



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Λασαλάντρα Μ. Αλέξανδρος

Καρποντίνης Δ. Ιωάννης

Εισηγητής: Καμπούρης Χρήστος

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΙΟΣ 2017

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Λασαλάντρα Αλέξανδρος

A.M:41776

Καρποντίνης Ιωάννης

A.M:42057

Εισηγητής: Καμπούρης Χρήστος

Εξεταστική Επιτροπή:

Ημερομηνία Εξέτασης:

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η
του με αριθμό μητρώου
φοιτητής/τρια του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε.
του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου,
δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η
του με αριθμό μητρώου
φοιτητής/τρια του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε.
του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου,
δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας με θέμα «Τρισδιάστατη Εκτύπωση» του τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών και Υπολογιστικών Συστημάτων του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα, αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τις οικογένειές μας που μας στήριξαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μας καθώς και τον καθηγητή μας Κ. Χρήστο Καμπούρη για την συνεχή καθοδήγηση και τις συμβουλές που μας παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα. Τέλος, ευχαριστούμε και όλους εκείνους που μας στήριξαν, πίστεψαν στην προσπάθειά μας και βοήθησαν στην περάτωση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την τρισδιάστατη εκτύπωση. Αρχικά, γίνεται διερεύνηση του τρέχοντος επιπέδου τεχνολογίας, που χρησιμοποιείται σήμερα, καθώς και η ιστορική εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης και των τρισδιάστατων εκτυπωτών με την πάροδο των χρόνων. Σε δεύτερο επίπεδο, παρουσιάζονται η σχεδίαση και οι ιδιότητες των υλικών συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής ανάλυση για την χρήση των τρισδιάστατων εκτυπωτών σε βιομηχανικό και προσωπικό επίπεδο με όρους μελλοντικής εξέλιξης. Τέλος, γίνεται παρουσίαση των μοντέλων τρισδιάστατων εκτυπωτών που προσφέρονται στην αγορά σήμερα.

ABSTRACT

This thesis deals with the three-dimensional printing. Firstly, it is investigated the current level of technology, that is used today, but also the historical evolution of the three-dimensional printing and the 3D printers over the years. Secondly, it is presented the design and the properties of weld materials, that are used, in the three-dimensional printing. Furthermore, an extensive analysis is made for the usage of 3D printers at industrial and personal level in terms of future development. Finally, a presentation is made for the 3D printing models that offered nowadays in the marketplace.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Τρισδιάστατη εκτύπωση και παραγωγή

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΕΙΑ: τρισδιάστατη, εκτυπωτής, 3D, υλικά,

Βιομηχανία, Παραγωγή

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ.13
1.1. Περιγραφή του θέματος της πτυχιακής εργασίας.....	σελ.13
1.2. Έννοιες και ορισμοί.....	σελ.13
2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	σελ.17
2.1. Ρίζες της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	σελ.17
2.2. Σημείο καμπής για τη τεχνολογίας της τρισδιάστατη εκτύπωσης.....	σελ.17
2.2.1. Εκτυπωτές Στερεολιθογραφίας.....	σελ.18
2.2.2. Εκτυπωτές Εναπόθεσης Ύλης.....	σελ.19
2.3. RepRap Project.....	σελ.20
2.4. Σημερινό επίπεδο τεχνολογίας.....	σελ.21
2.5. EBM – Electron Beam Melting.....	σελ.21
3. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	σελ.23
3.1. Παρουσίαση ενός 3d εκτυπωτή.....	σελ.23
3.2. Κατασκευαστική δομή ενός 3d εκτυπωτή.....	σελ.24
3.2.1. Κεφαλή απόθεσης υλικού.....	σελ.25
3.2.2. Μηχανισμός εξώθησης υλικού.....	σελ.25
3.2.3. Η πλάκα εκτύπωσης.....	σελ.26
3.2.4. Πλαίσιο στήριξης.....	σελ.26
3.3. Υλικά εκτύπωσης.....	σελ.27
3.3.1. Πολυαμίδιο.....	σελ.27
3.3.2. ABS: Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρολίου.....	σελ.28
3.3.3. Κεραμικά.....	σελ.28
3.3.4. Αλουμίνιο.....	σελ.28
3.3.5. Ορείχαλκος.....	σελ.29
3.3.6. Ανοξειδωτος Χάλυβας.....	σελ.30
3.3.7. Καουτσούκ.....	σελ.30
3.3.8. Τιτάνιο.....	σελ.31
3.3.9. Χρυσός.....	σελ.31
3.3.10. PLA Polylactic acid or polylactide.....	σελ.32
3.3.11. Χαλκός.....	σελ.33
3.3.12. Prime Gray.....	σελ.33

3.3.13. Nasa: Εξαγωγή Υλικών από τον Άρη.....	σελ.34
4. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΧΡΗΣΗ.....	σελ.35
4.1. Προσωπική χρήση.....	σελ.35
4.2. Εκτυπωτές και βιομηχανία.....	σελ.36
4.3. Τρισδιάστατη εκτύπωση στην Ιατρική.....	σελ.40
4.3.1. Εφαρμογές.....	σελ.40
4.3.2. Βλαστοκύτταρα.....	σελ.41
4.3.3. Organono – Βιοεκτύπωση.....	σελ.42
4.3.4. Μάτια.....	σελ.42
4.3.5. Εκτύπωση τμημάτων προσώπου.....	σελ.43
4.3.6. Το μέλλον.....	σελ.43
4.4. Τρισδιάστατη εκτύπωση και Αυτοκινητοβιομηχανία.....	σελ.44
4.4.1. Ο Ρόλος της 3d εκτύπωσης στην παραγωγή.....	σελ.44
4.4.2. Σημερινό επίπεδο τρισδιάστατης τεχνολογίας στην αυτοκινητοβιομηχανία.....	σελ.45
4.4.3. Urbee – Το πρώτο 3d –εκτυπωμένο αυτοκίνητο.....	σελ.49
4.4.4. Μηχανοκίνητος αθλητισμός.....	σελ.51
4.5. Πλεονεκτήματα της χρήσης της 3d τεχνολογίας στη βιομηχανική παραγωγή.....	σελ.51
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	σελ.53
5.1. Τρόποι εκτύπωσης.....	σελ.53
5.1.1. Καρτεσιανοί.....	σελ.53
5.1.2. Delta.....	σελ.53
5.1.3. Πολικοί.....	σελ.54
5.1.4. Scara.....	σελ.54
5.2. Κατασκευαστικά μοντέλα στην αγορά.....	σελ.54
5.2.1. Εκτυπωτές για προσωπική χρήση.....	σελ.55
5.2.2. Εκτυπωτές για επαγγελματική χρήση.....	σελ.59
5.3. Αναφορά σε ομάδες που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα.....	σελ.62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ.65

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

3D: Three dimensions

SLA: stereo lithography

CAD: Computer Aided Design

ABS: Acrylonitrile butadiene styrene

SCARA: Scara

PRINTHEAD: printer head

RP: Rapid Prototyping

PLA: Polylactic acid or polylactide

PG: Prime Gray

EBM: Electron Beam Melting

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

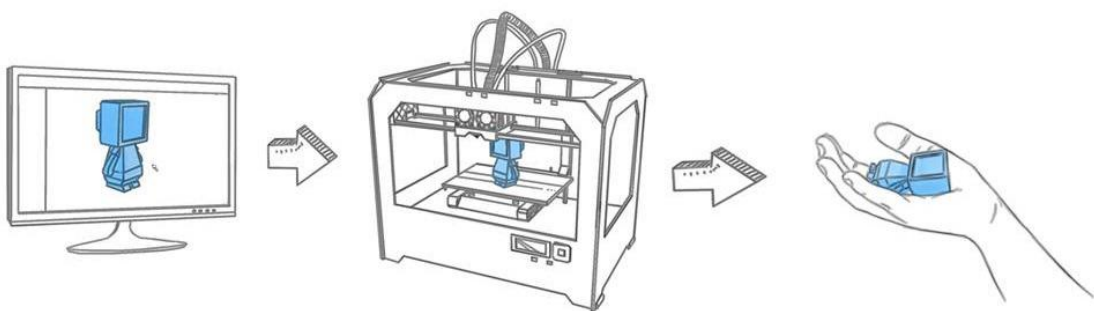
Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται το αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας καθώς και οι έννοιες και οι ορισμοί που βοηθούν στην κατανόηση συγκεκριμένων όρων.

1.1 Περιγραφή του θέματος της πτυχιακής εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την τρισδιάστατη εκτύπωση. Γίνεται πλήρης ανάλυση του γνωστικού αντικειμένου καθώς και η διερεύνηση του τρέχοντος επιπέδου τεχνολογίας που υλοποιείται σήμερα σε σχέση με το αρχικό επίπεδο. Μελέτη των υλικών συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται καθώς και αναλυτική παρουσίαση των σταδίων εξέλιξης σε προσωπικό αλλά και σε βιομηχανικό επίπεδο.

1.2 Έννοιες και ορισμοί

Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D Printing): Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια μέθοδος εκτύπωσης στην οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Ορίζεται δηλαδή ως η διαδικασία που μετατρέπει τρισδιάστατα μοντέλα σε πραγματικά, απτά αντικείμενα. Το αντικείμενο κατασκευάζεται πραγματικά απο το μηδέν σε μικροσκοπικά επάλληλα στρώματα ακολουθώντας μια διαδικασία που θυμίζει τους γνωστούς εκτυπωτές γραφείου.¹



1.1. Αναπαράσταση διαδικασίας τρισδιάστατης εκτύπωσης²

¹ En.wikipedia.org. (2017). 3D printing. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing [Accessed 5 Mar. 2017].

² Doodlesplash.co.uk. (2017) [online] Available at: <http://doodlesplash.co.uk/image/3D-printing/3d-process-2.jpg> [Accessed 3 Mar. 2017].

Υλικό

Υλικό ονομάζουμε το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός 3d μοντέλου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι όπως είναι: το πλαστικό ή διάφορα μέταλλα. Αναλυτικότερα, θα μιλήσουμε για τα υλικά στο Κεφάλαιο 3 που γίνεται λεπτομερής αναφορά.

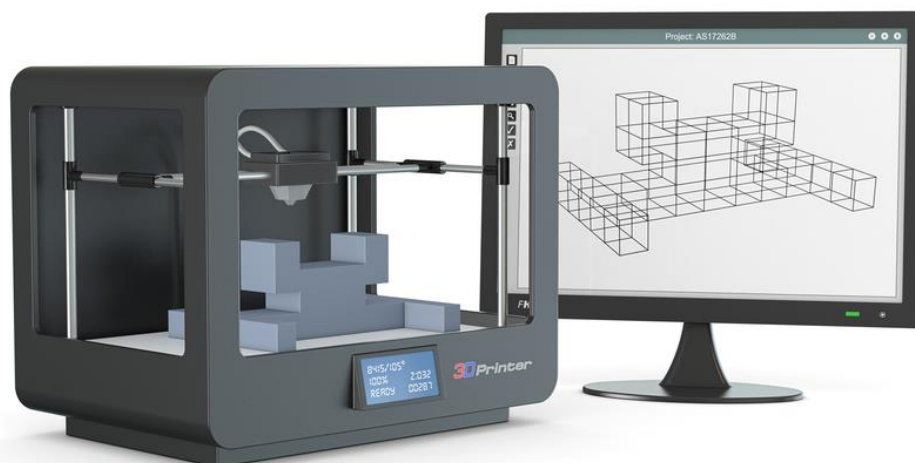
Τρισδιάστατος Εκτυπωτής

Είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των 3d μοντέλων. Εξ 'ορισμού ως μια συσκευή εκτυπωτή ονομάζουμε μια συσκευή εξόδου ενός υπολογιστικού συστήματος, η οποία έχει ως σκοπό την εκτύπωση πληροφοριών που έχουν δημιουργηθεί από τη χρήση κάποιου λογισμικού σε κάποιο φυσικό μέσο. Έτσι λοιπόν όπως ένας εκτυπωτής γραφείου μεταφέρει τις πληροφορίες του λογισμικού πάνω σε ένα κομμάτι χαρτί, έτσι και ο τρισδιάστατος εκτυπωτής μεταφέρει τις πληροφορίες που λαμβάνει από το λογισμικό σχεδίασης του αντικειμένου κατασκευάζοντάς το με τη χρήση ενός συγκεκριμένου υλικού συγκόλλησης.

Λογισμικό σχεδιασμού

Λογισμικό ονομάζουμε το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση του αντικειμένου. Αφού, πρώτα γίνει η σχεδίαση του αντικειμένου στο κατάλληλο λογισμικό σχεδίασης, το επόμενο βήμα είναι η εκτύπωση του τρισδιάστατου μοντέλου. Γνωστά λογισμικά για τρισδιάστατη εκτύπωση είναι:

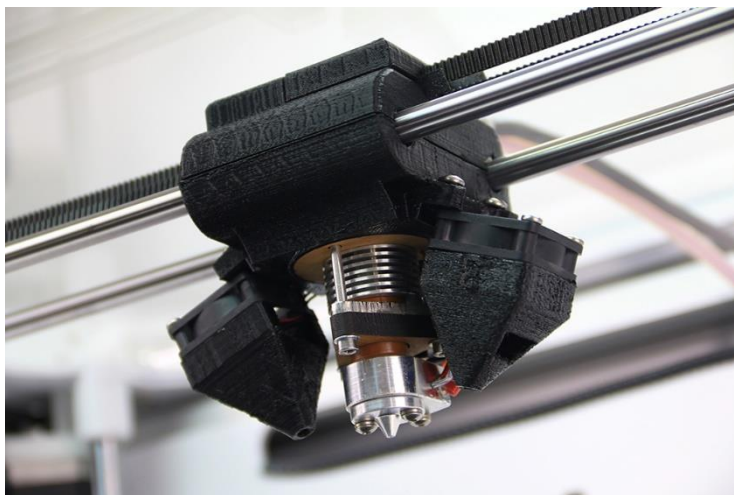
- AutoCAD
- OpenSCAD
- Rhino3d
- CATIA
- Solidworks
- 3ds MAX
- Photoshop CC



1.2. Σχέδιο αντικειμένου σε λογισμικό σχεδίασης και εκτύπωση του³

Κεφαλή

Κεφαλή του εκτυπωτή ή αλλιώς print head ονομάζουμε την κεφαλή του εκτυπωτή η οποία εναποθέτει το υλικό κατασκευής στα σημεία που θέλουμε να εκτυπωθούν.



1.3. Κεφαλή τρισδιάστατου εκτυπωτή⁴

³ EliezerGANON.files.wordpress.com. (2017) [online] Available at: https://eliezerGANON.files.wordpress.com/2014/08/depositphotos_42348221_s.jpg [Accessed 6 Mar. 2017].

⁴ Airwolf3d.com. (2017). [online] Available at: <https://airwolf3d.com/wp-content/uploads/2015/06/3d-printer-hotend.jpg> [Accessed 6 Mar. 2017].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

2.1 Ρίζες της τρισδιάστατης εκτύπωσης⁵

Οι ρίζες της 3D εκτύπωσης εντοπίζονται μέσα στη δεκαετία του 1980, με τον Dr. Hideo Kodama να κάνει την πρώτη αναφορά σε μέθοδο για Rapid Prototyping (RP) με χρήση φωτοπολυμερών υλικών το 1981 στην Ιαπωνία. Η πρώτη συσκευή RP κατασκευάστηκε από τον Chuck Hull, ο οποίος επινόησε την τεχνική της στερεολιθογραφίας για την εκτύπωση τρισδιάστατων αντικειμένων με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία βασίζεται ουσιαστικά στην ιδέα του Kodama, και θεωρείται ο πατέρας του 3D Printing. Ο ίδιος κατασκεύασε την πρώτη συσκευή που λειτουργούσε με τη μέθοδο της στερεολιθογραφίας - SLA το 1983 και το 1987 παρουσιάστηκε το πρώτο σύστημα RP, το SLA-1, από την εταιρία 3D Systems.

Τα επόμενα χρόνια το ενδιαφέρον για αυτή την νέα τεχνολογία αυξήθηκε και αναπτύχθηκαν πολλές καινούριες μέθοδοι 3D εκτύπωσης από διάφορες εταιρίες. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000 η χρήση των 3D εκτυπωτών περιοριζόταν κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές και, μάλιστα, στην κατασκευή πρωτοτύπων, ώστε να εξετάζεται η καταλληλότητα των προϊόντων πριν αρχίσει η παραγωγή τους καθώς οι συσκευές εκτύπωσης είχαν μεγάλο μέγεθος και κόστος.

