



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Τρισδιάστατοι εκτυπωτές και εφαρμογές τους στην
Βιοϊατρική τεχνολογία.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της

ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΥ Δ. ΑΘΑΝΑΣΙΑ

**Επιβλέπων : Δ. Δ. Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, Δεκέμβριος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Τρισδιάστατοι εκτυπωτές και εφαρμογές τους στην
Βιοϊατρική τεχνολογία.**

**Επιβλέπων : Δ. Δ. Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 10 Ιανουαρίου 2015

.....
Δ.Δ..Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Ματσόπουλος
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Φωτιάδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2014

.....

ΑΘΑΝΑΣΙΑ ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΥ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Θα ήθελα στο σημείο αυτό να ευχαριστήσω κ.Δημήτρη-Διονύση Κουτσούρη για την παρότρυνσή του να ασχοληθούμε με ένα τέτοιο θέμα και τη γενική του επίβλεψη. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τους υποψήφιους διδάκτορες κύριο Αθανάσιο Αναστασίου και κύριο Αλέξανδρο Ρόμπα, για τις χρήσιμες ιδέες και τις πολύτιμες γνώσεις που προσέφεραν. Τέλος, όλους αυτούς που με τον τρόπο τους συνέβαλαν στην περάτωση αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της τεχνολογίας των τρισδιάστατων εκτυπωτών, καθώς επίσης και των εφαρμογών που αυτοί θα μπορούσαν να έχουν στην βιοϊατρική τεχνολογία. Η μελέτη επικεντρώθηκε στα υλικά που χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, καθώς επίσης και στην διαφοροποίηση των προϊόντων ανάλογα με τις απαιτήσεις εκτύπωσης.

Στην πρώτη ενότητα του κειμένου που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης στο πέρασμα των χρόνων, και αναλύεται η μετάβαση από την δισδιάστατη εκτύπωση στην τρισδιάστατη. Παρουσιάζονται επίσης οι τεχνικές τις οποίες χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μέχρι σήμερα. Τέλος, αναφέρονται οι εφαρμογές που μπορεί να έχουν στην βιοϊατρική τεχνολογία καθώς πέρα από την εκτύπωση δομικών οργάνων, όπως κόκκαλα, χόνδροι κ.α. συμβατών υλικών, έχει επιτευχθεί και η τρισδιάστατη αναπαραγωγή/εκτύπωση ζωτικών οργάνων.

Στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίζεται η τεχνολογία των τρισδιάστατων εκτυπωτών. Παρουσιάζεται η μέθοδος ψηφιακής απεικόνισης των αντικειμένων τριών διαστάσεων. Στην συνέχεια εξετάζεται η σχέση που έχουν τα θεωρήματα Fubini, Fubini-Tonelli, Green's theorem, Stokes theorem, εξισώσεις του Maxwell με την τεχνολογία εκτύπωσης. Επίσης εξετάζονται πιθανές εφαρμογές που αυτά θα μπορούσαν να έχουν για επόμενες τεχνολογίες εκτύπωσης. Τέλος, αναλύονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών που μας κάνουν να πιστεύουμε ότι θα μπορούσαν έχουν μεγάλη χρηστική αξία στους τρισδιάστατους εκτυπωτές και βιοεκτυπωτές.

Στην Τρίτη ενότητα, έχουμε μία ανάλυση των υλικών που χρησιμοποιούνται από τους τρισδιάστατους εκτυπωτές, καθώς επίσης και των χαρακτηριστικών τους. Εξετάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως είναι η ελαστικότητα, ή θραύση, η θερμοκρασία τήξης κ.α., με βάση τα οποία έχουμε την διαφοροποίηση στα αποτελέσματα εκτύπωσης.

Στην τελευταία ενότητα, παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά των υλικών που αναφέραμε παραπάνω, με βάση τον οποίο μπορούμε να συγκρίνουμε τις δυνατότητες εκτύπωσης που μας δίνει κάθε υλικό. Τέλος γίνεται μία σύγκριση των υλικών σε ότι αφορά το μέγεθος εκτύπωσης, τις ελάχιστες λεπτομέρειες που μπορεί να έχει το αντικείμενο που εκτυπώνεται, το πάχος των τοιχωμάτων καθώς επίσης και την εκκαθάριση.

Abstract

The purpose of this thesis is to study the technology of three-dimensional printers, as well as the applications that they could have in biomedical technology. The study is focused on the materials used by the three-dimensional printers, as well as product differentiation depending on the printing material.

The first section of the text that follows presents a brief history of the major milestones along the way of three-dimensional printing. There is an analysis of the transition from two-dimensional to three-dimensional printing. Also the techniques that are used nowadays are analyzed. Selective Laser Sintering (SLS), Laminated Object Manufacturing (LOM), Fused Deposition Modeling (FDM). Finally, there is a study about the three-dimensional printers and the applications that they may have in biomedical technology.

The second unit presents the mathematical foundation on which the technology of three-dimensional printers is based. Shows the digital imaging method of three-dimensional objects. Then examine the relationship that the theorems Fubini, Fubini-Tonelli, Green's theorem, Stokes theorem, equations of Maxwell could have with the technology of 3d-printing. Finally, examine the characteristics of optical fibers that make us believe that they could have great utility value reflected as three-dimensional printers and Bio-printers.

In the third section, there is an analysis of the materials used by the three-dimensional printers, as well as their characteristics. It examines the key characteristics, such as elasticity, or crushing, melting temperature etc., based on how the print results are differentiated.

The last section presents a table summarizing the main characteristics of the materials mentioned above. Based on that table we could compare the printing capabilities between the materials. Finally a comparison of materials is made, regarding the print size, minimum details that can have the printed objects, wall thickness and also the liquidation.

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

1	Εισαγωγή	9
1.1	Τι είναι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές και ποια η ανάγκη για την δημιουργία τους	9
1.2	Η εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης	9
1.3	Μετάβαση από τις δύο, στις τρεις διαστάσεις (Θεώρημα Fubini)	10
1.4	Τεχνολογίες	11
1.1.1	Τεχνική Selective Laser Sintering (SLS)	11
1.1.2	Τεχνική Laminated Object Manufacturing (LOM)	12
1.1.3	Τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM)	13
1.5	Εφαρμογές των τρισδιάστατων εκτυπωτών	14
1.6	Εφαρμογές στην βιοϊατρική	16
2	Μαθηματικό υπόβαθρο	20
2.1	Ψηφιοποίηση αντικειμένων τριών διαστάσεων	20
2.2	Ψηφιακή απεικόνιση ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας μια τεχνολογία laser	22
2.3	Θεώρημα Fubini	27
2.4	Θεώρημα Fubini-Tonelli	28
2.5	Θεώρημα του Green	29
2.6	Θεώρημα Stokes:	30
2.7	Εξισώσεις του Maxwell	30
2.8	Οπτικές ίνες	31
3	Υλικά που χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατη εκτύπωση	35
3.1	Πολυαμίδιο	35
3.2	ABS: Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρολίου	37
3.3	Κεραμικά	39
3.4	Alumide:	40
3.5	Ορείχαλκος (Brass)	42
3.6	Ανοξείδωτος Χάλυβας:	44
3.7	Καουτσούκ	45
3.8	Τιτάνιο:	48

3.9	Χρυσός:	50
3.10	Ασήμι:	53
3.11	Χαλκός	55
3.12	Prime Gray	56
3.13	Πίνακας σύγκρισης υλικών	58
4	Σύγκριση των υλικών	60
5	Πίνακες σύγκρισης των υλικών	63
6	Πρόταση για μελλοντική μελέτη	68
7	References	69

1 Εισαγωγή

1.1 Τι είναι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές και ποια η ανάγκη για την δημιουργία τους

Το να μετατρέψουμε μια ιδέα σε σχέδιο και κατόπιν σε αντικείμενο είναι μια σύνθετη διαδικασία που αποτελεί αυτό που ονομάζουμε παραγωγή. Για να μεταβούμε από τον ιδεατό κόσμο του σχεδίου στον φυσικό κόσμο των αντικειμένων, παλαιότερα απαιτούνταν εργάτες και τεχνίτες οι οποίοι συνδυάζοντας τις γνώσεις, την πείρα και τις δεξιότητές τους και χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία κατάφερναν να δώσουν μορφή και υλική υπόσταση στο σχέδιο. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, αυτοματοποιημένα συστήματα που βασίζονται στην ρομποτική τεχνολογία, αναλαμβάνουν όλο και περισσότερο την μεσολάβηση αυτή σε πολλούς τομείς της παραγωγής. Η κατασκευή τρισδιάστατων εκτυπωτών αποτελεί ένα νέο στάδιο στην εξέλιξη της αυτοματοποίησης. Με τους τρισδιάστατους εκτυπωτές έχουμε απ'ευθείας μετάβαση από το ψηφιακό μοντέλο ή σχέδιο, στο φυσικό αντικείμενο τριών διαστάσεων. Αυτοί οι εκτυπωτές χρησιμοποιούν ψηφιακά αρχεία που έχουν δημιουργηθεί/σχεδιαστεί από κάποιον μηχανικό ή έχουν προκύψει από ένα φυσικό αντικείμενο το οποίο έχει σαρωθεί και "τυπώνουν" έτσι το αντικείμενο σε τρεις διαστάσεις.

1.2 Η εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να θεωρηθεί ότι ξεκίνησε το 1976, όταν δημιουργήθηκε ο πρώτος inkjet εκτυπωτής. Ο πρώτος τρισδιάστατος εκτυπωτής κατασκευάστηκε το 1984 από τον Charles Hull της "3d Systems". Ο Charles Hull ήταν ο εφευρέτης της στερεολιθογραφίας (stereolithography). Η στερεολιθογραφία είναι μια διαδικασία εκτύπωσης κατά την οποία μπορούν να εκτυπωθούν τρισδιάστατα αντικείμενα από ψηφιακά δεδομένα.

Την δεκαετία του 90' και συγκεκριμένα το 1992 η πρώτη στερεολιθογραφική μηχανή παράγεται από την 3d Systems. Πρόκειται για μια μηχανή που αποτελείται από ένα UV laser που στερεοποιεί το πολυμερές και κατασκευάζεται έτσι μια πολύπλοκη δομή με στρώσεις διαδοχικών στρωμάτων. Αργότερα το 1999 δημιουργείται το πρώτο όργανο που είναι καλιεργημένο σε εργαστήριο. Ασθενείς νέοι σε ηλικία, υποβάλλονται σε αύξηση της ουροδόχου κύστης με χρήση ενός ικρίωματος που έχει εκτυπωθεί τρισδιάστατα και έχει επικαλυφθεί από δικά τους κύτταρα. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε από επιστήμονες στο Wake Forest Institute για την αναγεννητική ιατρική και άνοιξε δρόμους για την ανάπτυξη άλλων στρατηγικών για την τρισδιάστατη εκτύπωση οργάνων. Δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται τα κύτταρα του ασθενή, ο κίνδυνος

της απόρριψης από τον οργανισμό, είναι ελάχιστος έως μηδενικός. Έπειτα, το 2002 κατασκευάστηκε ένα λειτουργικό νεφρό. Το νεφρό αυτό είχε την ικανότητα να φιλτράρει το αίμα και να παράγει αραιωμένα ούρα σε ζώο. Αυτή η εφεύρεση συνετέλεσε στην διεξαγωγή ερευνών στο Wake Forest Institute για την εκτύπωση οργάνων και ιστών. Μετά από δέκα χρόνια και συγκεκριμένα το 2012 έχουμε την πρώτη εμφύτευση τρισδιάστατης τυπωμένης κάτω σιαγόνας σε μία ηλικιωμένη κυρία που πάσχει από χρόνια λοίμωξη των οστών. Αυτή η τεχνολογία ερευνάται για να προωθηθεί η ανάπτυξη νέου ιστού οστού.

Παρακάτω αναφέρουμε κάποια εξίσου σημαντικά γεγονότα στην εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το 2005 ο Dr. Andrian Bowyer πήρε την πρωτοβουλία για μια συνεργασία για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή ο οποίος θα μπορεί να εκτυπώνει τα περισσότερα από τα εξαρτήματα του ίδιου του εκτυπωτή. Το 2008 εκτυπώθηκε ένα ανθρώπινο προσθετικό μέλος και συγκεκριμένα ένα πόδι, το οποίο είχε όλα τα μέρη εκτυπωμένα χωρίς να απαιτείται η συναρμολόγησή τους. Έτσι έχουμε τον πρώτο άνθρωπο που περπατάει με τρισδιάστατα εκτυπωμένο πόδι. Το 2009 βγαίνουν για πρώτη φορά προς πώληση οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές από την εταιρία Maker Bot Industries. Έπειτα, το 2011 δημιουργήθηκε το πρώτο παγκοσμίως τρισδιάστατα τυπωμένο αυτοκίνητο. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχει υψηλή απόδοση καυσίμου και είναι οικονομικό. Επίσης το 2011 κατασκευάστηκε και το πρώτο τρισδιάστατα εκτυπωμένο ρομποτικό αεροπλανάκι.

