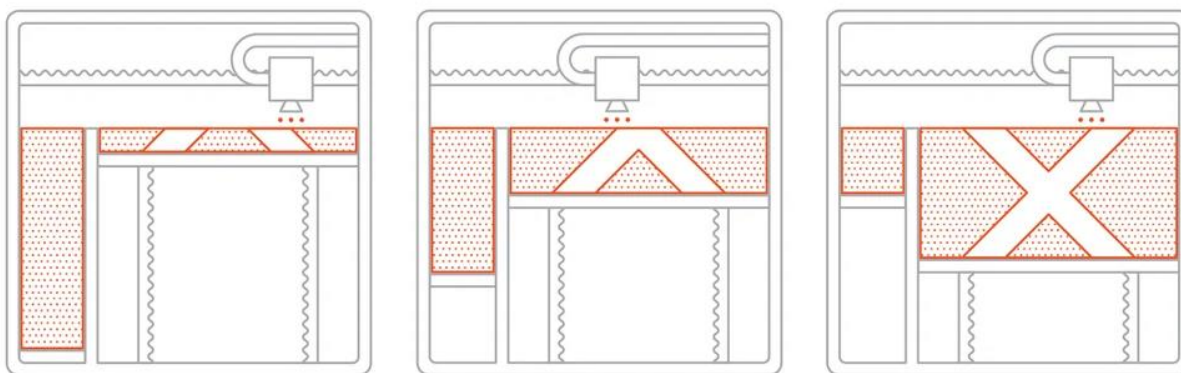
Σχήμα 11: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Drop on Demand, πηγή: (Burgués-Ceballos, 2014)

4.2.5. Ψεκασμός Συνδετικού Υλικού - Binder Jetting

Το Binder Jetting είναι μία 3D εκτυπωτική διαδικασία όπου ένας παράγοντας ένωσης υγρών επιλεκτικά δεσμεύει περιοχές ενός στρώματος πούδρας. Το Binder Jetting είναι παρόμοιο με την SLS αφού και τα δύο απαιτούν ένα αρχικό στρώμα πούδρας στην πλατφόρμα κατασκευής. Αλλά σε αντίθεση με το SLS το οποίο χρησιμοποιεί Laser για να συμπύξει την πούδρα το Binder Jetting μετακινεί την εκτυπωτική κεφαλή πάνω από την επιφάνεια της πούδρας τοποθετώντας σταγονίδια συνδετικού υλικού. Τα σταγονίδια αυτά έχουν συνήθως διάμετρο 80 μικρόμετρα και συνδέουν τα σωματίδια πούδρας μεταξύ τους ώστε να δημιουργήσουν κάθε στρώμα του τελικού αντικειμένου. Αφού ολοκληρωθεί ένα στρώμα η βάση της πούδρας χαμηλώνει και έτσι η πούδρα απλώνεται πάνω σε όλη την πρόσφατα εκτυπωμένη επιφάνεια. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η εκτύπωση. Έπειτα το αντικείμενο παραμένει στην πούδρα για να σκληρύνει και να αποκτήσει ανοχές και αργότερα

όταν αφαιρεθεί το αντικείμενο από τον εκτυπωτή ψεκάζεται με συμπιεσμένο αέρα προκειμένου να αφαιρεθεί η περιττή πούδρα που το επικαλύπτει (All3DP, 2020).

- Τύποι Τεχνολογίας: Binder Jetting (BJ)
- Εντυπωνόμενα υλικά: πούδρα άμμου ή μετάλλων, έγχρωμη άμμος, Silicia (υποκατάστατο άμμου)
- Ακρίβεια: ± 0.2 mm (metal) or ± 0.3 mm (sand)
- Πλεονεκτήματα: χαμηλό κόστος, μαζική παραγωγή, μηχανική ανοχή
- Μειονεκτήματα: οι μηχανικές ιδιότητες δεν είναι τόσο καλές όσο της powder bed fusion

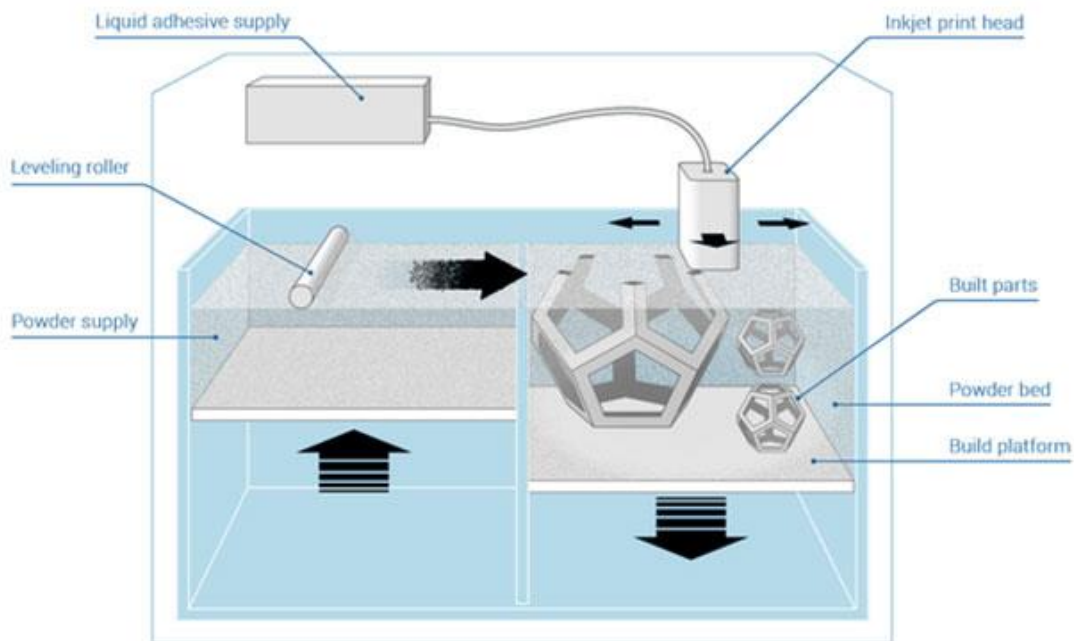


Σχήμα 12: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Binder Jetting, πηγή: (All3DP, 2020)

4.2.5.1. Ψεκασμός Συνδετικού Υλικού Άμμου - Sand Binder Jetting

Οι συσκευές Sand Binder Jetting είναι χαμηλού κόστους εκτυπωτές για την παραγωγή αντικειμένων από άμμο. Τα έγχρωμα προϊόντα κατασκευάζονται με τη χρήση γύψινων ή από πλέξιγκλας (PMMA) πούδρας σε συνδυασμό με συνδετική ουσία. Η εκτυπωτική κεφαλή εκτοξεύει με πίεση την ενοποιητική ουσία ενώ παράλληλα μία δεύτερη εκτυπωτική κεφαλή εκτοξεύει χρώμα με αποτέλεσμα να υπάρχει δυνατότητα εκτύπωσης έγχρωμων μοντέλων. Όταν στερεοποιηθεί το αντικείμενο, αφαιρείται από την περιβαλλόμενη μη στερεοποιημένη πούδρα και καθαρίζεται από αυτήν, προκειμένου να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητες των

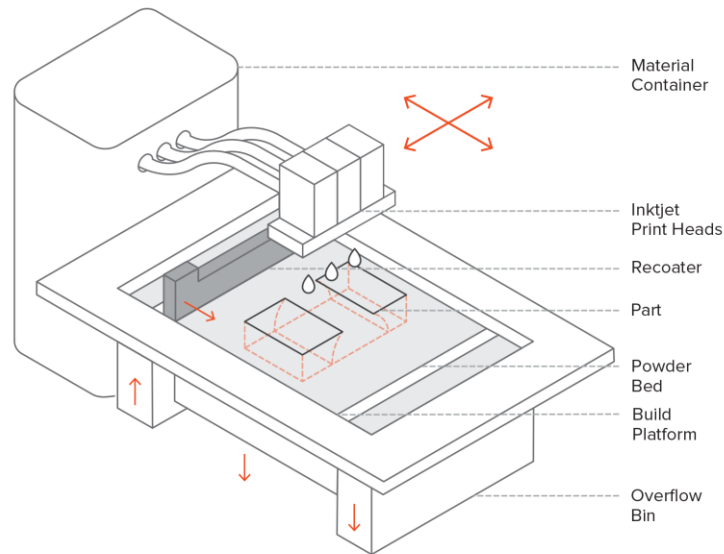
αντικειμένων εκθέτονται σε διεισδυτικό υλικό. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία διεισδυτικών υλικών διαθέσιμη, όπου καθένα από αυτά έχει διαφορετικές ιδιότητες να προσφέρει. Υπάρχουν επίσης επικαλύψεις οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν την ζωντάνια των χρωμάτων. Το Binder Jetting είναι χρήσιμο και για την κατασκευή καλουπιών από άμμο. Τα περισσότερα καλούπια εκτυπώνονται με άμμο, αλλά υπάρχουν και καλούπια που φτιάχνονται από τεχνητή άμμο (silica) τα οποία χρησιμοποιούνται για πιο συγκεκριμένες εφαρμογές. Μετά την εκτύπωση τα καλούπια αφαιρούνται από τη μηχανή και καθαρίζονται προκειμένου να απομακρυνθεί η μη στερεοποιημένη άμμος. Τα καλούπια συνήθως είναι κατευθείαν έτοιμα να χρησιμοποιηθούν. Μετά τη χύτευση το καλούπι αφαιρείται και αποκαλύπτεται το παράγωγο. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα της παραγωγής καλουπιών από άμμο με Binder Jetting αποτελούν οι μεγάλες και πολύπλοκες γεωμετρίες τις οποίες μπορεί η διαδικασία αυτή να παράξει με σχετικά χαμηλό κόστος. Επιπλέον η διαδικασία αυτή είναι πολύ εύκολο να ενσωματωθεί σε ήδη υπάρχουσες κατασκευαστικές διαδικασίες χωρίς ιδιαίτερη ταλαιπωρία (Alexandrea, 2019).



Σχήμα 13: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Sand Binder Jetting, πηγή: (Alexandrea 2019)

4.2.5.2. Ψεκασμός Συνδετικού Υλικού Μετάλλου - Metal Binder Jetting

Το Binder Jetting μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μεταλλικών αντικειμένων. Σε αυτή την περίπτωση μεταλλική σκόνη ενοποιείται με τη χρήση πολυμερούς δεσμευτικής ουσίας. Η παραγωγή μεταλλικών αντικειμένων με τη χρήση Binder Jetting επιτρέπει τη παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών. Έχει πολύ περισσότερες δυνατότητες από τις συμβατικές κατασκευαστικές τεχνικές. Τα λειτουργικά μεταλλικά αντικείμενα που απαιτούνται να έχουν ορισμένες προδιαγραφές και δημιουργούνται με αυτή τη μέθοδο, θα πρέπει να υποστούν δευτερεύουσα επεξεργασία προκειμένου να αποκτήσουν τις αντοχές αυτές. Το λειτουργικό κόστος της κατασκευής καθορίζει εάν θα χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία Binder Jetting ή ο κλασικός τρόπος παραγωγής. Κατά την δευτερεύουσα αυτή διαδικασία, το εκτυπωμένο αντικείμενο μπαίνει σε φούρνο και ψήνεται με αποτέλεσμα να εξουθενωθεί η συνδετική ουσία και έτσι το αντικείμενο να διατηρήσει 60% πυκνότητα με κενά αέρος. Έπειτα χύνεται μπρούντζος ο οποίος γεμίζει τα κενά με αποτέλεσμα να προκύψει ένα αντικείμενο με 90% πυκνότητα και καλλίτερες αντοχές από το αρχικό. Γενικά όμως τα μεταλλικά αντικείμενα που προκύπτουν από το Binder Jetting έχουν υποδεέστερες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με τα μηχανικά αντικείμενα που φτιάχνονται με τη χρήση Power Bed Fusion. Μια άλλη δευτερεύουσα επεξεργασία που μπορεί να εφαρμοστεί είναι η διαδικασία σύντηξης η οποία εκτελείται ως εξής: το αντικείμενο όταν είναι ακόμη σε πρώιμη κατάσταση δηλαδή δεν έχει σκληρύνει πλήρως, τοποθετείται σε ένα φούρνο όπου και συντήκεται μέχρι να αποκτήσει πυκνότητα 97%. Το αρνητικό αυτής της δευτερεύουσας διαδικασίας είναι ότι το τελικό προϊόν δεν έχει ομοιόμορφη πυκνότητα (AII3DP, 2020).



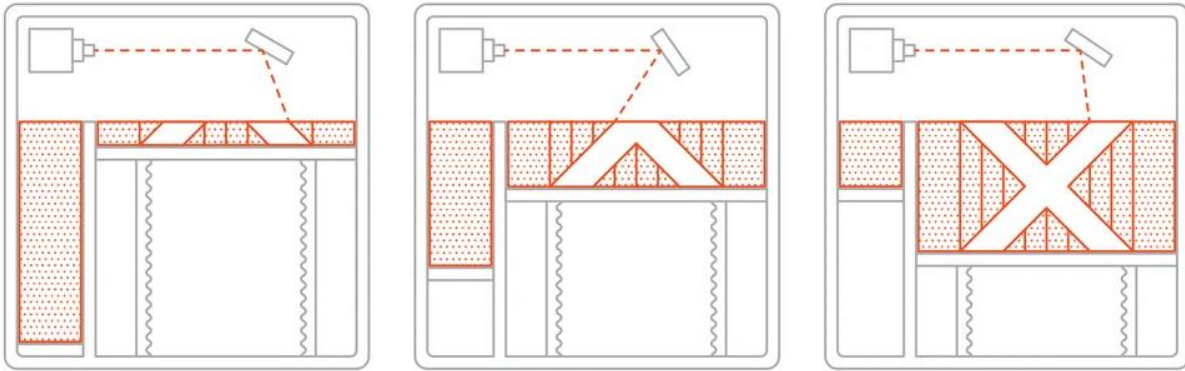
Σχήμα 14: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Metal Binder Jetting, πηγή: (Bournias-Varotsis, 2020)

4.2.6. Σύντηξη Στρώσης Πούδρας - Powder Bed Fusion (μέταλλα)

Το Metal Powder Bed Fusion είναι μια 3D εκτυπωτική διαδικασία η οποία παρασκευάζει στερεά αντικείμενα χρησιμοποιώντας μία πηγή θερμότητας για να προκαλέσει σύντηξη μεταξύ σωματιδίων μεταλλικής πούδρας σταδιακά ένα προς ένα. Ισχύει και εδώ ότι το αντικείμενο καταλήγει σκεπασμένο από μεταλλική πούδρα, η οποία αφαιρείται με τον ίδιο τρόπο. Η κυριότερη διαφορά μεταξύ παραλλαγών των Powder Bed Fusion εκτυπωτών είναι η χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας όπως Lasers και δέσμες ηλεκτρονίων (All3DP, 2020).