2.2 Σημείο καμπής για τη τεχνολογία της τρισδιάστατη εκτύπωσης

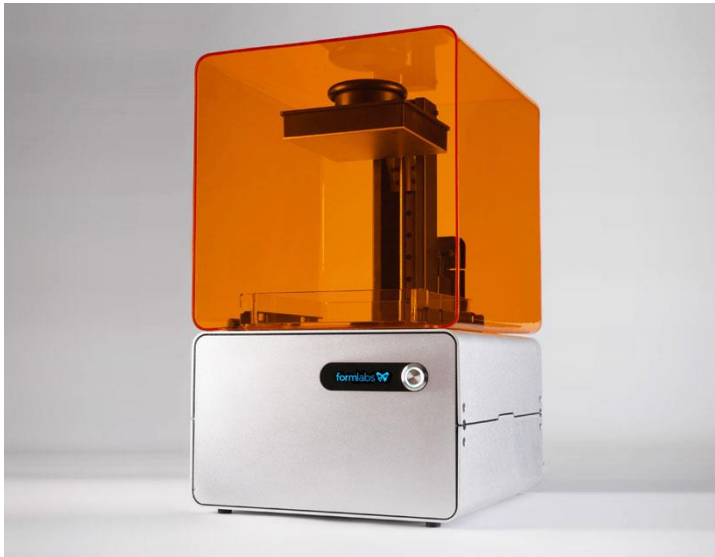
Κατά τη δεκαετία του 2000 έγινε σαφές ότι σύντομα η μέταλλο αφαίρεση δεν θα είναι πλέον η μόνη διαδικασία μεταλλουργίας (δηλαδή ο τρόπος κατά τον οποίο ένα εργαλείο ή μια κεφαλή που θα κινείται μέσα από ένα 3D περιβάλλον εργασίας μετατρέποντας μια μάζα πρώτης ύλης σε ένα επιθυμητό επίπεδο σχήματος φτιάχνοντάς το στρώμα-στρώμα).

⁵ En.wikipedia.org. (2017). 3D printing. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing [Accessed 5 Mar. 2017].

Έτσι μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις τεχνολογίες εκτύπωσης και αντίστοιχα τους εκτυπωτές που χρησιμοποιούνται για κάθε διαδικασία σε δυο βασικές κατηγορίες:

2.2.1 Εκτυπωτές Στερεολιθογραφίας⁶

Η εκτύπωση με τη μέθοδο της στερεολιθογραφίας βασίζεται στο φαινόμενο του πολυμερισμού σύμφωνα με το οποίο όταν ένα υγρό εκτεθεί σε υπεριώδες φως τότε αυτό στερεοποιείται. Αναλυτικότερα υπάρχει μια δεξαμενή γεμάτη με φωτοπολυμερές υγρό, λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια του υγρού υπάρχει μια πλατφόρμα που ελέγχεται από Η/Υ και μετακινείται πάνω κάτω με μεγάλη ακρίβεια. Ο υπολογιστής κατευθύνει μια υπεριώδη ακτίνα λέιζερ η οποία έχει ως στόχο να στερεοποιήσει την επιφάνεια του υγρού και σε επόμενο βήμα η πλατφόρμα κατεβαίνει έτσι ώστε η στερεοποιημένη επιφάνεια να βρεθεί λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια του υγρού και να δημιουργηθεί μια στρώση του τελικού μοντέλου. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία το τελικό προϊόν βγαίνει από το βάθος της δεξαμενής, ξεπλένεται με ένα διαλυτικό από το πολυμερές υγρό και στη συνέχεια τοποθετείται σε φούρνο υπεριώδους ακτινοβολίας για τη σκλήρυνσή του.



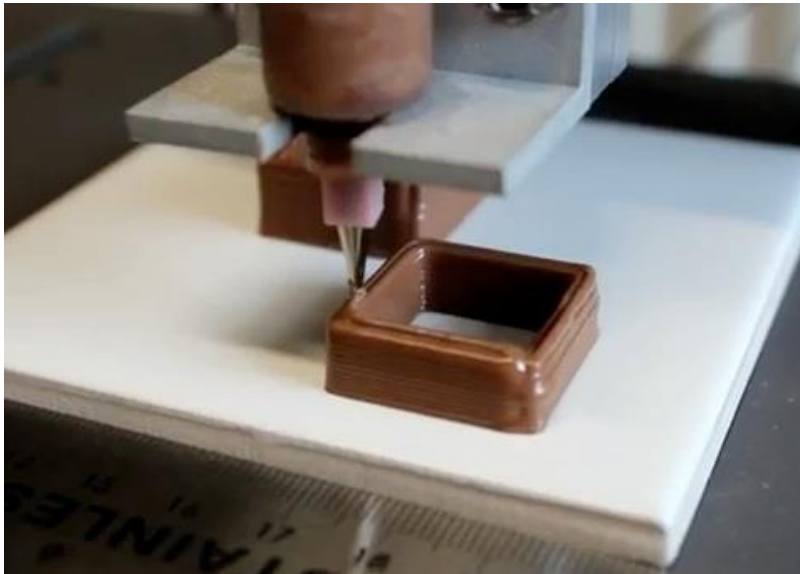
2.1. Παράδειγμα Εκτυπωτή στερεολιθογραφίας⁷

⁶ Ipet.gr. (2017). Τρισδιάστατη Εκτύπωση - Μέθοδοι εκτύπωσης. [online] Available at: http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=59 [Accessed 15 Mar. 2017].

⁷ Designboom.com. (2017). [online] Available at: http://www.designboom.com/weblog/images/images_2/rodrigo/09_september_2012/27_formlabs3D/01.jpg [Accessed 13 Mar. 2017].

2.2.2 Εκτυπωτές εναπόθεσης ύλης

Η τεχνολογία της εκτύπωσης του υλικού μοιάζει με αυτή της εκτόξευσης μελάνης (inkjet) των εκτυπωτών χαρτιού. Η κεφαλή εκτύπωσης μετακινείται ελεύθερα στο επίπεδο και εναποθέτει το υλικό εκτύπωσης αλλά και το υλικό υποστήριξης. Όταν ένα στρώμα τελειώσει η πλάκα εκτύπωσης κατεβαίνει λίγο και ξεκινάει η κατασκευή της επόμενης στρώσης. Αυτό γίνεται μέχρι να τελειώσει η κατασκευή του αντικειμένου.



2.2. Παράδειγμα εκτυπωτή εναπόθεσης υλικού⁸

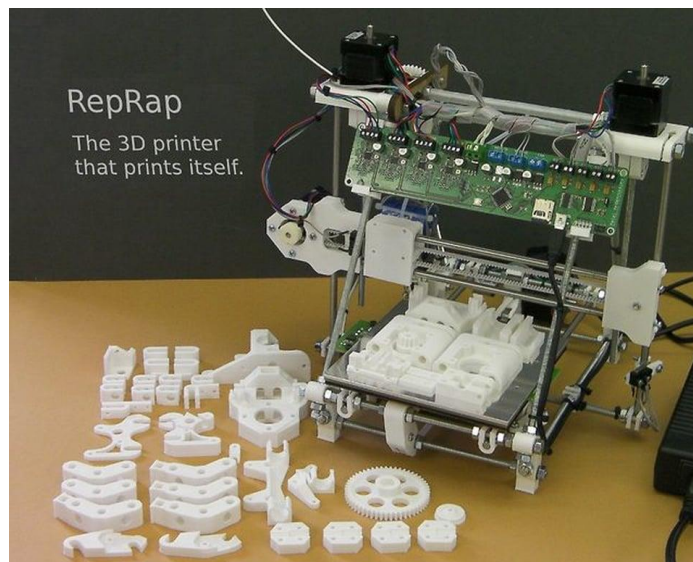
Η δεκαετία του 2000 γενικότερα έφερε σημαντικές αλλαγές και εξελίξεις στον τομέα των 3D εκτυπωτών και της τρισδιάστατης εκτύπωσης γενικότερα. Πρωτοεμφανίστηκαν εκτυπωτές που υποστήριζαν τη χρήση διαφορετικών χρωμάτων ή διαφορετικών υλικών για τα μοντέλα που κατασκεύαζαν, ενώ το 2001 κατασκευάστηκε ο πρώτος επιτραπέζιος τρισδιάστατος εκτυπωτής.

⁸ 3druck.com. (2017). [online] Available at: <https://3druck.com/wp-content/uploads/2012/04/Choc-Creator-3D-Schokolade-Drucker.jpg> [Accessed 9 Mar. 2017].

2.3 Reprap Project

Το 2005 την πορεία της τρισδιάστατης εκτύπωσης άλλαξε σημαντικά το Reprap Project. Το Reprap Project αποτελεί ένα open-source πρόγραμμα μέσω του οποίου προσφέρονται δωρεάν οδηγίες για την κατασκευής ενός 3D εκτυπωτή και το απαραίτητο Software για επικοινωνία με τον υπολογιστή, καθώς και τρισδιάστατα μοντέλα αντικειμένων προς εκτύπωση. Το 2008 αρχίζουν να διατίθενται οι οδηγίες κατασκευής του μοντέλο Reprap Darwin, κάνοντας τους 3D εκτυπωτές περισσότερο προσβάσιμους για κάθε χρήστη. Ο εκτυπωτής αυτός μάλιστα είχε τη δυνατότητα να τυπώσει το 50% των τμημάτων του, κάνοντας εύκολη τη κατασκευή ενός ακόμα ίδιου εκτυπωτή. Την επόμενη χρονιά κυκλοφόρησε το Reprap Kit, το οποίο περιείχε όλα τα κομμάτια που χρειάζεται ο εκτυπωτής και οδηγίες για την συναρμολόγησή του, με πολύ χαμηλό κόστος.

Μέσα στα επόμενα χρόνια και μέχρι και σήμερα η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης εξελίχθηκε σημαντικά και εφαρμόστηκε σε πολλές εφαρμογών διαφόρων επιστημών. Το κόστος για την απόκτηση ενός εκτυπωτή μειώθηκε σημαντικά, με έναν οικιακό εκτυπωτή να κοστίζει περίπου 500 δολάρια σε σύγκριση με τις χιλιάδες δολάρια που κόστιζαν τα προηγούμενα χρόνια.



2.3.Reprap printer⁹

⁹ I.vimeocdn.com. (2017) [online] Available at: https://i.vimeocdn.com/video/437929544_960.jpg [Accessed 5 Apr. 2017].

2.4 Σημερινό επίπεδο τεχνολογίας

Πλέον, αναφερόμαστε στους 3D εκτυπωτές με τον όρο Additive Manufacturing, αφού δεν περιορίζονται μόνο στην κατασκευή πρωτοτύπων αλλά χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό και για την παραγωγή τελικών προϊόντων. Δημιουργούν τα αντικείμενα με τη λογική την κατασκευή τους σε επίπεδα υλικού που τοποθετούνται το ένα επάνω στο άλλο. Η διάρκεια και το κόστος μίας εκτύπωσης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής που θα επιλεγεί και ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου. Μπορεί να διαρκέσει από λίγα λεπτά μέχρι αρκετές ώρες και να κοστίζει από λίγα ευρώ έως χιλιάδες. Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι κυρίως κάποια θερμοπλαστικά, κεραμικά και μέταλλα, φωτοπολυμερές ρητίνες, χαρτί, άμμος, κεριά ακόμα και ανθρώπινα κύτταρα ή προϊόντα φαγητού. Ήδη οι αλλαγές που έχει φέρει η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι μεγάλες τόσο σε προσωπικό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο και αναμένονται να γίνουν ακόμα μεγαλύτερες έως και ριζικές κυρίως στο τομέα της βιομηχανικής παραγωγής. Θα δούμε αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

2.5 Electron Beam Melting (EBM) – Τήξη με δέσμη ηλεκτρονίων¹⁰

Η EBM είναι μια τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης για μεταλλικά μέρη. Η παραγωγή των αντικειμένων γίνεται χρησιμοποιώντας ως υλικό μεταλλική σκόνη και σύρμα και η συγκόλληση επιτυγχάνεται με δέσμες ηλεκτρονίων ως πηγή θερμότητας. Κάθε στρώμα από τα υλικά συγκολλούνται με ακριβή γεωμετρία μέσω του CAD σχεδίου. Μία εταιρία που δραστηριοποιείται στην εκτύπωση με τη χρήση της EBM διαδικασίας είναι η ARCAM. Οι εκτυπωτές της ARCAM χρησιμοποιούν μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ισχύος η οποία παράγει την απαραίτητη ενέργεια για την τήξη των υλικών. Η διαδικασία της εκτύπωσης αυτής γίνεται σε κενό και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα αντικείμενα να έχουν καλύτερη ιδιότητα υλικών σε σχέση με αυτά που είναι κατασκευασμένα από επεξεργασμένο υλικό.

¹⁰ Arcam AB. (2017). Electron Beam Melting - EBM Process, Additive Manufacturing | Arcam AB. [online] Available at: <http://www.arcam.com/technology/electron-beam-melting/>. [Accessed 8 May 2017].



2.4. EBM- Τρισδιάστατος εκτυπωτής της ARCAM¹¹

¹¹ Prototypetoday.com. (2017). [online] Available at: <http://www.prototypetoday.com/media/k2/galleries/2440/ArcamA2.jpg> [Accessed 8 May 2017].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την δομή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή καθώς και με τη παρουσίαση των υλικών συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή των 3d μοντέλων.

3.1 Παρουσίαση ενός 3d εκτυπωτή.

Η βασική ιδέα πίσω από την τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια μέθοδος που ονομάζεται «προσθετική κατασκευή». Οι αρχές λειτουργίας είναι κοινές με έναν απλό εκτυπωτή χαρτιού ψεκασμού μελάνης ο οποίος προσθέτει μεμονωμένες κουκίδες μελανιού για να σχηματίσουν μια εικόνα. Σύμφωνα με αυτή την αρχή, ένας 3D εκτυπωτής προσθέτει το υλικό κατασκευής του αντικειμένου μόνο όπου χρειάζεται, ακολουθώντας εντολές από ένα ψηφιακό αρχείο. Η διαδικασία της 3D εκτύπωσης και η τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής ακολουθεί τον ίδιο βασικό κανόνα και εφαρμόζεται σε εκτυπωτές με διάφορα μεγέθη και σχήματα, ανεξάρτητα από το είδος του 3D εκτυπωτή ή από το υλικό που χρησιμοποιείται για την εκτύπωση του αντικειμένου.

Το πρώτο βήμα ξεκινάει με τη δημιουργία ενός 3D σχεδίου του αντικείμενου που θέλουμε να εκτυπωθεί, χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό CAD. Αυτό το ψηφιακό μοντέλο μπορεί να προκύψει μέσω της χρήσης κάποιου τρισδιάστατου σαρωτή είτε κατεβάζοντας απλώς κάποιο αρχείο από το διαδίκτυο. Το στάδιο της προετοιμασίας του εκτυπωτή περιλαμβάνει αρχικά τον εφοδιασμό του με πρώτες ύλες. Σημαντική είναι η επιλογή του κατάλληλου υλικού εκτύπωσης το οποίο θα επιτύχει με τον καλύτερο τρόπο τις συγκεκριμένες ιδιότητες που απαιτούνται για το αντικείμενο της παραγωγής. Η ποικιλία των υλικών που χρησιμοποιούνται στους 3D εκτυπωτές είναι πολύ μεγάλη γι' αυτό και η σωστή επιλογή του υλικού αποτελεί βασικό μέρος της διαδικασίας. Υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το πλαστικό, η ρητίνη, διάφορα μέταλλα όπως ο χρυσός και ο χαλκός, η άμμος, τα υφάσματα, το γυαλί, ακόμα και ανθρώπινα κύτταρα.

Απαιτείται επίσης προετοιμασία της πλατφόρμας κατασκευής καθώς σε πολλές περιπτώσεις ίσως είτε χρειαστεί να καθαριστεί είτε να εφαρμοστεί μια κόλλα για να αποτραπεί η μετακίνηση και η στρέβλωση του αντικειμένου από τη θερμότητα

κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης. Μόλις φορτωθεί το ψηφιακό μοντέλο στον εκτυπωτή, το μηχάνημα αναλαμβάνει αυτόματα τη δημιουργία του αντικειμένου.

Η πιο κοινή μέθοδος για τη κατασκευή 3d αντικειμένων είναι η εξώθηση υλικού. Η εξώθηση υλικού λειτουργεί σαν ένα πυροβόλο όπλο κόλλας. Το υλικό εκτύπωσης θερμαίνεται μέχρι να υγροποιηθεί και εξωθείται μέσω του ακροφυσίου εκτύπωσης. Παίρνοντας πληροφορίες από το ψηφιακό αρχείο, ο σχεδιασμός του αντικειμένου είναι χωρισμένος σε λεπτές δισδιάστατες διατομές, ώστε ο εκτυπωτής να ξέρει ακριβώς πού να τοποθετήσει το πλαστικό υλικό. Το υλικό αυτό στερεοποιείται γρήγορα και δένεται με το κάτω στρώμα του υλικού πριν χαμηλώσει η πλατφόρμα και η κεφαλή εκτύπωσης προσθέσει άλλο στρώμα. Η διάρκεια της εκτύπωσης, όπως αναφέρθηκε, μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος του υλικού, τον τρόπο εκτύπωσης και του υλικού παραγωγής. Αφού ολοκληρωθεί η εκτύπωση κάθε αντικείμενο απαιτεί μία ελάχιστη μετα-επεξεργασία, η οποία περιλαμβάνει από την απλή αποκόλληση του αντικειμένου από την πλατφόρμα εκτύπωσης, έως την αφαίρεση προσωρινού υλικού που τυπώνεται για τη στήριξη προεξοχών επί του αντικειμένου, το βούρτσισμα, το φινίρισμα και άλλα. Αυτή η διαδικασία απαιτεί συχνά εξειδικευμένες δεξιότητες και υλικά καθώς όταν το αντικείμενο πρωτοτυπώνεται πολλές φορές δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί άμεσα μέχρι να λειανθεί, βερνικωθεί ή βαφτεί ώστε να ολοκληρωθεί ο αρχικός σχεδιασμός του. Το υλικό το οποίο έχει επιλεγεί είναι αυτό το οποίο θα καθορίσει ποια μέθοδος μετα-επεξεργασίας είναι η πιο κατάλληλη.