[\[1\]](#)

1.3 Μετάβαση από τις δύο, στις τρεις διαστάσεις (θεώρημα Fubini)

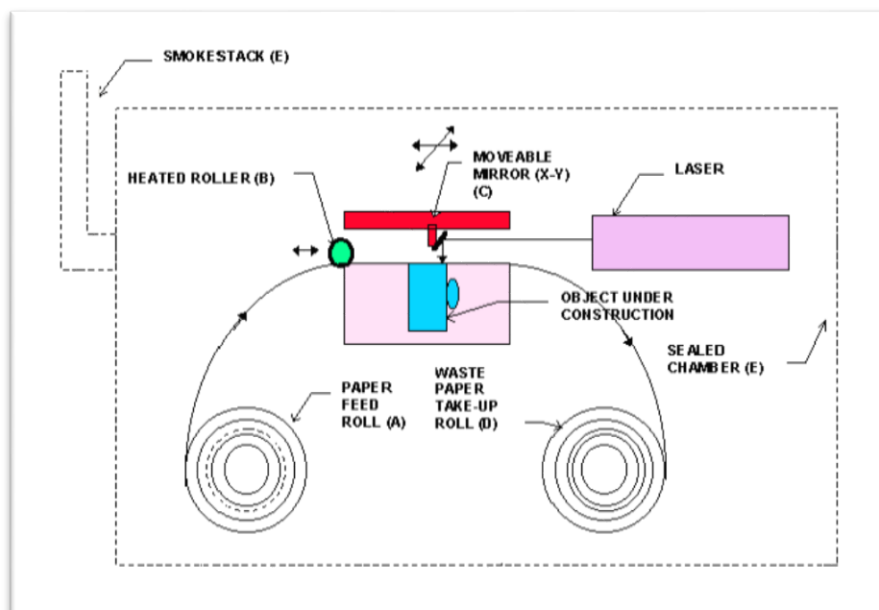
Για την μετάβαση από την συνηθισμένη διδιάστατη εκτύπωση στην τρισδιάστατη, και για την δημιουργία εκτυπωτών που θα τυπώνουν σε τρεις διαστάσεις χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί κάποιο μαθηματικό υπόβαθρο στο οποίο θα στηριζόταν η λειτουργία τους. Το θεώρημα Fubini είναι αυτό, πάνω στο οποίο βασίζεται το λειτουργικό σύστημα των 3D εκτυπωτών. Στην μαθηματική ανάλυση, το θεώρημα αυτό εισήχθη από τον Guido Fubini το 1907 και μας δίνει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες είναι δυνατόν να υπολογιστεί ένα διπλό ολοκλήρωμα, χρησιμοποιώντας επαναληπτικά ολοκληρώματα. Με βάση αυτό το θεώρημα, κάθε αντικείμενο (n) διαστάσεων μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα φάσμα επιπέδων ($n-1$) διαστάσεων. Επομένως εάν κάποιος αναρωτηθεί αν θα μπορούσαμε να εκτυπώσουμε τρισδιάστατα οποιοδήποτε φυσικό αντικείμενο, η απάντηση είναι πως μπορούμε και μας την δίνει το θεώρημα Fubini. [\[2\]](#)

1.4 Τεχνολογίες

Η ονομασία τους “τριδιάστατοι εκτυπωτές” αντανακλά τις τεχνικές που χρησιμοποιούν, οι οποίες θυμίζουν σε μεγάλο βαθμό, τις τεχνικές που χρησιμοποιούν οι απλοί εκτυπωτές laser και ink-jet. Οι τεχνικές παραγωγής που χρησιμοποιούμε μέχρι σήμερα, διαφέρουν αρκετά από την τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Για να κατασκευάσουμε το αντικείμενο που θέλουμε ως τώρα χρησιμοποιούμε μεθόδους αφαίρεσης υλικού από χυτά, σφυρήλατα, ακατέργαστα τεμάχια, χρησιμοποιώντας τα απαραίτητα εργαλεία προκειμένου να πάρει το αντικείμενο την επιθυμητή μορφή. Αντίθετα με αυτήν μέθοδο, η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία έχουμε πρόσθεση υλικού. Η δημιουργία ενός αντικειμένου πραγματοποιείται με την διαδοχική συγκόλληση, την εναπόθεση ή με την στερεοποίηση λεπτών στρώσεων του υλικού, σύμφωνα με το σχέδιο ή την εικόνα που θα έχουμε στον υπολογιστή. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες, τις οποίες χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, ανάλογα με τις απαιτήσεις των προϊόντων που θέλουμε να εκτυπώσουμε. Οι τρεις πιο χρησιμοποιούμενες είναι η τεχνική Selective Laser Sintering (SLS), η τεχνική Laminated Object Manufacturing (LOM) και η Τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM)

1.1.1 Τεχνική Selective Laser Sintering (SLS)

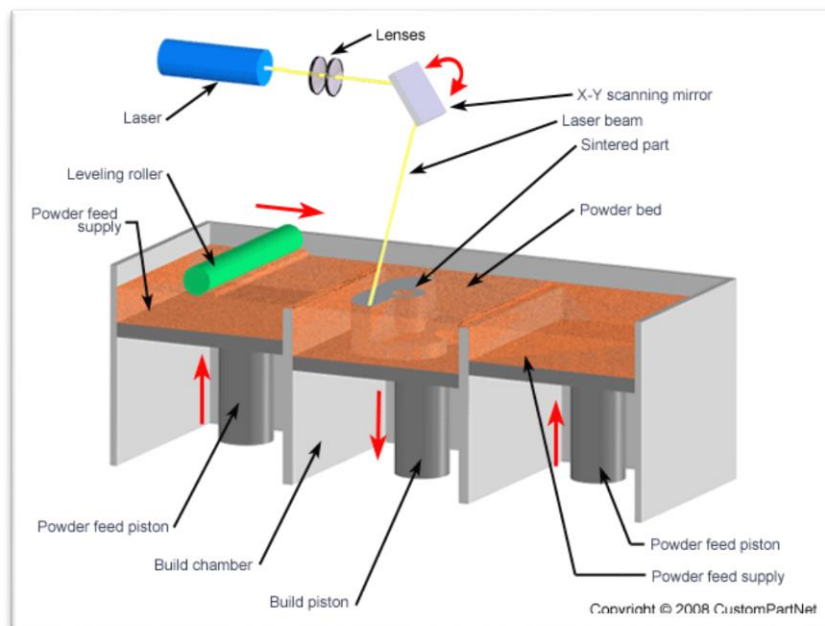
Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Texas από τον Carl Deckard και κατοχυρώθηκε το 1989. Στην τεχνική αυτή, μια ακτίνα λέιζερ λιώνει και στερεοποιεί διάφορα υλικά τα οποία βρίσκονται σε μορφή σκόνης. Ένας



κύλινδρος στρώνει μια ποσότητα σκόνης με το κατάλληλο πάχος πάνω σε μια επιφάνεια και μια κεφαλή λέιζερ διαγράφει το σχήμα της πρώτης διατομής λιώνοντας και στερεοποιώντας την σκόνη επιλεκτικά. Στην συνέχεια η επιφάνεια κατέρχεται κατά το πάχος της επόμενης διατομής, τοποθετείται εκ νέου σκόνη την οποία στρώνει ο κύλινδρος και η κεφαλή λέιζερ διαγράφει την επόμενη διατομή στερεοποιώντας την πάνω στην πρώτη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθεί το αντικείμενο. Το περίσυμα σκόνης χρησιμεύει ως υποστήριγμα του κατασκευαζόμενου αντικειμένου.

1.1.2 Τεχνική Laminated Object Manufacturing (LOM)

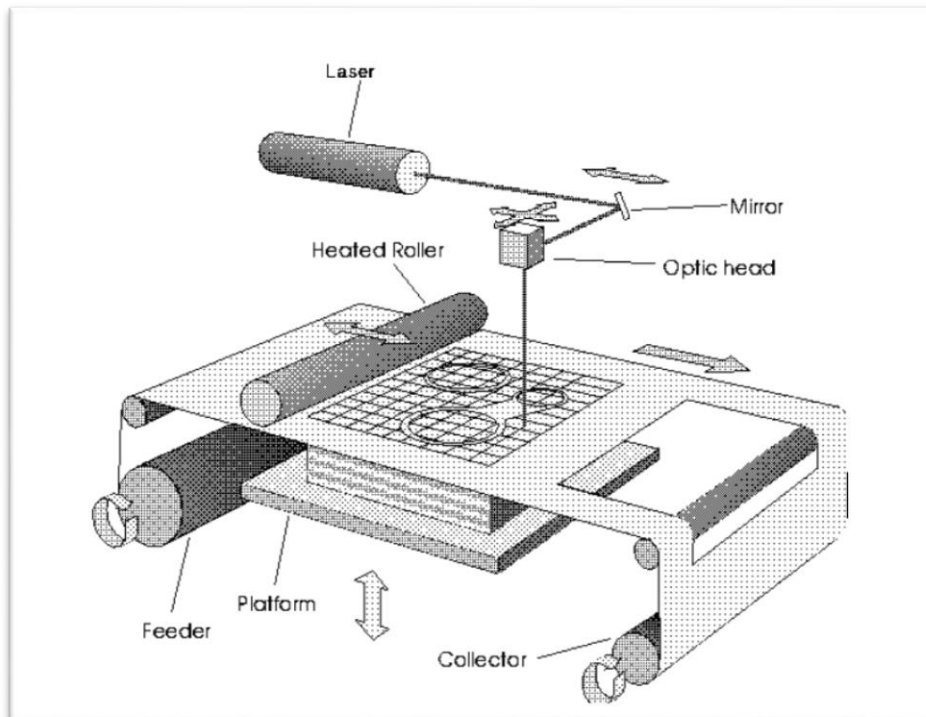
Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε από την εταιρία Helisys στην Αμερική. Βασίζεται στην κατασκευή αντικειμένων με την συγκόληση λεπτών φύλλων υλικού που φέρουν επίστρωση θερμοκολλητικής ουσίας. Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαρτί, ενώ αργότερα η εταιρία ανέπτυξε και χρησιμοποίησε και άλλα υλικά όπως



αδιάβροχο χαρτί, πλαστικά, λεπτές ταινίες κεραμικών υλικών ή μετάλλων υπό μορφή σκόνης.

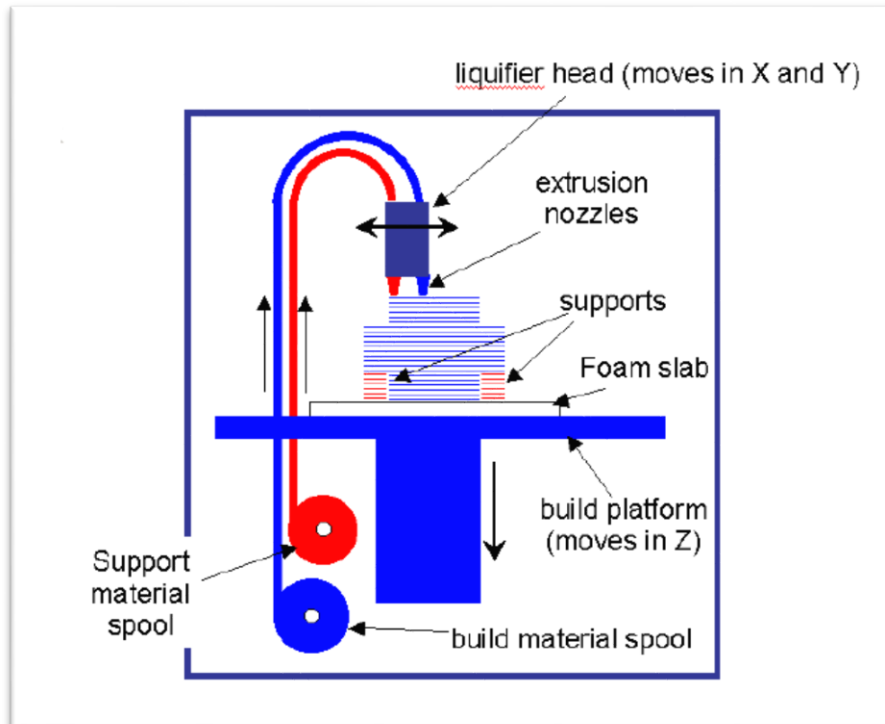
1.1.3 Τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM)

Σε αυτήν την τεχνική, ίνες θερμού πλαστικού υλικού εξέρχονται από μία κεφαλή η οποία κινείται στο επίπεδο (x,y). Η κεφαλή εναποθέτει λεπτές στρώσεις του πλαστικού πάνω σε μία βάση, διαγράφοντας την πρώτη διατομή. Η βάση βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και έτσι το υλικό στερεοποιείται γρήγορα.



Στην συνέχεια η βάση κατέρχεται και η κεφαλή εναποθέτει το δεύτερο στρώμα πάνω στο πρώτο. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι την ολοκλήρωση του αντικειμένου.

Στην τριδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι εν λόγω εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση. Είναι πολύ σημαντικό να τονίσουμε ότι έχουν την δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής. [3], [4]



1.5 Εφαρμογές των τρισδιάστατων εκτυπωτών

Εφαρμογές τους βρίσκουμε στους περισσότερους τομείς της καθημερινότητάς μας, όπως στα πολύτιμα μέταλλα, τα υποδήματα, τον βιομηχανικό σχεδιασμό, την αρχιτεκτονική, την μηχανική και τις κατασκευές (ΑΕC), στην αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροδιαστημική, την οδοντιατρική και ιατρική βιοτεχνολογία, την εκπαίδευση, τη χαρτογράφηση πληροφοριακών συστημάτων και πολλά άλλα.