- Τύποι Τεχνολογίας: Direct Metal Laser Sintering (DMLS); Selective Laser Melting (SLM); Electron Beam Melting (EBM)
- Εντυπωνόμενα υλικά: μεταλλική πούδρα (αλουμινίου, ανοξείδωτου ατσάλιου, τιτανίου)
- Ακρίβεια: ± 0.1 mm

- Πλεονεκτήματα: τα δυνατότερα αντικείμενα που μπορούν να εκτυπωθούν, μηχανικές ιδιότητες, πολύπλοκα σχήματα
- Μειονεκτήματα: μικρά μεγέθη εκτύπωσης, ακριβότερη τεχνολογία από όλες

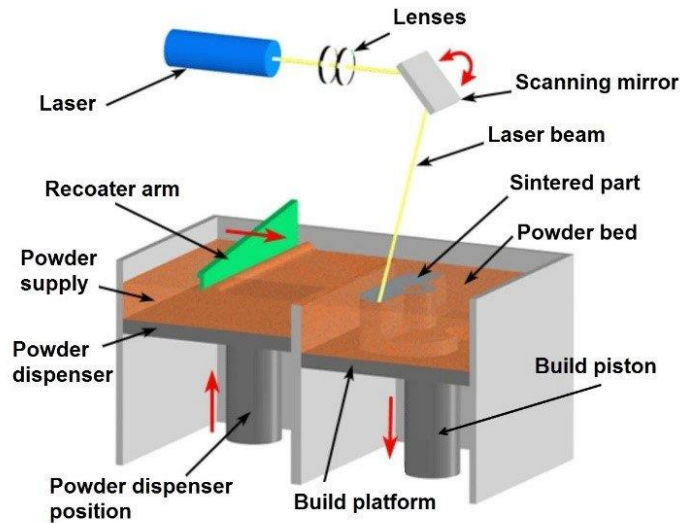


Σχήμα 15: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Metal Powder Bed Fusion, πηγή: (All3DP 2020)

4.2.6.1. Επιλεκτική Τήξη Μετάλλου - Selective Laser Melting (SLM)

Η DMLS και η SLM παράγουν αντικείμενα με παρόμοιο τρόπο με την SLS. Η κύρια διαφορά είναι ότι αυτοί οι τύποι εκτύπωσης εφαρμόζονται στην παραγωγή μεταλλικών εξαρτημάτων. Η DMLS που δεν λιώνει την πούδρα αλλά τη θερμαίνει μέχρι ένα σημείο έτσι ώστε να μπορεί να συντηχτεί σε μοριακό επίπεδο. Η SLM χρησιμοποιεί Laser για να κατορθώσει ολοκληρωτικό λιώσιμο της μεταλλικής πούδρας και έτσι σχηματίζει ένα ομογενές αντικείμενο. Ως αποτέλεσμα το αντικείμενο έχει μια μοναδική θερμοκρασία τήξης. Άρα λοιπόν η κύρια διαφορά μεταξύ της DMLS και της SLM είναι ότι η DMLS παράγει αντικείμενα από ποικιλία μεταλλικών κραμάτων όπως αλουμίνιο ενώ η SLM από μη επεξεργασμένα μέταλλα όπως τιτάνιο. Σε αντίθεση με την SLS η DMLS και η SLM απαιτούν στηρίγματα στην κατασκευή τους προκειμένου να περιορίσουν την πιθανότητα οποιασδήποτε παραμόρφωσης που μπορεί να προκύψει, παρά το γεγονός ότι η περιβαλλομένη πούδρα παρέχει φυσική στήριξη. Και της DMLS και της SLM τα αντικείμενα κατά την εκτύπωση υπάρχει ρίσκο να στρεβλώσουν από τυχόν δυνάμεις που ασκούνται κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης λόγω των υψηλών

θερμοκρασιών. Τα αντικείμενα τα οποία συνήθως επεξεργάζονται θερμικά μετά την εκτύπωση παραμένουν στην πλατφόρμα στην οποία εκτυπώθηκαν κατά τη διάρκεια αυτή προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν παρεμβολές δυνάμεων μετά την εκτύπωση (Marrey, 2019).

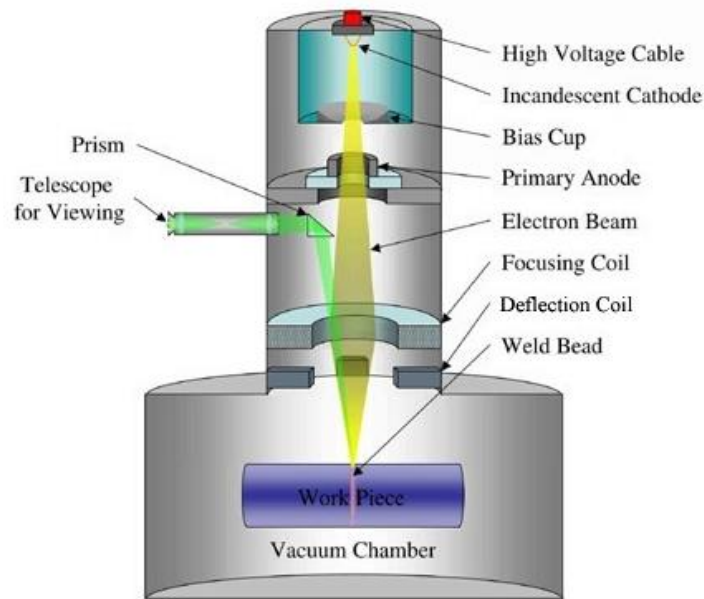


Σχήμα 16: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Direct Metal Laser Sintering, πηγή: (Marrey, 2019)

4.2.6.2. Τήξη Δέσμης Ηλεκτρονίων - Electron Beam Melting (EBM)

Η EBM ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες Powder Bed Fusion τεχνικές επειδή χρησιμοποιεί μία υψηλής ενέργειας ακτίνα ή ηλεκτρόνια για να προκαλέσει σύντηξη μεταξύ των σωματιδίων μεταλλικής πούδρας. Μία εστιασμένη ακτίνα ηλεκτρονίων σκανάρει από τη μία πλευρά μέχρι τη άλλη ένα λεπτό στρώμα πούδρας και έτσι προκαλεί τοπική τήξη και στερεοποίηση σε μια συγκεκριμένη περιοχές διατομής. Αυτές οι περιοχές χρίζονται προκειμένου να δημιουργήσουν ένα σκληρό αντικείμενο. Σε σύγκριση με την SLM και την DMLS η EBM έχει υψηλότερες ταχύτητες κατασκευής λόγω της υψηλότερης ενεργειακής της πυκνότητας, αλλά έχει μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια πούδρας, πάχη στρωμάτων και μικρότερη ανάλυση

λεπτομερειών. Στην EMB τα αντικείμενα κατασκευάζονται μέσα σε κενό αέρος και η διαδικασία αυτή μπορεί μόνο να εφαρμοστεί σε αγώγιμα υλικά (WHITECLOUDS, 2020).



Σχήμα 17: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Electron Beam Melting, πηγή: (WHITECLOUDS 2020)

4.2.7. Εκτύπωση Τροφίμων - Food Printing

Άξια είναι η αναφορά εκτυπωτών φαγητών οι οποίοι τυπώνουν πολλαπλές ουσίες οι κυρίες των οποίων είναι ζυμαρικά, πουρές, ζελέ, τυρί, ζάχαρη, σκόνη σοκολάτας, σκόνη πρωτεΐνης, ποικιλία σως και μελάνι χρωματίσματος φαγητών.

Για την εναπόθεση των υλικών αυτών χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες Inkjet printing, Binder Jetting και Selective Laser Sintering.

Ωστόσο το food printing είναι ακόμα στα πρώιμα στάδια κατά κύριο λόγο επειδή οι ταχύτητες εκτύπωσης είναι πολύ αργές, υπάρχει αδυναμία απόθεσης διαφορετικών τροφικών υλικών

από την ίδια εκτυπωτική κεφαλή και η συσσώρευση βακτηρίων λόγω κολλημένων υλικών στις μηχανές.

Σύμφωνα με άρθρο της Carlota (2019), έχουμε περάσει από την επιστημονική φαντασία στην πραγματικότητα. Υπάρχουν σήμερα κατασκευαστές όπως 3D Systems' ChefJet, Nutral Machines' Foodini, BeeHex's Chef3D και μερικοί άλλοι που έχουν προχωρήσει στην πραγματοποίηση του ονείρου εκτύπωσης τροφίμων. Οι εκτυπωτές τους μπορούν να εκτυπώσουν υλικά όπως σοκολάτα, ζυμαρικά, ζαχαρωτά και άλλα τρόφιμα, παρέχοντας αποτελέσματα που εντυπωσιάζουν. Η τεχνολογία που χρησιμοποιούν είναι κυρίως η FDM, σύμφωνα με στελέχη των κατασκευαστών, προβλέπεται σχετική αύξηση της ζήτησης σε 3D εκτυπωτές τροφίμων στο μέλλον καθώς οι καταναλωτές ήδη ψωνίζουν έτοιμες τροφές από τα σουπερμάρκετ ενώ θα μπορούσαν κάλλιστα να εκτυπώσουν τα φαγητά της αρεσκείας τους στο σπίτι. Η NASA το 2016 προχώρησε στην 3D εκτύπωση πίτσας όπου το μόνο που χρειαζόταν ήταν το ψήσιμο (Carlota, 2019).



Εικόνα 1: Εκτύπωση 3D πίτσας από την NASA το 2016, πηγή (Carlota 2019)

Σύμφωνα με την FutureBridge (2020), υπάρχουν σήμερα τουλάχιστον τέσσερις τεχνολογίες 3D εκτύπωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτύπωση τροφίμων. Υπάρχει δυνατότητα εκτύπωσης από σοκολάτα και τυρί μέχρι αλεσμένο κρέας και άλευρα/ζύμες. Για

την εκτύπωση χρησιμοποιούν πολυμερή, υδρογέλες, βιογέλες και άλλα. Στον πίνακα 2 αποτυπώνονται στοιχεία των 3D εκτυπωτών τροφίμων (FutureBridge, 2020).

Τεχνολογίες, τύποι τροφίμων και υλικά για την 3D εκτύπωση τροφίμων			
A/A	Τεχνολογία 3D Εκτύπωσης	Τύπος Υλικού Τροφίμων	Πρώτη Ύλη (Ακατέργαστη)
1.	Extrusion base	Μαλακά υλικά όπως σοκολάτα, τυρί, ζύμη, αλεσμένο κρέας	Πολυμερή, υδρογέλες, βιογέλες
2.	InkJet Based	Υλικά με χαμηλό ιξώδες όπως αλεσμένα φρούτα και σάλτσα για πίτσα	Υγρή ή στερεά μορφή, φρούτα συμπυκνωμένα και χυμοί φρούτων
3.	Binder Jetting	Υλικά σε σκόνη, όπως ζάχαρη, άμυλο, αλεύρι	Ζάχαρη και μίγματα αλεύρων
4.	Selective Laser Sintering	Υλικά σε σκόνη, όπως λιπαρή σοκολάτα και ζάχαρη	Μη κολλώδη υλικά σε σκόνη που δεν έχουν τάση να συσσωματώνονται

Πίνακας 2: Τεχνολογίες και υλικά 3D εκτύπωσης τροφίμων, πηγή: (FutureBridge, 2020)

Αξιοσημείωτο είναι ότι ένας 3D εκτυπωτής τροφίμων αξίζει σήμερα περίπου 3.500 δολάρια ΗΠΑ. Υπάρχουν ήδη εστιατόρια που χρησιμοποιούν την τεχνολογία 3D εκτύπωσης τροφίμων,

όπως η Starbucks όπου εκτυπώνει 3D παγωτό στο υποκατάστημά της στο Los Angeles, ΗΠΑ (*3DPRINTING.COM, 2018*).

4.2.8. Βιοτυπία - Bioprinting

Το Bio Printing αποτελείται από τρία στάδια τα οποία περιλαμβάνουν την προετοιμασία, την εκτύπωση και την ωρίμανση/εφαρμογή (*cellink.com, 2019*). Αναλυτικότερα, τα στάδια αυτά είναι:

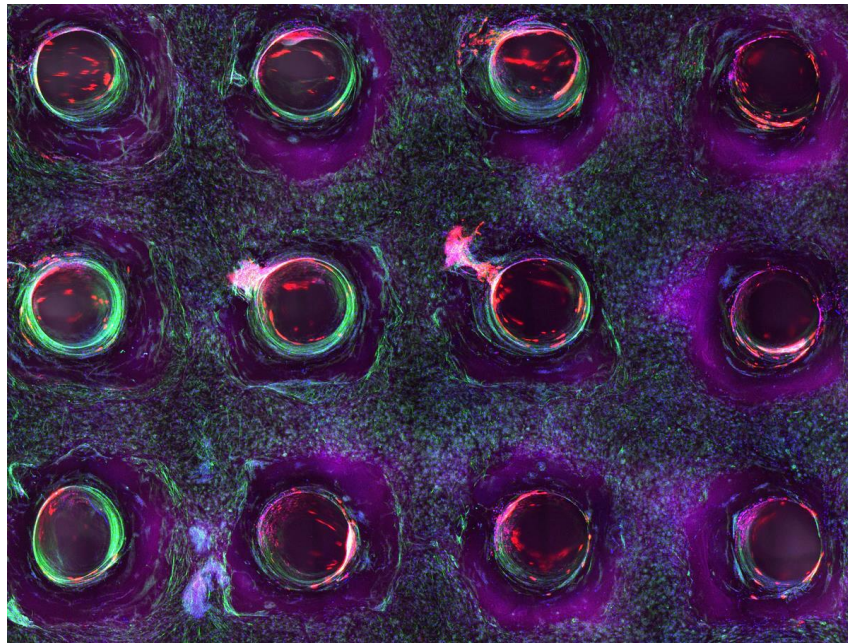
1. Το pre-bioprinting στο οποίο δημιουργείται το ψηφιακό μοντέλο το οποίο θα εκτυπωθεί. Για τη σχεδίαση του μοντέλου χρησιμοποιούνται τεχνολογίες όπως Computed Tomography (CT) και Magnetic Resonance Imaging (MRI) scans.
2. Το bioprinting όπου θα συμβεί η εκτύπωση
3. Το bioink θα προστεθεί σε βιοπολυμερικό τζελ και λάβει χώρα (θα πραγματοποιηθεί) η εναπόθεση του ψηφιακού μοντέλου.

Το bio-printing είναι μία AM διαδικασία όπου βιοϋλικά όπως κύτταρα, πρωτεΐνες και ορμόνες συνδυάζονται με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν δομές μυϊκού ιστού οι οποίες μιμούνται τους φυσικούς μυϊκούς ιστούς και τις ιδιότητές τους. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ως υλικό εκτύπωσης το βιομελάνι (bioink) για να δημιουργήσει δομές κατά σταδιακό τρόπο, ανά επίπεδο.

Η τεχνική αυτή είναι ευρέως εφαρμόσιμη σε πεδία ιατρικής και biological engineering. Εφαρμόζεται στην έρευνα και ανάπτυξη φαρμάκων, όπου αποδίδει στον περιορισμό κόστους και χρόνου συμβάλλοντας στην ταχύτερη εμφάνιση των αποτελεσμάτων των δοκιμών. Μια άλλη εφαρμογή του 3D bioprinting είναι η εκτύπωση τεχνητών ανθρωπίνων οργάνων, όπου στην ουσία εκμηδενίζει τις ουρές αναμονής και συντελεί στην ομαλότητα της παρακολούθησης από τους ιατρούς. Σημαντικός είναι και ο ρόλος του 3D bioprinting στην επούλωση των πληγών, όπου υπάρχει πλέον η δυνατότητα εκτύπωσης τεχνητών δερματικών κυττάρων, νευρώνων, ηπατοκυττάρων και άλλων κυττάρων γενικότερα για χρήση σε

θεραπευτικές επεμβάσεις όπως μοσχεύματα δέρματος, επιδέσμους οστών για καταπολέμηση πληγών ή ακόμη και για χρήση στην πλαστική χειρουργική (*cellink.com, 2019*).

Σύμφωνα με το Lewis Lab του Ινστιτούτου Wyss στο Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ, αποτυπώνεται στην εικόνα 2 μία συνεστιακή μικροσκοπική εικόνα που δείχνει μια διατομή ενός τρισδιάστατου τυπωμένου, αγγειοποιημένου ιστού πάχους 1 εκατοστού. Πρόκειται για δομή νέας σύγχρονης τεχνολογίας που εφευρέθηκε από την Jennifer Lewis και την ομάδα της στο Wyss Institute και στο Harvard SEAS (*Wyss Institute, 2020*).



Εικόνα 2: Συνεστιακή μικροσκοπική εικόνα διατομής τρισδιάστατου τυπωμένου, αγγειοποιημένου ιστού πάχους ενός εκατοστού τρισδιάστατου, πηγή (Wyss Institute, 2020)

Το bioprinting λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με τις συμβατικές λειτουργίες εκτύπωσης. Αναλυτικότερα, ένα ψηφιακό μοντέλο δημιουργείται στρώμα ανά στρώμα μόνο που σε αυτή την περίπτωση αντί να χρησιμοποιηθεί θερμοπλαστικό στρώμα ή ρητίνη χρησιμοποιούνται ζωντανά κύτταρα. Προκειμένου να υπάρχει βέλτιστη πιθανότητα επιβίωσης των κυττάρων και να κατορθωθεί εκτυπωτική ανάλυση επαρκής για τη δημιουργία σωστής δομής συμπλεγμάτων

κυττάρων, είναι απαραίτητο το περιβάλλον εκτύπωσης να είναι αποστειρωμένο (Mashambanaka, 2018).



Εικόνα 3: Σταθμός εκτύπωσης 3D Bioprinter της RegenHU, πηγή (RegenHU, 2020)

Το post-bioprinting είναι οι μηχανικές και χημικές εξομοιώσεις στις οποίες υποβάλλονται τα εκτυπωμένα προκειμένου να δημιουργήσουν σταθερές συνθήκες και να επιβιώσουν τα βιολογικά υλικά.