3.2 Κατασκευαστική δομή ενός 3d εκτυπωτή.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές παρουσιάζουν μια κοινή δομή ως προς τα μηχανικά μέρη από τα οποία αποτελούνται καθώς και ως προς τα δομικά τους στοιχεία. Αυτά μπορούν να μπουν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Κεφαλή απόθεσης υλικού
- Μηχανισμός εξώθησης υλικού
- Πλάκα εκτύπωσης
- Πλαίσιο στήριξης
- Υλικά εκτύπωσης

3.2.1 Κεφαλή απόθεσης υλικού

Η κεφαλή απόθεσης υλικού είναι από τα πιο σημαντικά μέρη του εκτυπωτή. Αυτή κατέχει παράλληλα πολλαπλούς ρόλους. Είναι ένα από τα πιο κρίσιμα μέρη του εκτυπωτή, όπου ο μηχανισμός εξώθησης προωθεί το νήμα είτε άμεσα είτε μέσω ενός σωλήνα. Το κρύο νήμα εισέρχεται σε έναν διάτρητο κοχλία ο οποίος εδράζεται στον «μπλοκ θέρμανσης». Το τελευταίο με τη βοήθεια μιας αντίστασης αναπτύσσει υψηλή θερμοκρασία με σκοπό την τήξη του νήματος. Διαμετρικά τοποθετημένο βρίσκεται το ακροφύσιο. Ο μηχανισμός εξώθησης υλικού ωθεί το κρύο νήμα μέσα στον θάλαμο θέρμανσης, όπου με τη σειρά του ωθεί το ρευστοποιημένο πλέον υλικό να εξέλθει από το ακροφύσιο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, στην κεφαλή εξώθησης υλικού εδράζεται ένας αισθητήρας για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Μια ενδεικτική κεφαλή απόθεσης υλικού αποτελείται από το ακροφύσιο, έναν διάτρητο κοχλία και το “μπλοκ” θέρμανσης, το οποίο αποτελεί και τον συνδετικό κρίκο των προηγούμενων. Η σωστή επιλογή των στοιχείων επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα αλλά και το χρόνο εκτύπωσης. Το ακροφύσιο αποτελεί σημαντικό στοιχείο στη διαδικασία της εκτύπωσης.

3.2.2 Μηχανισμός εξώθησης υλικού

Ο μηχανισμός εξώθησης υλικού λειτουργεί σαν τροφοδότης για την κεφαλή απόθεσης υλικού. Χρησιμοποιώντας σύστημα με γρανάζια καταφέρνει να εισάγει το κρύο νήμα μέσα στο θάλαμο θέρμανσης. Σημαντικό ρόλο παίζουν η συχνότητα προώθησης του υλικού σε συνάρτηση με την θερμοκρασία, τα οποία καθορίζουν την ταχύτητα εξόδου του ρευστοποιημένου νήματος.

Οι πιο διαδεδομένες διατάξεις για το μηχανισμό προώθησης του νήματος είναι οι εξής: Α) Στην πρώτη ο μηχανισμός εδράζεται στον ίδιο φορέα που βρίσκεται και η κεφαλή απόθεσης του υλικού. Ο φορέας κινεί ταυτόχρονα και την κεφαλή αλλά και το μηχανισμό προώθησης προς όλες τις κατευθύνσεις. Έτσι στο φορέα, υπάρχει όχι μόνο καλή τροφοδοσία, αλλά και σημαντικά αυξημένο βάρος. Β) Στην δεύτερη διάταξη ο μηχανισμός βρίσκεται τοποθετημένος μακριά από τον φορέα κίνησης

και σταθεροποιημένος σε κάποιο σημείο της βάσης του εκτυπωτή. Έτσι, καταφέρνει να διατηρεί χαμηλό βάρος στον φορέα που βρίσκεται η κεφαλή εκτύπωσης και μέσω ενός τοξοειδούς σωλήνα το νήμα οδηγείται στην κεφαλή απόθεσης υλικού.

3.2.3 Η πλάκα εκτύπωσης

Η πλάκα εκτύπωσης είναι η ωφέλιμη περιοχή στην οποία παίρνουν υλική μορφή τα αντικείμενα που έχουν σχεδιαστεί. Αυτή αποτελεί το οριζόντιο επίπεδο αλλά και το σημείο εκκίνησης μέσω του οποίου γίνεται η εκτύπωση και η εναπόθεση του υλικού. Υπάρχουν διάφορες επιλογές για το υλικό χρήσης. Τα πιο διαδεδομένα είναι το γυαλί και το μέταλλο. Επίσης, χαρακτηριστική είναι η δυνατότητα ρύθμισης και ευθυγράμμισης του επιπέδου, κάτι το οποίο πραγματοποιείται μέσω των τεσσάρων κοχλιών στις γωνίες της πλάκας. Δεν πρέπει να παραληφθεί η σημασία των θερμαινόμενων πλακών, οι οποίες παρέχουν σημαντική βοήθεια για την αποφυγή του φαινομένου της αποκόλλησης του υλικού από την πλάκα λόγω της απότομης αλλαγής της θερμοκρασίας και της τήξης του νήματος.

3.2.4 Πλαίσιο στήριξης

Η καλή λειτουργία και η αποδοτικότητα του εκτυπωτή επηρεάζονται άμεσα από την μηχανική αντοχή και τη στιβαρότητα της βάσης του. Ο σωστός σχεδιασμός και ο έλεγχος της λειτουργίας αποτελούν βασικούς παράγοντες για να αποφευχθούν τυχόν αστοχίες ή δυσλειτουργίες του εκτυπωτή.

Ως πλαίσιο στήριξης του εκτυπωτή ορίζεται το σώμα του εκτυπωτή, με άλλα λόγια το σασί του. Βασικά μέρη του πλαισίου στήριξης αποτελούν: η πλάκα εκτύπωσης και η κεφαλή απόθεσης υλικού.

Τα μέλη του συστήματος συμπεριφέρονται ως στερεά σώματα. Σύμφωνα με αυτό, γίνεται η μαθηματική ανάλυση των δομικών συστημάτων με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια στην χρήση συγκεκριμένων υλικών, τα οποία δέχονται πολλές παραμορφώσεις.

3.3 Υλικά εκτύπωσης¹²

Σε αυτή την ενότητα θα μελετηθούν διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων μέσω των 3d εκτυπωτών. Γίνεται ανάλυση στα χαρακτηριστικά και τη χρήση τους.

3.3.1 Πολυαμίδιο - Polyamide

Τα αντικείμενα που κατασκευάζονται από πολυαμίδιο προέρχονται από μια λευκή, λεπτή κοκκώδη σκόνη. Έτσι μπορεί να παραχθεί ένα δυνατό εύκαμπτο υλικό, με εξαιρετική αντοχή στην πίεση, ενώ κάμπτεται.

Χαρακτηριστικά

Το πολυαμίδιο είναι ένα μακρομόριο με επαναλαμβανόμενες μονάδες, οι οποίες συνδέονται με ομόλογα αμιδίου. Μπορεί να είναι είτε φυσικό είτε τεχνητό. Πρόκειται για ένα δυνατό και ευέλικτο υλικό με δυνατότητα εκτύπωσης αντικειμένων με μεγάλη λεπτομέρεια. Η επιφάνειά του μοιάζει να είναι κοκκώδη και ελαφρώς πορώδη.

Η χρήση του

Το πολυαμίδιο είναι ένα υλικό ιδανικό για αρχάριους σχεδιαστές, που θέλουν μια καλή τιμή, μέγιστη ελευθερία δημιουργίας και χωρίς περιορισμούς στην διαδικασία εκτύπωσης. Τα μοντέλα πολυαμιδίου δεν είναι κατάλληλα για χρήση σε εξωτερικούς χώρους, καθώς απορροφούν την υγρασία. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις το υλικό μπορεί να επεξεργαστεί και να γίνει υδατοστεγές. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στα μοντέλα με μεγάλες επίπεδες επιφάνειες ή πλάκες καθώς όταν ένα τέτοιο μοντέλο κρυώσει είναι πιθανόν να παραμορφωθεί.

Το πολυαμίδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πολύπλοκων μοντέλων, για μικρές σειρές μοντέλων, καθώς επίσης για φωτιστικά και λειτουργικά μοντέλα. Η τεχνική αυτή επιτρέπει μεγαλύτερη ελευθερία σχεδιασμού όλων των 3D τεχνικών εκτύπωσης.

¹² 3dexpert.gr. (2017). Υλικά | 3Dprinters - 3DScanners - Fillaments. [online] Available at: <http://www.3dexpert.gr/intro/ilika/> [Accessed 14 Apr. 2017].

3.3.2 ABS: Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρολίου - Acrylonitrile butadiene styrene

Τα μοντέλα σε ABS είναι εξαιρετικά χρήσιμα για λειτουργικές εφαρμογές, γιατί έχουν μεγάλη ακρίβεια και ένα ενδιάμεσο επίπεδο εκτύπωσης λεπτομερειών. Προσφέρουν μεγάλη ελευθερία σχεδιασμού, αλλά η ποιότητα της επιφάνειας των μοντέλων είναι πιο τραχιά σε σύγκριση με άλλα υλικά.

Χαρακτηριστικά

Το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρολίου(ABS) είναι ένα κοινό θερμοπλαστικό. Το ABS είναι άμορφο με αποτέλεσμα να μην έχει κανένα πραγματικό σημείο τήξεως. Το υλικό αυτό δεν είναι αδιάβροχο. Η εκτύπωση είναι σχετικά αργή, αλλά απαιτείται λιγότερο χειρωνακτικό φινίρισμα σε σύγκριση με άλλα υλικά. Τέλος, μπορούμε να έχουμε πολύπλοκα σχέδια, καθώς το υλικό υποστήριξης είναι απορροφήσιμο.

3.3.3 Κεραμικά - Ceramics

Προηγμένα κεραμικά χρησιμοποιούνται στην ιατρική και στη κατασκευή ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων. Τα κεραμικά μοντέλα κατασκευάζονται από πυριτία-αλουμίνα κεραμική σκόνη και σφραγίζονται με πορσελάνη και διοξείδιο του πυριτίου.

Χαρακτηριστικά

Τα κεραμικά υλικά είναι ανόργανα, μη μεταλλικά, συχνά κρυσταλλικά οξείδια, νιτρίδια ή καρβίδια. Κεραμικά μπορούν να θεωρηθούν ορισμένα στοιχεία, όπως ο άνθρακας ή το πυρίτιο. Τα κεραμικά υλικά είναι σκληρά, δυνατά σε συμπίεση και ανθεκτικά στην χημική διάβρωση αλλά εύθραυστα και αδύναμα στην διάτμηση και την ένταση. Τα κεραμικά υλικά μπορούν να αντέξουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Η χρήση του

Το υλικό είναι ανακυκλώσιμο, και προς το παρόν είναι το μόνο υλικό από τρισδιάστατη εκτύπωση που ενδείκνυται για σκεύη τροφής.

3.3.4 Αλουμίνιο - Alumide

Το Alumide είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται και αυτό στην τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα νάιλον που γεμίζεται με

σκόνη αλουμινίου. Τα μοντέλα τυπώνονται με θερμοσυσσωμάτωση της σκόνης, στρώμα στρώμα. Τα μοντέλα που είναι κατασκευασμένα με alumide, φτιάχνονται από ένα μείγμα γκρίζας σκόνης πολυαμιδίου και αλουμινίου.

Χαρακτηριστικά

Πρόκειται για ένα σκληρό και κάπως άκαμπτο υλικό που μπορεί να αντισταθεί σε κάποια πίεση ενώ είναι λυγισμένο. Η επιφάνειά του έχει αμμώδη, κοκκώδη εμφάνιση και ελαφρώς πορώδης. Δεν αποτελεί ένα υδατοστεγές υλικό και δεν ανακυκλώνεται.

Η χρήση του

Είναι ένα υλικό ιδανικό για αρχάριους σχεδιαστές που θέλουν μια καλή τιμή, μέγιστη ελευθερία δημιουργίας. Η διαδικασία εκτύπωσης δεν έχει περιορισμούς.

3.3.5 Ορείχαλκος - Brass

Πρόκειται για ένα κράμα χαλκού και ψευδαργύρου. Η αναλογία χαλκού και ψευδαργύρου μπορεί να μεταβάλλεται και έτσι έχουμε μια σειρά από ορείχαλκο με ποικίλες ιδιότητες. Γενικά, ο ορείχαλκος είναι ένα υποκατάστατο κράμα.

Χαρακτηριστικά

Ο ορείχαλκος έχει μεγαλύτερη πλαστικότητα από τον χαλκό ή τον ψευδάργυρο. Το σχετικά χαμηλό σημείο τήξεως του, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά ροής του το καθιστούν σχετικά εύκολο για επεξεργασία υλικό. Μεταβάλλοντας τις αναλογίες χαλκού και ψευδαργύρου, οι ιδιότητες του ορείχαλκου μπορεί να αλλάζουν, δίνοντας μας έτσι σκληρό και μαλακό ορείχαλκο. Τα περισσότερα κράματα του ορείχαλκου είναι ανακυκλώσιμα.

Η χρήση του

Τα τρισδιάστατα μοντέλα από ορείχαλκο, χρησιμοποιούνται για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Συνήθως, χρησιμοποιείται στο τομέα της διακόσμησης, εξαιτίας του λαμπρού και χρυσού του χρώματος. Επίσης, ο ορείχαλκος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που δέχονται μικρές δυνάμεις τριβής, όπως για παράδειγμα σε κλειδαριές, γρανάζια, ρουλεμάν, πόμολα, βαλβίδες κτλ. Ακόμα, χρησιμοποιείται συχνά στην κατασκευή μουσικών οργάνων λόγω των ακουστικών του ιδιοτήτων.

Είναι ιδανικός για κοσμήματα και για την κατασκευή διακόσμησης. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για μινιατούρες καθώς επίσης και για γλυπτά.

3.3.6 Ανοξειδωτος Χάλυβας - Stainless steel

Τα μοντέλα ανοξειδωτου χάλυβα είναι τυπωμένα σε σκόνη από ανοξειδωτο χάλυβα που είναι εμπροτισμένη με το χάλκινο μέταλλο. Πρόκειται για την φθηνότερη μορφή εκτύπωσης μετάλλου. Είναι πολύ ισχυρή και κατάλληλη για πολύ μεγάλα αντικείμενα.

Χαρακτηριστικά

Ο ανοξειδωτος χάλυβας είναι εξαιρετικά ανθεκτικός σε επίθεση από οξέα. Έχει επίσης υψηλή αντοχή στην οξείδωση του αέρα. Επίσης, πρόκειται για ένα υλικό που δεν επηρεάζεται από την επίδραση των αδύναμων βάσεων όπως για παράδειγμα υδροξείδιο του αμμωνίου. Επηρεάζονται όμως από ισχυρές βάσεις, όπως είναι το υδροξείδιο του νατρίου. Αν τα μοντέλα ανοξειδωτου χάλυβα εκτεθούν σε κάποια ισχυρή βάση σε υψηλές συγκεντρώσεις και υψηλές θερμοκρασίες, είναι πολύ πιθανό να χαραχθούν και να δημιουργηθούν κάποιες ρωγμές.

Η χρήση του

Συνήθως ο ανοξειδωτος χάλυβας χρησιμοποιείται για κατασκευές λειτουργικών εξαρτημάτων. Επίσης για την κατασκευή ανταλλακτικών και την κατασκευή κοσμημάτων. Τα μοντέλα δεν διαβρώνονται, ούτε σκουριάζουν εύκολα όταν εκτίθενται στον αέρα και την υγρασία.

3.3.7 Καουτσούκ - Rubber

Τα μοντέλα σε καουτσούκ, κατασκευάζονται από μία υπόλευκη, πολύ λεπτή, κοκκώδη σκόνη. Το αποτέλεσμα είναι ένα ισχυρό, πολύ εύκαμπτο και ανθεκτικό υλικό το οποίο είναι μαύρου χρώματος.

Χαρακτηριστικά

Το καουτσούκ έχει μοναδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες. Παρουσιάζει μια συμπεριφορά λάστιχου και συχνά μοντελοποιείται ως hyperelastic. Τα μοντέλα από καουτσούκ είναι αδιάβροχα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υψηλή

ραπτική. Απορροφούν τους κραδασμούς. Είναι ιδανικά για συμπίεσιμα και λειτουργικά μοντέλα καθώς επίσης και για “gadgets”.