Παρακάτω αναφέρουμε κάποια παραδείγματα αντικειμένων που έχουν κατασκευαστεί από τρισδιάστατη εκτύπωση και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον:

1. Ένα μαχητικό αεροσκάφος τύπου Tornado πέταξε για πρώτη φορά με μεταλλικά εξαρτήματα τυπωμένα σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Τα εξαρτήματα αυτά ήταν ένα προστατευτικό κάλυμμα για το πιλοτήριο, ένα τμήμα του συστήματος εισαγωγής αέρα και ένα μέρος στο σύστημα προσγείωσης. (Σύμφωνα με την βρετανική αεροναυπηγική ομάδα της BAE Systems)
2. Η NASA έχει εκτοξεύσει πύραυλο, του οποίου το ακροφύσιο του κινητήρα είχε τυπωθεί σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Σύμφωνα με την BAE Systems η χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών θα μπορούσε να επιτρέψει την εξοικονόμηση εκατοντάδων χιλιάδων λιρών κάθε χρόνο στον τομέα

της αεροναυπηγικής καθώς επίσης η τεχνολογία αυτή θα μπορούσε, να χρησιμοποιηθεί για να εξοπλίσει «πολεμικά πλοία και αεροπλανοφόρα». [5]

3. Το πρώτο περιστροφικό όπλο που εκτυπώθηκε τρισδιάστατα, δημιουργήθηκε από την ομάδα Defense Distributed, με επικεφαλής τον φοιτητή νομικής Cody Wilson. Ολόκληρο το όπλο είναι πλαστικό, εκτός από τον επικρουστήρα, ο οποίος είναι από μέταλλο. Πλέον τυπώνονται μεταλλικά όπλα, πλεηνταπλάσιας δυναμικότητας σε σχέση με τα πλαστικά, απλοποιώντας έτσι την διαδικασία παραγωγής όπλων. Τα όπλα που τυπώνονται τρισδιάστατα έχουν την δυνατότητα να σκοτώσουν.
4. Και μία υπό μελέτη, μελλοντική εφαρμογή τους που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η κατασκευή μιας βάσης στη Σελήνη θα γινόταν πιο πολύ πιο εύκολη χρησιμοποιώντας έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή που χτίζει με ντόπια υλικά. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές κατασκευάζουν συμπαγή αντικείμενα από αλληπαλά στρώματα μιας ρευστής ουσίας που στερεοποιείται. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται ήδη για την παραγωγή μικρών αντικειμένων, στο μέλλον όμως θα μπορούσε να επεκταθεί για την κατασκευή ολόκληρων κτηρίων. Η ESA ελπίζει να κατασκευάσει στο μέλλον μια βάση στη Σελήνη που θα αποτελείται από ένα τυπωμένο, στέρεο κέλυφος γύρω από ένα φουσκωτό, αεροστεγή χώρο διαβίωσης. Στο πλαίσιο της μελέτης, οι μηχανικοί του προγράμματος χρησιμοποίησαν έναν ογκώδη 3D εκτυπωτή για να κατασκευάσουν ένα συμπαγές μπλοκ βάρους 1,5 τόνου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το υπόστρωμα αποτελούνταν από ηφαιστειακό βράχο παρόμοιο με τα πετρώματα της σελήνης, ενώ ως κόλλα χρησιμοποιήθηκε ένα υλικό που συνδέει τους κόκκους του πετρώματος και το μετατρέπει σε συνθετικό βράχο.



[1]



[2]



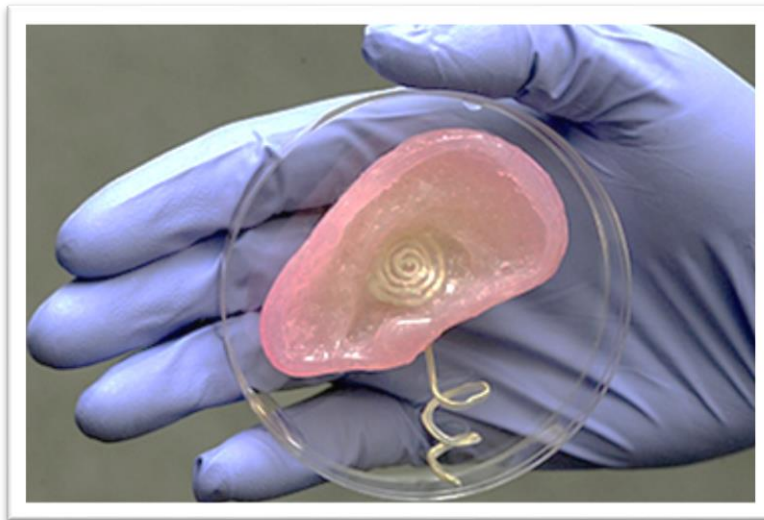
[3]



[4]

1.6 Εφαρμογές στην βιοϊατρική

Ολοένα και μεγαλύτερη εφαρμογή βρίσκει η τεχνολογία των 3D εκτυπωτών σε τομείς της ιατρικής. Ήδη γίνονται δοκιμές και εκτυπώνονται δομές χόνδρων για μεταμόσχευση σε αρθρώσεις, καρδιακές βαλβίδες και άλλα, με την χρήση συμβατών υλικών. Πέρα από την εκτύπωση δομικών οργάνων, όπως κόκκαλα, χόνδροι κ.α. συμβατών υλικών, έχει επιτευχθεί και η τρισδιάστατη αναπαραγωγή/εκτύπωση ζωτικών οργάνων. Η δυνατότητα μεταμόσχευσης των εκτυπωμένων ζωτικών οργάνων στον άνθρωπο είναι ακόμα σε ερευνητικό στάδιο. Έχει ήδη κατασκευάσει βιολογικός εκτυπωτής Novogen που έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί τρισδιάστατο κυτταρικό ιστό σχεδόν πανομοιότυπο με αυτόν που δημιουργεί φυσιολογικά το ανθρώπινο σώμα. Αυτή η “βιοεκτύπωση” καθιστά



δυνατή τη δημιουργία ακριβέστατων και τρισδιάστατων ανθρώπινων ιστών εξολοκλήρου από ζωντανά κύτταρα, που φυσικά είναι ελεγμένα για τη συμβατότητα τους με αυτά του δυνητικού αποδέκτη του μοσχεύματος.

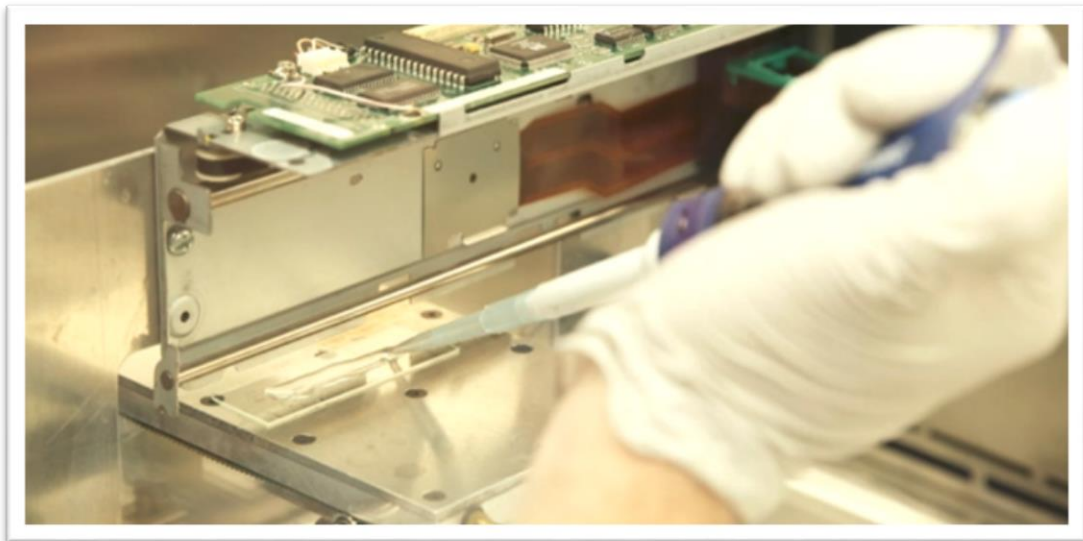
Τελικός στόχος είναι η δημιουργία εξατομικευμένων οργάνων με “βιοεκτύπωση” για κάθε ασθενή ξεχωριστά. Μέχρι σήμερα, η διάγνωση ότι ένας ασθενής χρειάζεται μεταμόσχευση ζωτικού οργάνου, τις περισσότερες φορές ισοδυναμεί με ανακοίνωση ότι πλησιάζει το τέλος του, καθώς ακόμη και αν βρεθεί συμβατό μόσχευμα από κάποιον δότη, υπάρχει πάντα μεγάλη πιθανότητα το σώμα του ασθενή να το απορρίψει. Επομένως, η εξέλιξη των βιοεκτυπωτών αναμένεται να φέρει μεγάλες ανατροπές στον χώρο της ιατρικής.

Οι ερευνητές έχουν εξετάσει τα όργανα ανάπτυξης σε εργαστήρια για πολύ καιόμενα τα τέλη της δεκαετίας του '90. Χάρη στους επιστήμονες του ιδρύματος Wake Forest και την αναπαραγωγική ιατρική, τύπωσαν τρισδιάστατες- συνθετικές δομικές μονάδες προκειμένου να αυξηθούν τις ανθρώπινες κύστεις.

Το 2007, ιδρύθηκε η Organovo. μια από τις πρώτες επιχειρήσεις που προσπάθησαν να τυπώσουν οργανικές δομές. Αυτή τη στιγμή, η Organovo

χρησιμοποιεί δείγματα ιστού του συκωτιού και τα χρησιμοποιεί για την έρευνα φαρμάκων. Έτσι οι επιχειρήσεις ελπίζουν να αναπτύξουν ένα λειτουργικό συκώτι στο κοντινό μέλλον. «είμαστε κοντά, αλλά δεν είμαστε αρκετά κοντά ακόμα».

Ενώ υπάρχει ένα τεράστιο χάσμα στην πολυπλοκότητα μεταξύ της εκτύπωσης ενός οργάνου και της εκτύπωσης μια πλαστικής φιγούρας, οι διαδικασίες είναι αρκετά παρόμοιες. Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται και έχουν κασέτες και ακροβασία που εκτοξεύουν μελάνι (βιολογικό μελάνιασε αυτή την περίπτωση), από στρώμα σε στρώμα σε μια πλατφόρμα. Ωστόσο, έχουν μερικές βασικές διαφορές:



Ξέρουμε ποια ότι τα περισσότερα όργανα μοιάζουν μεταξύ τους αλλά για να είμαστε σε θέση να τα μελετήσουμε, θα πρέπει οι επιστήμονες να εκτελέσουν ανιχνεύσεις MRIs και CT στον ασθενή. Κατόπιν, πρέπει να τρέξουν τα αποτελέσματα μέσω του λογισμικού υπολογιστών για να δημιουργήσουν ένα σχεδιάγραμμα που θα χρησιμεύσει ως ο οδηγός τους σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα κύτταρα τοποθετούνται σε κάθε στρώμα.

Αντί των πλαστικών ή των μετάλλων PVC, οι βιο-εκτυπωτές χρησιμοποιούν τα ανθρώπινα κύτταρα, σε οτιδήποτε όργανο και αν κάνουν. Από τα κύτταρα του πραγματικού οργάνου, οι εκτυπωτές θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιήσουν τα βλαστικά κύτταρα, τα υλικά (όπως ένα πολυμερές σώμα που αποκαλείται άλας αλγινικού οξέος) και άλλα υποκατάστατα που το ανθρώπινο σώμα δεν προκείται να απορρίψει. Για παράδειγμα, το 2012, ένα τρισδιάστατο τυπωμένο σαγόνη τιτανίου εμφυτεύθηκε σε μια 83χρονη γυναίκα, ενώ ένας άνδρας στις ΗΠΑ έχει αποκτήσει τις εγκεφαλικές του λειτουργίες ξανά με την βοήθεια ενός τρισδιάστατου κρανίου το 2013.

Μόλις τυπωθεί το δείγμα, πρέπει να πάει στον επωαστήρα έτσι ώστε τα κύτταρα να αρχίσουν να λειτουργούν όπως ένα πραγματικό όργανο. Αυτό είναι και το βασικότερο ζήτημα καθώς και ο βασικότερος λόγος που δεν δημιουργούνται συσκευές δημιουργίας οργάνων στα νοσοκομεία.

Σύμφωνα με τον Anthony Atala, είναι ένας συνδυασμός διάφορων ζητημάτων. Πρωταρχικό ζήτημά είναι η χρήση των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των μελών του σώματος, και έπειτα να αναπτυχτούν επαρκώς έξω από το σώμα. Έτσι μπορεί να γίνει προσθήκη ενός οργάνου ,που έχει δημιουργηθεί από έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή ,μέσα στο σώμα του ασθενή. Όπως έχουμε αναφέρει, τα πραγματικά όργανα είναι σύνθετα, και ακριβώς επειδή τα τυπωμένα κύτταρα που «λιώνουν» ώστε να δημιουργηθούν υποκατάστατα οργάνων δεν σημαίνει ότι λειτουργούν όπως θα έπρεπε .