Η κυρίαρχη τεχνολογία στον τομέα Bioprinting ονομάζεται Syringe-based extrusion.

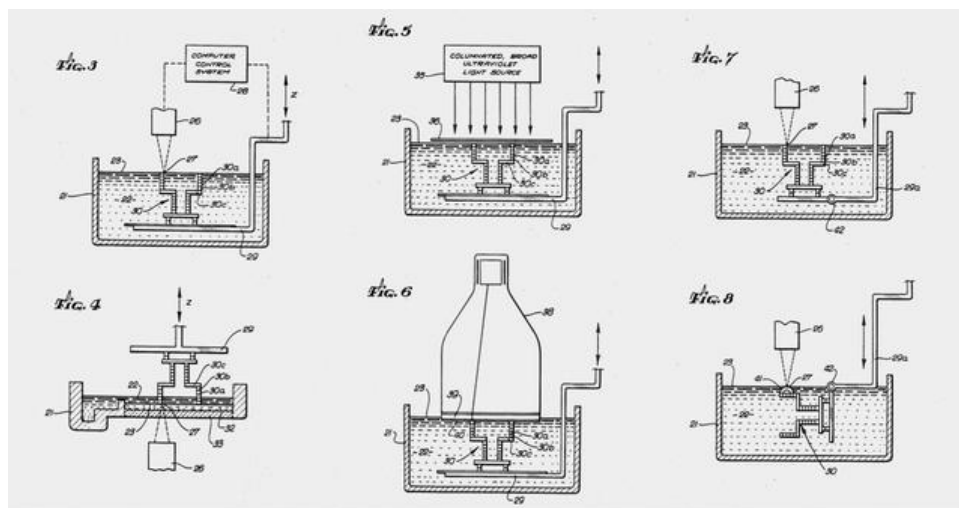
5. Εξελίξεις της 3D Εκτύπωσης

5.1. Η Αρχή της 3D Εκτύπωσης

Θεωρούμε σημαντικό να αναφέρουμε την ιστορική εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Με τον τρόπο αυτό σκοπεύουμε στην καλλίτερη κατανόηση των αναγκών που έρχεται να καλύψει η συγκεκριμένη τεχνολογία όπου απορρέουν οι λόγοι που ώθησαν την εξέλιξη των 3D εκτυπωτών.

Η ιστορία των εκτυπωτών 3D ξεκινάει από το 1974 όταν ο David Edward Hugh Jones παρέθεσε την ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε ένα άρθρο του στην εφημερίδα *New Scientist* (Ellam, 2016).

Το 1980 καταχωρήθηκε η πρώτη πατέντα για την ταχεία προτυποποίηση από τον Hideo Kodama, ο οποίος εφηύρε δύο μεθόδους κατασκευής τρισδιάστατων πλαστικών μοντέλων που χρησιμοποιούσαν θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές μέσω έκθεσης ενδεικνυόμενων περιοχών με χρήση μάσκας (Wohlers, 2005).



Εικόνα 4: Η πατέντα του Hideo Kodama, πηγή (italiantechweek.org. 2020)

Το 1983 δημιουργήθηκε ο πρώτος 3D εκτυπωτής από τον Chuck Hull (3DINSIDER, 2020).



Εικόνα 5: Ο πρώτος 3D εκτυπωτής από τον Chuck Hull, πηγή (3DINSIDER, 2020).

5.2. Η Εξέλιξη της 3D Εκτύπωσης

Το 1984 οι Alain Le Méhauté, Olivier de Witte, και Jean Claude André επικύρωσαν πατέντα για τη μέθοδο εκτύπωσης με στερεολιθογραφία. Κατά τη μέθοδο αυτή ένα laser επιλεκτικά φωτίζει το διάφανο κάτω μέρος μίας δεξαμενής γεμάτη με υγρής μορφής ρητίνη. Η στερεοποιημένη ρητίνη σταδιακά τραβιέται προς τα επάνω με αποτέλεσμα να προκύπτει σταδιακά ένα αντικείμενο. Την ίδια χρονιά ο Chuck Hull, ο ιδρυτής της 3D Systems εφηύρε το STL (Stereolithography File Format) (Loc.gov, 2020).

Το 1986 έγινε αποδεκτή η πατέντα του και η 3D Systems κυκλοφόρησε τον πρώτο εμπορικό 3D εκτυπωτή, ονόματι SLA1 με τα χαρακτηριστικά: "*Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. U.S. patent US4575330 A, granted on March 11, 1986*" (Permalink, 1983 to 1987).

Το 1988 ο S. Scott Crump ανέπτυξε και στη συνέχεια το 1992 διέθεσε την πρώτη Fused Deposition Modeling (FDM) μηχανή στο εμπόριο μέσω της εταιρείας του Stratasys. Η τεχνολογία FDM χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα κυρίως σε καταναλωτικά μοντέλα 3D εκτυπωτών.

Το 1990 άρχισαν να αναδύονται εταιρείες οι οποίες πρόσφεραν προηγμένους 3D εκτυπωτές. Μία από αυτές ήταν η EOS που πρόσφερε τον πρώτο παγκοσμίως αναγνωρισμένο εκτυπωτή που χρησιμοποιούσε την τεχνολογία Selective Laser Sintering (SLS) η οποία χρησιμοποιείται για πλαστικά και μέταλλα. Μέχρι τότε κατά το σχηματισμό αντικειμένων από μέταλλα χρησιμοποιούνταν μόνο αφαιρετικές μέθοδοι, δηλαδή μέθοδοι που αφαιρούσαν υλικό από την πρώτη ύλη προκειμένου να του αποδώσουν την τελική μορφή. Η πρώτη ύλη συνήθως παρέχεται σε ράβδους οι οποίες μπορεί να έχουν είτε κυλινδρικό είτε ορθογώνιο σχήμα. Η SLS ήταν η πρώτη προσθετική μέθοδος (Additive Manufacturing - AM) η οποία μπορούσε να κατεργαστεί μέταλλο ώστε να δημιουργήσει μεταλλικά αντικείμενα.

Το 1992 η πατέντα για τη μέθοδο FDM έγινε αποδεκτή για την Stratasys.

Το 1993 ιδρύθηκε η Solidscape η οποία πρόσφερε στην αγορά ένα υψηλής ακρίβειας σύστημα κατασκευής με ψεκασμό πολυμερικού υλικού και ήταν το πρώτο που χρησιμοποιούσε τεχνολογία DOD.

Κατά τη δεκαετία του 1990 άρχισαν να αναπτύσσονται εξειδικευμένα λογισμικά για τη χρήση 3D εκτυπωτών.

Το 1999 εκτυπώθηκε το πρώτο τεχνητό όργανο (νεφρό) χρησιμοποιώντας Bioprinting.

Το 2004 ξεκίνησε το project RepRap το οποίο ήταν Open Source. Επρόκειτο για έναν εκτυπωτή που μπορούσε να δημιουργήσει αντίγραφα του εαυτού του. Το project οδήγησε στην ευρεία διάδοση των FDM εκτυπωτών.

Το 2005 η Zcorp έβγαλε τον Spectrum Z510 ο οποίος ήταν ο πρώτος υψηλής ευκρίνειας έγχρωμος 3D εκτυπωτής.

Το 2008 εκτυπώθηκε το πρώτο προσθετικό άκρο (πόδι).



Εικόνα 6: Το πρώτο εκτυπωμένο προσθετικό άκρο

Το 2009 έληξαν τα δικαιώματα ευρεσιτεχνίας της FDM.

Το 2010 εκτυπώθηκε το πρώτο αυτοκίνητο εξ' ολοκλήρου από τον ίδιο εκτυπωτή.



Εικόνα 7: το πρώτο αυτοκίνητο εξ' ολοκλήρου από τον ίδιο εκτυπωτή

Η δεκαετία αυτή ήταν η πρώτη όπου έγινε ξεκάθαρο ότι η αφαίρεση υλικού δεν θα αποτελούσε την μοναδική μέθοδο επεξεργασίας μετάλλου που θα χρησιμοποιούνταν στο μέλλον.

Το 2011 άρχισε να κατασκευάζεται ο πρώτος 3D εκτυπωτής φαγητών στο πανεπιστήμιο Cornell της Νέας Υόρκης (ΗΠΑ) (Segall, 2011).



Εικόνα 8: Το πρώτο εκτυπωμένο τρόφιμο

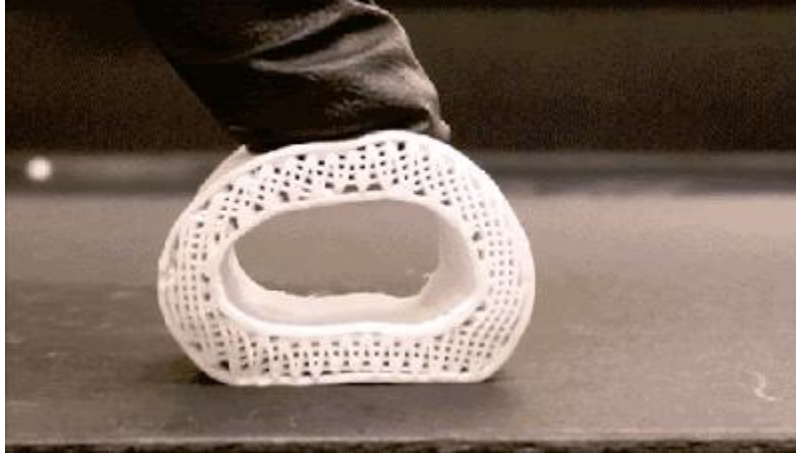
Το 2012 εκτυπώθηκε και εμφυτεύτηκε για πρώτη φορά σιαγόνα, η οποία ήταν από πλαστικό και όχι από οστό, ήταν πιο βαριά από την φυσική σιαγόνα αλλά οι γιατροί είχαν σωστά υπολογίσει ότι η ασθενής θα συνηθίσει γρήγορα την μικρή διαφορά βάρους και δεν θα έχει επιπτώσεις στην καθημερινότητά της. (Laa, 2016).



Εικόνα 9: Η πρώτη εκτυπωμένη σιαγόνα

Το 2014 ο Benjamin S. Cook και ο Manos M. Tentzeris παρουσίασαν την πρώτη πλατφόρμα που χρησιμοποιούσε παραπάνω από ένα είδος υλικού και εκτύπωνε κάθετα ενοποιημένα εκτυπωμένα ηλεκτρονικά με χρήση AM τα οποία μπορούσαν να λειτουργήσουν μέχρι και στα 40GHz.

Το 2016 το εργαστήριο του Daniel Kelly ανακοίνωσε την ικανότητα να εκτυπώσει οστά (*Nature.com, 2016*).



Εικόνα 10: Ελαστικό εκτυπωμένο οστό, πηγή (BLOKO.GR, 2016)

Το 2018 ήταν η πρώτη χρονιά όπου μια οικογένεια μετακόμισε σε 3D εκτυπωμένο σπίτι (*Cowan, 2018*).



Εικόνα 11: 3D εκτυπωμένο σπίτι, πηγή (Cowan, 2018)

5.3. Η 3D Εκτύπωση Σήμερα

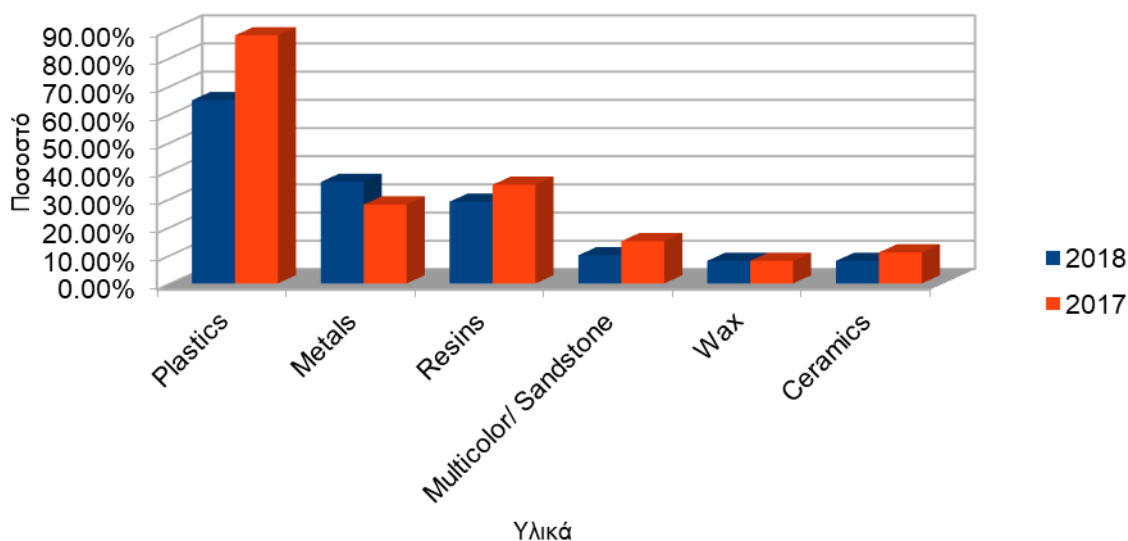
Σήμερα η 3D εκτύπωση δείχνει ιδανική για τη δημιουργία όλο και περισσότερων κατηγοριών αντικειμένων. Η 3D εκτύπωση σημειώνει αλματώδη πρόοδο στις προτιμήσεις των εταιρειών. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στατιστικά που δημοσίευσε η Forbes, στις 30 Μαΐου του 2018 σε άρθρο του Louis Columbus με τίτλο *The State of 3D Printing, 2018* (Columbus, 2018). Τα στατιστικά που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία βασίζονται στα στοιχεία που δημοσιεύτηκαν από τη Forbes και συλλέχθηκαν με τη μέθοδο των συνεντεύξεων σε 1.000 ερωτηθέντες από όλο τον κόσμο σε αναλογία 60% από Ευρώπη, 25% Αμερική, 9% Ασία και Ωκεανία και 1% Αφρική. Τα πεδία της έρευνας ήταν επιχειρήσεις / βιομηχανίες Αεροναυτικής και Αεροδιαστημικής, Αυτοκινητοβιομηχανία, βιομηχανικών αγαθών βιομηχανίας και μετάλλου, εκπαίδευση συμπεριλαμβανομένων μαθητών, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών, καταναλωτικά αγαθά, υγείας, υπηρεσιών και υψηλής τεχνολογίας. Σημειώνουμε ότι η επιτάχυνση στην ανάπτυξη (development) ενός προϊόντος προσελκύει περισσότερες εταιρείες κάθε τομέα. Στη συνέχεια αναφέρουμε τις σημαντικότερες κατά την άποψή μας παρατηρήσεις που απορρέουν από τα στατιστικά:

- Από το 29% του 2017, οι προτιμήσεις σε 3D εκτύπωση ανήλθαν στο 39% το 2018.
- Οι πιο δημοφιλείς κατηγορίες εκτυπώσεων 3D είναι τα πρωτότυπα (prototyping) κατά 55%, η παραγωγή κατά 43% και τα μοντέλα Proof of Concept κατά 41%. Επίσης παρατηρούμε αύξηση σε όλους τους τομείς που εξετάστηκαν, δηλαδή στις εκτυπώσεις πρωτοτύπων, γραμμής παραγωγής, επιβεβαίωσης / ολοκλήρωσης, δειγμάτων μάρκετινγκ, τέχνης, επιμόρφωσης και χόμπι. Σημειώνεται αισθητή αύξηση των ποσοστών χρήσης 3D εκτυπώσεων για δημιουργία πρωτοτύπων και για παραγωγή, ύψους 21%.
- Το ποσοστό των εταιρειών που χρησιμοποιούν 3D εκτυπώσεις σε μέταλλο ανήλθε το 2018 στο 36% από το 28% του 2017.
- Το 93% των εταιρειών που χρησιμοποιούν τρισδιάστατη εκτύπωση το 2018 είναι σε θέση να αποκτήσουν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα, όπως η μείωση του χρόνου προς την αγορά (time-to-market) και η ευελιξία για την υποστήριξη μικρότερων ροών παραγωγής για τους πελάτες.