Η χρήση του

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υψηλή ραπτική. Απορροφούν τους κραδασμούς. Είναι ιδανικά για συμπίεσιμα και λειτουργικά μοντέλα καθώς επίσης και για “gadgets” Ἰλόγω της παρουσίας ενός διπλού δεσμού σε κάθε επαναλαμβανόμενη μονάδα , το φυσικό καουτσούκ είναι ευπαθές σε βουλκανισμό και προκαλεί ευαισθησία σε ρωγμές του όζοντος.

3.3.8 Τιτάνιο - Titanium

Πρόκειται για ένα λαμπερό μέταλλο με ασημένιο χρώμα, χαμηλή πυκνότητα και υψηλή αντοχή. Τα τρισδιάστατα μοντέλα τιτανίου τυπώνονται από σκόνη τιτανίου, που συντίθεται με λέιζερ. Τα αντικείμενα που προκύπτουν είναι το ίδιο καλά σε ποιότητα με τα μηχανικά μοντέλα που δεν προέρχονται από εκτύπωση. Ὅσον αφορά την εμφάνιση τα τρισδιάστατα μοντέλα είναι πιο γκρίζα και πιο ματ, με ελαφρώς σκληρότερη και λιγότερο καθορισμένη επιφάνεια.

Χαρακτηριστικά

Στις μέρες μας είναι το ισχυρότερο υλικό που μπορεί να εκτυπωθεί με τρισδιάστατη εκτύπωση. Οι δύο πιο χρήσιμες ιδιότητες του μετάλλου είναι η αντοχή στη διάβρωση και η υψηλότερη αντοχής ως προς την πυκνότητα σε σχέση με κάθε μεταλλικό στοιχείο.

Η χρήση του

Πρόκειται για ένα υλικό υψηλής αξίας που αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείται για υψηλής λεπτομέρειας κοσμήματα και ρολόγια. Το τιτάνιο είναι ασφαλές για κοσμήματα καθώς είναι βιοσυμβατό και επομένως δεν δημιουργεί κανένα πρόβλημα με τις αλλεργίες.

3.3.9 Χρυσός - Gold

Είναι ένα από τα λιγότερο αντιδραστικά χημικά στοιχεία, στερεά υπό κανονικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, το μέταλλο εμφανίζεται συχνά σε ελεύθερη μορφή, ως ψήγματα ή ως κόκκοι σε βράχους, σε σχισμές και προσχώσεις. Ο χρυσός αντιστέκεται επιθέσεις από μεμονωμένα οξέα, αλλά μπορεί να διαλυθεί με νίτρο-

υδροχλωρικό οξύ. Τα μοντέλα χρυσού που εκτυπώνονται τρισδιάστατα, προέρχονται από στερεό χρυσό. Ο στερεός χρυσός αναμιγνύεται με ένα κράμα όπως ο χαλκός για σκλήρυνση, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα υγιεινής.

Χαρακτηριστικά

Το χρώμα του καθορίζεται από την πυκνότητα των χαλαρά δεσμευμένων ηλεκτρονίων. Οι ιδιαίτερες ιδιότητές του, όπως είναι η υψηλή του πλαστικότητα, η ολκιμότητα, η αντίσταση στη διάβρωση και πολλές άλλες χημικές αντιδράσεις καθώς επίσης η αγωγιμότητα του ηλεκτρισμού έχουν συντελέσει σε πολλές χρήσεις του χρυσού.

Η χρήση του

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ιδανική για όσους θέλουν να δημιουργήσουν ράβδους χρυσού καθώς επίσης για όσους θέλουν να σχεδιάσουν τα κοσμήματά τους. Ο χρυσός επίσης έχει πολλές πρακτικές χρήσεις στην οδοντιατρική, στα ηλεκτρονικά όπως και σε άλλους τομείς. Χρησιμοποιείται επίσης στην κατασκευή των ηλεκτρικών καλωδίων, στη παραγωγή χρωματιστού γυαλιού, και στη παραγωγή φύλλων χρυσού.

3.3.10 PLA Polylactic acid or polylactide (PLA, Poly)

Πολυμερές υλικό το οποίο κατασκευάζεται από ανανεώσιμους πόρους. Αν θέλουμε να πετύχουμε καλύτερη στερέωση του PLA στο πάτωμα εκτύπωσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ταινία ή ακόμα και θερμαινόμενο πάτωμα.

Χαρακτηριστικά

Είναι μη τοξικό θερμοπλαστικό υλικό βιοδιασπώμενο και έτσι δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Προσφέρει αντοχή και εκτυπώνεται σε θερμοκρασίες 180-220c. Η εκτύπωση του δεν προκαλεί αλλοιώσεις στο κάτω μέρος του αντικείμενου.

Η χρήση του

Στα αντικείμενα φτιαγμένα από PLA μπορεί να γίνει επεξεργασία με γυαλόχαρτο αλλά και μηχανουργική επεξεργασία όπως τρύπημα, τόννευση και φρεζάρισμα. Επίσης τα αντικείμενα μπορούν να βαφτούν με ακρυλικά και άλλα χρώματα. Είναι το πιο κοινά 3D εκτυπώσιμο υλικό, ιδανικό για όλες τις εφαρμογές που δεν υφίστανται υψηλές θερμοκρασίες.

3.3.11 Χαλκός - Copper

Ο χαλκός είναι ένα χημικό στοιχείο, που ανήκει στην κατηγορία των μετάλλων. Έχει κοκκινωπό χρώμα και είναι όλκιμος και ελατός. Τα μοντέλα σε χαλκό κατασκευάζονται από σκόνη που είναι εμποτισμένη από χαλκό.

Χαρακτηριστικά

Είναι μέταλλο με χαρακτηριστικό κοκκινωπό και χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη. Είναι ιδιαίτερα ελατός και όλκιμος, πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Είναι τελείως αδιαφανής, ακόμη και σε λεπτά ελάσματα. Δεν εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες. Σε επαφή με άλλα μέταλλα εμφανίζει διαφορά δυναμικού

Η χρήση του

Πρόκειται για ένα υλικό φθινό και προσιτό για όσους θέλουν να εκτυπώσουν ένα μεταλλικό αντικείμενο. Δεν μπορούν να κατασκευαστούν αλυσίδες ή πολύ λεπτά σχέδια και δομές.

3.3.12 Prime Gray

Πρόκειται για ένα υλικό που άρχισε να χρησιμοποιείται στους τρισδιάστατους εκτυπωτές, προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις των καταναλωτών, οι οποίοι ζητούσαν μεγαλύτερη λεπτομέρεια, πιο ομαλή επιφάνεια και ωραιότερη όψη του υλικού.

Χαρακτηριστικά

Η επιφάνεια του υλικού είναι ομαλότερη σε σχέση με κάθε άλλο υλικό, και δίνει μια πολυτελή αίσθηση αφής. Θα πρέπει τα εκτυπωμένα μοντέλα να φυλάσσονται μακριά από τον ήλιο, διότι είναι πιθανόν να αποχρωματιστούν.

Η χρήση του

Το primengray είναι κατάλληλο για σχεδιασμό μοντέλων μιας όψης. Η άλλη όψη τους δεν θα είναι εξίσου καλή καθώς θα έχει μικρές κουκκίδες από τις υποστηρικτικές δομές που αγγίζουν το μοντέλο κατά την εκτύπωση.

3.3.13 NASA:Εξαγωγή υλικών από τον Άρη¹³

Ένας ερευνητής από το πανεπιστήμιο της Φλόριντα συνεργάζεται με τη NASA για την ανάπτυξη μιας μεθόδου εξαγωγής μετάλλων από το έδαφος του Άρη. Πρόκειται για μέταλλα που θα μπορούν να χρησιμοποιούνται ως υλικά σε έναν 3D εκτυπωτή για την παραγωγή τμημάτων κατοικιών, καθώς και για διαστημόπλοια, εργαλεία και ηλεκτρονικές συσκευές. Η κατασκευή τους θα γίνεται με τη χρήση τεχνικών προσθετικής κατασκευής. Η NASA και ο ερευνητής θα πραγματοποιήσουν έρευνες πάνω σε μια διαδικασία που ονομάζεται ηλεκτρόλυση τηγμένου ρεγολίθου μια τεχνική παρόμοια με τον τρόπο που γίνεται η επεξεργασία των ορυκτών μετάλλων στη Γη. Οι αστροναύτες θα μπορούν να τροφοδοτούν το χώμα από τον πλανήτη Άρη σε έναν ειδικό θάλαμο. Μέσω της διαδικασίας ηλεκτρόλυσης θα παράγονται οξυγόνο και τηγμένα μέταλλα, όπου μετά από έρευνα θα καθοριστεί η μορφή στην οποία πρέπει να είναι έτσι ώστε να είναι πιο κατάλληλα για διαθέσιμους στο εμπόριο 3D εκτυπωτές. Η NASA ήδη εργάζεται πάνω στον στόχο της αποστολής ανθρώπων στον Άρη μέσα στη δεκαετία του 2030.

¹³ naftemporiki.gr. (2017). *Εξαγωγή υλικών από το χώμα του Άρη για κατασκευή κατοικιών μέσω 3D printing*. [online] Available at: <http://www.naftemporiki.gr/story/1207402> [Accessed 01 Mar. 2017].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με το πως η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και γενικά ο τρισδιάστατος εκτυπωτής έχει μπει στη ζωή μας και έχει βρει εφαρμογή τόσο σε βιομηχανικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο.

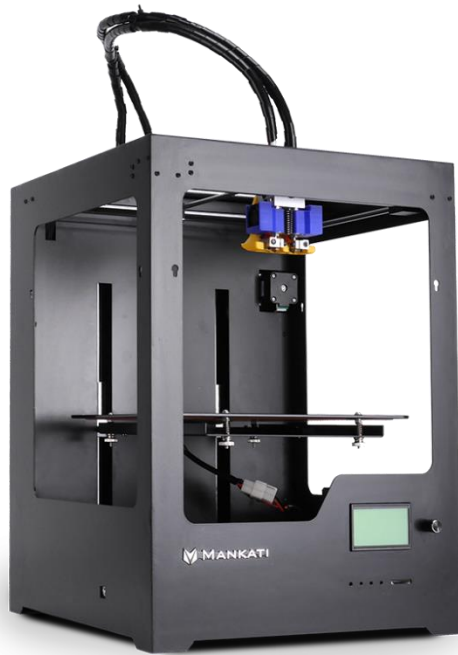
4.1 Προσωπική χρήση

Πριν κάποια χρόνια στην αρχή ακόμα της ανάπτυξης της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης το να μπορεί κάποιος να κατέχει και να χρησιμοποιεί έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή για προσωπική του χρήση ήταν αν όχι ακατόρθωτο πολύ σπάνιο. Οι λόγοι κυρίως ήταν το μεγάλο κόστος που είχαν οι εκτυπωτές αλλά και ο όγκος που δεν έκανε εύκολη την απόκτηση ενός μηχανήματος για προσωπική χρήση. Με την πάροδο των χρόνων όμως και με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας της 3d εκτύπωσης, σήμερα το να μπορεί κάποιος να αγοράσει ένα kit τρισδιάστατου εκτυπωτή για οικιακή χρήση απαιτεί μόλις τη δαπάνη ενός μικρού ποσού ενώ δε τίθεται πλέον θέμα χώρου καθώς οι εκτυπωτές είναι σε μέγεθος γραφείου.



4.1 Τρισδιάστατος εκτυπωτής¹⁴

¹⁴ 3dprint.com. (2017). [online] Available at: <http://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/04/t5-300x261.png> [Accessed 13 Apr. 2017].



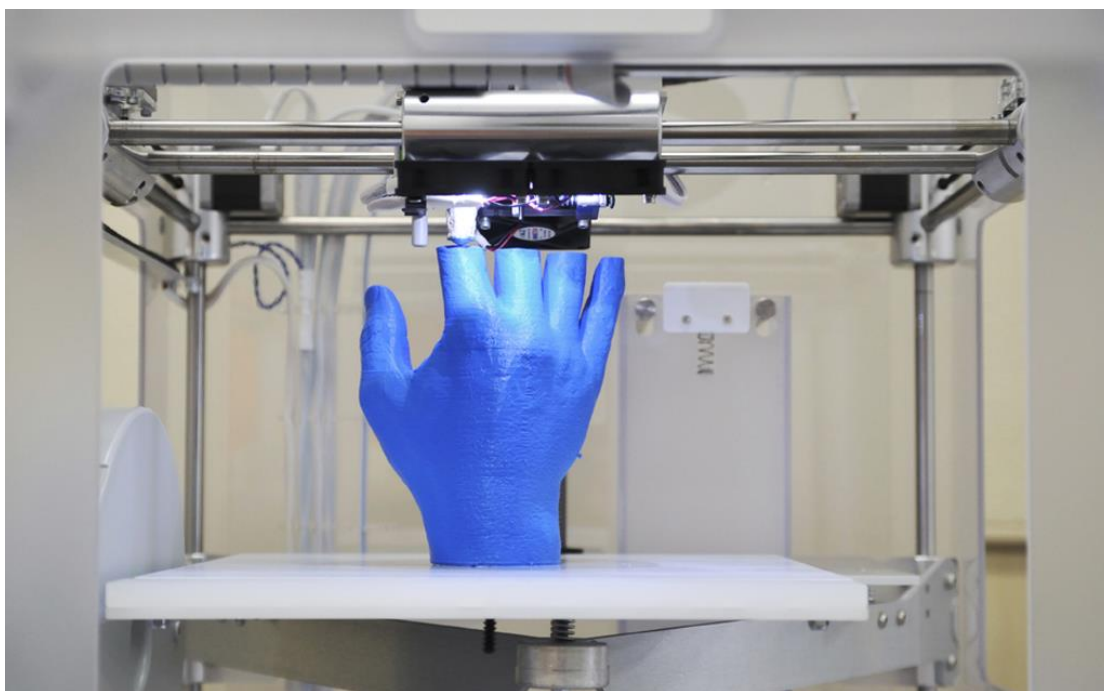
4.2 Τρισδιάστατος εκτυπωτής¹⁵

4.2 Εκτυπωτές και βιομηχανία

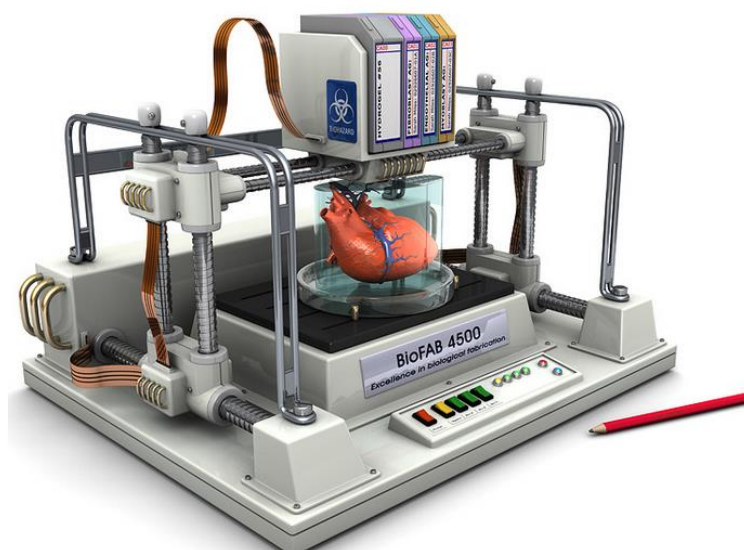
Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε τη πιο σπουδαία χρήση της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης η οποία είναι η χρήση της στη βιομηχανική παραγωγή. Η 3d εκτύπωσης στην βιομηχανία χρησιμοποιείται σε αρκετούς τομείς και οδεύει προς το να αλλάξει ριζικά όλο τον τομέα της βιομηχανικής παραγωγής. Ενδεικτικά τομείς της βιομηχανίας που η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιείται είναι :

- Ιατρική
- Αυτοκινητοβιομηχανία
- Μηχανοκίνητος αθλητισμός
- Παραγωγή ενέργειας
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα
- Τέχνη και γλυπτική
- Κοσμήματα
- Εστίαση

¹⁵ Sc01.alicdn.com. (2017)[online] Available at:
<https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1eNjZHpXXXXXaapXX760XFX6/Mankati-Large-Format-3D-Printer-Big-Printing.png> [Accessed 9 Mar. 2017].