Εκτός από τις δυσκολίες που παρουσιάζουν τα κύτταρα ενός τρισδιάστατου-τυπωμένου οργάνου ώστε να συμπεριφερθούν όπως τη πραγματικότητα, οι επιστήμονες βρίσκουν επίσης δύσκολο να δημιουργήσουν αιμοφόρα αγγεία όργανα χρειάζονται τις αρτηρίες, τις φλέβες και τα τριχοειδή αγγεία μέσω των οποίων και παραδίδουν τις θρεπτικές ουσίες σε όλο τον οργανισμό

Το μέλλον των τρισδιάστατα αποτυπωμένων οργάνων

Μέχρι τώρα έχουν υπάρξει αρκετές επιτυχημένες προσπάθειες αποτύπωσης οργάνων. Ο λόγος που είναι επιτυχημένες είναι γιατί οι περισσότερες δεν είναι λειτουργικές ή απλά επιβιώνουν για λίγες ημέρες. Ο Organovo, για παράδειγμα, δημιούργησε ένα μικρό ανθρώπινο συκώτι που λειτουργεί πλήρως – μόνο που διαρκεί μόνο 40 μέρες.

Μία ομάδα από το Πανεπιστήμιο του Mireille, από την άλλη, αποτύπωσε επιτυχώς βαλβίδες της καρδιάς και μικρές φλέβες τον Απρίλιο, με την ελπίδα να δημιουργήσουν στο μέλλον μία λειτουργική καρδιά χρησιμοποιώντας τα κύτταρα ενός ασθενή. Οι ερευνητές του Cornell δημιούργησαν το ψεύτικο αυτί (το οποίο, παρεμπιπτόντως λειτουργεί μία χαρά) από ζωντανά κύτταρα και ενέσιμα τζελ. Σύμφωνα με τον Atala , παρ'όλα αυτά, περίπου το 90% των ασθενών στη λίστα αναμονής οργάνων ψάχνουν για νεφρά. Ίσως είναι αυτό το είδος ζήτησης που έδωσε το κίνητρο σε μία ομάδα Κινέζων επιστημόνων να αναπτύξουν μικρά, αποτυπωμένα λειτουργικά νεφρά, τα οποία , δυστυχώς, παραμένουν ζωντανά για τέσσερις μόνο μήνες. Ο ίδιος ο Atala αναζητά τρόπους να φτιάξει ένα νεφρό με τρισδιάστατη αποτύπωση; μέχρι που παρουσίασε ένα μη λειτουργικό μοντέλο επί σκηνής στην TED ομιλία του (παρουσιάζεται παρακάτω). Κατά τη διάρκεια αυτής

της παρουσίας, ο χειρουργός μοιράστηκε τρόπους με τους οποίους μπορεί να ωριμάσει η τεχνολογία. Μίλησε για ένα μέλλον όπου οι σαρωτές θα μπορούν να εξετάσουν και να εκτιμήσουν τα τραύματα ενός ασθενή και μετά να αποτυπώσουν απευθείας στο σώμα του. Πριν φτάσουμε εκεί, οι βίο-αποτυπωμένοι ιστοί και τα όργανα πηγαίνουν στα εργαστήρια και τις ιατρικές σχολές μαζί με τέλεια δείγματα, τα οποία μπορούν να μεταμοσχευθούν μετά στα σώματα των ασθενών σε αναμονή.

Στην συνέχεια, θα αναφερθούμε στο μαθηματικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται η λειτουργία των τρισδιάστατων εκτυπωτών, καθώς επίσης θα αναλύσουμε τα υλικά και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν. Ακόμη, θα μελετήσουμε τις εφαρμογές της βιοϊατρικής και την συμβολή τους στον ευρύτερο χώρο της ιατρικής.

2 Μαθηματικό υπόβαθρο

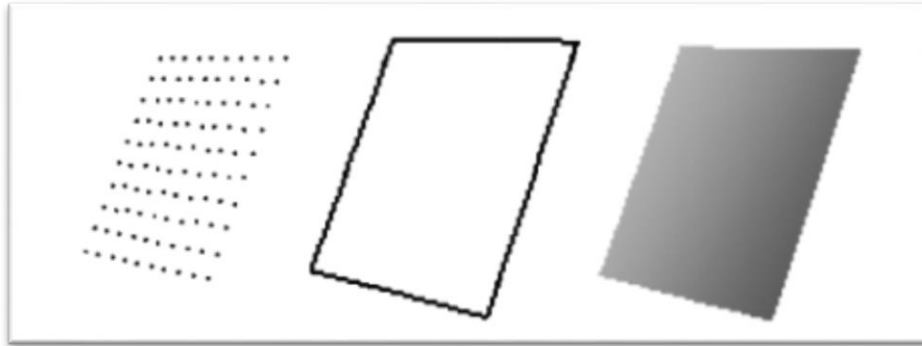
2.1 Ψηφιοποίηση αντικειμένων τριών διαστάσεων

Η ψηφιοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων γίνεται με την χρήση τρισδιάστατων σαρωτών. Η βασικότερη λειτουργία των συσκευών τρισδιάστατης σάρωσης είναι η ψηφιακή καταγραφή της γεωμετρίας του αντικειμένου. Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα την καταγραφή των τρισδιάστατων συντεταγμένων πολλών μεμονομένων σημείων που ανήκουν στην επιφάνεια του αντικειμένου ψηφιοποίησης. Τα τρισδιάστατα αυτά μεμονωμένα σημεία, είναι γνωστά ως νέφος σημείων (point cloud) και είναι το πρωτογενές προϊόν της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Η οπτική πληροφορία που μας δίνει αυτό το σύνολο κουκκίδων που απεικονίζεται στον υπολογιστή είναι πολύ μικρή και δεν καλύπτει τις απαιτητικές εφαρμογές τρισδιάστατης απεικόνισης. Συνήθως χρησιμοποιούταν η μέθοδος της κλιμάκωσης της φωτεινότητας, ή του μεγέθους των σημείων ανάλογα με την απόσταση από το επίπεδο προβολής τους (οθόνη), προκειμένου ο χρήστης να κατανοήσει την οπτική πληροφορία.



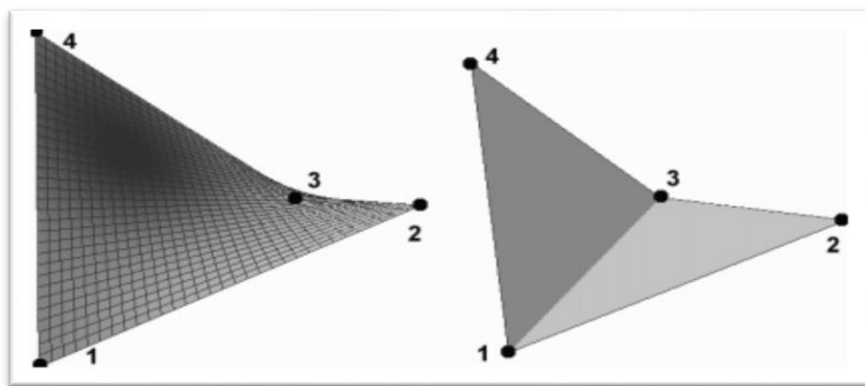
Στην παραπάνω εικόνα έχουμε αναπαράσταση αντικειμένου ως νέφος σημείων, συρμάτινη κατασκευή και φωτοσκιασμένο στερεό.

Χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, πλέον γίνεται χρήση του τριγωνικού πλέγματος το οποίο παρέχει στον χρήστη πολύ περισσότερη οπτική πληροφόρηση, σε σχέση με το νέφος σημείων. Το τριγωνικό πλέγμα είναι το σημαντικότερο παράγωγο του νέφους σημείων και προκύπτει από την διαδικασία τριγωνοποίησης. Όλα τα τρισδιάστατα σημεία που έχουν επιλεγθεί από την τρισδιάστατη σάρωση, ενώνονται με όλους τους γείτονές τους σχηματίζοντας έτσι ένα πλέγμα τριγώνων το οποίο περιγράφει τις επιφάνειες του ψηφιοποιημένου αντικειμένου. Η περιγραφή του πλέγματος, δεν γίνεται με άμεσο ορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των τριγώνων (RAW) διότι είναι πολύ ασύμφορη μέθοδος για την περιγραφή του πλέγματος. Η ψηφιακή αποθήκευση του τριγωνοποιημένου νέφους σημείων είναι πολύ πιο απαιτητική από την μη τριγωνοποιημένη, καθώς εκτός από τις συντεταγμένες των σημείων απαιτείται και η αποθήκευση της μεταξύ τους διασύνδεσης. Όμως η πληροφορία που μας δίνουν είναι πολύ πιο αποδοτική. Η περιγραφή εκτεταμένων επιπέδων μπορεί να επιτευχθεί με πολύ λιγότερη πληροφορία απ' ότι με ένα νέφος σημείων.



Αναπαράσταση επίπεδης επιφάνειας με σημεία και με τρίγωνα. Από αριστερά προς τα δεξιά απεικονίζονται: επίπεδη επιφάνεια με νέφος 100 σημείων, επιφάνεια με 4 τριγωνοποιημένα σημεία (συρμάτινη κατασκευή), φωτοσκιασμένο στερεό.

Προκειμένου να γίνει πιο αποδοτική η περιγραφή της γεωμετρίας ενός αντικειμένου, έχουν εμφανιστεί και άλλες μορφές περιγραφής τρισδιάστατης πληροφορίας. Μία από αυτές κάνει χρήση παραμετρικών επιφανειών που περιγράφονται από καμπύλες τύπου Basic Spline. Οι παραμετρικές επιφάνειες παράχουν την δυνατότητα περιγραφής ομαλών καμπύλων επιφανειών μέσω πολύ λίγων σημείων ελέγχου, σε αντίθεση με το τριγωνικό πλέγμα που θα απαιτούσε πιο πολλά σημεία, τα οποία δεν θα ήταν αρκετά για την ομαλή απεικόνιση της καμπύλης. Υπάρχει ειδικό λογισμικό που προσφέρει την δυνατότητα κωδικοποίησης κάποιου τριγωνικού πλέγματος ή του νέφους σημείων σε παραμετρικές καμπύλες. Αυτό σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση των δεδομένων περιγραφής της τρισδιάστατης γεωμετρίας.



Στην παραπάνω εικόνα έχουμε περιγραφή μιας επιφάνειας με 4 σημεία. Η οπτική απόδοση της παραμετρικής επιφάνειας (στα αριστερά) είναι πιο ομαλή από την μη παραμετρική (στα δεξιά).

Το στάδιο που έπεται της ψηφιοποίησης είναι η αποθήκευση. Για την επιλογή του αρχείου αποθήκευσης πρέπει να λαμβάνονται υπ'όψιν τα ακόλουθα:

- Διαδική αποθήκευση της πληροφορίας για μείωση όγκου των δεδομένων.

- Δυνατότητα συμπίεσης και κωδικοποίησης της πληροφορίας για περαιτέρω μείωση όγκου (αν χρειάζεται να μεταφερθεί μέσω διαδικτύου)
- Περιγραφή των τρισδιάστατων επιφανειών με πολύγωνα.
- Μηχανισμούς διασφάλισης της πνευματικής ιδιοκτησίας των δεδομένων, μέσω υδατογράφησης ή άλλων τεχνικών.
- Δυνατότητα αναγνώρισης από δημοφιλείς εφαρμογές του είδους. [\[6\]](#), [\[7\]](#).

2.2 Ψηφιακή απεικόνιση ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας μια τεχνολογία laser

Ο όρος ψηφιακή απεικόνιση, αναφέρεται στην δημιουργία ψηφιακής εικόνας, συνήθως από μια φυσική σκηνή. Πολύ συχνά ο όρος αυτός περιλαμβάνει την επεξεργασία, την συμπίεση, την αποθήκευση ακόμα και την εκτύπωση- εμφάνιση της εικόνας. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η ψηφιακή φωτογράφιση με μία ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, ωστόσο υπάρχουν και άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται.

Ψηφιοποίηση με χρήση τεχνικών σάρωσης laser ή τριγωνισμού

Τα τελευταία χρόνια νέα όργανα μετρήσεων έχουν εισαχθεί στις επιστήμες των αποτυπώσεων χώρων τα οποία είναι σε θέση να μετρήσουν και να ανακατασκευάσουν τον τρισδιάστατο χώρο και τα αντικείμενα των διάφορων μορφών και μεγεθών με έναν γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Αυτά τα όργανα, βασισμένα στην τεχνολογία laser, είναι συνήθως γνωστά ως επίγειοι Τρισδιάστατοι Ανιχνευτές Laser (3D laser scanner). Εκτός από τους τρισδιάστατους ανιχνευτές laser υπάρχουν και συσκευές που σαρώνουν μόνο οριζόντια ή κατακόρυφα ένα μνημείο – χώρο και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι συσκευές ονομάζονται laser profilers και χρησιμοποιούνται με σημαντική επιτυχία για τη δημιουργία σχεδιαγραμμάτων κατόψεων και τομών των εσωτερικών χώρων των μνημείων.