- Η αύξηση των επενδύσεων σε 3D εκτυπωτές από το 49% του 2017 ανήλθε στο 70% το 2018.
- Από τις συμμετέχουσες στην έρευνα της Forbes επιχειρήσεις του πεδίου της αεροναυτικής το 37% δαπάνησαν περισσότερα από 100.000 \$ σε 3D εκτύπωση το 2017 για ανάπτυξη και εφαρμογή - Application and Development (A&D).
- Το 64% των εταιρειών A&D χρησιμοποιούν 3D εκτύπωση στην παραγωγή.
- Οι τομείς Έρευνας και Ανάπτυξης (R&D) και σχεδίασης παρουσιάζουν αξιοσημείωτη μείωση μεταξύ των χρηστών 3D εκτυπώσεων ανά τμήμα των ετών 2018 και 2017, πιθανότατα λόγω του μεγάλου εύρους επιλογών για τα συγκεκριμένα αντικείμενα σε συνάρτηση με άλλες σύγχρονες τεχνολογίες και μεθόδους, χωρίς να μπορούμε να τεκμηριώσουμε την πληθώρα και την καταλληλότητα των επιλογών.

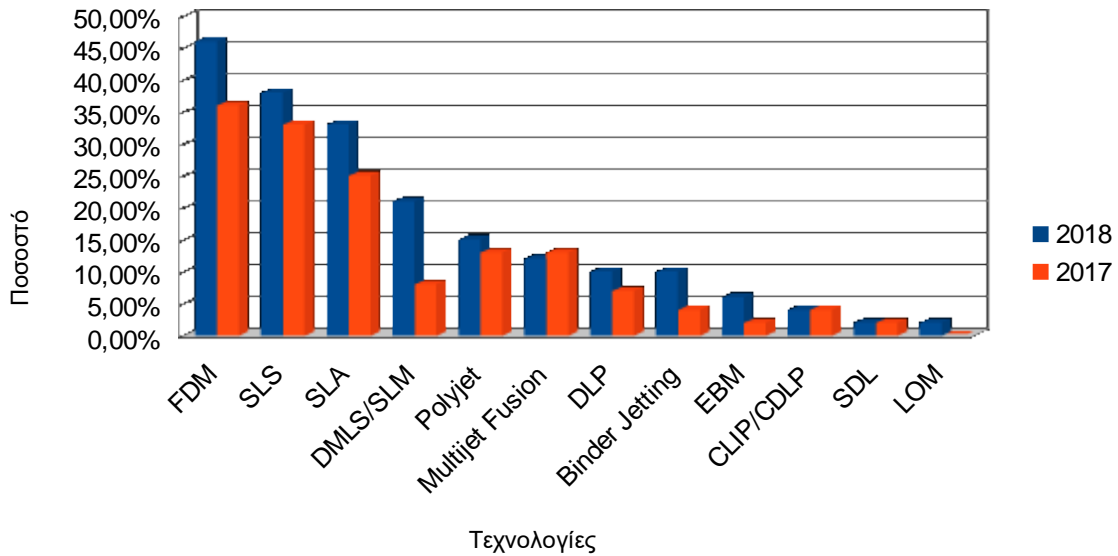
Στα σχεδιαγράμματα 1, 2 και 3 παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία της 3D εκτύπωσης των ετών 2017 και 2018 για τα υλικά, τις τεχνολογίες και το φινίρισμα όπως έχουν δημοσιευτεί από την Forbes και υπάρχουν αναρτημένα στο διαδίκτυο την 28/12/2020. Επίσης, στα σχεδιαγράμματα 4 και 5 παρουσιάζονται για την ίδια χρονική περίοδο στοιχεία εφαρμογών και τομέων για τη χρήση 3D εκτυπώσεων.

Τα πιο κοινά υλικά 3D εκτύπωσης των ετών 2018 και 2017



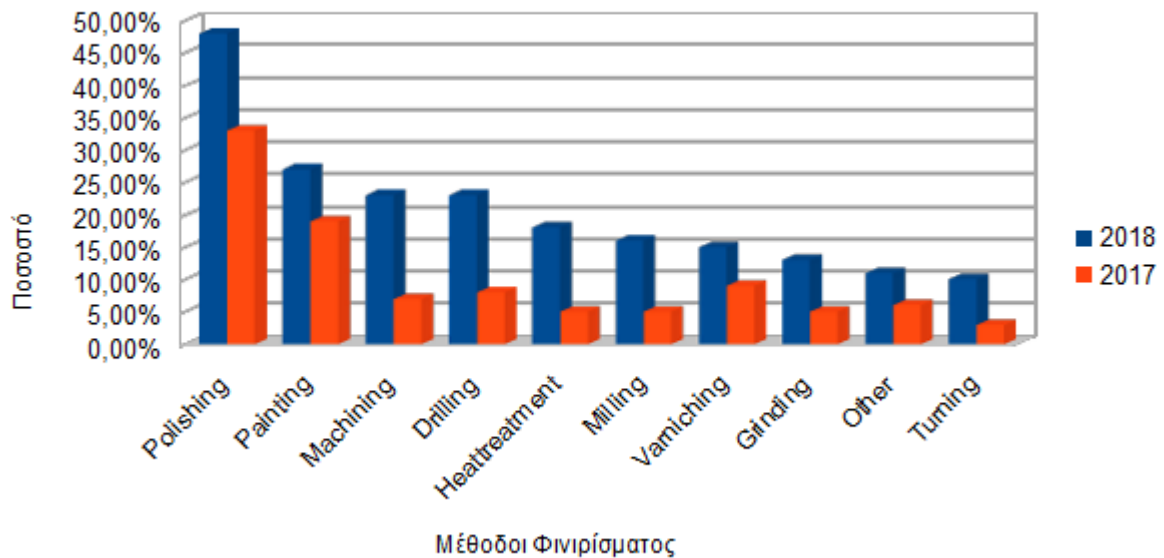
Σχεδιάγραμμα 1: Συγκριτικά στοιχεία υλικών 3D εκτυπώσεων για τα έτη 2017 και 2018, πηγή: (Columbus, 2018)

Οι πιο κοινές τεχνολογίες 3D εκτύπωσης των ετών 2018 και 2017

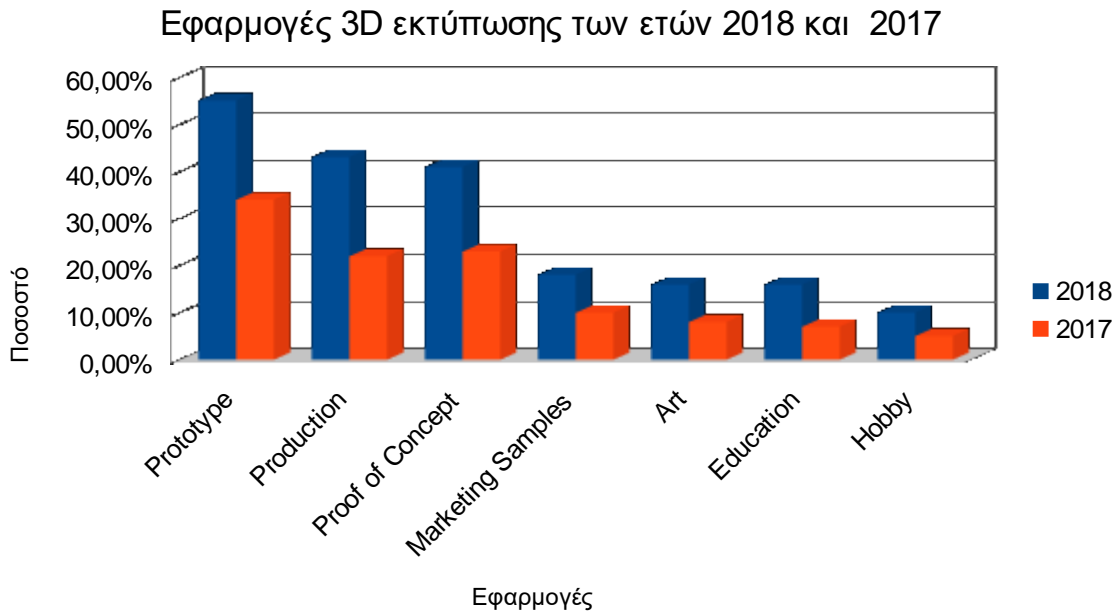


Σχεδιάγραμμα 2: Συγκριτικά στοιχεία τεχνολογιών 3D εκτυπώσεων για τα έτη 2017 και 2018, πηγή : (Columbus, 2018)

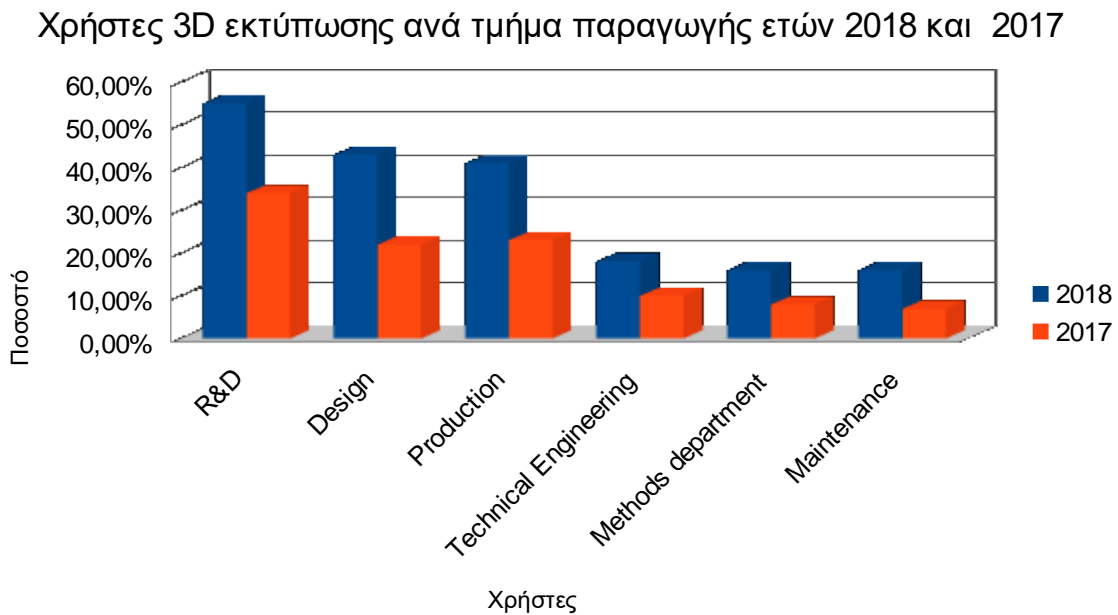
Τα πιο κοινά φινιρίσματα 3D εκτύπωσης των ετών 2018 και 2017



Σχεδιάγραμμα 3: Συγκριτικά στοιχεία φινιρίσματος 3D εκτυπώσεων για τα έτη 2017 και 2018, πηγή : (Columbus, 2018)



Σχεδιάγραμμα 4: Συγκριτική απεικόνιση εφαρμογών 3D εκτυπώσεων για τα έτη 2017 και 2018, πηγή: (Columbus, 2018)

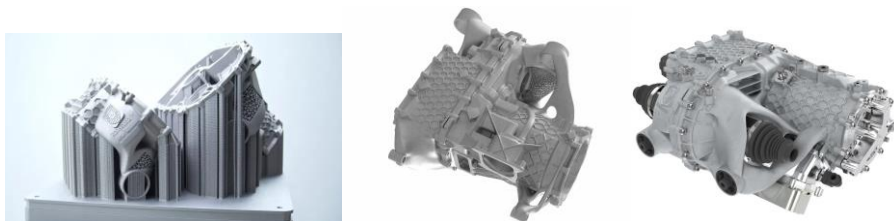


Σχεδιάγραμμα 5: Συγκριτική απεικόνιση χρηστών 3D εκτυπώσεων ανά τμήμα για τα έτη 2017 και 2018, πηγή: (Columbus, 2018)

5.4. Το μέλλον της 3D Εκτύπωσης

Μιλήσαμε για παραγωγή εξειδικευμένων εξαρτημάτων που δεν μπορούν να βγουν στη γραμμή παραγωγής. Είναι προφανές ότι όσα αναφέραμε στις εφαρμογές της 3D εκτύπωσης έχουν ήδη πραγματοποιηθεί και είναι καινοτόμα. Παρατηρώντας τα προσεκτικά μπορούμε να φανταστούμε το μέλλον. Είναι αποδεδειγμένο ότι ολοένα και περισσότερες εταιρείες και επιχειρήσεις όλων των μεγεθών και σε όλο το εύρος των δραστηριοτήτων επενδύουν ολοένα και περισσότερο στην τεχνολογία εκτύπωσης 3D. Τα μελλοντικά τους προγράμματα δεν κοινοποιούνται στο ευρύ κοινό λόγω της ύπαρξης του έντονου ανταγωνισμού σε κάθε τομέα. Για να προβλέψουμε το μέλλον των 3D εκτυπωτών θα επιχειρήσουμε αφενός να μελετήσουμε προσεκτικά τα βήματα της εξέλιξης της 3D εκτύπωσης, όπως ήδη ξεκινήσαμε καθώς και να εστιάσουμε στους στόχους και στα οράματα των επιχειρήσεων αυτών. Θα συνεχίσουμε παρουσιάζοντας την τελευταία λέξη της τεχνολογίας σε μερικούς τομείς ώστε να αντιληφθούμε την αντίστοιχη μελλοντική τους πορεία.

Πρόσφατα η γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία Porsche κατασκεύασε το μπλοκ ενός κιβωτίου ταχυτήτων από αλουμίνιο σε 3D εκτυπωτή (Αγαπητός, 2020). Η Porsche επίσης εκτυπώνει τα έμβολα των αγωνιστικών της κινητήρων σε 3D εκτυπωτή. Όλα αυτά αφενός θα ήταν όχι μόνο ασύμφορο οικονομικά να κατασκευαστούν σε κανονική γραμμή παραγωγής αλλά ούτε θα μπορούσαν να ετοιμαστούν σε λογικούς χρόνους. Επίσης, με τη 3D εκτύπωση θα μπορούσαν να γίνονται εφαρμογές αμέσως μετά τη σχεδίαση ώστε να πραγματοποιούνται δοκιμές τάχιστα.



Εικόνα 12: 3D εκτύπωση μπλοκ αλουμινίου, πηγή (Αγαπητός, 2020)

Η Porsche επίσης, σε συνεργασία με τη MAHLE και χρησιμοποιώντας την τελευταία λέξη της τεχνολογίας στις εκτυπώσεις 3D προχώρησε στο σχεδιασμό και την υλοποίηση σε 3D εκτυπωτή των κράματος αλουμινίου εμβόλων των αγωνιστικών πρωτότυπων κινητήρων των αυτοκινήτων της. Για το σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκαν υπερυπολογιστές με τεχνητή νοημοσύνη. Η 3D εκτύπωση μέσω της προηγμένης διαδικασίας Laser Metal Fusion (LMF) έδωσε τη δυνατότητα στην εταιρεία να κατασκευάσει μία σειρά μοναδικών μοντέλων που μέχρι τώρα οι συμβατικές τεχνολογίες αδυνατούσαν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο ίδιος κινητήρας αποδίδει έως τριάντα ίππους περισσότερο με τη χρήση των νέων 3D εκτυπωμένων εμβόλων. Επίσης, τα έμβολα δοκιμάστηκαν σε ποιοτικούς ελέγχους και απέδωσαν τα αναμενόμενα χωρίς μάλιστα να υπάρχει η παραμικρή αστοχία στα κομμάτια που κατασκευάστηκαν με 3D εκτύπωση (Αγαπητός, 2020), (Παπαλάμπρος, 2020).



Εικόνα 13: Η Porsche και η Mahle συνεργάστηκαν στην εξέλιξη εμβόλων κινητήρα εσωτερικής καύσεως, πηγή (Αγαπητός, 2020), (Παπαλάμπρος, 2020)

Στη ναυτιλία, παρότι η 3D εκτύπωση φαίνεται να βρίσκεται στο αρχικό στάδιο, οι προβλέψεις της αμερικάνικης εταιρείας έρευνας αγοράς “International Data Corporation” καταλήγουν στο ότι “η βιομηχανία της 3D εκτύπωσης θα αναπτύσσεται κατά 15% ετησίως τα επόμενα χρόνια.” Η προοπτική είναι να υπάρχει, μέσω της τεχνολογίας σχεδίασης και εκτύπωσης 3D, διαθεσιμότητα ανταλλακτικών άμεσα και σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη βρίσκεται το αιτούμενο πλοίο. Οι τεχνολογίες 3D εκτυπώσεων δίνουν το παρόν τον τελευταίο καιρό σε όλες τις ναυτιλιακές εκθέσεις (ΝΑΥΤΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, 2018).