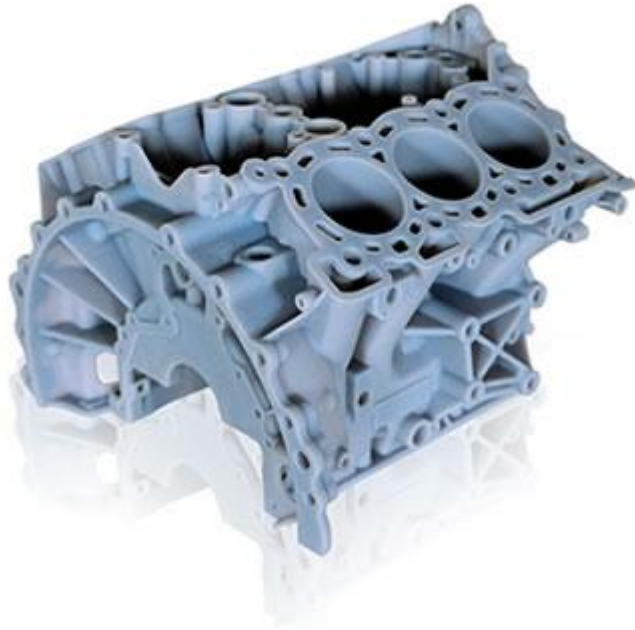
4.3 Τρισδιάστατοι εκτυπωτές και Ιατρική¹⁶



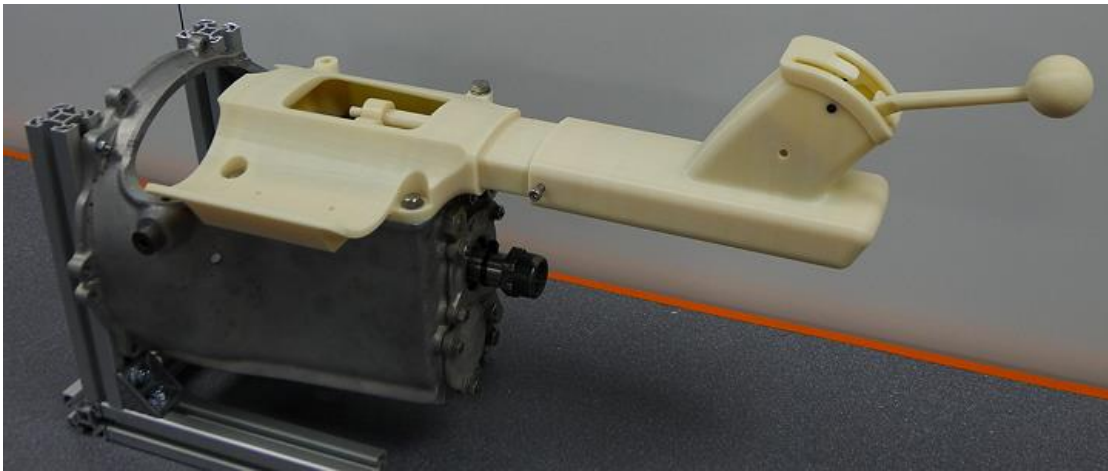
4.4 Τρισδιάστατοι εκτυπωτές και Ιατρική¹⁷

¹⁶ 4inno.com. (2017) [online] Available at: http://www.4inno.com/wp-content/uploads/2015/02/3dPrinter_1025x634.jpg [Accessed 16 Mar. 2017].

¹⁷ 3dprint.com. (2017) [online] Available at: <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2014/11/bio2.png> [Accessed 17 Mar. 2017].



4.5 Κεφαλή-μπλοκ μοτέρ τυπωμένη από 3d printer¹⁸



4.6 Κεντρική κονσόλα αυτοκινήτου τυπωμένη από 3d printer¹⁹

¹⁸ Javelin-tech.com. (2017) [online] Available at: <http://www.javelin-tech.com/3d-printer/wp-content/uploads/2013/06/design-series-example10.jpg> [Accessed 19 Mar. 2017].

¹⁹ S-media-cache-ak0.pinimg.com. (2017) [online] Available at: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/3e/ca/88/3eca8835b9630e7a46a5a3719199ed6b.jpg> [Accessed 24 Mar. 2017].



4.7 Αρχιτεκτονική μακέτα σε 3d σχέδιο²⁰



4.8 Αρχιτεκτονική μακέτα σε 3d σχέδιο²¹

²⁰ I.ytimg.com. (2017) [online] Available at: <https://i.ytimg.com/vi/1u4I0vxdFZU/hqdefault.jpg> [Accessed 9 Apr. 2017].

²¹ Mylocal3dprinting.com. (2017). [online] Available at: <https://mylocal3dprinting.com/blog/wp-content/uploads/2015/12/image1-1.jpg> [Accessed 5 May 2017].

4.3 Τρισδιάστατη εκτύπωση στην Ιατρική²²

Ο τομέας της ιατρικής είναι από τους πρωτοπόρους στη χρήση της τεχνολογικής επανάστασης που φέρνουν οι τρισδιάστατες εκτυπώσεις. Από τις ιατρικές συσκευές (συμπεριλαμβανομένων των προσθετικών μελών) μέχρι την παραγωγή του πρώτου χαπιού το οποίο θα είναι εκτυπωμένο σε τρισδιάστατο εκτυπωτή, ο κλάδος της ιατρικής έχει ενσωματώσει τη 3D εκτύπωση ως κομμάτι της επιστήμης. Σε πολλούς τομείς της ιατρικής ήδη η τεχνολογία του 3D printing έχει ξεπεράσει και τις πιο αισιόδοξες προσδοκίες, με αποτέλεσμα συγκεκριμένες εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης να έχουν επικρατήσει έναντι των παραδοσιακών μεθόδων. Στον τομέα της περίθαλψης, Για παράδειγμα, ήδη η 3d εκτύπωση εφαρμόζεται για κατασκευή ακουστικών βαρηκοΐας και ιατρικών εμφυτευμάτων με την τεχνολογία να επιτρέπει την εκτύπωση τυποποιημένων προϊόντων για κάθε ασθενή. Συγκεκριμένα ο χρόνος για τη μετάβαση από την παραδοσιακή κατασκευή στην εν λόγω μέθοδο χρειάστηκε λιγότερο από δύο χρόνια. Η τρισδιάστατη εκτύπωση λοιπόν δείχνει ότι σε πολλούς τομείς της ιατρικής και της περίθαλψης θα είναι η επικρατούσα τάση μέσα στα επόμενα δύο έως πέντε έτη.

4.3.1 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές της τεχνολογίας της 3D εκτύπωσης σε όλους τους τομείς της ιατρικής πρόκειται να πάρουν σημαντική θέση. Ένα παράδειγμα που χρησιμοποιείται η τεχνολογία εδώ και καιρό είναι στη δημιουργία τεχνητών μελών. Τα νέα προσθετικά μέλη που κατασκευάζονται μέσω 3D εκτυπωτή απαιτούν μικρότερο χρόνο και κόστος κατασκευής και είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες κάθε ατόμου ξεχωριστά. Επίσης η λειτουργία των εμφυτευμάτων είναι πιο βελτιωμένη όπως επίσης και το ποσοστό επιτυχίας κατά τη διαδικασία της επούλωσης.

Ένας άλλος τομέας της Ιατρικής που οι 3Dεκτυπωτές έχουν προσφέρει πρώτα δείγματα της λειτουργικότητάς τους είναι ο τομέας της γυναικολογίας. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα μιας τυφλής μητέρας στην οποία ο γιατρός της κατά την διάρκεια του υπερηχογραφήματος, τύπωσε με τη χρήση ενός

²² epixeiro.gr || Η επιχειρηματικότητα στο προσκήνιο. (2017). Η τρισδιάστατη εκτύπωση “the next big thing” στον τομέα της ιατρικής | Έρευνες, Εκθέσεις, Μελέτες. [online] Available at: <http://www.epixeiro.gr/article/20204> [Accessed 5 Apr. 2017].

3Dεκτυπωτή το σχήμα του μωρού σε ένα ομοίωμα από χαλκό και έτσι η μητέρα μπόρεσε να έχει επαφή μαζί του.

Οι 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούνται επίσης για την εκτύπωση οργάνων, αιμοφόρων αγγείων αλλά ακόμα και για τη παραγωγή φαρμάκων. Μια εξαιρετικά ιδιαίτερη διαδικασία είναι αυτή της εκτύπωσης βαλβίδων. Οι ερευνητές με την μέθοδο της τομογραφίας σαρώνουν φωτογραφίες βαλβίδων των ασθενών αρχικά σε δύο διαστάσεις και στη συνέχεια με τη χρήση ενός ειδικού λογισμικού τις υποβάλλουν σε τρισδιάστατα σχέδια. Ο μηχανικός Μπεν Γιάστραμ από την «TU Berlin» εστιάζει στο τρισδιάστατο γράφημα της βαλβίδας καρδιάς.²³ Αρχικά μεγεθύνει την εικόνα και μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα η εικόνα της βαλβίδας της καρδιάς αρχίζει να παίρνει το μέγεθος μιας φυσικής βαλβίδας, ικανής να συμβάλει στην σωστή κυκλοφορία του αίματος στον οργανισμό. Τα δεδομένα αυτά της σάρωσης στέλνονται στη συνέχεια στους εκτυπωτές και με τη χρήση πλαστικών υλικών εκτυπώνουν τις βαλβίδες καρδιάς.

4.3.2 Βλαστοκύτταρα²⁴

Ένα νέο μεγάλο βήμα στο οποίο προχώρησαν οι ερευνητές για τη χρήση της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην ιατρική, χρησιμοποιώντας ιστό από ομφάλιο λώρο για την εκτύπωση βαλβίδων καρδιάς. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του ομφάλιου λώρου είναι ότι περιέχει βλαστοκύτταρα από τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν πολλά διαφορετικά ανθρώπινα κύτταρα. Τα κύτταρα του ομφάλιου λώρου ξεχωρίζουν από άλλα κύτταρα του οργανισμού για τη μικρή τους ηλικία, πράγμα που τα κάνει αποδεκτά με ευκολία από το ανθρώπινο σώμα κατά τις μεταμοσχεύσεις.

²³ MEDLABNEWS.GR / ΙΑΤΡΙΚΑ ΝΕΑ. (2017). Τι είναι η 3D εκτύπωση και πως μπορεί να αναπαραγάγει κύτταρα και όργανα στην ιατρική; (video). [online] Available at: <http://medlabgr.blogspot.com/2014/01/3d-video.html> [Accessed 17 Apr. 2017].

²⁴ MEDLABNEWS.GR / ΙΑΤΡΙΚΑ ΝΕΑ. (2017). Τι είναι η 3D εκτύπωση και πως μπορεί να αναπαραγάγει κύτταρα και όργανα στην ιατρική; (video). [online] Available at: <http://medlabgr.blogspot.com/2014/01/3d-video.html> [Accessed 17 Apr. 2017].

4.3.3 Organono - βιοεκτύπωση²⁵

Μια εταιρία από το San Diego Η Organono μελετά το να κάνει πραγματικότητα το όραμα της, για τρισδιάστατη εκτύπωση ανθρώπινων οργάνων κατά παραγγελία. Η εταιρεία αυτή δραστηριοποιείται εδώ και κάποια χρόνια στον τομέα της βιοτεχνολογίας προχωρώντας στην συνεργασία με την εταιρεία Autodesk, κατασκευάστρια του βιολογικού εκτυπωτή Novogen MMX Bioprinter. Ο εκτυπωτής αυτός έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί τρισδιάστατο κυτταρικό ιστό σχεδόν πανομοιότυπο με αυτόν που δημιουργεί το ανθρώπινο σώμα φυσιολογικά. Με τον τρόπο αυτό η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη δημιουργία ακριβέστατων ανθρώπινων ιστών εξολοκλήρου από ζωντανά κύτταρα. Ο τελικός στόχος είναι η δημιουργία εξατομικευμένων οργάνων με “βιοεκτύπωση” για κάθε ασθενή ξεχωριστά. Η Organono παράγει ήδη τρισδιάστατο ανθρώπινο ιστό για έρευνα και θεραπευτικές εφαρμογές, αλλά σε αυτή τη φάση η συνεργασία της την Autodesk με την Organono έχει σκοπό τη δημιουργία του πρώτου λογισμικού τρισδιάστατης βιοεκτύπωσης.

4.3.4 Μάτια²⁶

Στη Βρετανία για πρώτη φορά εκτυπώθηκαν κύτταρα ματιού. Το επίτευγμα αυτό μπορεί να ανοίξει το δρόμο για την εκτύπωση τεχνητού ιστού προερχόμενου, από μια ποικιλία κυττάρων του ανθρώπινου αμφιβληστροειδούς, ως μοσχεύματος. Η έρευνα αυτή δίνει σημαντικές ελπίδες για τη θεραπεία της τύφλωσης καθώς οι επιστήμονες θα είναι δυνατό να «τυπώσουν» τα αντίστοιχα κύτταρα ματιού και να θεραπεύσουν την ασθένεια. Οι πρώτες έρευνες γίνονται πάνω σε κύτταρα ζώων συγκεκριμένα από αρουραίους. Για τη διαδικασία αυτής της εκτύπωσης χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ένας πιεζοηλεκτρικός τρισδιάστατος εκτυπωτής. Στη συνέχεια της έρευνας, οι ερευνητές θα δοκιμάσουν να εκτυπώσουν και άλλα είδη κυττάρων του ματιού, κυρίως τους ευαίσθητους φωτο-υποδοχείς.

²⁵ MEDLABNEWS.GR / ΙΑΤΡΙΚΑ ΝΕΑ. (2017). Τι είναι η 3D εκτύπωση και πως μπορεί να αναπαραγάγει κύτταρα και όργανα στην ιατρική; (video). [online] Available at: <http://medlabgr.blogspot.com/2014/01/3d-video.html> [Accessed 21 Apr. 2017].

²⁶ MEDLABNEWS.GR / ΙΑΤΡΙΚΑ ΝΕΑ. (2017). Τι είναι η 3D εκτύπωση και πως μπορεί να αναπαραγάγει κύτταρα και όργανα στην ιατρική; (video). [online] Available at: <http://medlabgr.blogspot.com/2014/01/3d-video.html> [Accessed 21 Apr. 2017].

4.3.5 Εκτύπωση τμημάτων προσώπου²⁷

Μία ομάδα βρετανών χειρουργών μελετάει και ετοιμάζεται να πραγματοποιήσει μία πρωτοποριακή επέμβαση που θα αποκαταστήσει τη συμμετρία του προσώπου ενός θύματος τροχαίου με καινούργια κομμάτια που θα τυπωθούν σε εκτυπωτή. Οι γιατροί, χρησιμοποίησαν την πλευρά του προσώπου του θύματος που δεν υπέστη βλάβη από το ατύχημα και δημιούργησαν ένα είδωλό της ώστε να πετύχουν τέλεια συμμετρική ανασύνθεση του προσώπου. Με τη βοήθεια ενός αξονικού τομογράφου και τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, δημιούργησαν τρισδιάστατες εικόνες με τεράστια λεπτομέρεια και σχεδίασαν εμφυτεύματα από τιτάνιο, τα οποία στη συνέχεια θα εκτυπωθούν και θα τοποθετηθούν στα οστά του προσώπου. Όπως αναφέρουν οι γιατροί, έχουν καταφέρει να κάνουν την επέμβαση στην εικονική πραγματικότητα ώστε να μπορέσουν να την αντιγράψουν και στην πραγματική ζωή. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, οι γιατροί θα χρειαστεί να σπάσουν και να κόψουν διάφορα οστά του προσώπου του ασθενούς, αλλά με τη βοήθεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης και των οδηγών που θα έχουν στη διάθεσή τους, θα μπορέσουν να επανατοποθετήσουν τα οστά στη θέση τους με απόλυτη ακρίβεια. Η αποκατάσταση του προσώπου μπορεί να αγγίξει σε ποσοστό το 70 με 80%. Η επέμβαση αυτή θεωρείται τόσο πρωτοποριακή και ριζοσπαστική που φιλοξενείται ήδη σε έκθεση του Μουσείου Επιστημών του Λονδίνου, παρόλο που δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα.

4.3.6 Το μέλλον

Η τεχνολογία της τρισδιάστατη εκτύπωσης λοιπόν, εκτιμάται ότι θα συμβάλει και θα παίξει πρωταρχικό ρόλο στο τομέα της ιατρικής για την ανάπτυξη νέων διαγνωστικών και θεραπευτικών επιλογών, στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών, καθώς και στη μείωση του κόστους.

²⁷ MEDLABNEWS.GR / ΙΑΤΡΙΚΑ ΝΕΑ. (2017). Τι είναι η 3D εκτύπωση και πως μπορεί να αναπαραγάγει κύτταρα και όργανα στην ιατρική; (video). [online] Available at: <http://medlabgr.blogspot.com/2014/01/3d-video.html> [Accessed 21 Apr. 2017].

4.4 Τρισδιάστατη εκτύπωση και Αυτοκινητοβιομηχανία²⁸

Ένας άλλος τομέας που η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης πρόκειται να φέρει ριζικές αλλαγές τόσο σε επίπεδο παραγωγής όσο και σε σχεδιασμό είναι ο τομέας της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η τεχνολογία της 3d εκτύπωσης έχει ανοίξει το δρόμο για καινούργια σχεδιαστικά μοντέλα, φιλικότερα προς το περιβάλλον, ελαφρότερα με μεγαλύτερο επίπεδο ασφάλειας και με χαμηλότερο κόστος σε χρόνο και σε χρήμα. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιηθούν ήδη για την τρισδιάστατη εκτύπωση για την γρήγορη παραγωγή πρωτότυπων σχεδίων, το ισχυρό εγχείρημα είναι όμως η χρήση της τεχνολογίας για την άμεση κατασκευή μεγάλου όγκου παραγωγής στο μέλλον.