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα και Χαρακτηριστικά

Κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου ανίχνευσης laser είναι:

- Είναι ταχύτερη και αξιόπιστη μέθοδος αποτύπωσης
- Παρέχει ακριβέστερα προϊόντα από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία
- Απαιτεί λιγότερη προεπεξεργασία αλλά και μικρότερο χρόνο εργασίας στο γραφείο
- Συνδυάζει την ακρίβεια της τοπογραφικής αποτύπωσης και την πληρότητα και συνέχεια αποτύπωσης της φωτογραμμετρικής

- Παρέχουν μεταβλητή ανάλυση στο έδαφος ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος
- Παρέχει συνολική αποτύπωση των 3D αντικειμένων χωρίς επιπλέον κόπο ή χρόνο εργασίας
- Το κόστος αγοράς εξοπλισμού είναι μεγάλο ενώ το κόστος της αποτύπωσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλό λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής των ειδικευμένων επιστημόνων στο τόπο καταγραφής και του περιορισμένου αριθμού εργατωρών που απαιτούνται για τη δημιουργία του συνολικού 3D μοντέλου
- Τα σημεία που θα μετρηθούν δεν προσδιορίζονται από το χειριστή του οργάνου αλλά προκύπτουν τυχαία και το μόνο που καθορίζεται είναι το βήμα της οριζόντιας και κατακόρυφης ανάλυσης μετρήσεων.

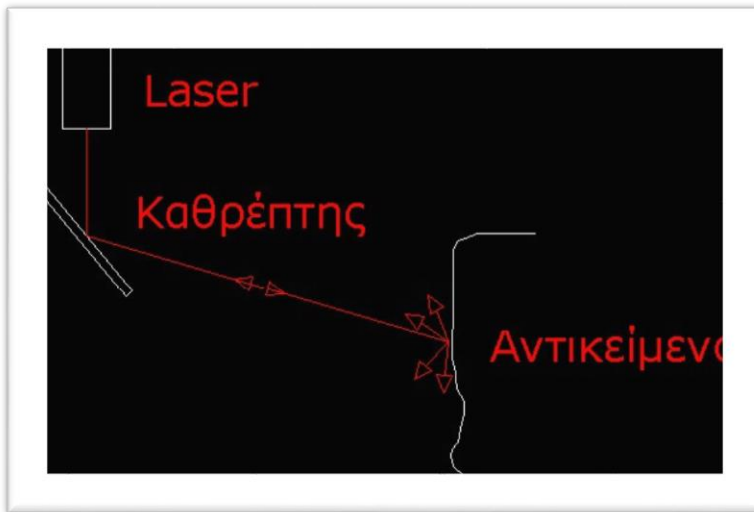
Τεχνικές ανίχνευσης

Οι γωνίες διεύθυνσης της ακτίνας laser μαζί με την μετρημένη απόσταση ανάμεσα στον πομπό της ακτίνας και του σημείου που την ανακλά πίσω στο δέκτη του ανιχνευτή μπορεί να οδηγήσει με χρήση του πρώτου θεμελιώδους προβλήματος της Τοπογραφίας και των σχέσεων της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας σε υπολογισμό των καρτεσιανών συντεταγμένων των σημείων στα οποία προσπίπτει η ακτίνα laser, εφόσον είναι γνωστή η στάση (θέση του οργάνου) στο καρτεσιανό τρισσορθόγωνιο σύστημα συντεταγμένων.

Οι τεχνικές ανίχνευσης διαχωρίζονται ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στην πηγή της ακτίνας laser και τα σαρωμένα σημεία του χώρου. Ο τρόπος προσδιορισμού της απόστασης μπορεί να είναι ένας από τους τρεις παρακάτω:

Τριγωνισμού:

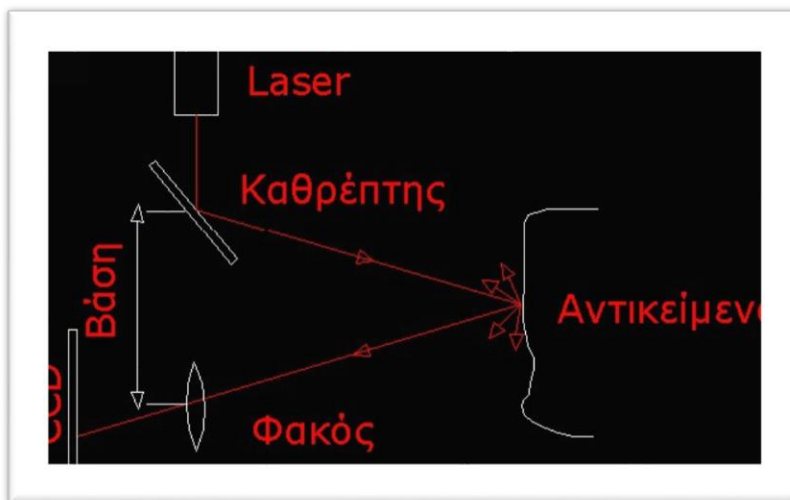
Ο ανιχνευτής κάνοντας χρήση της μεγάλης οπτικής ευκρίνειας μιας δέσμης laser που προβάλλεται επί του αντικειμένου και με χρήση εξισώσεων φωτογραμμετρίας υπολογίζει τη θέση του κάθε σημείου που φωτίζεται από την ακτίνα laser στον τρισδιάστατο χώρο. Σημαντικό ρόλο στην επιτυχημένη λειτουργία του ανιχνευτή laser είναι η ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού του αντικειμένου καθώς η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στον εντοπισμό του στίγματος της ακτίνας laser στην εικόνα του αντικειμένου που συλλαμβάνεται από τον ενσωματωμένο οπτικό αισθητήρα CCD.



Σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις υπάρχουν δύο οπτικοί αισθητήρες CCD που με παρόμοιο τρόπο με αυτόν της φωτογραμμετρικής εμπροσθοτομίας μπορεί να εντοπίσει στο χώρο ένα σημείο εφόσον ανιχνευτούν οι εικονοσυντεταγμένες του σε δύο εικόνες των

οποίων η σχετική θέση είναι γνωστή (απέχουν κατά μία γνωστή απόσταση που ονομάζεται και βάση).

Χρόνος της πτήσης ενός παλμού laser



Ένας παλμός laser εκπέμπεται προς το αντικείμενο και η απόσταση μεταξύ της συσκευής αποστολής σημάτων και της επιφάνειας του αντικειμένου υπολογίζεται από το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ της μετάδοσης και της υποδοχής του

παλμού. Αυτή η αρχή είναι ευρέως γνωστή από τα ηλεκτρονικά ταχύμετρα (Γεωδαιτικός Σταθμός). Στην πραγματικότητα, ένα ταχύμετρο θα μπορούσε να προγραμματιστεί ώστε να λειτουργεί όπως η συσκευή σάρωσης. Η ταχύτητα μέτρησης όμως θα ήταν πολύ χαμηλή, λόγω της χαμηλής απόκρισης του οργάνου. Οι σαρωτές χρησιμοποιούν μικρά περιστρεφόμενα κάτοπτρα για τη γωνιακή εκτροπή της ακτίνας laser (τουλάχιστον για μια από τις δύο γωνίες) και απλούστερους αλγόριθμους χρήσης για τον υπολογισμό της απόστασης που

μπορεί να οδηγήσει σε υπολογισμό της μετρημένης απόστασης με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι χαρακτηριστικές τιμές της απόκλισης των μετρήσεων απόστασης από τους ανιχνευτές που χρησιμοποιούν την τεχνική Time of Flight είναι της τάξεως μερικών χιλιοστών. Δεδομένου ότι οι αποστάσεις είναι σχετικά μικρές, αυτή η ακρίβεια είναι σχεδόν η ίδια για ολόκληρο τον τρισδιάστατο χώρο. Η τρισδιάστατη ακρίβεια επηρεάζεται επίσης από την ακρίβεια της γωνιακής μέτρησης της ακτίνας που είναι της τάξης των εκατοστών του βαθμού (g).

Σύγκριση φάσης

Αυτή η μέθοδος είναι επίσης ευρέως γνωστή από ταταχυμετρικά όργανα. Σε αυτήν την περίπτωση, η εκπεμπόμενη ακτίνα διαμορφώνεται από ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του κύματος αποστολής και λήψης. Από άποψη λειτουργικότητας, η μέθοδος δεν είναι πολύ διαφορετική από τη μέθοδο χρόνου πτήσης (Time of Flight). Λόγω της πολυπλοκότερης ανάλυσης των σημάτων, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ακριβέστερα (σε βάρος όμως του συνολικού αριθμού των μετρούμενων σημείων αλλά και της μέγιστης μετρούμενης απόστασης). Δεδομένου ότι απαιτείται ένα καλά καθορισμένο σήμα επιστροφής για τον υπολογισμό των αποστάσεων, οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο σύγκρισης φάσης μπορεί να έχουν μειωμένη εμβέλεια και να τείνουν να παράγουν περισσότερα λανθασμένα ή αποκλεισμένα από τις ανοχές σε σφάλματα μετρήσεων.

Ενώ τα όργανα ανιχνευτών laser βασισμένα στη αρχή του τριγωνισμού (triangulation) και τους υψηλούς βαθμούς ακρίβειας (λιγότερο από 1 χιλιοστόμετρο σφάλμα απόδοσης) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από τη δεκαετία του '80, τα όργανα που στηρίζονται στην τεχνική του υπολογισμού του χρόνου πτήσης (Time of Flight) και σύγκρισης φάσης (Phase Comparison) έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί ευρέως για μετρικές εφαρμογές σάρωσης μόνο τα τελευταία 5 χρόνια.

Στην ουσία ο ανιχνευτής laser αποτελεί τη φυσική μετεξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών (Total station) με δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων χωρίς ανακλαστήρα. Η χρήση ενός μηχανισμού περιστροφής της μετρητικής διάταξης γύρω από των οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα περιστροφής του οργάνου έδωσε τη δυνατότητα της αυτόματης μέτρησης εκατομμυρίων σημείων χωρίς να είναι απαραίτητη η σκόπευση τους από το χειριστή του οργάνου.

Για όλα τα σαρωμένα σημεία του τρισδιάστατου χώρου στα οποία προσπίπτει η ακτίνα laser επιτυγχάνεται μια μέτρηση της απόστασης σε σχέση με μια γνωστή διεύθυνση: Οι συντεταγμένες X, Y και Z ενός σημείου μπορούν να υπολογιστούν για κάθε καταγραμμένη απόσταση-διεύθυνση.

Οι ανιχνευτές laser επιτρέπουν την καταγραφή εκατομμυρίων σημείων του χώρου σε λίγα μόνο λεπτά. Λόγω της πρακτικότητας και της ευκολίας χρήσης τους, αυτά τα είδη των οργάνων χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα στον τομέα της αρχιτεκτονικής, αρχαιολογικής και περιβαλλοντικής έρευνας.

Βασική επεξεργασία

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι επίγειοι ανιχνευτές laser μπορεί να θεωρηθούν ως εξειδικευμένοι αυτόματοι γεωδαιτικοί σταθμοί. Αντίθετα όμως από τους κοινούς Γεωδαιτικούς Σταθμούς, όπου ο χειριστής επιλέγει άμεσα τα σημεία που μετρώνται, οι ανιχνευτές laser ανακτούν τυχαία ένα πυκνό σύνολο μετρημένων σημείων. Ο χειριστής επιλέγει μόνο το τμήμα του αντικειμένου που επιθυμεί να σαρωθεί και την πυκνότητα των σημείων που επιθυμεί στην σάρωση αυτή (συνήθως το γωνιακό βήμα της ανίχνευσης στα κάθετα και οριζόντια επίπεδα μπορεί να επιλεγεί από το χειριστή).

Μόλις δοθούν αυτές οι τιμές, η σάρωση ξεκινά αυτόματα. Από τα αποτελέσματα και μετά από κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία των μετρήσεων των γωνιών οριζόντιας και κατακόρυφης διεύθυνσης και της απόστασης που διήνυσε η ακτίνα laser, προκύπτουν οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων της σάρωσης που αποτελείται από ένα πολύ πυκνό σύννεφο μετρημένων σημείων (που καλείται και DDSM – Dense Digital Surface Model δηλαδή πυκνό ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας). Για κάθε σημείο του μοντέλου του αντικειμένου παράγονται οι συντεταγμένες X, Y, Z και η τιμή της ανακλαστικότητάς του. Δεδομένου ότι το σύνολο σημείων του μοντέλου σαρώνεται με έναν απολύτως αυθαίρετο τρόπο (με εξαίρεση τις παραμέτρους της ανάλυσης σάρωσης που δίνονται από το χειριστή) είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν με όσο το δυνατό πιο λογικό τρόπο οι αρχικές παράμετροι αυτής της σάρωσης. Ιδιαίτερη προσοχή λοιπόν πρέπει να δοθεί στην τιμή των αρχικών στοιχείων σάρωσης που δίνονται από το χρήστη του οργάνου.

Η επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από τους ανιχνευτές laser αποτελείται από ένα σύνολο ενεργειών που είναι απαραίτητες για να προκύψει το σωστό ψηφιακό μοντέλο του μνημείου ξεκινώντας από το νέφος των μετρημένων σημείων. Αυτό το σύνολο ενεργειών μπορεί να διαιρεθεί σε 2 διαφορετικά στάδια:

την προεπεξεργασία (ή προκαταρκτική επεξεργασία) των δεδομένων laser

τη διαμόρφωση της επιφάνειας από το νέφος σημείων.