Εικόνα 14: 3D εκτύπωση προπέλας, πηγή (ΝΑΥΤΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, 2018)

Στην ιατρική, μέσω της 3D εκτύπωσης δίνεται η δυνατότητα για άμεση και γρήγορη αλλά ολοένα και πιο οικονομική κατασκευή προσθετικών μελών (*RehabLine.gr, 2019*).



Εικόνα 15: Ποδηλατικό πόδι με εκτύπωση 3D, πηγή (RehabLine.gr, 2019)

Στη διαστημική τεχνολογία, το πρόγραμμα και οι προθέσεις της NASA για την εκμετάλλευση της 3D εκτύπωσης στο διάστημα δεν είναι κρυφό. Η NASA εδώ και καιρό έχει προσανατολιστεί στην εκτύπωση εργαλείων και ανταλλακτικών κατ' απαίτηση στο χώρο του διαστήματος. Μάλιστα έχουν ήδη τρέξει σχετικοί μαθητικοί διαγωνισμοί. Πληθώρα σχετικών πληροφοριών υπάρχει στην ιστοσελίδα του προγράμματος "Made in Space" στο διαδίκτυο <http://www.madeinspace.us>.

Επίσης, η NASA έχει ήδη αντιμετωπίσει προκλήσεις για 3D εκτυπώσεις στο διάστημα (NASA, 2014). Οι επαναλαμβανόμενες απαιτήσεις σε υλικά υποστήριξης της λειτουργίας του διεθνούς διαστημικού σταθμού αναγκάζουν τη NASA σε τακτικές αποστολές υλικών και ανταλλακτικών σημαντικότητας όγκου. Ως λύση, έχει ξεκινήσει πρόγραμμα, από το 2014, με την αποστολή ενός εκτυπωτή 3D που λειτουργεί με τεχνολογία Fused Filament Fabrication (FFF). Το συγκρότημα του εκτυπωτή είναι σχεδιασμένο με λειτουργεί κοντά σε συνθήκες μηδενικής βαρύτητας, ανακυκλώνοντας τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται στον διαστημικό σταθμό (NASA, 2019).



Εικόνα 16: Ο αστροναύτης Barry (Butch) Wilmore κρατά στο χέρι του ένα εργαλείο που κατασκευάστηκε στο διάστημα το 2014, πηγή (NASA, 2019)

Άλλη μια ιδέα της NASA είναι η μετατροπή της σκόνης ή της άμμου της Σελήνης σε σκυρόδεμα. Η ιδέα βασίζεται σε έναν υπάρχοντα 3D εκτυπωτή που εκτυπώνει οικίες στο Μεξικό. Ο εκτυπωτής Vulcan μπορεί να εκτυπώσει περίπου 500 τετραγωνικά μέτρα σε 24 ώρες. Σύμφωνα

με τις έρευνες που προς το παρόν γίνονται στη Γη, σε δείγματα σεληνιακής σκόνης, θα χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογίες και ελάχιστα επιπλέον υλικά (Travelstate.gr, 2020).



Εικόνα 17: Η πρόταση της ICON για τη δημιουργία βάσης στη Σελήνη με τη χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών και εκμεταλλευόμενη τη σκόνη της Σελήνης. © SEArch + / ICON, πηγή: (Travelstate.gr, 2020)

Επιπλέον στην βιοτεχνολογία τροφίμων πάλι η NASA έρχεται να καινοτομήσει με την δημιουργία τροφής στο διάστημα, έπειτα από ανάλογη τροφοδοσία με δοχεία θρεπτικών συστατικών με διάρκεια ζωής τριάντα ετών.



Εικόνα 17: Οι προοπτικές του 3D printing, πηγή (MenOfStyle.gr, 2020)

Σε οικιακές χρήσεις οι 3D εκτυπωτές, καθώς η χρήση τους όλο και αυξάνεται δειλά – δειλά, αλλά και με την ύπαρξη αρκετών εταιρειών που προσφέρονται να εκτυπώσουν και αποστείλουν ταχυδρομικά το προϊόν, υπάρχει η προοπτική τόσο για έξυπνες κατασκευές βασισμένες σε ιδέες απλών χρηστών Η/Υ όσο και για εκτύπωση ανταλλακτικών συσκευών ή εξαρτημάτων όπως πόμολα κ.λπ. των οποίων η έλλειψη θα υποχρέωνε τους χρήστες σε μεγαλύτερα έξοδα. Σύμφωνα με τη συνέντευξη του καθηγητή Σταμάτη Πολύδωρα του ΕΜΠ, οι 3D εκτυπώσεις θα διευρύνουν την αγορά εργασίας. Ένας υπεύθυνος χειρισμού ενός εκτυπωτή σύντηξης κόνεως από τιτάνιο που χρησιμοποιεί η ESA έχει κόστος περίπου ενάμιση εκατομμύριο ευρώ. Επομένως το προσωπικό που τον εξυπηρετεί θα πρέπει να κατέχει τις απαραίτητες γνώσεις στην τεχνολογία και στα υλικά, οπότε και θα πρέπει να προέρχεται από τον αντίστοιχο τεχνολογικό ή πανεπιστημιακό κλάδο (*Με-άλλα-μάτια, 2020*).

6. Εφαρμογές της 3D Εκτύπωσης στο Πεδίο των Γραφικών

6.1. Γενικές Εφαρμογές της 3D Εκτύπωσης

Προτού αναφερθούν οι εφαρμογές των τεχνολογιών 3D εκτυπωτών είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψιν ότι το 3D printing ως σύνολο τεχνολογιών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και όλο και περισσότερες ανακαλύψεις γίνονται κάθε χρόνο στον τομέα οι οποίες προσφέρουν όλο και περισσότερες δυνατότητες οι οποίες δεν μπορούσαν να επιτευχθούν νωρίτερα. Οι εφαρμογές των τεχνολογιών 3D εκτύπωσης καλύπτουν πάρα πολλούς τομείς και σε καθέναν από αυτούς προσφέρουν μοναδικές ιδιότητες.

Ένας από τους τομείς όπου εφαρμόζεται η χρήση 3D εκτυπωτών σε μεγάλο βαθμό και είναι ευρέως διαδεδομένος είναι το prototyping, όπου σχεδόν όλες οι τεχνολογίες μπορούν να εφαρμοστούν. Πιο συγκεκριμένα η SLA χρησιμοποιείται για την κατασκευή πολυμερών πρωτότυπων που μετέπειτα θα χρησιμοποιηθούν για κατασκευή καλουπιών από τα οποία θα προκύψει το τελικό προϊόν. Η Material Jetting χρησιμοποιείται για την κατασκευή έγχρωμων πρωτότυπων όπου στη συνέχεια μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για κατασκευή καλουπιών από τα οποία θα προκύψει το τελικό προϊόν.

Οι τεχνολογίες Power Bed Fusion χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία και μοντέλων και τεχνητών οδοντοστοιχιών. Επίσης, η Power Bed Fusion χρησιμοποιείται και για την κατασκευή μεταλλικών εξαρτημάτων για εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία και τη διαστημική τεχνολογία.

Ένας τομέας όπου εφαρμόζεται αποκλειστικά η τεχνολογία 3D εκτύπωσης είναι η δημιουργία οργάνων για χρήση από βιοϊατρικά εργαστήρια για έρευνα και ανάπτυξη. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου εκτυπωμένα όργανα έχουν μεταμοσχευθεί σε ασθενή και προφανώς θα επαναληφθεί η χρήση της τεχνολογίας για το σκοπό αυτό.

Στον πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά εφαρμογές 3D printing με την αντίστοιχη τεχνολογία.

Εφαρμογές και τεχνολογία 3D printing	
Εφαρμογές	Τεχνολογία 3D
Ηλεκτρικά περιβλήματα / Electrical housings	Fused Deposition Modeling (FDM), sometimes called Fused Filament Fabrication (FFF)
Δοκιμές φόρμας και προσαρμογής / Form and fit testings	
Σφικτήρες και πόμολα / Jigs and fixtures	
Σχέδια χύτευσης / Investment casting patterns	
Καλούπια έγχυσης προτύπων πολυμερών / Injection mold-like polymer prototypes	Stereolithography (SLA), Masked Stereolithography (MSLA) Direct Light Processing (DLP)
Χύτευση κοσμημάτων / Jewelry (investment casting)	
Εφαρμογές στην Οδοντιατρική / Dental applications	
Βοηθήματα ακοής / Hearing aids	
Καλούπια έγχυσης προτύπων πολυμερών / Injection mold-like polymer prototypes	Selective Laser Sintering (SLS)
Λειτουργικά μέρη / Functional parts	
Πολύπλοκοι αγωγοί / Complex ducting (hollow designs)	
Μικρή παραγωγή εξαρτημάτων / Low run part production	
Έγχρωμα πρωτότυπα / Full-color product prototypes	Material Jetting (MJ), Drop on Demand (DOD)
Πρωτότυπα καλούπια έγχυσης / Injection mold-like prototypes	
Καλούπια έγχυσης / Low run injection molds	
Ιατρικά μοντέλα / Medical models	
Μεταλλικά λειτουργικά μέρη / Functional metal parts	Binder Jetting (BJ)
Έγχρωμα μοντέλα / Full-color models	
Χύτευση με άμμο / Sand casting	
Μεταλλικά λειτουργικά μέρη για αυτοκινητοβιομηχανία και διαστημική τεχνολογία / Functional metal parts (aerospace and automotive)	Direct Metal Laser Sintering (DMLS); Selective Laser Melting (SLM); Electron Beam Melting (EBM)
Ιατρική / Medical	
Οδοντιατρική / Dental	
Μέρη οργανισμού / Medical	Bio Printing

Πίνακας 3: Εφαρμογές και τεχνολογία 3D printing

Πολλές 3D printing τεχνολογίες προσφέρονται για την περιορισμένη παραγωγή μικρού αριθμού τελικών προϊόντων όπου η δημιουργία μιας γραμμής εργοστασιακής γραμμής παραγωγής θα ήταν ασύμφορος οικονομικά.

Ένας τομέας που χρησιμοποιείται αποκλειστικά η εκτύπωση 3D για την παραγωγή προϊόντων είναι η δημιουργία ακουστικών για άτομα με προβλήματα ακοής και για άτομα που είναι επαγγελματίες μουσικοί. Για την παραγωγή των ακουστικών αυτών, το μοντέλο που θα

δημιουργηθεί και έπειτα θα εκτυπωθεί έχει σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη σκαναρίσματα που έχουν γίνει στα αυτιά των πελατών.

3D εκτυπωτές χρησιμοποιούνται επίσης στην βιομηχανία όπλων, αυτοκινήτων, αεροναυπηγίας, ποδηλάτων και σίγουρα και σε ένα σορό άλλους τομείς όπου είναι πιο σημαντική η επίτευξη συγκεκριμένου πολύπλοκου σχήματος εξαρτημάτων το οποίο καθίσταται από δύσκολο μέχρι και αδύνατον να υλοποιηθεί από άλλες μεθόδους επεξεργασίας μετάλλων. Τις περισσότερες φορές βέβαια ο πελάτης στον οποίο απευθύνονται τα προϊόντα είναι διατεθειμένος να επενδύσει αρκετά χρήματα προκειμένου να απολαύσει το καλύτερο που μπορεί να προσφέρει η βιομηχανία.

Σήμερα, οι τεχνολογίες 3D βρίσκονται σε διαρκή εξέλιξη. Οι εφαρμογές τους ολοένα και πληθαίνουν, ενώ νέες τεχνολογίες βρίσκονται σε έρευνα από κατασκευαστές και όχι μόνον. Το μεγάλο στοίχημα των επιστημών είναι η δημιουργία μιας μηχανής που θα μπορεί να αναπαράγει τον εαυτό της. Οι 3D εκτυπωτές έρχονται να παίξουν σπουδαίο ρόλο στο κομμάτι αυτό.

6.2. Εφαρμογές της 3D Εκτύπωσης στο Πεδίο των Γραφικών Τεχνών

6.2.1. Οι 3D Εκτυπώσεις στην Οπτική Επικοινωνία

6.2.1.1. Ο Ρόλος της Εφαρμογής Τρισδιάστατων εκτυπώσεων στις Γραφικές Τέχνες

Η σπουδαιότητα της οπτικής επικοινωνίας είναι τόσο σημαντική ώστε να θεωρείται ταυτόσημη της επικοινωνίας (Aicher, 1994). Ορίζοντας την οπτική επικοινωνία μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται για μηνύματα που ανταλλάσσουν οι άνθρωποι τα οποία περιλαμβάνουν εικόνες, παραστάσεις κλπ. Οφείλουμε να διαχωρίσουμε την οπτική επικοινωνία από την απλή επίδειξη (Kenney, 2009). Δηλαδή η οπτική επικοινωνία έχει να κάνει με την πρόθεση που έχει ο πομπός για να περάσει ένα συγκεκριμένο μήνυμα στον δέκτη. Με την οπτική επικοινωνία υπάρχει η προσδοκία για συγκεκριμένη ανταπόκριση του δέκτη στο μήνυμα.

6.2.1.2. Γιατί είναι απαραίτητη η οπτική επικοινωνία

Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε ότι η οπτική επικοινωνία υπάρχει σε όλους τους πολιτισμούς, κάνοντας μια σύντομη αναδρομή στην ιστορία της ανθρωπότητας. Σήμερα, στη ψηφιακή εποχή που βιώνουμε παρατηρούμε όλο και περισσότερους τομείς να βασίζονται στη οπτική επικοινωνία. Ο λόγος είναι η διευκόλυνση της κατανόησης και η ανάλυσης μηνυμάτων κατά την επικοινωνία (Huang, 2010). Η οπτική επικοινωνία έχει βασικό πλεονέκτημα ότι ξεπερνά τα εμπόδια της γλώσσας ενώ είναι πολύ άμεση μεταβιβάζοντας ταυτοχρόνως πολλά μηνύματα. Αυτό φάνηκε τη δεκαετία του 60 όπου οι διαφημιστές και οι marketers αναζήτησαν νέους τρόπους επικοινωνίας όπως περιοδικά και τηλεοπτικές εκπομπές (Leiss, Kleine, Jolly, 2008).

Η κατανόηση κάποιων μοντέλων επικοινωνίας από τους σχεδιαστές της οπτικής επικοινωνίας, είναι απαραίτητη, σύμφωνα με τους John Morgan και Peter Welton (*Morgan, Welton. 1996*). Οι σχεδιαστές επικοινωνίας θα προχωρήσουν στην υλοποίηση των λεπτομερειών ώστε το μήνυμα να είναι ευδιάκριτο. Θα ξεκινήσουν από την ιδέα και εφαρμόζοντας κανόνες και εκμεταλλευόμενοι τις επιστήμες σκεπτόμενοι κάθε τι που θα κάνει πιο κατανοητή τη μεταβίβαση του μηνύματος (*Gill, 1988*). Αποκορύφωση του αποτελέσματος αποτελεί η αποτύπωση σε τρισδιάστατη μορφή, είτε σε πραγματικές διαστάσεις είτε υπό κλίμακα, όπως μακέτα κλπ. Το μοντέλο έρχεται όσο πιο κοντά γίνεται στην πραγματικότητα με την ψηφιακή του εκτύπωση σε τρεις διαστάσεις.

Καθώς ο χειρισμός του προγράμματος για την οπτική επικοινωνία με την κατασκευή ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι πολύπλοκος, χρειάζεται ένα άτομο το οποίο να είναι εξοικειωμένο στον σχεδιασμό και τη χρήση τέτοιων προγραμμάτων και θα είναι εκπαιδευμένο έτσι ώστε να μπορεί να είναι όσο πιο δημιουργικό γίνεται. Το προφίλ που απαντάται στο άτομο που καλύπτει αυτές τις απαιτήσεις είναι ο γραφίστας.

6.2.1.3. Ο Ρόλος της Εφαρμογής Τρισδιάστατων εκτυπώσεων στις Γραφικές Τέχνες

Είναι σίγουρο ότι ο γραφίστας δεν έχει άμεση εμπλοκή με όσες εφαρμογές αναφέραμε στην αρχή της ενότητας. Όμως, τα προϊόντα της εργασίας του γραφίστα έχουν να κάνουν με τρισδιάστατα αντικείμενα, αφού βιβλία, διαφημιστικά φυλλάδια, κάρτες, πινακίδες, εμπορεύματα, συσκευασίες, φάκελοι και πλαίσια έχουν φυσικά τρεις διαστάσεις και αφορούν στην οπτική επικοινωνία.