4.4.1 Ρόλος της 3d εκτύπωσης στην παραγωγή

Ο ρόλος της 3d εκτύπωσης στην αυτοκινητοβιομηχανία σύμφωνα με μελέτες θα επηρεάσει και θα έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στον ανταγωνισμό μεταξύ των κατασκευαστών στους εξής δυο τομείς:

➤ **Ως πηγή καινοτομίας προϊόντος**

Η 3d τεχνολογία μπορεί να παράγει εξαρτήματα με λιγότερους περιορισμούς στο σχεδιασμό τους, πράγμα που συχνά περιορίζει τις παραδοσιακές διαδικασίες παραγωγής. Αυτή η ευελιξία είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την παραγωγή προϊόντων με προσαρμοσμένες δυνατότητες, δίνοντας την ευκαιρία για βελτιωμένες λειτουργικότητες όπως η ολοκληρωμένη ηλεκτρική καλωδίωση, με χαμηλότερο βάρος και με πολύπλοκες γεωμετρικές επιχειρήσεις που δεν είναι πιθανές μέσω των παραδοσιακών διαδικασιών. Αυτές οι ευκολίες που παρέχει η 3d τεχνολογία παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη κατασκευή γρηγορότερων, ασφαλέστερων, ελαφρότερων και πιο αποδοτικών οχημάτων στο μέλλον.

➤ **Ως κινητήριοι μοχλός για τον μετασχηματισμό της αλυσίδας εφοδιασμού**

Εξαλείφοντας την ανάγκη για νέα εργαλεία και την άμεση παραγωγή τελικών τμημάτων η 3d εκτύπωση μειώνει το συνολικό χρονικό διάστημα παραγωγής

²⁸ Anon, (2017). [online] Available at: https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf [Accessed 21 Apr. 2017].

βελτιώνοντας έτσι την απόκριση της αγοράς. Επιπλέον, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί μόνο το υλικό που είναι απαραίτητο για την παραγωγή ενός εξαρτήματος, μπορεί να μειώσει δραστικά τα θραύσματα και τη χρήση των υλικών. Τελικά όλες αυτές οι δυνατότητες σε συνδυασμό επιτρέπουν στις εταιρείες να αλλάξουν ριζικά την αλυσίδα εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των μειώσεων του κόστους και τη βελτιωμένη ικανότητα στο να κατασκευάζει προϊόντα πιο κοντά στους πελάτες.

Μαζί η καινοτομία των προϊόντων και ο μετασχηματισμός της αλυσίδας εφοδιασμού της γραμμής παραγωγής έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τα επιχειρηματικά μοντέλα των εταιρειών αυτοκινήτων.

4.4.2 Σημερινό επίπεδο τρισδιάστατης τεχνολογίας στην αυτοκινητοβιομηχανία²⁹

Όπως αναφέραμε, οι περισσότεροι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν τη 3d εκτύπωση για τη παραγωγή πρωτοτύπων χωρίς τη χρήση συγκεκριμένων εργαλείων, πράγμα που επιταχύνει το σχεδιαστικό κύκλο και μειώνει το κόστος της παραγωγής. Αναλυτικότερα σήμερα οι προμηθευτές χρησιμοποιούν την 3d τεχνολογία για να ενισχύσουν τις υπάρχουσες λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα:

- για τη λήψη αποφάσεων στο στάδιο του σχεδιασμού του προϊόντος
- για τη βελτίωση της ποιότητας κατά το προ παραγωγικό στάδιο
- για την ανάπτυξη προσαρμοσμένων εργαλείων και
- για να μειώσει το συνολικό χρόνο παραγωγής.

²⁹ Anon, (2017). [online] Available at: https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf [Accessed 21 Apr. 2017].

Στάδιο σχεδιασμού του προϊόντος³⁰

Στο στάδιο σχεδιασμού του προϊόντος οι εταιρίες περνούν απο διάφορες επαναλήψεις πριν από τη λήψη απόφασης για το οριστικό σχέδιο. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της 3d εκτύπωσης είναι ότι μπορούν να παράγουν πολλαπλές παραλλαγές ενός προϊόντος με μικρό επιπλέον κόστος, βοηθώντας έτσι τις εταιρίες αυτοκινήτων να βελτιώσουν τα σχέδια των προϊόντων τους με την υποστήριξη των φυσικών μοντέλων τους. Ένα παράδειγμα είναι μια γνωστή εταιρία ελαστικών που χρησιμοποιεί 3d εκτύπωση για να δημιουργήσει γρήγορα πρωτότυπα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού και επιλέγει τον καλύτερο τρόπο μετά τον έλεγχο της αφής και την αίσθηση από τις διαφορετικές προτάσεις για το ίδιο προϊόν. Η διαδικασία αυτή της παραγωγής διαφορετικών πρωτοτύπων επιτρέπει τη διαφοροποίηση της μάρκας απέναντι στους ανταγωνιστές οι οποίοι μπορεί να περιορίζονται κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού.

Βελτίωση της ποιότητας κατά το προ παραγωγικό στάδιο³¹

Με τη χρήση της 3d εκτύπωσης για τη ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων πριν τη τελική παραγωγή, οι αυτοκινητοβιομηχανίες είναι σε θέση να δοκιμάσουν την ποιότητα του προϊόντος πριν από την πραγματική παραγωγή. Η General Motors για παράδειγμα χρησιμοποιεί τεχνολογίες πυροσυσσωμάτωσης με λέιζερ (SLS) και στερεολιθογραφία (SLA) εκτενώς στο προ παραγωγικό στάδιο σε όλους τους τομείς: σχεδιασμού, μηχανικής και κατασκευής υλικών για την προτυποποίηση μοντέλων ελέγχου με περισσότερα απο 20.000 εξαρτήματα. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η εταιρία DANA ένας προμηθευτής εξαρτημάτων μετάδοσης κίνησης. Χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό ταχείας κατασκευής πρωτοτύπων και προσομοίωσης για να κάνει τον έλεγχο στο προ παραγωγικό στάδιο για την μορφή και την συμβατότητα των προϊόντων της.

³⁰ Anon, (2017). [online] Available at: https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf [Accessed 21 Apr. 2017].

³¹ Anon, (2017). [online] Available at: https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf [Accessed 21 Apr. 2017].

Ανάπτυξη προσαρμοσμένων εργαλείων³²

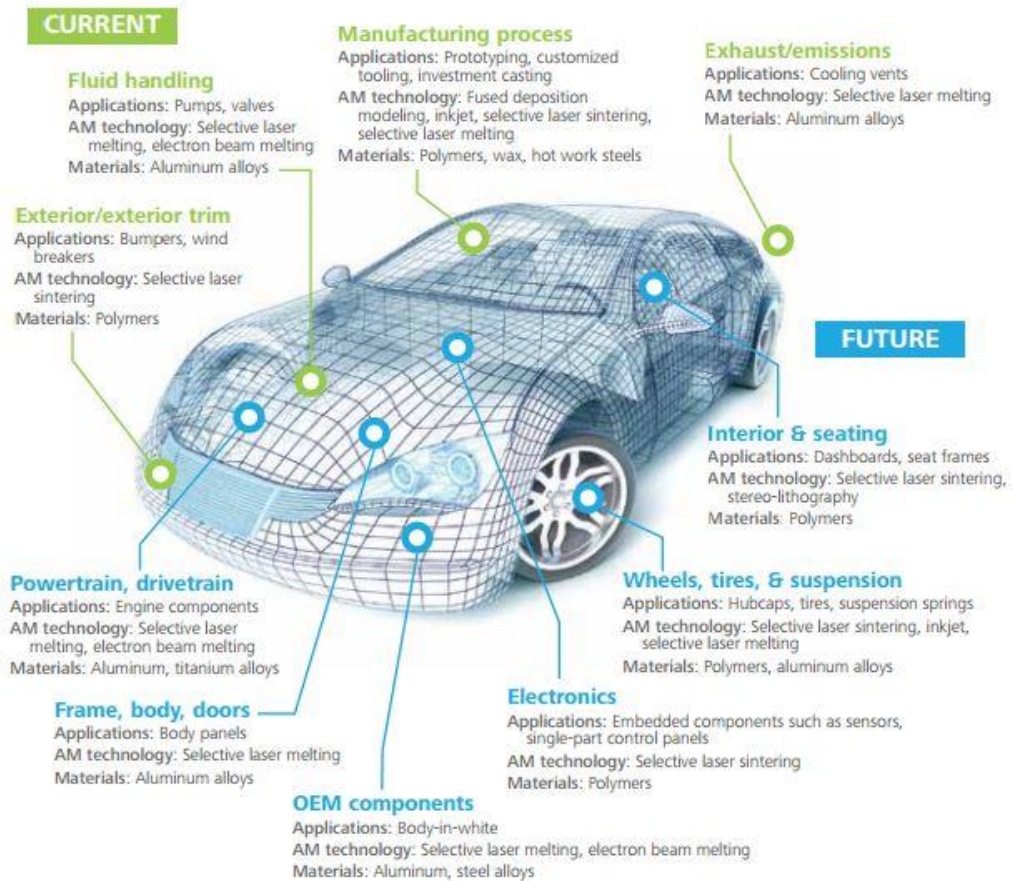
Για τις αυτοκινητοβιομηχανίες τα εργαλεία παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη γραμμή παραγωγής για την κατασκευή υψηλής ποιότητας προϊόντων. Η 3d τεχνολογία επιτρέπει την κατασκευή εξειδικευμένων εργαλείων για την ενίσχυση της παραγωγικότητας. Η BMW για παράδειγμα έχει χρησιμοποιήσει τη 3d τεχνολογία για την άμεση κατασκευή εργαλείων χειρός που χρησιμοποιούνται σε δοκιμές και συναρμολόγηση. Αυτά τα εργαλεία σύμφωνα με τη BMW έχουν καλύτερο εργονομικό σχεδιασμό και είναι 72% ελαφρύτερα από τα παραδοσιακά. Επιπλέον τα εργαλεία αυτά βοήθησαν την BMW να σώσει 58% του συνολικού κόστους και μείωση του χρόνου του έργου κατά 92%. Άλλο ένα παράδειγμα είναι η Ford η οποία σύμφωνα με δηλώσεις της εξοικονόμησε εκατομμύρια δολάρια σε κόστος ανάπτυξης του προϊόντος με την επιλογή να δημιουργήσει πρωτότυπα χρησιμοποιώντας εργαλεία κατασκευασμένα από 3d εκτυπωτές. Με την επιπλέον κατασκευή πρωτοτύπων εξαρτημάτων όπως : κεφαλές κυλίνδρου, πολλαπλές εισαγωγές, αεραγωγούς η Ford μειώσει δραστικά το χρόνο που θα απαιτούνταν συνήθως. Αν σκεφτεί κανείς ότι για ένα μόνο συστατικό όπως η πολλαπλή του κινητήρα, για την ανάπτυξη και τη δημιουργία του πρωτοτύπου συνήθως κοστίζει περίπου 500.000\$ και διαρκεί τέσσερις μήνες, η Ford με τη χρήση της 3d τεχνολογίας ανέπτυξε πολλαπλές επαναλήψεις του προϊόντος σε μόλις τέσσερις ημέρες και με κόστος 3000\$ πραγματικά οι αλλαγές που φέρνει η χρήση της 3d τεχνολογίας είναι εκπληκτικές.

Το μέλλον

Το αυτοκινητοβιομηχανικό επιχειρηματικό μοντέλο του μέλλοντος πιθανότατα θα είναι χαρακτηρίζεται από μαζικούς 3d εκτυπωτές που θα υποστηρίζουν ταχύτερους ρυθμούς ανανέωσης για αυτοκίνητα με καινοτόμα χαρακτηριστικά. Αυτό σημαίνει τη μεγάλη μείωση χρόνου για τη κυκλοφορία ενός νέου μοντέλου στην αγορά από τον αρχικό σχεδιασμό έως τη τελική παραγωγή κάτι που τώρα παίρνει χρόνια. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες τα τελευταία χρόνια αναζητούν συνεχώς τρόπους για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων όχι μόνο λόγω της αύξησης της ζήτησης για τη συμμόρφωση με τα πρότυπα για τα καύσιμα αλλά

³² Anon, (2017). [online] Available at: https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf [Accessed 21 Apr. 2017].

επίσης, ως ένας νέος τρόπος για να αυξηθούν τα έσοδα από την παράδοση μεγαλύτερης αξίας στους καταναλωτές. Ένα κρίσιμο πλεονέκτημα χρησιμοποιώντας την 3d τεχνολογία στη παραγωγή οχημάτων είναι η κατασκευή εξαρτημάτων με χαμηλότερο βάρος οδηγώντας τα οχήματα με βελτιωμένη απόδοση καυσίμου. Ένας άλλος τομέας που θα επηρεάσει σημαντικά η ανάπτυξη της 3d τεχνολογίας είναι η παραγωγή των ανταλλακτικών για τα οχήματα. Ο χρόνος παράδοσης και η διαθεσιμότητα ανταλλακτικών είναι μια σημαντική βάση του ανταγωνισμού στην αγορά ανταλλακτικών και εξαρτημάτων στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Λόγω του υψηλού κόστους διεξαγωγής των αποθεμάτων, οι περισσότεροι διανομείς ανταλλακτικών διαθέτουν τα ανταλλακτικά τους σε συγκεκριμένες ποσότητες αναλόγως με τις συνθήκες ζήτησης. Αυτό σημαίνει ότι σε κάποιες περιπτώσεις ένας καταναλωτής θα δυσκολευτεί να βρει ένα μη-χρησιμοποιούμενο ανταλλακτικό με αποτέλεσμα να πληρώσει ένα πολύ μεγαλύτερο ποσό για την απόκτηση του από κάποιο άλλο μέρος του πλανήτη όπου θα είναι διαθέσιμο. Ο στόχος λοιπόν είναι η παραγωγή ανταλλακτικών εξαρτημάτων «κατά παραγγελία» εκτυπωμένα από 3d εκτυπωτές. Με το σχέδιο CAD και μόνο λοιπόν του ανταλλακτικού και με τη χρήση ενός υπολογιστή και ενός εκτυπωτή 3d κάποιος θα μπορεί να παράγει μόνος του το ανταλλακτικό του. Οι καταναλωτές θα μπορούσαν στη συνέχεια να αγοράσουν το ψηφιακό σχέδιο και να το εκτυπώσουν στην προσωπική τους συσκευή. Φανταστείτε λοιπόν το πόσο μεγάλο είναι το ποσοστό κέρδους υλικών για τις εταιρίες κατασκευής εξαρτημάτων.



4.9 Μελλοντική εξέλιξη της κατασκευής των εξαρτημάτων αυτοκινήτου³³

4.4.3 URBEE: Το πρώτο 3d-εκτυπωμένο αυτοκίνητο.³⁴

Ο Urbee είναι το πρώτο αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε δηλαδή τυπώθηκε με τη χρήση ενός 3d εκτυπωτή εξολοκλήρου. Η παραγωγή του Urbee βασίστηκε στη τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής. Παράχθηκε λοιπόν από έναν εκτυπωτή που τύπωνε κομμάτι-κομμάτι το σώμα του αυτοκινήτου. Το χαρακτηριστικό του Urbee σε αντίθεση με τα υπόλοιπα πρωτότυπα που έχουν κατασκευαστεί είναι η διάρκεια ζωής του. Οι μηχανικοί του υποστηρίζουν ότι μπορεί να διαρκέσει έως και 30 χρόνια και όχι απλώς 5 όπως οι προηγούμενες απόπειρες που είχαν γίνει.

³³ Anon, (2017). [online] Available at: https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf [Accessed 21 Apr. 2017].

³⁴ Anon, (2017). [online] Available at: "<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2041106/Urbee-The-worlds-printed-car-rolling-3D-printing-presses-.html>" [Accessed 1 May 2017].



4.10 Urbee: Το πρώτο εκτυπωμένο αυτοκίνητο³⁵

Η κατασκευαστική δομή του Urbee έχει ως εξής: Αποτελείται από τρεις τροχούς, δύο καθίσματα και τροφοδοτείται από έναν πολύ φιλικό κινητήρα προς το περιβάλλον. Οι μηχανικοί του δηλώνουν ότι πρόκειται για το πιο πράσινο αυτοκίνητο που έχει κατασκευαστεί ποτέ καθώς έχουν εκτυπωθεί μόνο τα απαραίτητα εξαρτήματα και ο πετρέλαιο-υβριδικός κινητήρας του είναι πολύ χαμηλών ρύπων.

Οι υπεύθυνοι παραγωγής σκοπεύουν να κατασκευάσουν το επόμενο μοντέλο του Urbee με την ονομασία Urbee 2.