Με τον όρο "προκαταρκτική επεξεργασία" ορίζουμε όλες τις απαραίτητες διαδικασίες που εφαρμόζονται άμεσα στο νέφος σημείων, όπως, παραδείγματος χάριν, το φιλτράρισμα των σημείων (μείωση θορύβου), την καταγραφή των σημείων και τις διαδικασίες γεωαναφοράς (georeferencing). Το αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι ένα σύνθετο "χωρίς θόρυβο" νέφος σημείων (χωρίς outliers, δηλαδή χονδροειδή και συστηματικά σφάλματα) και αυτό αποτελεί τη βάση για το επόμενο στάδιο που είναι η διαμόρφωση του μοντέλου της επιφάνειας που απαρτίζουν αυτά τα μετρημένα σημεία του χώρου.

Το δεύτερο μέρος της διαχείρισης των δεδομένων που προέρχονται από τον ανιχνευτή laser, η διαμόρφωση της τρισδιάστατης επιφάνειας, είναι ένα σύνολο διαδικασιών, που αρχίζουν από οποιοδήποτε νέφος σημείων, και οδηγεί στη διαμόρφωση του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας του αντικειμένου που ανιχνεύεται. Αν και υπάρχει μια μεγάλη συλλογή διαφορετικών προϊόντων λογισμικού στην αγορά για την πραγματοποίηση της στερεάς διαμόρφωσης των σαρωμένων αντικειμένων (μοντελοποίηση), υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές λογισμικού που να ορίζουν μια σωστή προκαταρκτική επεξεργασία των επίγειων στοιχείων των ανιχνευτών laser. Συνήθως, η κατασκευάστρια εταιρεία του ανιχνευτή laser προμηθεύει μαζί με το υλικό και κατάλληλο λογισμικό που αναλαμβάνει:

- Να "κατεβάζει" σαρωμένο νέφος σημείων
- Να προεπισκοπεί την περιοχή σάρωσης και να δίνει τη δυνατότητα της σάρωσης μέρους του μνημείου – χώρου
- Να παράγει τα αρχεία με τα μετρημένα σημεία που στη συνέχεια θα επεξεργαστούν και θα αποδώσουν τις επιφάνειες που περιγράφουν το σχήμα, μέγεθος και μορφή του μνημείου – χώρου.
- Επίσης δίνεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης του λογισμικού επεξεργασίας των νεφών των σημείων σε περιβάλλον CADD (πχ. AutoCAD ή Microstation), όπου με χρήση των κοινών σχεδιαστικών εντολών μπορεί να δημιουργηθεί το γραμμικό σχέδιο απόδοσης των όψεων, τομών και κατόψεων του αντικειμένου.

2.3 Θεώρημα Fubini

Το θεώρημα Fubini πήρε το όνομά του από τον Guido Fubini το 1907 και όπως αναφέραμε και παραπάνω, μας δίνει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες είναι

δυνατόν να υπολογιστεί ένα διπλό ολοκλήρωμα, χρησιμοποιώντας επαναληπτικά ολοκληρώματα.

$$\int_X \left(\int_Y f(x, y) dy \right) dx = \int_Y \left(\int_X f(x, y) dx \right) dy = \int_{X \times Y} f(x, y) d(x, y).$$

Το θεώρημα αυτό, επιτρέπει την αλλαγή της σειράς ολοκλήρωσης των επαναληπτικών ολοκληρωμάτων, καθώς επίσης μας υποδεικνύει ότι αν μια συνάρτηση δύο μεταβλητών είναι ολοκληρώσιμη, τότε δύο επαναλαμβανόμενα ολοκληρώματα των δυο μεταβλητών της είναι ίσα. Το θεώρημα του Fubini, παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με του Leonida Tonelli (1909) το οποίο εφαρμόζεται περισσότερο σε μη αρνητικές συναρτήσεις, παρά σε ολοκληρώσιμες.

Το θεώρημα Fubini αποτελεί το βασικό μαθηματικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίζεται η λειτουργία των τρισδιάστατων εκτυπωτών. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα θεωρήματα που συνδέονται με την λειτουργία των εκτυπωτών, όπως το θεώρημα του Green, (Fourier optics), εξισώσεις του Maxwell κ.α. [\[8\]](#)

2.4 Θεώρημα Fubini-Tonelli

Συνδυάζοντας τα θεωρήματα του Fubini και του Tonelli, έχουμε το Fubini–Tonelli θεώρημα.

$$\begin{aligned} & \int_X \left(\int_Y |f(x, y)| dy \right) dx \\ & \int_Y \left(\int_X |f(x, y)| dx \right) dy \\ & \int_{X \times Y} |f(x, y)| d(x, y) \end{aligned}$$

$$\int_X \left(\int_Y f(x, y) dy \right) dx = \int_Y \left(\int_X f(x, y) dx \right) dy = \int_{X \times Y} f(x, y) d(x, y).$$

Με βάση το παραπάνω θεώρημα, η απόλυτη τιμή της f με τις παραπάνω συνθήκες μπορεί να αντικατασταθεί είτε από την θετική τιμή της f , είτε από την αρνητική της τιμή. Παρατηρούμε ότι έχουμε την ειδική περίπτωση του θεωρήματος του Tonelli, όπου το αρνητικό μέρος της f είναι μηδενικό. Επομένως το ολοκλήρωμα είναι πεπερασμένο. Με

βάση τις παραπάνω συνθήκες βγαίνει το συμπέρασμα ότι το διπλό ολοκλήρωμα της f είναι καλώς ορισμένο αν και πιθανός άπειρο.

Το πλεονέκτημα του θεωρήματος του Fubini- Tonelli, έναντι του Fubini είναι ότι τα επαναλαμβανόμενα ολοκληρώματα από την απόλυτη τιμή της f , είναι ευκολότερα στην μελέτη σε σχέση με τα διπλά ολοκληρώματα. Στο θεώρημα του Fubini τα μονά ολοκληρώματα μπορεί να προσδιοριστούν με ένα μέτρο του μηδενός.

2.5 Θεώρημα του Green

Το θεώρημα του Green πήρε το όνομά του από τον George Green και είναι η ειδική δισδιάστατη περίπτωση, του θεωρήματος του Stokes. Το θεώρημα αυτό μας δίνει την σχέση μιας γραμμής γύρω από μια κλειστή καμπύλη C και ένα διπλό ολοκλήρωμα πάνω από το επίπεδο της περιοχής που οριοθετείται από την κλειστή καμπύλη C .

Υποθέτοντας ότι η κλειστή επιφάνεια C είναι θετικά προσανατολισμένη, τμηματικά ομαλή, απλή κλειστή καμπύλη και έστω ότι η περιοχή D οριοθετείται από την C . Για L, M : συναρτήσεις των (x, y) οι οποίες ορίζονται σε μια ανοιχτή περιοχή που περιέχει την D , και ορίζονται οι μερικές παράγωγοί τους, τότε το θεώρημα παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$\oint_C (L dx + M dy) = \iint_D \left(\frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial y} \right) dx dy$$

Σχέση με το θεώρημα Stokes:

Το θεώρημα του Green είναι η ειδική περίπτωση του θεωρήματος Stokes όταν εφαρμόζεται σε μια περιοχή (x,y) του επιπέδου. Η μετάβαση από ένα δισδιάστατο πεδίο σε ένα τρισδιάστατο πεδίο μπορεί να γίνει με την εισαγωγή μιας παραμέτρου z , η οποία στο θεώρημα του Green είναι πάντα μηδέν. $F = (L, M, 0)$

[\[9\]](#), [\[10\]](#)

$$\oint_C (L dx + M dy) = \oint_C (L, M, 0) \cdot (dx, dy, dz) = \oint_C \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}.$$

2.6 Θεώρημα Stokes:

$$\oint_C \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \iint_S \nabla \times \mathbf{F} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS.$$

Έτσι προκύπτει η δεξιά μεριά του θεωρήματος του Green:

$$\iint_S \nabla \times \mathbf{F} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS = \iint_D \left(\frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial y} \right) dA.$$

2.7 Εξισώσεις του Maxwell

Οι εξισώσεις του Maxwell είναι ένα σύνολο μερικών διαφορικών εξισώσεων που αποτελούν τα θεμέλια της κλασικής ηλεκτροδυναμικής, των ηλεκτρικών κυκλωμάτων καθώς επίσης και της κλασικής οπτικής. Τα πεδία αυτά αποτελούν την βάση για τις σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνιών και ηλεκτρονικών. Οι εξισώσεις αυτές περιγράφουν πώς επηρεάζονται τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία από τα ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα. Το όνομά τους το πήραν από τον Σκωτσέζο μαθηματικό και φυσικό James Clerk Maxwell, ο οποίος δημοσίευσε μια πρώιμη μορφή των εξισώσεων γύρω στο 1861-1862.

- 1: Νόμος του Gauss
- 2: Νόμος του Gauss για το μαγνητικό πεδίο.
- 3: Νόμος του Faraday
- 4: Νόμος του Ampere

1. $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_V$
2. $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
3. $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
4. $\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$

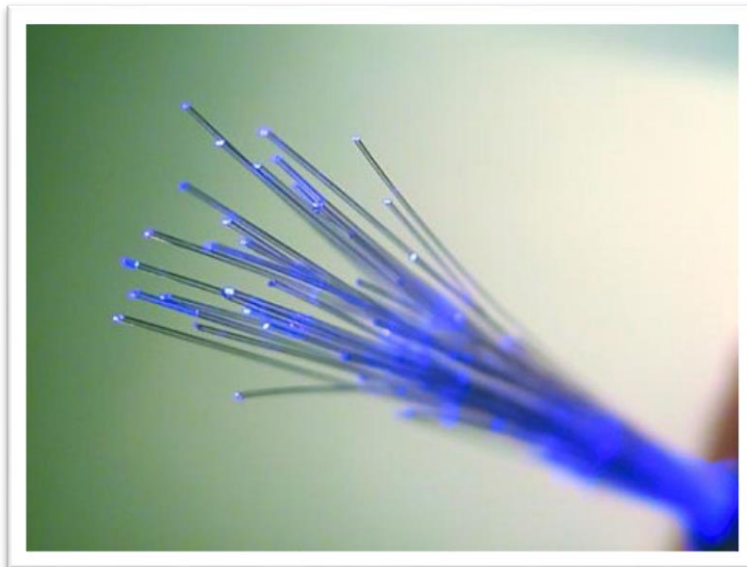
Στις εξισώσεις του Maxwell βασίζεται η λειτουργία των οπτικών ινών, στις οποίες αναφερόμαστε στην συνέχεια. [\[11\]](#)

2.8 Οπτικές ίνες

[\[12\]](#), [\[13\]](#), [\[14\]](#), [\[15\]](#), [\[16\]](#)

Στην λειτουργία των τρισδιάστατων εκτυπωτών θα μπορούσαν να φανούν πολύ χρήσιμες οι οπτικές ίνες. Παρακάτω θα αναλύσουμε από τι κατασκευάζονται, τον τρόπο λειτουργίας τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, προκειμένου να καταλήξουμε στην εφαρμογή που θα

μπορούσαν να έχουν στους τρισδιάστατους εκτυπωτές.



Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί. Η διάμετρος τους είναι μικρότερη από 8μm. Χρησιμεύουν στην μετάδοση ψηφιακών δεδομένων υπό μορφή φωτός. Συνήθως τις

συναντάμε συγκεντρωμένες σε δέσμες, τα λεγόμενα οπτικά καλώδια. Κάθε καλώδιο οπτικών ινών περιέχει μέσα του δεκάδες ή και εκατοντάδες πολύ λεπτές οπτικές ίνες. Ένα σήμα μπορεί να διαδοθεί δια μέσου των οπτικών ινών σε απόσταση μεγαλύτερη από 50 χλμ.

Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα επικοινωνιών και επιτρέπουν την μετάδοση φωτεινών σημάτων σε μεγαλύτερες αποστάσεις και σε υψηλότερο εύρος ζώνης, σε σύγκριση με άλλες μορφές μετάδοσης σημάτων όπως ο χαλκός. Η ταχύτητα μετάδοσης των σημάτων μέσω των οπτικών ινών, πλησιάζει την ταχύτητα διάδοσης του φωτός. Με τις οπτικές ίνες τα σήματα μεταδίδονται με μικρότερη απώλεια δεδομένων και δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ακόμη και για φωτισμό, καθώς επίσης για μεταφορά εικόνων. Επίσης, βρίσκουν εφαρμογή και σε αισθητήρες λέιζερ.

Έχουμε δύο μεγάλες κατηγορίες οπτικών ινών. Τις οπτικές ίνες απλού τύπου και τις οπτικές ίνες πολλαπλού τύπου.

Απλού τύπου:

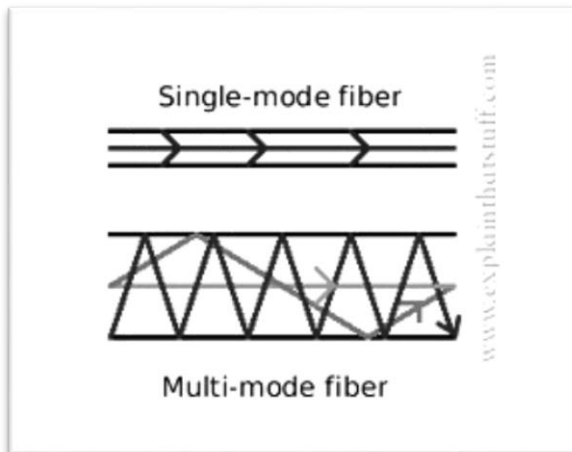
Έχουν διαστάσεις έως 10μm. Τα κύματα φωτός ταξιδεύουν σε ευθεία γραμμή και μπορούμε να στείλουμε δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις. Χάρη στην μικρή διάμετρο του πυρήνα, επιτρέπεται η διέλευση σε ένα περιορισμένο πλήθος ακτίνων, δηλαδή στις ακτίνες που προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια διατομής τους. Πολλές φορές χαρακτηρίζονται και ως ίνες με βηματική κατανομή.