Πέραν αυτών όμως υπάρχει ένας νέος ορίζοντας με καλή προοπτική για τον γραφίστα: πρόκειται για το κομμάτι της συνεργασίας με τους developers όπου αναπτύσσουν και σχεδιάζουν προϊόντα. Οι γραφίστες συνεργάζονται ακόμα με αρχιτέκτονες και επιχειρηματικούς πελάτες. Για το λόγο αυτό οφείλουν να είναι ενήμεροι και να χρησιμοποιούν τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες, όπως η 3D εκτύπωση. Μίνι μακέτες και άλλα πρωτότυπα μπορούν να εκτυπωθούν σε 3D. Η οπτικοποίηση των δεδομένων χρησιμοποιείται για να κάνει

τα big-data πιο κατανοητά. Πρόκειται δηλαδή για άλλη μία ανάγκη που έρχεται να καλύψει η γραφιστική. Οι 3D εκτυπώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην τυπογραφία για την εκτύπωση των προτύπων μέχρι να πάρουν την τελική τους μορφή. Έτσι θα δοθεί μια αποτύπωση σε τρεις διαστάσεις πριν το τελικό προϊόν φτάσει στην παραγωγή, όπου μία ατέλεια θα μπορούσε να κοστίζει αρκετά τόσο σε πόρους όσο και σε περιορισμένη επικοινωνία. Επίσης, μπορούν να εκτυπωθούν τρισδιάστατα πρωτότυπα επαγγελματικών καρτών, συσκευασιών και αρχικών μοντέλων προϊόντων (*King, 2020*).

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έρχεται να υπηρετήσει δύσκολους στόχους με υψηλότερη αναλογία ακρίβειας και επιτυχίας. Θα πρέπει να αποδεχτούμε την 3D εκτύπωση ως αναπόσπαστο μέλος της γραφιστικής και της οπτικής επικοινωνίας. Καθώς οι γραφίστες ήδη εργάζονται πάνω σε λογισμικό σχεδίασης σε τρεις διαστάσεις σε συνδυασμό μάλιστα με την καλλιτεχνική τους φύση, αφού κατέχουν πολύ καλά τις γνώσεις της οπτικής επικοινωνίας, καθίστανται οι πιο κατάλληλοι ώστε να αποδώσουν τα μέγιστα μέσω των τρισδιάστατων εκτυπώσεων. Οι σχεδιαστές γραφιστικής και οπτικής επικοινωνίας μπορούν να συνδυάσουν μοντέλα και χρώματα στην 3D σχεδίαση σε τέτοιο βαθμό που μπορούν να θεωρηθούν ως η ψυχή της 3D εκτύπωσης. Υπάρχει μια πληθώρα πεδίων ανάπτυξης για την 3D εκτύπωση. Αν και σε μερικά πεδία που έχουν προοπτικές για τη χρήση 3D εκτυπώσεων εμπλέκεται η γραφιστική, όπως τα υλικά διαφήμισης, τα υλικά μάρκετινγκ, τα περίπλοκα data (big data) το εύρος (η ποικιλία) των πεδίων εμπλοκής δείχνει να είναι απεριόριστη. Η 3D εκτύπωση αναπτύσσεται συνεχώς και δίνει σε ανθρώπους με ταλέντο την ευκαιρία να ασχοληθούν με αυτή και να δημιουργήσουν (*Bouargane, 2019*).

6.2.2. Παραδείγματα Εφαρμογών 3D Εκτυπώσεων στην Οπτική Επικοινωνία.

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να υπενθυμίσουμε ότι θα παραμείνουμε πιστοί στο αντικείμενο της εργασίας που είναι οι 3D εκτυπώσεις και για το λόγο αυτό δεν θα αναφερθούμε σε εκτυπώσεις 3D απεικονίσεων όπως 3D posters κλπ.

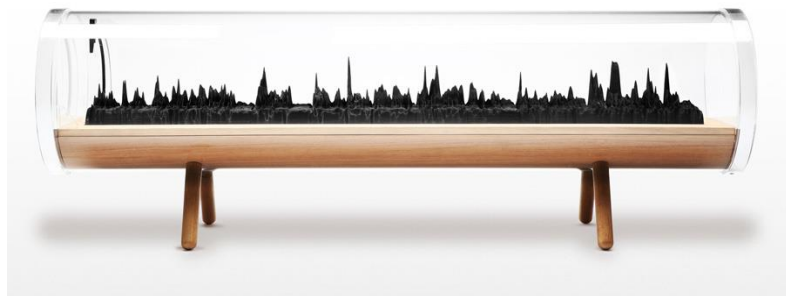
6.2.2.1. Η Καλλιτεχνική Πλευρά των 3D Εκτυπώσεων

Όπως κάθε νέα τεχνολογία, υπάρχει μια αντίδραση των ανθρώπων στο να την αποδεχθούν. Για παράδειγμα, χρειάστηκαν σχεδόν εκατό χρόνια από την πρώτη φωτογραφία του Nicéphore Niépce του 1826 ώστε να φτάσει να θεωρείται τέχνη. Τα αποτελέσματα της 3D τεχνολογίας ανοίγουν νέους ορίζοντες και κανείς δεν μπορεί να μην παραδεχθεί ότι πρόκειται για ένα σπουδαίο εργαλείο για τους καλλιτέχνες. Αυτό που η εκτύπωση 3D έχει να δώσει είναι σίγουρα το άνοιγμα σε νέους τομείς έμπνευσης. Ήδη κάποιοι καλλιτέχνες έχουν αναδειχθεί μέσω της τεχνολογίας 3D εκφράζοντας νέες καλλιτεχνικές αντιλήψεις. Παρότι, όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 5, η τεχνολογία των 3D εκτυπωτών εφαρμόζεται από το 1980, οι πρώτες καλλιτεχνικές εργασίες παρουσιάστηκαν το 2015. Πολιτιστικά κέντρα όπως το Πομπιντού στη Γαλλία φιλοξένησαν εκθέματα 3D στην έκθεση "Print the World". Στη Σιγκαπούρη μπορεί κάποιος να θαυμάσει εκθέματα 3D κατά το iLight Marina Bay Festival (*Michelle, 2018*).

Ο Γάλλος Gilles Azzaro είναι ένας από τους πρωτοπόρους καλλιτέχνες που χρησιμοποίησε την 3D εκτύπωση για την οπτικοποίηση της ψηφιακής καταγραφής της ομιλίας του Barack Obama. Έχει ονομάσει το έργο του "Voice Sculptor." (*Robertson, 2013*). Το μέρος της ομιλίας, διάρκειας τριάντα εννέα (39) δευτερολέπτων, εκτυπώθηκε σε 3D σε υλικό μήκους 151 εκατοστών και βάρους 9.072 γραμμαρίων. Η εκτύπωσή του διήρκεσε περισσότερο από 350 ώρες. Πρωτοπαρουσιάστηκε στο London 3D Printshow στις 7 Νοεμβρίου του 2013 και στη συνέχεια εκτέθηκε στο Παρίσι και στη Νέα Υόρκη το 2014 (*Azzaro, 2020*). Από τότε η καριέρα του εκτινάχτηκε και συνεχίζει τις δραστηριότητές του αφιερωμένες στη 3D εκτύπωση μέχρι σήμερα.



Εικόνα 18: Ο Gilles Azzaro ποζάρει μαζί με το 3D δημιούργημά του, απόσπασμα ομιλίας του Προέδρου των ΗΠΑ Β. Obama, πηγή (Azzaro, 2020)



Εικόνα 19: Το 3D μοντέλο του Gilles Azzaro τοποθετημένο στην ειδικά διαμορφωμένη διαδραστική βάση, πηγή (Azzaro, 2020)

Παρατηρούμε ότι ο Azzaro, προκειμένου να αποδώσει τα μέγιστα στην επικοινωνία, τοποθέτησε το προϊόν της εκτύπωσης σε μία βάση και πρόσθεσε έναν μηχανισμό όπου με το πάτημα ενός κουμπιού ξεκινά ταυτόχρονα η αναπαραγωγή του λόγου του Obama και η οπτική

επισήμανση της χρονικής στιγμής εκπομπής του αναπαραγόμενου ήχου. Ο Azzaro Χρησιμοποιεί 5 3D εκτυπωτές τεχνολογίας FDM (Michelle, 2018).

Disruptive Technology ή αλλιώς “Ταραχοποιά Τεχνολογία” αποκαλούν την εκτύπωση 3D όσοι παρευρέθηκαν στην έκθεση Imprimer Le Monde που έγινε το 2017 στο κέντρο Pompidou στο Παρίσι. Τα εκθέματα εκθειάζονται στο άρθρο (Verner, 2017). Χαρακτηριστική είναι η αναφορά που γίνεται στην αποτύπωση μέσω παντογράφου το 1860 του François Willèm.



Εικόνα 20: Τρισδιάστατη Τυπογραφία Ρητίνης του Richard Ardagh. Photography: Hervé Véronèse.

Courtesy of Centre Pompidou

Η διαδικασία “Print-in-Place” έχει γοητεύσει πολλούς σχεδιαστές. Πρόκειται για μονοκόμματη εκτύπωση 3D συγκροτημένων δημιουργημάτων τα οποία δεν χρειάζονται συναρμολόγηση παρόλο που αποτελούνται από κινούμενα μέρη. Πολλά από αυτά είναι διαθέσιμα για λήψη στην πλατφόρμα “Cults3D”. Διακρίνονται, η τομή ενός τρικύλινδρου εμβολοφόρου κινητήρα σε μινιατούρα, ένα καγιάκ σε πραγματικές διαστάσεις, μια βάση τηλεφώνου για το αυτοκίνητο, μια βάση για χαρτί υγείας, φιγούρες Astérix και Obélix και άλλα (Mélanie, 2020).



Εικόνα 21: Τομή ενός τρικύλινδρου εμβολοφόρου κινητήρα σε μινιατούρα με κινούμενα μέρη, εκτυπωμένου σε 3D, πηγή (Mélanie, 2020)



Εικόνα 22: 3D "Print-in-Place", πηγή (Mélanie 2020)

6.2.2.2. Οι 3D Εκτυπώσεις στο Οπτικό Μάρκετινγκ

Από τη στιγμή που το οπτικό μάρκετινγκ “ανακάλυψε” τη 3D εκτύπωση, έχουν πλέον οι εταιρείες τη δυνατότητα να προσεγγίσουν το καταναλωτικό κοινό και μάλιστα, ολοένα και με χαμηλότερο κόστος. Ένας λόγος παραπάνω για τη χρήση μοντέλων 3D στο μάρκετινγκ είναι ότι δεν χρειάζονται μηχανικές αντοχές καθώς δεν προορίζονται για χρήση αλλά μόνο για παρουσίαση. Έτσι έχει δημιουργηθεί ένα νέο τμήμα τρισδιάστατης εκτύπωσης και μάρκετινγκ. Παρουσιάζεται λοιπόν μία πρόκληση προς τους σχεδιαστές για να μεταβούν από τη σχεδίαση 2D στην 3D. Όσοι σχεδιαστές βούτηξαν προς αυτή την κατεύθυνση αποζημιώθηκαν από τα αποτελέσματα (*3DPRINTINGMMEDIANETWORK, 2020*).

To 3D Printing Project της Coca-Cola

Αξιοσημείωτη είναι η καμπάνια “Mini Me” - “Μικροσκοπικός Εγώ” - της Coca Cola που πραγματοποιήθηκε στο Ισραήλ το 2013 με στόχο την προώθηση της νέας συσκευασίας για την τοπική αγορά. Το Project της Coca-Cola περιελάμβανε διαγωνισμό όπου αρκετοί νικητές είχαν την ευκαιρία να περιηγηθούν στις εγκαταστάσεις της εταιρείας και να λάβουν ως βραβείο μια τρισδιάστατη μινιατούρα με την αποτύπωση του εαυτού τους σε 3D εκτύπωση έπειτα από τρισδιάστατο σκανάρισμα (*Drupa Redaktion, 2017*). Η εταιρία παρουσίασε μια πολύ καλή εφαρμογή 3D σάρωσης και 3D εκτύπωσης, κάτι που στο παρελθόν έχει ξαναγίνει από την CapturedDimensions. Το αποτέλεσμα ήταν καλό καθώς βασίστηκε σε καλούς σαρωτές. Οι σαρωτές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της Artec. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η ίδια τεχνολογία σάρωσης χρησιμοποιήθηκε για να εισαχθούν 3D μοντέλα προκειμένου να εκτυπωθούν αργότερα στην προώθηση του παιχνιδιού Bioshock Infinite. Άλλη μια εταιρεία που πειραματίζεται σε 3D εκτυπώσεις του κοινού που επισκέπτεται τα θεματικά πάρκα είναι η Disney (*Bilton, 2013*).



Εικόνα 23: Το 3D printing project “Mini Me” της Coca Cola στο Ισραήλ, πηγή (Lam, 2013)

Ο Εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρείας Zcorp, αμερικάνικης κατασκευής, τεχνολογίας 3D Powder and binder jetting, διασύνδεσης ethernet με ρυθμιζόμενο πάχος (επιπέδου) στρώματος εκτύπωσης και δυνατότητα εκτύπωσης έγχρωμου αντικειμένου διαστάσεων μέχρι πλάτος 14 inches (356 mm) και ύψος 8 inches (203 mm). Τον κύριο εκτυπωτή συνοδεύει η συσκευή απομάκρυνσης της πούδρας για το φινιρίσμα. Η αξία ενός τέτοιου εκτυπωτή είναι περίπου 6.000 USD (*ebay.com, 2020*).

To 3D Printing Project της VolksWagen

Άλλη μία αξιοσημείωτη κίνηση μάρκετινγκ με την εκμετάλλευση της 3D εκτύπωσης απέδωσε στην Volkswagen αύξηση των προτιμήσεων των πελατών κατά 16% και των πωλήσεις 17% σε σύγκριση με τα αντίστοιχα στοιχεία της προηγούμενης χρονιάς. Το project έτρεξε το 2012 από την Volkswagen Δανίας. Οι δυνητικοί πελάτες είχαν την ευκαιρία να κατεβάσουν δωρεάν λογισμικό για τη σχεδίαση του μοντέλου, να το σχεδιάσουν, να το εκτυπώσουν σε διαδικτυακό 3D εκτυπωτή και να το παραλάβουν αμέσως μετά. Σαράντα προϊόντα της προωθητικής εκτυπώθηκαν σε 3D και εκτέθηκαν στην Κοπεγχάγη. Ένας τυχερός νικητής του διαγωνισμού είχε την ευκαιρία να κερδίσει ένα Polo με το σχέδιό του αποτυπωμένο σε film wrap. Οι 3D εκτυπώσεις των μοντέλων δόθηκαν στους δημιουργούς τους (Drupa Redaktion, 2017).