Urbee



4.11 Urbee: Το πρώτο εκτυπωμένο αυτοκίνητο³⁶

³⁵ D2t1xqejof9utc.cloudfront.net. (2017). [online] Available at: https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/competition_pics/pics/556/medium.jpg?1380288580 [Accessed 22 Apr. 2017].

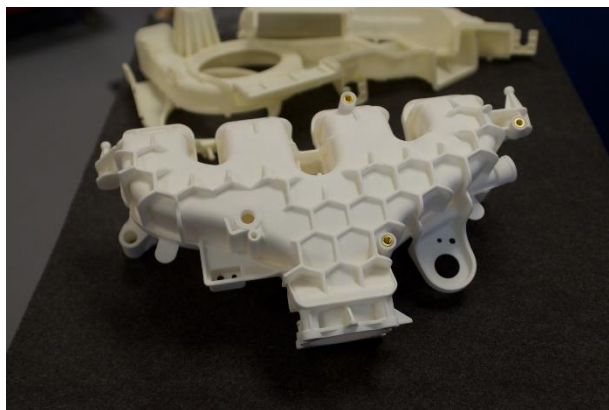
³⁶ D2t1xqejof9utc.cloudfront.net. (2017). [online] Available at: https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/competition_pics/pics/556/medium.jpg?1380288580 [Accessed 22 Apr. 2017].

4.4.4 Μηχανοκίνητος Αθλητισμός

Σχεδόν πάντα στο τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας η δοκιμή νέων τεχνολογιών εφαρμόζονταν και δοκιμάζονταν πρώτα στο χώρο του μηχανοκίνητου αθλητισμού. Έτσι και στη περίπτωση της τρισδιάστατης τεχνολογίας οι εταιρίες έχουν ξεκινήσει ήδη να δοκιμάζουν τα εκτυπωμένα εξαρτήματα στα οχήματα αγώνων. Όπως αναφέραμε προηγουμένως η εφαρμογή της 3d τεχνολογίας στο κλάδο του αυτοκινήτου γενικότερα αναμένεται να φέρει τεράστιες αλλαγές στο κομμάτι παραγωγής. Δεν είναι απίθανο λοιπόν τα επόμενα χρόνια οι κατασκευαστές να έχουν τη δυνατότητα κατά τη διάρκεια ενός αγώνα να εκτυπώνουν μέσα σε λίγα λεπτά ανταλλακτικά ή ακόμα και να δούμε εξ' ολοκλήρου αυτοκίνητα αγώνων εκτυπωμένα από τρισδιάστατες μηχανές.

4.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης της 3d τεχνολογίας στη βιομηχανική παραγωγή

Όπως αναλύθηκε, στις προηγούμενες ενότητες, οι αλλαγές που θα φέρει η χρήση της 3d τεχνολογίας στη βιομηχανική παραγωγή είναι ριζικές. Μπορούμε να μιλάμε ίσως για την αλλαγή ολόκληρου του βιομηχανικού μοντέλου μέσα στα επόμενα χρόνια. Τα πλεονεκτήματα που θα φέρει η χρήση των 3d τεχνολογιών εντοπίζονται κυρίως στο πολύ μειωμένο χρόνο που θα απαιτείται για τη κατασκευή των αντικειμένων αλλά επίσης και το χαμηλότερο κόστος.



4.12. Πολλαπλή εξαγωγή κινητήρα εκτυπωμένη³⁷

³⁷ Johnbiehler.com. (2017). [online] Available at: <http://johnbiehler.com/wp-content/uploads/2014/01/fordpart.jpg> [Accessed 6 May 2017].



4.13. Άξονας εκτυπωμένος³⁸



4.14. Σώμα δυναμό εκτυπωμένο³⁹

³⁸ Paradigm3d.com. (2017). [online] Available at: <http://paradigm3d.com/wp-content/uploads/2014/07/Axle-HighRes1.jpg> [Accessed 6 May 2017].

³⁹ Prodways.com. (2017). [online] Available at: <http://www.prodways.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2016/11/3D-printing-automotive-industry-PA6.jpg> [Accessed 10 May 2017].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε υλοποιημένα κατασκευαστικά μοντέλα 3d εκτυπωτών που είναι διαθέσιμα αυτή τη στιγμή στην αγορά είτε για προσωπική είτε για πιο εξειδικευμένη χρήση σε επίπεδο βιομηχανικής παραγωγής. Θα παρουσιάσουμε τις διαφορετικές τεχνολογίες εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται, τα διαφορετικά υλικά και τις διαφορετικές ανάγκες που εξυπηρετούν.

5.1 Τρόποι εκτύπωσης

Πέρα από τις διάφορες που έχουν ως προς στο σχήμα ή το μέγεθος τους μια βασική διάφορα είναι ο τρόπος με τον οποίο εκτυπώνουν έναν αντικείμενο, κάποιοι από αυτούς ονομάζονται «καρτεσιανοί», Delta, «πολικοί» και SCARA.

5.1.1 Cartesian/Καρτεσιανοί⁴⁰

Αυτοί οι εκτυπωτές ονομαστήκαν έτσι από το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα συντεταμένων το οποίο βοηθά τα ρομπότ να αποφασίσουν που και πως θα κινηθούν. Οι καρτεσιανοί τρισδιάστατοι εκτυπωτές έχουν τυπικά ένα τετράγωνο κρεβάτι εκτύπωσης που κινείται μόνο στον άξονα Z. Ο εξωθητήρας κάθετα στον άξονα X και στον άξονα Y, όπου μπορεί να κινηθεί σε τέσσερις κατευθύνσεις.

5.1.2 Delta/Δέλτα⁴¹

Οι delta λειτουργούν επίσης στο καρτεσιανό μοντέλο, συνήθως διαθέτουν ένα κυκλικό κρεβάτι εκτύπωσης. Ο εξωθητήρας θα αναρτηθεί πάνω από αυτό μαζί με τρεις βραχίονες σε τριγωνική διαμόρφωση, αυτός είναι και ο λόγος που ονομαστήκαν έτσι και δεν μπορούν να μπερδευτούν με καρτεσιανούς.

⁴⁰ All3DP. (2017). 3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara | All3DP. [online] Available at: <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/> [Accessed 12 Apr. 2017].
Cartesian, a. (2017). Cartesian, Delta, and Polar: The Most Common 3D Printers | Make:. [online] Make: DIY Projects and Ideas for Makers. Available at: <http://makezine.com/2015/03/10/cartesian-delta-polar-common-3d-printers/> [Accessed 6 Apr. 2017].

⁴¹ All3DP. (2017). 3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara | All3DP. [online] Available at: <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/> [Accessed 12 Apr. 2017].
Cartesian, a. (2017). Cartesian, Delta, and Polar: The Most Common 3D Printers | Make:. [online] Make: DIY Projects and Ideas for Makers. Available at: <http://makezine.com/2015/03/10/cartesian-delta-polar-common-3d-printers/> [Accessed 6 Apr. 2017].

5.1.3 Polar/Πολικοί⁴²

Αυτή η κατηγορία χρησιμοποιεί ένα πολικό σύστημα συντεταγμένων. Είναι παρόμοιο με το καρτεσιανό, εκτός από το ότι τα σύνολα συντεταγμένων περιγράφουν σημεία σε κυκλικό πλέγμα παρά σε τετράγωνο. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε έναν εκτυπωτή με περιστρεφόμενο κρεβάτι και μια κεφαλή εκτύπωσης που κινείται πάνω, κάτω, δεξιά και αριστερά. Το μεγάλο πλεονέκτημα ενός τέτοιου εκτυπωτή είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει μόνο με δύο βηματικούς κινητήρες. Επιπλέον, οι πολικοί εκτυπωτές 3D μπορούν να έχουν μεγαλύτερο όγκο δημιουργίας σε μικρότερο χώρο, χωρίς την απαίτηση να μετακινηθεί ένα πλαίσιο XYZ.

5.1.4 SCARA⁴³

Οι εκτυπωτές τύπου scara (Selective Compliance Articulated Robot Arm) βασιζονται σε πειραματικό στάδιο. Είναι ένα πολύ ακριβές σύστημα γι' αυτό και μας θυμίζει ένα βιομηχανικό ρομπότ που είναι σε μια γραμμή συναρμολόγησης αυτοκίνητου.

5.2 Κατασκευαστικά μοντέλα στην αγορά

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα 3d εκτυπωτών, τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά για οικιακή αλλά και για επαγγελματική χρήση. Όλα τα χαρακτηριστικά και οι τιμές είναι σχετικές με την αγορά όπως είναι διαμορφωμένη σήμερα.

⁴² All3DP. (2017). 3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara | All3DP. [online] Available at: <https://all3dp.com/known-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/> [Accessed 12 Apr. 2017].
Cartesian, a. (2017). Cartesian, Delta, and Polar: The Most Common 3D Printers | Make:. [online] Make: DIY Projects and Ideas for Makers. Available at: <http://makezine.com/2015/03/10/cartesian-delta-polar-common-3d-printers/> [Accessed 6 Apr. 2017].

⁴³ All3DP. (2017). 3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara | All3DP. [online] Available at: <https://all3dp.com/known-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/> [Accessed 12 Apr. 2017].
Cartesian, a. (2017). Cartesian, Delta, and Polar: The Most Common 3D Printers | Make:. [online] Make: DIY Projects and Ideas for Makers. Available at: <http://makezine.com/2015/03/10/cartesian-delta-polar-common-3d-printers/> [Accessed 6 Apr. 2017].

5.2.1 Εκτυπωτές για προσωπική χρήση

Κατασκευαστής : Printrbot⁴⁴

Μοντέλο: simple 1403



5.1 Printrbot simple 1403

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Μοντέλο: 1403

Μέγεθος εκτύπωσης: 6" x 6" x 6" / 150mm x 150mm x 150mm

Ανάλυση εκτύπωσης: 50 Microns/μικρόμετρα

Ταχύτητα εκτύπωσης: 80mm/sec max recommended

Υλικό εκτύπωσης: 1.75mm PLA

Τροφοδοσία συσκευής: 12V laptop power supply

Τιμή: 560€

⁴⁴ Printrbot.com. (2017). Assembled Printrbot Plus | Printrbot. [online] Available at: <https://printrbot.com/shop/assembly> [Accessed 7 Apr. 2017].

Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Κατασκευαστής : Futura group srl⁴⁵

Μοντέλο : 3DRAG/K



5.2 Futura group srl 3DRAG/K

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Τεχνολογία εκτύπωσης : FFF (Fused Filament Fabrication)

Υλικό εκτύπωσης: 3mm PLA , ABS

Τροφοδοσία συσκευής : 12V 7A max

Μέγεθος εκτύπωσης : 20 x 20 x 20 cm

Κανονική ταχύτητα εκτύπωσης : 120 mm / sec

Μέγιστη ταχύτητα εκτύπωσης : 150 to 300 mm / sec

Τιμή: 410€

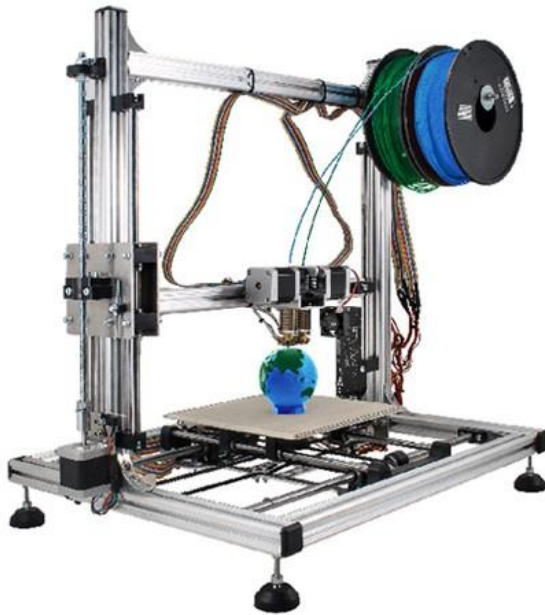
⁴⁵ Anon, (2017). [online] Available at: <http://reprap.org/wiki/3drag> [Accessed 8 Apr. 2017].

Open-electronics.org Store by Futura Group. (2017). Printer. [online] Available at: <https://store.open-electronics.org/3D/Printer> [Accessed 8 Apr. 2017].

Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Κατασκευαστής : Futura group srl⁴⁶

Μοντέλο : 3DRAG/DUE



5.3 Futura group srl 3DRAG/DUE

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Τεχνολογία εκτυπωτή : FFF (Fused Filament Fabrication)

Υλικό εκτύπωσης: 1,75mm PLA, ABS and Nylon

Μέγεθος εκτύπωσης: 17 x 20 x 20 cm

Κανονική ταχύτητα εκτύπωσης: 120 mm / sec

Μέγιστη ταχύτητα εκτύπωσης: 150 - 300 mm / s

Τιμή: 520€

⁴⁶ Anon, (2017). [online] Available at: <http://reprap.org/wiki/3drag> [Accessed 8 Apr. 2017].

Open-electronics.org Store by Futura Group. (2017). Printer. [online] Available at: <https://store.open-electronics.org/3D/Printer> [Accessed 8 Apr. 2017].

Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Κατασκευαστής : Futura group srl⁴⁷

Μοντέλο : DMAKE



5.4 Futura group srl DMAKE

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Τεχνολογία εκτυπωτή: FFF (Fused Filament Fabrication)

Υλικό εκτύπωσης: 1,75mm PLA, ABS and Nylon

Μέγεθος εκτύπωσης : 150 x 150 x300 mm

Ταχύτητα εκτύπωσης: 20-100 mm/s

Ακρίβεια εκτύπωσης: 0,005 mm

Τιμή: 410€

⁴⁷ Anon, (2017). [online] Available at: <http://reprap.org/wiki/3drag> [Accessed 8 Apr. 2017].

Open-electronics.org Store by Futura Group. (2017). Printer. [online] Available at: <https://store.open-electronics.org/3D/Printer> [Accessed 8 Apr. 2017].

5.2.2 Εκτυπωτές για επαγγελματική χρήση

Κατασκευαστής : 3D systems⁴⁸

Μοντέλο : Projet MJP 3600



5.5 3D systems Projet MJP 3600

3D printer για οδοντοτεχνικές εργασίες

Ο Projet MJP 3600 Dental 3D printer ανήκει στη σειρά προϊόντων Projet MJP 3600 της 3D Systems. Προσφέρει υψηλή παραγωγικότητα καθώς μπορεί να «χτίσει» αρκετά μοντέλα στον ελάχιστο χρόνο. Διαθέτει δύο επιλογές επιφάνειας χτισίματος (smooth & matte) σε mode κατάλληλο για εκτύπωση εκμαγείων, ορθοδοντικών ναρθήκων και drill guides. Διαθέτει επίσης mode για εφαρμογές υψηλής ανάλυσης σε χυτεύσιμη ρητίνη. Αποτελεί προϊόν υψηλής τεχνολογίας ικανό για συνεχή λειτουργία και με χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης.

⁴⁸ Anima.gr. (2017). Projet™ MJP 3600 Dental. [online] Available at: <http://www.anima.gr/products/category/3d-printing/dental-3d-printers/projet-3600-dental> [Accessed 8 Apr. 2017].

Κατασκευαστής : 3D systems⁴⁹

Μοντέλο : Projet 1200



5.6 3D systems Projet 1200

Projet™ 1200

Υψηλής λεπτομέρειας, μικρού μεγέθους, προσιτός 3D Printer. Ο Projet 1200 3D printer είναι η προσιτή λύση της 3D Systems, για μικρά εργαστήρια κοσμηματοποιίας, οδοντοτεχνιτών αλλά και οποιαδήποτε εφαρμογή Design ή Prototyping, όπου η υψηλή ανάλυση είναι σημαντική. Βασίζεται στην τεχνολογία micro-SLA και χαρακτηρίζεται από πολύ καλή ακρίβεια και ομαλή επιφάνεια των μοντέλων που τυπώνει. Το μέγιστο μέγεθος εκτύπωσης είναι 43 x 27 x 150 mm, με την ανάλυση να είναι πολύ υψηλή (585 DPI, 30μ) για τα δεδομένα της κατηγορίας και του κόστους. Οι απαιτήσεις του 3D Printer σε συντήρηση είναι ιδιαίτερα χαμηλές ενώ δεν υπάρχουν ανταλλακτικά που χρειάζονται συχνή αντικατάσταση. Για παράδειγμα, η λάμπα του projector είναι τεχνολογίας LED και διαρκεί δεκάδες χιλιάδες ώρες λειτουργίας πριν χρειαστεί αντικατάσταση.

Ο 3D Printer μπορεί να δεχτεί τα υλικά που ακολουθούν. Η εναλλαγή μεταξύ τους είναι εύκολη και σύντομη διαδικασία.

- FTX Cast– Χυτεύσιμη ρητίνη με κερί για κόσμημα

⁴⁹ Anima.gr. (2017). Projet 1200. [online] Available at: <http://www.anima.gr/products/category/3d-printing/jewelry-3d-printers/projet-1200> [Accessed 10 Apr. 2017].