Πολλαπλού τύπου:

Έχουν διαστάσεις 50-100μm. Έχουν μεγαλύτερη διατομή σε σύγκριση με του απλού τύπου αλλά μπορούν να στείλουν παράλληλα σε ξεχωριστό μονοπάτι πολλά κύματα φωτός. Το κάθε κύμα εισέρχεται στην οπτική ίνα με λίγο διαφορετική γωνία σε σχέση με τα άλλα και μέσω διαδοχικών ανακλάσεων στο περίβλημα, ακολουθεί το δικό του μονοπάτι μέσα στην οπτική ίνα. Αυτή η διαδικασία γίνεται παράλληλα με πολλά κύματα που έχουν διαφορετική γωνία το καθένα και έτσι μπορούμε να στείλουμε παράλληλα τεράστιο όγκο δεδομένων.

Η δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών, αποτρέπει τις εξωτερικές φθορές και την απώλεια σήματος που θα προέκυπτε κατά την διαρροή της φωτεινής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του. Αν κόψουμε στη μέση ένα οπτικό καλώδιο, θα συναντήσουμε τα εξής τμήματα:

- *Πυρήνας:* Η δέσμη των οπτικών ινών που αναλαμβάνουν τη μετάδοση των φωτεινών σημάτων. Είναι τοποθετημένη ακριβώς στο κέντρο του καλωδίου.
- *Εσωτερική επένδυση:* Το υλικό αυτό αντανακλά εσωτερικά το φως και εκμηδενίζει το ποσοστό διαφυγής του στο εξωτερικό του καλωδίου.
- *Εξωτερική επένδυση:* Πρόκειται για ένα ανθεκτικό υλικό, που αποτελείται από καουτσούκ για μικρά καλώδια οικιακής χρήσης. Για μεγαλύτερα καλώδια που χρησιμοποιούνται από εταιρίες σε εξωτερικό περιβάλλον, η εξωτερική επένδυση είναι κατασκευασμένη από ατσάλι. Προστατεύει το καλώδιο από ζημιές που θα προέκυπταν από διάφορους εξωτερικούς παράγοντες.



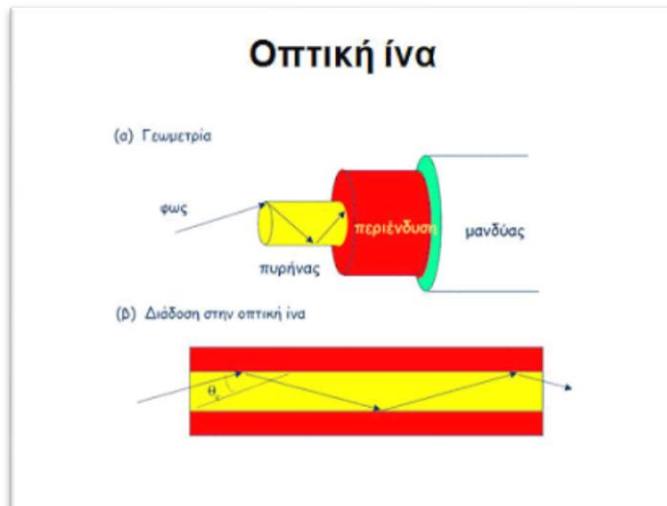
Πλεονεκτήματα οπτικών ινών:

- *Μικρές διαστάσεις και βάρος:* Ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών, μπορεί να μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα σε σύγκριση με ένα μεγαλύτερο και πιο βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι η υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών απαιτεί πολύ λιγότερο χώρο.
- *Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια:* Έχουμε μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια, διότι δεν έχουμε σημαντικές απώλειες σήματος καθώς επίσης λόγω της μετάδοσης των δεδομένων με χρήση της φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
- *Χαμηλό κόστος:* Ένα καλώδιο οπτικών ινών είναι πολύ πιο οικονομικό σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιων δυνατοτήτων και ίδιας απόστασης. Αυτό ωφελεί αρχικά τους παρόχους υπηρεσιών που με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες, και έτσι ωφελείται και ο καταναλωτής, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.
- *Υψηλή διαθεσιμότητα:* Το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς μειώνεται στο ελάχιστο, χάρη στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων.

- Υψηλό “bandwidth”: Ξεπερνά κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου. Οι υψηλές ταχύτητες με τις οποίες μεταδίδονται τα δεδομένα, φτάνουν σε ταχύτητες της τάξεως των Gbps.
- Μικρή εξασθένιση του σήματος: Αυτό οφείλεται στην υψηλή ποιότητα του γυαλιού το οποίο χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης. Ακόμα και σε περιπτώσεις εξασθένισης σήματος, αυτό ενισχύεται πολύ εύκολα μέσω κατάλληλων ενισχυτών.

Μειονεκτήματα οπτικών ινών:

- Πιο δύσκολη η εγκατάστασή τους
- Είναι εύθραυστες
- Δεν μπορούμε να τις λυγίζουμε πολύ, θα πρέπει να τις εγκαθιστούμε με ελαφριά κλίση, γιατί αλλιώς θα έχουμε απώλειες



3 Υλικά που χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατη εκτύπωση

3.1 Πολυαμίδιο

Το πολυαμίδιο είναι ένα μακρομόριο με επαναλαμβανόμενες μονάδες οι οποίες συνδέονται με ομόλογα αμιδίου. Μπορεί να είναι φυσικό ή και τεχνητό.[\[17\]](#)



Πρόκειται για ένα δυνατό, ευέλικτο υλικό με δυνατότητα μεγάλης λεπτομέρειας.[\[18\]](#) Τα αντικείμενα σε πολυαμίδιο είναι κατασκευασμένα από μια λευκή, πολύ λεπτή κοκκώδη σκόνη. Έτσι μπορούμε να παράγουμε ένα δυνατό εύκαμπτο υλικό, που μπορεί να αντέξει κάποια πίεση ενώ κάμπτεται. Η επιφάνεια έχει μια αμμώδη, κοκκώδη και ελαφρώς πορώδη εμφάνιση.[\[20\]](#)

Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης πολυαμιδίου: Εικόνα από: The Hats Off to 3DPrintingChallenge[\[21\]](#)

Τυπική χρήση:

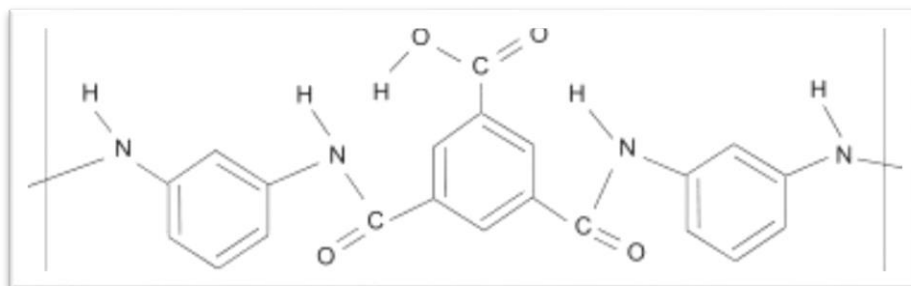
Το πολυαμίδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύπλοκα μοντέλα, μικρές σειρές μοντέλων, (πολλά αντίγραφα ενός μοντέλου) καθώς επίσης για φωτιστικά και λειτουργικά μοντέλα. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την μεγαλύτερη ελευθερία σχεδιασμού όλων των όλων των 3D τεχνικών εκτύπωσης. [\[19\]](#) , [\[22\]](#)

Πρόσθετες πληροφορίες

- Το πολυαμίδιο είναι ένα υλικό ιδανικό για αρχάριους σχεδιαστές που θέλουν μια καλή τιμή, μέγιστη ελευθερία δημιουργίας και δεν θέλουν να ενοχλούνται από τους περιορισμούς της διαδικασίας 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. Όταν ένα τέτοιο μοντέλο κρυώσει, είναι πιθανόν να παραμορφωθεί. (στρέβλωση) [\[20\]](#)

Χημική δομή του στρώματος PA

με τις πιθανές θέσεις δεσμών υδρογόνου [24]



Προδιαγραφές σχεδιασμού

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	0.8–1 mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.3 mm
Μέγιστο μέγεθος	650x330x560 mm
Εκκαθάριση	0.5 mm

*Αναφέρω ότι οι προδιαγραφές σχεδιασμού για όλα τα υλικά, είναι ενδεικτικές και πιθανόν να παρουσιάζονται αποκλίσεις ανάμεσα σε διαφορετικούς εκτυπωτές

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του πολυαμιδίου: [20]

Μέτρο ελαστικότητας	Mpa	DIN EN ISO 527	[1500, 1800]
Αντοχή σε εφελκυσμό	Mpa	DIN EN ISO 527	[45, 51]
Επιμήκυνση Θραύσης	%	DIN EN ISO 527	[15, 25]
Καμπτική Modulus	N / mm ²	DIN EN ISO 178	[1370, 1630]
Αντοχή κρούσης – Charpy	Mpa	DIN EN ISO 179	[49.2, 56.8]
Δύναμη Notched Impact – Charpy	Mpa	DIN EN ISO 179	[4.5, 5.1]
Αντοχή κρούσης – Izod	J / m ²	DIN EN ISO 180	[29.4, 36.2]
Δύναμη Notched Impact – Izod	J / m ²	DIN EN ISO 180	[4, 4.8]
Ball Εσοχές Σκληρότητα		DIN EN ISO 2039	[75.6, 79.6]
Shore D-σκληρότητα		DIN 53505	[73, 77]

Θερμότητα Εκτροπής t _°	° C	ASTM D648	Σε 1.82Μρα: 86
Θερμοκρασία μαλάκυνσης Vicat B/50	° C	DIN EN ISO 306	163
Θερμοκρασία μαλάκυνσης Vicat A/50	° C	DIN EN ISO 306	181

*DIN EN ISO: Γερμανική έκδοση του προτύπου EN ISO

*EN ISO: Ευρωπαϊκή αναλλοίωτη έκδοση του προτύπου ISO

*ISO: διεθνές πρότυπο

*ASTM: American Society for Testing and Material

*ASTM D648: Πρότυπη μέθοδος ελέγχου της θερμοκρασίας εκτροπής. [\[49\]](#), [\[50\]](#)

3.2 ABS: Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρολίου

Το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρολίου (ABS) με χημικό τύπο: $(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$ είναι ένα κοινό θερμοπλαστικό. Η θερμοκρασία της υαλώδους μεταπτώσεώς του είναι περίπου 105 °C (221 °F). Το ABS είναι άμορφο και ως εκ τούτου δεν έχει κανένα πραγματικό σημείο τήξεως.

[\[25\]](#) Τα μοντέλα σε ABS είναι φτιαγμένα απο θερμοπλαστικό, και είναι εξαιρετικά χρήσιμα για λειτουργικές εφαρμογές.



Επίσης, τα συγκεκριμένα μοντέλα έχουν μεγάλη ακρίβεια και ένα ενδιάμεσο επίπεδο εκτύπωσης

λεπτομερειών. Προσφέρουν μεγάλη ελευθερία σχεδιασμού, αλλά η ποιότητα της επιφάνειας των μοντέλων είναι πιο τραχειά σε σύγκριση με άλλα υλικά. [\[20\]](#)

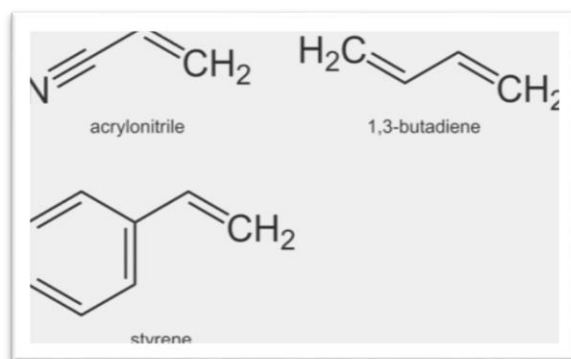
Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης με ABS [\[26\]](#)

Πρόσθετες πληροφορίες

- Το υλικό είναι διαπερατό από νερό (Δεν είναι αδιάβροχο)
- Η εκτύπωση είναι σχετικά αργή, αλλά απαιτείται λιγότερο χειρωνακτικό φινίρισμα σε σύγκριση με άλλα υλικά.