Εικόνα 24: Στάδια επεξεργασίας και εφαρμογής του 3D printing project της Volkswagen, πηγή (Drupa Redaktion, 2017)

Πέρα από την καμπάνια που έτρεξε το 2012, η Volkswagen δείχνοντας την σοβαρότητα που όφειλε, διατηρεί στο διαδίκτυο τις πληροφορίες για τον τρόπο που έτρεξε το project. Σημειώνεται ότι οι επισκέπτες της ιστοσελίδας μαζί με το λογισμικό λάμβαναν το βασικό αρχείο 3D με το βασικό τρισδιάστατο σχέδιο του Polo, όπου σε αυτό θα πραγματοποιούσαν τις επεμβάσεις τους. Μάλιστα, πέραν της σύντομης παρουσίασης του λογισμικού που δόθηκε στο κοινό, σε ένα σύντομο βίντεο ενός λεπτού και έντεκα δευτερολέπτων παρουσιάζεται η τεχνολογία του 3D εκτυπωτή που χρησιμοποιήθηκε. Πρόκειται για έναν εκτυπωτή Ψεκασμού Συνδετικού Υλικού Άμμου – Sand Binder Jetting (*PoloDriver.com, 2012*). Με την ολοκλήρωση της σχεδίασης, το λογισμικό το τέμνει σε φύλλα πάχους ενός χιλιοστού και το στέλνει στον 3D online εκτυπωτή. Ο εκτυπωτής ξεκινά την 3D εκτύπωση ψεκάζοντας ένα αντίστοιχο λεπτό στρώμα σύνθετης πούδρας επάνω στην επιφάνεια εκτύπωσης. Ο εκτυπωτής μετά χρησιμοποιεί μία κεφαλή ψεκασμού συγκολλητικού υγρής μορφής το οποίο στερεοποιεί την πούδρα στο σχήμα που απαιτείται για την κάθε στρώση. Κατά τον ίδιο χρόνο, ο εκτυπωτής κάνει μίξη χρωμάτων μελανιών (CMY and Black) για να χρωματίσει την εξωτερική πλευρά της κάθε λωρίδας, σύμφωνα με το σχέδιο. Όταν ολοκληρωθεί η εκτύπωση του κάθε επιπέδου, ολόκληρη η επιφάνεια εκτύπωσης χαμηλώνει κατά ένα χιλιοστό και άλλο ένα επίπεδο συνθετικής πούδρας απλώνεται σε όλη την επιφάνεια εκτύπωσης. Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για κάθε επίπεδο. Όταν το μοντέλο είναι έτοιμο, περιβάλλεται από πούδρα που δεν είναι στερεοποιημένη. Τότε ο εκτυπωτής χρησιμοποιεί υποπίεση για να απομακρύνει την περισσότερη πούδρα. Κατόπιν, ο χειριστής χρησιμοποιεί είτε υποπίεση είτε συμπιεσμένο αέρα για να απομακρύνει την εναπομένουσα πούδρα. Όλη η πούδρα ανακυκλώνεται και ξαναχρησιμοποιείται. Όταν το μοντέλο καθαρίσει εντελώς από την πούδρα, εμβαπτίζεται με ρητίνη ώστε να τονιστούν τα χρώματα και να ενισχυθεί η αντοχή του. Στεγνώνει γρήγορα και τότε είναι έτοιμο.

6.2.3. Οι Προοπτικές της 3D Εκτύπωσης στην Οπτική Επικοινωνία

Η 3D εκτύπωση έρχεται να ανακινήσει τον χώρο της δημιουργικότητας προσδίδοντας ευκολία, ταχύτητα και χαμηλότερο κόστος. Τα 3D λογισμικά της αγοράς είναι ολοένα και πιο εύχρηστα για τον χρήστη. Η τεχνολογία των υπολογιστών έχει προχωρήσει σημαντικά ώστε να δίνει αξιοπρεπείς χρόνους επεξεργασίας δεδομένων. Έτσι τα πρωτότυπα έρχονται πιο γρήγορα αποτυπώνοντας τις ιδέες και μάλιστα με σημαντικά χαμηλότερο κόστος από το αντίστοιχο μιας δειγματοληπτικής παραγωγής (*Designs Desk, 2019*).

Ο γραφίστας έχει μικρότερο ρίσκο όταν τα πρωτότυπά του έχουν περιορισμένο κόστος. Έτσι μπορεί να αναλάβει υψηλότερους κινδύνους και να κάνει περισσότερες δοκιμές. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην παραγωγή είναι ο περιορισμός του ρίσκου. Με την 3D εκτύπωση το ρίσκο περιορίζεται καθώς δεν κατασκευάζονται καλούπια ούτε χρησιμοποιείται όλη η υποδομή της παραγωγής. Τα μοντέλα, με την κατασκευή τους μέσω 3D εκτύπωσης, είναι δυνατό να κατασκευάζονται σε χώρους πολύ κοντά στο σχεδιαστήριο. Έτσι αποφεύγονται οι μετακινήσεις και ξοδεύονται λιγότερες ώρες.

Με τις εκτυπώσεις 3D, από το 3D μοντέλο του Η/Υ πάμε στο φυσικό μοντέλο 3D. Ίσως οι σχεδιαστές γραφιστικής και οπτικής επικοινωνίας να αντιλαμβάνονται τα τρισδιάστατα μοντέλα όταν τα βλέπουν σε λογισμικό 3D αρκετά εύκολα, όμως τίποτα δεν τους εξασφαλίζει ότι ο πελάτης τα αντιλαμβάνεται εξίσου εύκολα. Με την 3D εκτύπωση να δίνει στον πελάτη εικόνα πολύ κοντά στην πραγματική – ανάλογα με το μέγεθος και την πιστότητα της εκτύπωσης ως προς το πραγματικό μοντέλο – εξασφαλίζεται ότι ο πελάτης αντιλαμβάνεται πλήρως την πρόταση. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι παρεξηγήσεις, τα υπερβολικά κόστη και μπορούμε να δούμε τις αντιδράσεις του. Η παραγωγή για μικρά αντικείμενα μπορεί να ξεκινήσει μέσω 3D εκτυπώσεων.

Όλες οι εργασίες μπορούν να γίνουν πιο γρήγορα. Με την 3D εκτύπωση να έρχεται να κατασκευάσει το πρωτότυπο οι χρόνοι που θα οδηγήσουν στην παραγωγή και την ολοκλήρωση του project επιταχύνονται σημαντικά. Η μείωση του χρόνου για τα μεγάλα έργα είναι ακόμη μεγαλύτερη. Αυτό δίνει ενέργεια στον σχεδιαστή οπτικής επικοινωνίας ώστε να

βελτιωθεί ακόμα περισσότερο, να ξεκινήσει νέο project και να βελτιώνεται διαρκώς και μάλιστα με γρήγορους ρυθμούς. Νέες ιδέες έρχονται πιο γρήγορα στο μυαλό.

Στον αγώνα αυτόν όμως έρχονται νέοι ανταγωνιστές να συμμετάσχουν. Οι νέοι καλλιτέχνες της γραφιστικής και οπτικής επικοινωνίας θα μπορέσουν να ξεκινήσουν πιο εύκολα στον τομέα.

Πλέον με το χαμηλότερο κόστος του πρωτοτύπου, τους δίνεται η ευκαιρία να ασχοληθούν και να εισέλθουν στο χώρο. Βεβαίως οφείλουμε να αναφέρουμε ότι κατά τον ίδιο τρόπο, οι χομπίστες έχουν το πλεονέκτημα να εισέλθουν στο χώρο και να γίνουν επαγγελματίες εξαιτίας της ευκολότερης εξοικείωσης τους.

7. Συμπεράσματα

Η πραγματοποίηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι αποτέλεσμα που προκύπτει από την ανάπτυξη και την εξέλιξη πολλών τεχνολογιών. Η 3D εκτύπωση σήμερα ξεκινά είτε από τη σχεδίαση του μοντέλου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή είτε από 3D σάρωση ή με ψηφιακή κάμερα σε συνδυασμό με φωτομετρικό software. Σε κάθε περίπτωση αποθηκεύονται δεδομένα σε ψηφιακή μορφή. Η επικρατέστερη σήμερα είναι η αποθήκευση σε αρχείο της μορφής .stl. Τα 3D αρχεία που προέρχονται από σχεδιαστικά προγράμματα αποθηκεύονται επίσης συνήθως σε μορφή .stl.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι εκτύπωσης 3D και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες. Αυτές είναι: Εξώθησης Υλικού - Material Extrusion, Μοντελοποίησης Συντηγμένης Εναπόθεσης (τήξης) - Fused Deposition Modeling (FDM), Δεξαμενής Πολυμερισμού - VAT Polymerization, Στερεολιθογραφίας - Stereolithography (SLA), Ψηφιοποίησης Ψηφιακού Φωτός - Digital Light Processing (DLP), Στερεολιθογραφίας με Μάσκα - Masked Stereolithography (MSLA), Σύντηξης Κλίνης Πούδρας - Powder Bed Fusion (Πολυμερή), Επιλεκτικής Σύντηξης Laser - Selective Laser Sintering (SLS), Ψεκασμού Υλικού - Material Jetting, Ψεκασμού Υλικού -Material Jetting (MJ), Εναπόθεσης κατ' απαίτησης - Drop on Demand (DOD), Ψεκασμού Συνδετικού Υλικού - Binder Jetting, Ψεκασμού Συνδετικού Υλικού Άμμου - Sand Binder Jetting, Ψεκασμού Συνδετικού Υλικού Μετάλλου - Metal Binder Jetting, Σύντηξης Κλίνης Πούδρας - Powder Bed Fusion (μέταλλα), Άμεσης Τήξης Μετάλλου με Λέιζερ - Direct Metal Laser Sintering (DLMS) / Επιλεκτικής Τήξης Μετάλλου - Selective Laser Melting (SLM), Τήξης Δέσμης Ηλεκτρονίων - Electron Beam Melting (EBM), Εκτύπωσης Τροφίμων - Food Printing, Βιοτυπία – Bioprinting.

Οι τεχνολογίες αυτές διαφέρουν ως προς τα υλικά που χρησιμοποιούνται, την λεπτομέρεια στην εκτύπωση ανά επίπεδο στρώσης και την τελική επιφάνεια, την αντοχή, την ταχύτητα εκτύπωσης και το κόστος. Δεν υπάρχει τεχνολογία 3D η οποία να είναι ξεκάθαρα ανώτερη και καλύτερη. Κάθε τεχνολογία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσον αφορά την εμφάνιση και τις δομικές ιδιότητες του εκτυπωμένου. Για αυτόν ακριβώς το λόγο ανάλογα

με τις απαιτούμενες ιδιότητες που πρέπει να έχει το αντικείμενο που θα εκτυπωθεί χρησιμοποιείται και η ανάλογη μηχανή. Εξίσου σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι εφόσον όλες οι προαναφερόμενες τεχνολογίες εκτύπωσης έχουν βρει εφαρμογή στην βιομηχανία και ότι αναμένεται να συνεχίσουν να εμφανίζονται νέες τεχνολογίες στο μέλλον αφού μερικές δεν έχουν φτάσει την επιθυμητή αποδοτικότητα για να εφαρμοστούν σε εργοστασιακό βαθμό, όπως το bioprinting και το food printing.

Από την πρώτη επίσημα καταχωρημένη δημοσίευση της ιδέας του David Edward Hugh Jones για την 3D εκτύπωσης το 1974 χρειάστηκε να περάσουν έξι χρόνια μέχρι να καταχωρηθεί η πρώτη πατέντα από τον Hideo Kodama. Η εκτύπωση γινόταν με τη χρήση ενός θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς μέσω έκθεσης ενδεικνυόμενων περιοχών με χρήση μάσκας. Το 1984 οι Alain Le Méhauté, Olivier de Witte, και Jean Claude André επικύρωσαν πατέντα για τη μέθοδο εκτύπωσης με στερεολιθογραφία. Χρησιμοποίησαν laser για να φωτίσει επιλεκτικά το διάφανο κάτω μέρος μίας δεξαμενής γεμάτης με υγρής μορφής ρητίνη. Την ίδια χρονιά ο Chuck Hull, ο ιδρυτής της 3D Systems εφηύρε το STL (Stereolithography File Format). Ο SLA1 ήταν ο πρώτος 3D εκτυπωτής που κυκλοφόρησε στο εμπόριο. Σταδιακά εμφανίστηκαν οι τεχνολογίες FDM (1988), SLS (1970), DOD (1993). Οι τεχνολογίες συνέχισαν να βελτιώνονται διαρκώς. Το 2008 εκτυπώθηκε το πρώτο προσθετικό άκρο. Το 2010 εκτυπώθηκε το πρώτο αυτοκίνητο εξ' ολοκλήρου από τον ίδιο εκτυπωτή. Οι τεχνολογίες που κυριάρχησαν τη δεκαετία του 2010 ξεκαθάρισαν το πεδίο όπου η αφαίρεση υλικού δεν θα αποτελούσε την μοναδική μέθοδο επεξεργασίας μετάλλου που θα χρησιμοποιούνταν στο μέλλον. Το 2011 ξεκίνησε η κατασκευή του πρώτου εκτυπωτή 3D φαγητών από το πανεπιστήμιο Cornell, NY. Το 2012 εκτυπώθηκε και εμφυτεύτηκε για πρώτη φορά σιαγόνα. Το 2014 ο Benjamin S. Cook και ο Manos M. Tentzeris παρουσίασαν την πρώτη πλατφόρμα που χρησιμοποιούσε παραπάνω από ένα είδος υλικού και εκτύπωνε κάθετα ενοποιημένα εκτυπωμένα ηλεκτρονικά με χρήση AM τα οποία μπορούσαν να λειτουργήσουν μέχρι και στα 40GHz. Το 2016 το εργαστήριο του Daniel Kelly ανακοίνωσε την ικανότητα να εκτυπώσει οστά, ενώ άλλες εφαρμογές στην ιατρική, όπως τεχνητή οδοντοστοιχία, είχαν προηγηθεί. Το 2018 ήταν η πρώτη χρονιά όπου μια οικογένεια μετακόμισε σε 3D εκτυπωμένο σπίτι.

Η συνέχεια της εξέλιξης των 3D εκτυπώσεων είναι δεδομένη με τις επιστήμες να εξελίσσονται και τις έρευνες να επιμένουν εντατικά. Οι 3D εκτυπώσεις τείνουν να γίνουν μέρος της ρομποτικής. Η αποκορύφωση έρχεται με την εκτύπωση ανταλλακτικών διαστημοπλοίων στο χώρο δράσης και μάλιστα χωρίς να επιβάλλεται η φυσική παρουσία του ανθρώπου. Ο ρυθμός ανάπτυξης της 3D εκτύπωσης προσδίδει την εικόνα που θα σχηματιστεί στα επόμενα χρόνια. Υπάρχει πρόσφορο έδαφος και απεριόριστη προοπτική των 3D εκτυπώσεων στο μέλλον.

Εφαρμογές στο Πεδίο των Γραφικών Τεχνών

Οι σχεδιαστές επικοινωνίας ξεκινούν από την ιδέα και εφαρμόζοντας κανόνες εκμεταλλεύονται τις επιστήμες και τις τεχνολογίες ώστε να διεισδύσουν σε λεπτομέρειες και να αποδώσουν το πιο ευδιάκριτο μήνυμα. Εδώ έρχονται οι 3D εκτυπώσεις να αποδώσουν τα μέγιστα, σε χρόνους συντομότερους από αντίστοιχους γραμμής παραγωγής. Έτσι πραγματοποιούνται δύσκολες ιδέες που προσδίδουν αποτελέσματα που άλλες τεχνολογίες υστερούν.

Με την οπτική επικοινωνία υπάρχει η προσδοκία για συγκεκριμένη ανταπόκριση του δέκτη στο μήνυμα. Η 3D εκτύπωση διευκολύνει την κατανόηση μηνυμάτων αφού είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα που μπορεί να αντιληφθεί ο δέκτης.

Η 3D εκτύπωση είναι μια καινοτομία με σχεδόν απεριόριστους ορίζοντες εξέλιξης. Όσο εξελίσσεται η 3D εκτύπωση, θα μειώνονται τα κόστη. Η χρήση των 3D εκτυπωτών εξαπλώνεται σε τομείς ανάπτυξης της τεχνολογίας αλλά και σε απλούς οικιακούς χρήστες. Όσο πιο εξειδικευμένοι γίνονται οι 3D εκτυπωτές, τόσο η υποστήριξή τους από καταρτισμένο προσωπικό, ιδιαίτερα για τις υψηλών απαιτήσεων επαγγελματικές εφαρμογές, είναι δεδομένη.