Τρισδιάστατη Εκτύπωση

- FTX Green– Χυτεύσιμη ρητίνη για οδοντοτεχνικές εφαρμογές, αλλά και για πάτημα σε λάστιχο
- FTX Clear– Ημι-διάφανα κομμάτια
- FTX Gray– Ιδανική για ανάδειξη λεπτομερειών, αλλά και βαφή, για μοντέλα υψηλής ανάλυσης ,φιγούρες και 3D artists
- FTX Gold & FTX Silver– Ρητίνες που προσομοιάζουν την όψη χρυσού και ασημιού

Κατασκευαστής : Organovo⁵⁰

Μοντέλο : NovoGen MMX Bioprinter



5.7 Organovo NovoGen MMX Bioprinter

Κατηγορία εκτυπωτή : Βιομηχανικός

Υλικό εκτύπωσης : Βιολογικά ζωντανά κύτταρα

Η βιοεκτύπωση είναι η ακριβής τοποθέτηση βιοϋλικών όπως κύτταρα, πρωτεΐνες βακτήρια σε 2D ή 3D. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως

⁵⁰ Anon, (2017). [online] Available at: <http://www.aniwaa.com/product/3d-printers/organovo-novogen-mmx-bioprinter/> [Accessed 9 Apr. 2017].

υψηλής απόδοσής εργαλείο σε εφαρμογές ή για την αναπαράσταση βιολογικών οργανισμών ή βιολογικών συστημάτων τα όποια είναι πλησιέστερα και ακριβέστερα στους πραγματικούς ζωντανούς οργανισμούς για έρευνα, δοκιμή και διάγνωση.

5.3 Αναφορά σε ομάδες που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα⁵¹

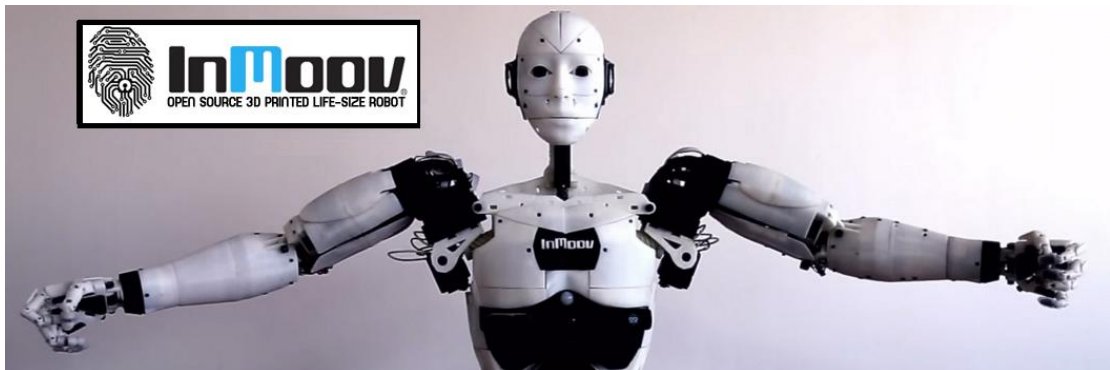
Αυτή η τεχνολογία με το πέρασμα των χρόνων έχει φτάσει στην χώρα μας, όπου υπάρχουν είτε μικρές, είτε μεγάλες εταιρείες, που ασχολούνται με την τρισδιάστατη εκτύπωση. Μια πληθώρα εκτυπωτών βασίζεται σε software και hardware ανοιχτού κώδικα όπου είναι εύκολο να έχουμε όλοι πρόσβαση. Κάπως έτσι ξεκίνησε και ένας Γάλλος καλλιτέχνης φτιάχνοντας το πρώτο εκτυπωμένο ρομπότ. Ο Gael Langevin ξεκίνησε το έργο InMoov τον Ιανουάριο του 2011 ως το πρώτο προσθετικό χέρι ανοιχτού κώδικα. Το συγκεκριμένο ρομπότ μπορεί να τυπωθεί σε οποιοδήποτε οικιακό εκτυπωτή με περιοχή εκτύπωσης 12*12*12cm, είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης κατάλληλη για πανεπιστήμια, εργαστήρια, χομπίστες αλλά και κατασκευαστές. Μάλιστα, ένας Έλληνας μαθητής από τη Καβάλα ο Δημήτρης Χατζής κατασκεύασε μέσω του προσωπικού του οικιακού εκτυπωτή όλα τα απαραίτητα κομμάτια για το ρομπότ του με όνομα Troory, βασισμένο στο έργο InMoov και έγινε ένας από τους έξι ανθρώπους που έχουν καταφέρει να ολοκληρώσουν το ρομπότ.

Εμπνευσμένοι οι φοιτητές του τμήματος μας από την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και με πρωτοβουλία του καθηγητή Κ.Χρήστου Καμπούρη, αγοράστηκε ο πρώτος 3D εκτυπωτής στο ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ που βρίσκεται στο εργαστήριο σύγχρονης σχεδίασης. Είναι ένας εκτυπωτής open source και open hardware, και με την βοήθεια του καθηγητή του εργαστηρίου κάνουν τις πρώτες εκτυπώσεις και προσπαθούν να κατανοήσουν τα μέρη και την χρήση του.

⁵¹ Inmoov.fr. (2017). InMoov | open-source 3D printed life-size robot. [online] Available at: <http://inmoov.fr/> [Accessed 9 Apr. 2017].

En.wikipedia.org. (2017). InMoov. [online] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/InMoov> [Accessed 11 Apr. 2017].

3ders.org. (2017). Greek teen becomes youngest creator of functional life-size humanoid robot 'InMoov'. [online] Available at: <http://www.3ders.org/articles/20151108-greek-teen-uses-3d-printing-youngest-creator-life-size-humanoid-robot-inmoov.html> [Accessed 11 Apr. 2017].



5.8 Εκτυπωμένο ρομπότ InMoov⁵²



5.9 Εκτυπωμένο ρομπότ InMoov⁵³

⁵² Meccanismocomplesso.org. (2017). [online] Available at: <http://www.meccanismocomplesso.org/wp-content/uploads/2015/10/Meccanismo-Complesto-InMoov1.png> [Accessed 11 Apr. 2017].

⁵³ Adafruit.com. (2017). [online] Available at: https://www.adafruit.com/blog/wp-content/uploads/2014/11/IMG_6082_RAPHAEL_CRETON_MAKER_FAIRE_PARIS_20141.jpg [Accessed 11 Apr. 2017].



5.10 Εκτυπωμένο ρομπότ InMoov⁵⁴



5.11 Εσωτερικός μηχανισμός ρομπότ InMoov⁵⁵

⁵⁴ S-media-cache-ak0.pinimg.com. (2017). [online] Available at: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/d8/82/a8/d882a8c51cfe3e36b6f52c057ae80527.jpg> [Accessed 11 Apr. 2017].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Kalani Kirk Hausman, Richard Horne: 3D Printing For Dummies, John Wiley & Sons, Inc., 2014, New Jersey
- Janani Gopalakrishnan Vikram: 3D Printers to Print Lunar Base and Living Tissue, Electronics For You Plus, June 2014, p.28
- Hod Lipson, Melba Kurman : Fabricated: The New World of 3D Printing, John Wiley & Sons, Inc., 2013 Indianapolis, Indiana
- Anna Kaziunas :Make: 3D Printing – The essential guide to 3D Printers, Maker Media, Inc., November 2013, First Edition, France
- Αλέξανδρος- Γεώργιος Μουντογιαννάκης, Αχιλλέας Μόσχος: 3D Εκτύπωση: Λειτουργία, Εφαρμογές και Ανησυχίες, Ιανουάριος 2015, Conference paper, Available at:
https://www.researchgate.net/publication/270823636_3D_Printing_How_It_Works_Applications_and_Concerns_Greek [Accessed 12 Mar. 2017].
- Joan Horvath: Mastering 3D Printing – Technology in Action, 2014, Apress
- Make: Ultimate guide to 3D Printing – MAKEMEDIA-makemagazine.com
- Αναγνωστάκης Θεολόγος: Σχεδιασμός και κατασκευή δομής πρωτότυπου τρισδιάστατου εκτυπωτή, Μεταπτυχιακή εργασία – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2015
- Αναστασοπούλου Δ. Αθανασία: Τρισδιάστατοι εκτυπωτές και εφαρμογές τους στην Βιοϊατρική τεχνολογία, Διπλωματική εργασία – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2014
- Καρούζος Κωνσταντίνος: Μελέτη και σχεδιασμός συστήματος ελέγχου και οδήγησης τρισδιάστατου εκτυπωτή – Μεταπτυχιακή εργασία – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2015
- En.wikipedia.org. (2017). 3D printing. [online] Available at:
https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing [Accessed 5 Mar. 2017].
- Doodlesplash.co.uk. (2017) [online] Available at:
<http://doodlesplash.co.uk/image/3D-printing/3d-process-2.jpg> [Accessed 3 Mar. 2017].

⁵⁵ S-media-cache-ak0.pinimg.com. (2017). [online] Available at: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/39/ae/87/39ae87c744971aef2b2db8e5a4d0a075.jpg> [Accessed 11 Apr. 2017].

- EliezerGANON.files.wordpress.com. (2017) [online] Available at: https://eliezerGANON.files.wordpress.com/2014/08/depositphotos_42348221_s.jpg [Accessed 6 Mar. 2017].
- Ipet.gr. (2017). Τρισδιάστατη Εκτύπωση - Μέθοδοι εκτύπωσης. [online] Available at: http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=59 [Accessed 15 Mar. 2017].
- Designboom.com. (2017). [online] Available at: http://www.designboom.com/weblog/images/images_2/rodrigo/09_september_2012/27_formlabs3D/01.jpg [Accessed 13 Mar. 2017].
- 3druck.com. (2017). [online] Available at: <https://3druck.com/wp-content/uploads/2012/04/Choc-Creator-3D-Schokolade-Drucker.jpg> [Accessed 9 Mar. 2017].
- I.vimeocdn.com. (2017) [online] Available at: https://i.vimeocdn.com/video/437929544_960.jpg [Accessed 5 Apr. 2017].
- 3dexpert.gr. (2017). Υλικά | 3Dprinters - 3DScanners - Fillaments. [online] Available at: <http://www.3dexpert.gr/intro/ilika/> [Accessed 14 Apr. 2017].
- naftemporiki.gr. (2017). Εξαγωγή υλικών από το χώμα του Άρη για κατασκευή κατοικιών μέσω 3D printing. [online] Available at: <http://www.naftemporiki.gr/story/1207402> [Accessed 01 Mar. 2017].
- 3dprint.com. (2017). [online] Available at: <http://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/04/t5-300x261.png> [Accessed 13 Apr. 2017].
- Sc01.alicdn.com. (2017)[online] Available at: <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1eNjZHpXXXXamapXX760XFXXX6/Mankati-Large-Format-3D-Printer-Big-Printing.png> [Accessed 9 Mar. 2017].
- 4inno.com. (2017) [online] Available at: http://www.4inno.com/wp-content/uploads/2015/02/3dPrinter_1025x634.jpg [Accessed 16 Mar. 2017].
- 3dprint.com. (2017) [online] Available at: <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2014/11/bio2.png> [Accessed 17 Mar. 2017].
- Javelin-tech.com. (2017) [online] Available at: <http://www.javelin-tech.com/3d-printer/wp-content/uploads/2013/06/design-series-example10.jpg> [Accessed 19 Mar. 2017].

- S-media-cache-ak0.pinimg.com. (2017) [online] Available at: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/3e/ca/88/3eca8835b9630e7a46a5a3719199ed6b.jpg> [Accessed 24 Mar. 2017].
- I.ytimg.com. (2017) [online] Available at: <https://i.ytimg.com/vi/1u4l0vxdFZU/hqdefault.jpg> [Accessed 9 Apr. 2017].
- Mylocal3dprinting.com. (2017).[online] Available at: <https://mylocal3dprinting.com/blog/wp-content/uploads/2015/12/image1-1.jpg> [Accessed 5 May 2017].
- epixeiro.gr || Η επιχειρηματικότητα στο προσκήνιο. (2017). Η τρισδιάστατη εκτύπωση “the next big thing” στον τομέα της ιατρικής | Έρευνες, Εκθέσεις, Μελέτες. [online] Available at: <http://www.epixeiro.gr/article/20204> [Accessed 5 Apr. 2017].
- MEDLABNEWS.GR / IATRIKA NEA. (2017). Τι είναι η 3D εκτύπωση και πως μπορεί να αναπαραγάγει κύτταρα και όργανα στην ιατρική; (video). [online] Available at: <http://medlabgr.blogspot.com/2014/01/3d-video.html> [Accessed 17 Apr. 2017].
- <http://medlabgr.blogspot.com/2014/01/3d-video.html> [Accessed 21 Apr. 2017].
- Anon, (2017). [online] Available at: https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf [Accessed 21 Apr. 2017].
- Anon, (2017). [online] Available at: https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf [Accessed 21 Apr. 2017].
- Anon, (2017). [online] Available at: [“http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2041106/Urbee-The-worlds-printed-car-rolling-3D-printing-presses-.html”](http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2041106/Urbee-The-worlds-printed-car-rolling-3D-printing-presses-.html) [Accessed 1 May 2017].
- D2t1xqejof9utc.cloudfront.net. (2017).[online] Available at: https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/competition_pics/pics/556/medium.jpg?1380288580 [Accessed 22 Apr. 2017].

- All3DP. (2017). 3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara | All3DP. [online] Available at: <https://all3dp.com/known-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/> [Accessed 12 Apr. 2017].
- Cartesian, a. (2017). Cartesian, Delta, and Polar: The Most Common 3D Printers | Make:. [online] Make: DIY Projects and Ideas for Makers. Available at: <http://makezine.com/2015/03/10/cartesian-delta-polar-common-3d-printers/> [Accessed 6 Apr. 2017].
- Printrbot.com. (2017). Assembled Printrbot Plus | Printrbot. [online] Available at: <https://printrbot.com/shop/assembly> [Accessed 7 Apr. 2017].
- Anon, (2017). [online] Available at: <http://reprap.org/wiki/3drag> [Accessed 8 Apr. 2017].
- Open-electronics.org Store by Futura Group. (2017). Printer. [online] Available at: <https://store.open-electronics.org/3D/Printer> [Accessed 8 Apr. 2017].
- Anima.gr. (2017). Projet™ MJP 3600 Dental. [online] Available at: <http://www.anima.gr/products/category/3d-printing/dental-3d-printers/projet-3600-dental> [Accessed 8 Apr. 2017].
- Anima.gr. (2017). Projet 1200. [online] Available at: <http://www.anima.gr/products/category/3d-printing/jewelry-3d-printers/projet-1200> [Accessed 10 Apr. 2017].
- Anon, (2017). [online] Available at: <http://www.aniwaa.com/product/3d-printers/organovo-novogen-mmx-bioprinter/> [Accessed 9 Apr. 2017].
- Inmoov.fr. (2017). InMoov | open-source 3D printed life-size robot. [online] Available at: <http://inmoov.fr/> [Accessed 9 Apr. 2017].
- En.wikipedia.org. (2017). InMoov. [online] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/InMoov> [Accessed 11 Apr. 2017].
- 3ders.org. (2017). Greek teen becomes youngest creator of functional life-size humanoid robot 'InMoov'. [online] Available at: <http://www.3ders.org/articles/20151108-greek-teen-uses-3d-printing-youngest-creator-life-size-humanoid-robot-inmoov.html> [Accessed 11 Apr. 2017].
- Meccanismocomplesso.org. (2017). [online] Available at: <http://www.meccanismocomplesso.org/wp->

- content/uploads/2015/10/Meccanismo-Complesso-InMoov1.png [Accessed 11 Apr. 2017].
- Adafruit.com. (2017).[online] Available at: https://www.adafruit.com/blog/wp-content/uploads/2014/11/IMG_6082_RAPHAEL_CRETON_MAKER_FAIR_E_PARIS_20141.jpg [Accessed 11 Apr. 2017].
 - S-media-cache-ak0.pinimg.com. (2017). [online] Available at: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/d8/82/a8/d882a8c51cfe3e36b6f52c057ae80527.jpg> [Accessed 11 Apr. 2017].
 - S-media-cache-ak0.pinimg.com. (2017)[online] Available at: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/39/ae/87/39ae87c744971aef2b2db8e5a4d0a075.jpg> [Accessed 11 Apr. 2017].
 - User, S. (2017). 3D Printing - Εκτύπωση τριών διαστάσεων. [online] enoworx. Available at: <https://www.enoworx.gr/3d-printing#plathermoplastiko> [Accessed 7 Apr. 2017].
 - Arcam AB. (2017). Electron Beam Melting - EBM Process, Additive Manufacturing | Arcam AB. [online] Available at: <http://www.arcam.com/technology/electron-beam-melting/>. [Accessed 8 May 2017].
 - Johnbiehler.com. (2017). [online] Available at: <http://johnbiehler.com/wp-content/uploads/2014/01/fordpart.jpg>
 - AcceProdways.com. (2017). [online] Available at: <http://www.prodways.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2016/11/3D-printing-automotive-industry-PA6.jpg> [Accessed 10 May 2017].