Βιβλιογραφία-Αναφορές

Αγαπητός, Γ. (2020). *Η Porsche δείχνει το 3D εκτυπωμένο αλουμινένιο κέλυφος του κιβωτίου δυο σχέσεων.*

Διαθέσιμο σε <https://www.autoblog.gr/2020/12/17/h-porsche-deixnei-to-3d-ektypwmeno-alouminenio-kelyfos-tou-kibwtiou-dyo-sxesewn/> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

Αγαπητός, Γ. (2020). *Η Porsche μας δείχνει τα νέα 3D εκτυπωμένα πιστόνια για την 911 GT2 RS.* Διαθέσιμο σε

<https://www.autoblog.gr/2020/07/13/h-porsche-mas-deixnei-ta-nea-3d-ektypwmena-pistonina-gia-thn-911-gt2-rs/> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

Με-άλλα-μάτια,. (2020). *Τα οφέλη των 3D εκτυπώσεων και η προοπτική τους στην Ελλάδα: Ελπίδες για ΑμεΑ και νέα γενιά.* Διαθέσιμο σε <https://meallamatia.gr/ta-ofeli-ton-3d-ektyposeon-kai-i-prooptiki-tous-stin-ellada-elpides-gia-amea-kai-nea-geenia/> (Πρόσβαση, 20 Οκτωβρίου 2020)

ΝΑΥΤΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ,. (2018). *Η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης και οι νέες προοπτικές για τη ναυτιλία.* Διαθέσιμο σε <https://www.naftikachronika.gr/2018/07/27/i-technologia-tis-3d-ektyposis-kai-oi-nees-prooptikes-gia-ti-naftilia/> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

Παπαλάμπρος, Λ. (2020). *Η Porsche δημιουργεί πιστόνια από 3D εκτυπωτή.* Διαθέσιμο σε

<https://www.zougla.gr/automoto/news/article/h-porsche-dimiourgi-pistonina-apo-3d-ektipoti/> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

Bloko.gr. (2016). *ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ: «Υπερ-Ελαστικό Οστό»: 3D εκτυπωμένα οστά φθηνές και γρήγορες λύσεις σε ορθοπαιδική και οδοντιατρική* Διαθέσιμο σε <http://www.bloko.gr/2016/10/3d.html> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

MenOfStyle.gr,. (2020). *Ποιες Είναι Τελικά οι Πραγματικές Προοπτικές του 3D-Printing;* Διαθέσιμο σε

<https://www.menofstyle.gr/poies-einai-telika-oi-pragmatikes-prooptikes-toy-3d-printing/> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

RehabLine.gr,. (2019). *3D εκτυπωτές στην Προσθετική: 4 τάσεις με προοπτικές.* Διαθέσιμο σε <https://rehabline-chronopoulos-gougis.gr/2019/04/01/3d-ektypotes-stin-prosthetiki-4-taseis-me-prooptikes/> (Πρόσβαση, 20 Οκτωβρίου 2020)

<https://www.topics.gr/tech/3d-ektypwsh/>

Travelestate.gr,. (2020). *Η NASA θέλει να χτίσει μια βάση στη Σελήνη. Θα μπορούσε να το κάνει με 3D εκτύπωση;* Διαθέσιμο σε <https://travelestate.gr/15772/no-borders/i-nasa-thelei-na-chtisei-mia-vasi-sti-selini-tha-mporoyse-na-to-kanei-me-3d-ektyposi/> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

3DINSIDER,. (2020). *A Detailed History of 3D Printing.* Διαθέσιμο σε <https://3dinsider.com/3d-printing-history/> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

3DPRINTING.COM, (2018). *Dutch Chef Teams Up With Byflow to Launch 3D Printed Food Restaurant.* Διαθέσιμο σε <https://3dprinting.com/food/dutch-chef-teams-up-with-byflow-to-launch-3d-printed-food-restaurant-in-wolvega/> (Πρόσβαση, 20 Ιανουαρίου 2021)

3DPRINTING.COM, (2018) *LA Starbucks Now Feature Dream Pops 3D Printed Ice Cream.* Διαθέσιμο σε <https://3dprinting.com/food/la-starbucks-now-feature-dream-pops-3d-printed-ice-cream/> (Πρόσβαση, 20 Ιανουαρίου 2021)

3DPRINTINGMMEDIANETWORK,. (2020). *Visual Marketing.* Διαθέσιμο σε <https://www.3dprintingmedia.network/category/professional-additive-manufacturing/visual-marketing/> (Πρόσβαση, 3 Ιανουαρίου 2020)

Aicher, Otl. (1994). *Analogous and Digital*, (μτφρ. Robinson, Michael), Berlin: Ernst & Son

Alexandrea P. (2019). *The Complete Guide to Binder Jetting in 3D printing* Διαθέσιμο στο: <https://www.3dnatives.com/en/powder-binding100420174/#!>. (Πρόσβαση 14 Οκτωβρίου 2020)

All3DP,. (2020). *Most Common 3D Printer File Formats.* Διαθέσιμο στο <https://all3dp.com/1/3d-printer-file-format/> (Πρόσβαση, 20 Ιανουαρίου 2021)

All3DP (2020). *The Types of 3D Printing Technology.* Διαθέσιμο στο <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/> (Πρόσβαση, 12 Οκτωβρίου 2020)

All3DP (2020). *The Types of 3D Printing Technology.* Διαθέσιμο στο <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26161053/sls-steps.png> (Πρόσβαση, 12 Οκτωβρίου 2020)

All3DP (2020). *The Types of 3D Printing Technology*. Διαθέσιμο στο <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26161021/mj-steps.png> (Πρόσβαση, 12 Οκτωβρίου 2020)

All3DP (2020). *The Types of 3D Printing Technology*. Διαθέσιμο στο <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26161004/bj-steps.png> (Πρόσβαση, 12 Οκτωβρίου 2020)

All3DP (2020). *The Types of 3D Printing Technology*. Διαθέσιμο στο <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/03/26160959/dmls-steps.png> (Πρόσβαση, 12 Οκτωβρίου 2020)

Azzaro, G. (2020). Biography. Διαθέσιμο στο <http://www.gillesazzaro.com/index.htm> (Πρόσβαση, 20 Ιουλίου 2020)

AZZARO, G. (2020). Διαθέσιμο σε <http://www.gillesazzaro.com/pages/en/printing3D.htm> (Πρόσβαση 20 Ιουλίου 2020)

Biega.com (2020). 3D printing - a technical revolution. Διαθέσιμο στο <http://biega.com/3d-printing.shtml> (Πρόσβαση, 12 Οκτωβρίου 2020)

Bilton, R. (2013). *Coca-Cola shows off the untapped potential for 3D printing in advertising*. Διαθέσιμο σε <https://venturebeat.com/2013/08/20/coca-cola-3d-printing/> (Πρόσβαση, 20 Οκτωβρίου 2020)

Bouargane, A. (2019). *USES OF 3D PRINTING IN GRAPHIC DESIGN AND VISUAL COMMUNICATION*. Διαθέσιμο σε <https://www.bbntimes.com/companies/uses-of-3d-printing-in-graphic-design-and-visual-communication> (Πρόσβαση 20 Δεκεμβρίου 2020)

Burgués-Ceballos, I. (2014). Towards industrialization of polymer solar cells: Material processing for upscaling. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/figure/Operating-principle-of-a-drop-on-demand-inkjet-printing-system_fig1_265138292 (Πρόσβαση, 14 Οκτωβρίου 2018)

Carlota, V. (2019) *A guide to 3D Printed Food – revolution in the kitchen?*. Διαθέσιμο σε <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-food-a-new-revolution-in-cooking/#> (Πρόσβαση, 20 Ιανουαρίου 2021)

cellink.com, (2019). *BIOPRINTING EXPLAINED (SIMPLY!)*. Διαθέσιμο σε <https://www.cellink.com/blog/bioprinting-explained-simply/> (Πρόσβαση, 21 Ιανουαρίου 2021)

Chen, A. (2019). *4 common types of 3D printer file formats and when to use it*. Διαθέσιμο στο <https://www.cmac.com.au/blog/4-common-types-3d-printer-file-formats-when-to-use> (Πρόσβαση, 20 Ιανουαρίου 2021)

Columbus, I. (2018). *The State of 3D Printing, 2018*. Διαθέσιμο σε <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2018/05/30/the-state-of-3d-printing-2018/#3fef2d267b0a> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

Columbus, I. (2018). *The State of 3D Printing, 2018*. Διαθέσιμο σε <https://blogs-images.forbes.com/louiscolombus/files/2018/05/3D-Printing-Materials.jpg> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

Columbus, I. (2018). *The State of 3D Printing, 2018*. Διαθέσιμο σε <https://blogs-images.forbes.com/louiscolombus/files/2018/05/3D-Printing-Applications-and-Departments.jpg> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

Cowan, M. (2018). *The world's first family to live in a 3D-printed home*. Διαθέσιμο σε <https://www.bbc.com/news/technology-44709534> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

Designs Desk,. (2019). *A Designer's Guide to the Effects of 3D Printing on the Future of Graphic Design*. Διαθέσιμο σε <https://www.designsdesk.com/456/a-designers-guide-to-the-effects-of-3d-printing-on-the-future-of-graphic-design/> (Πρόσβαση, 20 Ιουνίου 2020)

Drupa Redaktion,. (2017). *5 Ways How 3D Printing Takes Marketing to a New Level*. Διαθέσιμο σε <https://blog.drupa.com/en/5-ways-how-3d-printing-takes-marketing-to-a-new-level-2/> (Πρόσβαση, 20 Οκτωβρίου 2020)

ebay.com,. (2020). *Z Corporation Spectrum Z510 Rapid Prototyping 3D Printer with ZD5 and Supplies*. Διαθέσιμο σε <https://www.ebay.com/itm/Z-Corporation-Spectrum-Z510-Rapid-Prototyping-3D-Printer-with-ZD5-and-Supplies-/153423317409> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

Ellam, R. (2016). *Editor's pick: 3D printing: you read it here first*. Διαθέσιμο σε <https://www.newscientist.com/letter/mg23230991-100-1-editors-pick-3d-printing-you-read-it-here-first/> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

- FutureBridge, 2020. 3D Printing and its Application Insights in Food Industry. Διαθέσιμο σε <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-food-nutrition/3d-printing-and-its-application-insights-in-food-industr/> (Πρόσβαση, 20 Ιανουαρίου 2021)
- Gill, E. (1988). *An Essay on Typography*. London: Lund Humphries
- Huang, M. L., Nguyen, Quang V. and Zhang, Kang. (2010). *Visual Information Communication*. New York: Springer
- italiantechweek.org. (2020). *The history of 3D printing from its beginnings to the modern day*. Διαθέσιμο σε <https://italiantechweek.org/en/news-en/history-of-3d-printing-italian-tech-speak/> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)
- Jakk. (2016). *What file formats are used in 3D printing?* Διαθέσιμο στο <https://www.goprint3d.co.uk/blog/file-formats-used-3d-printing/> (Πρόσβαση, 14 Οκτωβρίου 2020)
- Kadry, H., Wadnap, S., Xu, C., & Ahsan, F. (2019). *European Journal of Pharmaceutical Sciences Volume 135, Digital light processing (DLP) 3D-printing technology and photoreactive polymers in fabrication of modified-release tablets*, σελ 60-67. Διαθέσιμο στο <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0928098719301794> (Πρόσβαση 12 Οκτωβρίου 2020)
- Kenney, K. (2009). *Visual communication research designs*. New York: Routledge
- King, C. (2020). *Uses of 3D printing in graphic design and visual communication*. Διαθέσιμο σε <http://cazazz.com.au/uses-of-3d-printing-in-graphic-design-and-visual-communication/> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)
- Laa, D. (2016). *3D Printed Titan Jaw Implant Successfully Implanted*. Διαθέσιμο σε <https://www.3printr.com/3d-printed-titan-jaw-implant-successfully-implanted-5738204/> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)
- Lam, A. (2013). *The Coca-Cola 'Mini-Me' Campaign Shrinks People Using 3D Printing*. Διαθέσιμο σε <https://www.trendhunter.com/trends/coca-cola-mini-me> (Πρόσβαση, 20 Οκτωβρίου 2020)
- Leiss, W. Kleine, S. Jully, S. (2008). *Διαφήμιση και Επικοινωνία*, (μτφρ. Μεταξά, Κάτια). Αθήνα: Καστανιώτη
- Loc.gov., (2020). *STL (STereoLithography) File Format Family*. Διαθέσιμο σε <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000504.shtml> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

MADEINSPACE.US,. (2020). Διαθέσιμο σε <http://www.madeinspace.us> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

MANUFACTUR3D, (2018). *How Selective Laser Sintering Works?*. Διαθέσιμο στο: <https://manufactur3dmag.com/how-selective-laser-sintering-works/> (Πρόσβαση, 13 Οκτωβρίου 2020)

Mao, Y. (2019). *A 3D Printable Thermal Energy Storage Crystalline Gel Using Mask-Projection Stereolithography*. Διαθέσιμο στο https://www.researchgate.net/figure/The-schematics-of-mask-projection-stereolithography-for-bottom-up-system-left-and_fig1_328176479 (Πρόσβαση, 12 Οκτωβρίου 2019)

Marrey, M. (2019). *A Framework for Optimizing Process Parameters in Powder Bed Fusion (PBF) Process Using Artificial Neural Network (ANN)*. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-diagram-of-direct-metal-laser-sintering-DMLS-process-6_fig1_334114846. (Πρόσβαση, 14 Οκτωβρίου 2020)

Mashambanhaka, F. (2018), *What Is 3D Bioprinting? – Simply Explained*. Διαθέσιμο σε <https://all3dp.com/2/what-is-3d-bioprinting-simply-explained/> (Πρόσβαση, 25 Οκτωβρίου 2020)

Mélanie R. (2020). *TOP 10 des fichiers 3D qui ont marqué l'année .2020* Διαθέσιμο σε <https://www.3dnatives.com/fichiers-3d-2020-best-of-25122020/> (Πρόσβαση, 3 Ιανουαρίου 2021)

Michelle, J. (2018). *3D printing in art: an evolution of the concept*. Διαθέσιμο στο <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-in-art-evolution-of-creation-260920184/#!> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

Morgan, J. Welton, P. (1996). *See what I mean?* London: Arnold

NASA,. (2014). *Space Tools On Demand: 3D Printing in Zero G*. Διαθέσιμο σε https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/3D_Printing-v3.pdf (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

NASA,. (2019). *Solving the Challenges of Long Duration Space Flight with 3D Printing*. Διαθέσιμο σε https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/3d-printing-in-space-long-duration-spaceflight-applications (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

Nature.com. (2016). *'Bones' made with 3D printer*. Διαθέσιμο σε <https://www.nature.com/articles/538008a> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

Permalink,. (1983 to 1987). *Chuck Hull Invents Stereolithography or 3D Printing and Produces the First Commercial 3D Printer*. Διαθέσιμο στο <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3864> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

PoloDriver.com,. (2012). *Volkswagen Denmark launches 'The Polo Principle' advertising campaign*. Διαθέσιμο σε <http://www.polodriver.com/polo-2009/volkswagen-denmark-launches-the-polo-principle-advertising-campaign/> (Πρόσβαση, 20 Ιουλίου 2020)

RegenHU, (2020). *THE R-GEN 200 BIOPRINTER*, Διαθέσιμο σε <https://www.regenhu.com/products/r-gen-200/> (Πρόσβαση, 21 Ιανουαρίου 2021)

Robertson, A. (2013). *This is how you turn Obama's speech about 3D printing into a 3D-printed sculpture*. Διαθέσιμο στο <https://www.theverge.com/2013/11/21/5130086/3d-printed-obama-state-of-the-union-address-voice-sculpture> (Πρόσβαση, 20 Δεκεμβρίου 2020)

Segall, A. (2011). *This 3D printer makes edible food*. Διαθέσιμο σε https://money.cnn.com/2011/01/24/technology/3D_food_printer/index.htm (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

Serrano, D. (2017). *Personalised 3D Printed Medicines: Which Techniques and Polymers Are More Successful?*. Διαθέσιμο στο https://www.researchgate.net/profile/Dolores_Serrano/publication/319987351/ (Πρόσβαση, 12 Οκτωβρίου 2020)

Silbernagel, C. (2018), *Additive Manufacturing 101-4: What is material jetting?*. Διαθέσιμο στο: <http://canadamakes.ca/wp-content/uploads/2018/04/4-Material-Jetting.png> (Πρόσβαση, 13 Οκτωβρίου 2020)

Verner, A. (2017). *Designers and artists bring 3D printing into sharp relief at the Centre Pompidou*. Διαθέσιμο σε <https://www.wallpaper.com/design/3d-printing-exhibition-centre-pompidou-paris> (Πρόσβαση, 22 Οκτωβρίου 2020)

WHITECLOUDS (2020). *File Types used in 3D Printing*. Διαθέσιμο στο <https://www.whiteclouds.com/3DPedia/file-types.html> (Πρόσβαση, 15 Οκτωβρίου 2020)

WHITECLOUDS (2020). *Tradition + Technology*. Διαθέσιμο στο <https://www.whiteclouds.com/3DPedia/ebm.html>. (Πρόσβαση, 15 Οκτωβρίου 2020)

Wohlens, T. (2005). *Rapid Prototyping, Tooling & Manufacturing State of the Industry*. Διαθέσιμο σε <http://www.wohlensassociates.com/history.pdf> (Πρόσβαση, 30 Ιουνίου 2020)

Wyss Institute, (2020). *3D Bioprinting of Living Tissues*. Διαθέσιμο σε <https://wyss.harvard.edu/technology/3d-bioprinting/> (Πρόσβαση, 23 Ιανουαρίου 2021)