Μπορούμε να έχουμε πολύπλοκα σχέδια, καθώς το υλικό υποστήριξης είναι απορροφήσιμο.[20], [27]

Εικόνα από μονομερές στο ABS πολυμερές [28]



Προδιαγραφές σχεδιασμού

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	1 mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.3 mm
Μέγιστο μέγεθος	400x355x400 mm
Εκκαθάριση	0.4 mm

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του ABS

Αντοχή σε εφελκυσμό	Mpa	D638	22
Μέτρο ελαστικότητας	Mpa	D638	1627
Αντοχή σε κάμψη	Mpa	D790	41
Καμπτική Modulus	Mpa	D790	1834
Notched κρούση Izod	J / m ²	D256	107
Unnotched κρούση Izod	J / m ²	D256	214
Θερμότητας Εκτροπή t °	° C	D648	σε 0,45MPa: 90 σε 1.81MPa: 76
Πυκνότητα	g / cm ³		1.05
Επιμήκυνση Θραύσης	%		6
Χρώματα			Κόκκινο, φυσικό ασάλι γκρι, μαύρο, λευκό

*ASTMD638: Πρότυπη μέθοδος ελέγχου για ιδιότητες των πλαστικών σε εφελκυσμό.

*ASTMD790: Πρότυπη μέθοδος δοκιμής για τις καμπτικές ιδιότητες των οπλισμένων και ενισχυμένων πλαστικών και για ηλεκτρικά μονωτικά υλικά.

* ASTM D256: Πρότυπη μέθοδος δοκιμής για τον προσδιορισμό της αντίστασης Izod

*ASTMD648: Πρότυπη μέθοδος ελέγχου της θερμοκρασίας εκτροπής. [\[65\]](#)

3.3 Κεραμικά

Τα κεραμικά υλικά είναι ανόργανα, μη μεταλλικά, συχνά κρυσταλλικά οξειδία,



νιτρίδια ή καρβίδια. Ορισμένα στοιχεία, όπως ο άνθρακας ή το πυρίτιο, μπορούν να θεωρηθούν κεραμικά. Τα κεραμικά υλικά είναι εύθραυστα, σκληρά, δυνατά σε συμπίεση, αδύναμα στην διάτμηση και την ένταση. Είναι ανθεκτικά στην χημική διάβρωση που εμφανίζεται σε

άλλα υλικά όταν υποβάλλονται σε όξινα ή καυστικά περιβάλλοντα. Τα κεραμικά γενικά μπορούν να αντέξουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες (από 1000 ° C έως 1600 ° C), (1800 ° F έως 3000 ° F). Παραδοσιακά οι πρώτες ύλες κεραμικών, περιελάμβαν αργιλικά ορυκτά, όπως καολινίτη. Πλέον τα πιο πρόσφατα υλικά, περιλαμβάνουν οξείδιο αργιλίου, που είναι γνωστό και ως αλουμίνα. Τα σύγχρονα κεραμικά υλικά, τα οποία έχουν ταξινομηθεί ως προηγμένα κεραμικά, περιλαμβάνουν καρβίδιο του πυριτίου και καρβίδιο του βολφραμίου. Και τα δύο εκτιμώνται για αντοχή στην τριβή τους, και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως οι πλάκες φθοράς του εξοπλισμού θραύσης σε εξορυκτικές επιχειρήσεις. Προηγμένα κεραμικά χρησιμοποιούνται επίσης στην ιατρική, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων. [\[30\]](#), [\[31\]](#)

Τα κεραμικά μοντέλα κατασκευάζονται από πυριτία-αλουμίνα κεραμική σκόνη και σφραγίζονται με πορσελάνη και διοξείδιο του πυριτίου. Το λούστρο που εφαρμόζεται μετά την εκτύπωση είναι μια μη-τοξική γυαλάδα χωρίς μόλυβδο. Το

υλικό είναι ανθεκτικό στη θερμότητα(μέχρι 600 ° C) , ανακυκλώσιμο, και προς το παρόν είναι το μόνο υλικό από τρισδιάστατη εκτύπωση που ενδείκνυται για σκευή τροφής.Πρόκειται για ένα υλικό που είναι ιδανικό για οικιακή διακόσμηση, καθώς επίσης για είδη κουζίνας, όπως για παράδειγμα κούπες, πιάτα κτλ. [20]

Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης από κεραμικό[29]

Πρόσθετες πληροφορίες: [20] , [28]

- Δεν κατασκευάζονται κινούμενα αντικείμενα απο κεραμικό (πχ αλυσίδα)
- Τα κεραμικά μοντέλα μπορούν να αντέξουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (6000C)

Προδιαγραφές Σχεδιασμού [20]

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	3- 6mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	2mm
Ακρίβεια	3%
Εκκαθάριση	4 mm

3.4 Alumide:

Το Alumide είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Ουσιαστικά πρόκειται για νάιλον που γεμίζεται με σκόνη αλουμινίου.Το όνομα του υλικού προέρχεται από τον συνδυασμό των αγγλικών ονομασιών των λέξεων



αλουμίνιο και πολυαμίδιο. Τα μοντέλα τυπώνονται με θερμοσυσσωμάτωση της σκόνης, στρώμα στρώμα. [32] Τα μοντέλα που είναι κατασκευασμένα με alumide, φτιάχνονται από ένα μείγμα γκρίζας σκόνης πολυαμιδίου και αλουμινίου. Πρόκειται για ένα σκληρό και κάπως άκαμπτο υλικό που μπορεί να αντισταθεί σε κάποια πίεση ενώ είναι λυγισμένο. Η επιφάνεια έχει

αμμώδη, κοκκώδες εμφάνιση και ελαφρώς πορώδες. [20] , [33]

Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης από Alumide:[34]

Πρόσθετες πληροφορίες: [20] , [34]

- Δεν είναι υδατοστεγές υλικό.
- Δεν ανακυκλώνεται.
- Είναι ένα υλικό ιδανικό για αρχάριους σχεδιαστές που θέλουν μια καλή τιμή, μέγιστη ελευθερία δημιουργίας.
- Επίσης η διαδικασία εκτύπωσης δεν έχει περιορισμούς.

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του Alumide: [\[20\]](#)

Μέτρο ελαστικότητας	Mpa	DIN EN ISO 527	[3650, 3950]
Αντοχή σε εφελκυσμό	Mpa	DIN EN ISO 527	[45, 51]
Επιμήκυνση Θραύσης	%	DIN EN ISO 527	[-1.5, 8.5]
Καμπτική Modulus	N / mm ²	DIN EN ISO 178	[3450, 3750]
Αντοχή κρούσης – Charpy	Mpa	DIN EN ISO 179	[27, 31]
Δύναμη Notched Impact – Charpy	Mpa	DIN EN ISO 179	[4.3, 4.9]
Αντοχή κρούσης – Izod	J / m ²	DIN EN ISO 180	N / A
Δύναμη Notched Impact – Izod	J / m ²	DIN EN ISO 180	N / A
Ball Εσοχές Σκληρότητα		DIN EN ISO 2039	N / A
Shore D-σκληρότητα		DIN 53505	[74, 78]
Θερμότητας Εκτροπή t °	° C	ASTM D648 (1,82 MPα)	130
Θερμοκρασία μαλάκυνσης Vicat B/50	° C	DIN EN ISO 306	169
Θερμοκρασία μαλάκυνσης Vicat A/50	° C	DIN EN ISO 306	N / A

* DIN EN ISO 527: Πρότυπη δοκιμή αντοχής νός υλικού, από την οποία μπορούμε να εξάγουμε πολλές ιδιότητες εφελκυσμού.

* DIN EN ISO 178: Πρότυπη δοκιμή για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων κάμψης.

* DIN EN ISO 179: Πρότυπη δοκιμή κρούσης Charpy, από την οποία παίρνουμε συμπεράσματα για την Izod αντοχή στην κρούση ενός unnotched δείγματος [KJ / m²], καθώς επίσης για την Izod αντοχή στην κρούση του δοκιμίου με εγκοπή Ain [KJ / m²]

* DIN EN ISO 180: Πρότυπη δοκιμή κρούσης Izod

* DIN 53505: Πρότυπη δοκιμή για την μέτρηση, ShoreA και ShoreD.

* DIN EN ISO 2039: Πρότυπη δοκιμή για την οδόντωση.

*ASTMD648: Πρότυπη μέθοδος ελέγχου της θερμοκρασίας εκτροπής. [\[64\]](#), [\[65\]](#)

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. [35] ,



[36] Γενικά ο ορείχαλκος είναι ένα υποκατάστατο κράμα. Συνήθως χρησιμοποιείται στην διακόσμηση, εξ' αιτίας του λαμπρού και χρυσού του χρώματος. Επίσης, να αναφέρουμε ότι ο ορείχαλκος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που δέχονται μικρές δυνάμεις τριβής, όπως για παράδειγμα σε κλειδαριές,

γρανάζια, ρουλεμάν, πόμολα, βαλβίδες κτλ. Ακόμα ο ορείχαλκος χρησιμοποιείται συχνά στην κατασκευή μουσικών οργάνων λόγω των ακουστικών του ιδιοτήτων.

[38]

Τα τρισδιάστατα μοντέλα από ορείχαλκο, χρησιμοποιούνται για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπου οι άνθρωποι ψάχνουν για μια πιο οικονομική αντικατάσταση για τα πολύτιμα μέταλλα. Τα μοντέλα ορείχαλκου μας επιτρέπουν να έχουμε την εμφάνιση του χρυσού 18kt και μας δίνουν την ίδια δυνατότητα λεπτομέρειας με τον χρυσό ή το ασήμι. [20]

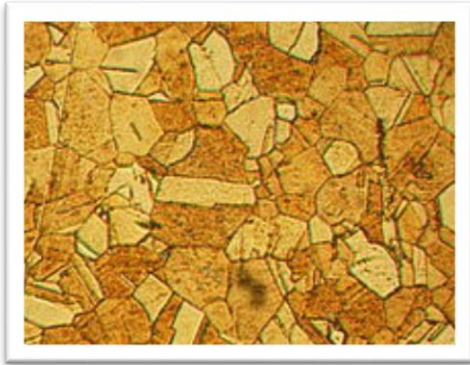
Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης ορείχαλκου: [34]

Πρόσθετες πληροφορίες: [20]

- Τα μοντέλα ορείχαλκου είναι ιδανικά για όσους θέλουν ένα κομμάτι σε bling όπως χρυσό και δεν θέλουν να δαπανήσουν αρκετά χρήματα.
- Είναι ιδανικά για κοσμήματα μόδας.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λεπτομερείς μινιατούρες καθώς επίσης και για γλυπτά.

Ιδιότητες του ορείχαλκου:

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. Στις μέρες μας σχεδόν το 90% των κραμάτων του ορείχαλκου είναι ανακυκλώσιμα. Ο ορείχαλκος δεν είναι σιδηρομαγνητικό υλικό, και γι αυτό μπορεί να διαχωριστεί από τον παλαιοσίδηρο με το πέρασμα των

απορριμάτων απο έναν ισχυρό μαγνήτη.[\[37\]](#)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η μικροδομή του ορείχαλκου.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του ορείχαλκου: [\[20\]](#)

Ορείχαλκος	Cu 80% Zn 15% Tin 5%
------------	----------------------

Προδιαγραφές σχεδιασμού: [\[20\]](#)

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	0.5mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.3mm
Ακρίβεια	N/A
Μέγιστο μέγεθος	88 x 63 x 125 mm
Εκκαθάριση	N/A

3.6 Ανοξείδωτος Χάλυβας:



Στην μεταλλουργία ο ανοξείδωτος χάλυβας, είναι γνωστός και ως ασάλι (inox). Πρόκειται για ένα κράμα χάλυβα που έχει μια πολύ μικρή περιεκτικότητα σε χρώμιο, της τάξης του 10,5%. (περιεκτικότητα κατά μάζα). Ο ανοξείδωτος χάλυβας δεν διαβρώνεται εύκολα. [39] Τα μοντέλα ανοξείδωτου χάλυβα είναι τυπωμένα σε σκόνη από ανοξείδωτο χάλυβα που είναι εμποτισμένη με το χάλκινο μέταλλο. Πρόκειται για την φθηνότερη μορφή εκτύπωσης μετάλλου. Είναι πολύ ισχυρή και κατάλληλη για πολύ μεγάλα αντικείμενα. [20] , [40]

Πρόσθετες πληροφορίες:

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

Ιδιότητες του ανοξείδωτου χάλυβα

Αξίζει να αναφέρουμε ότι ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι εξαιρετικά ανθεκτικός σε επίθεση από οξέα. Αυτό φυσικά εξαρτάται και από τις επικρατούσες συνθήκες, δηλαδή από το είδος και την συγκέντρωση του οξέος, από την θερμοκρασία του



περιβάλλοντος καθώς επίσης και από τον τύπο του χάλυβα. 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 ανοξείδωτου χάλυβα εκτεθούν σε κάποια ισχυρή βάση σε υψηλές συγκεντρώσεις και υψηλές θερμοκρασίες, είναι πολύ πιθανό να χαρακτούν και να πάθουν κάποιες ρωγμές. [41] , [42]

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται αγυάλιστος, άβαφος ανοξειδωτος χάλυβας.

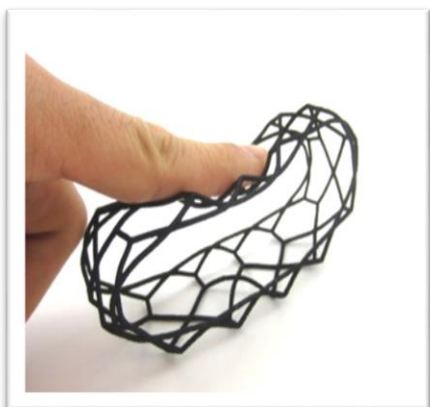
Προδιαγραφές σχεδιασμού

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	3 mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.8 – 1 mm
Μέγιστο μέγεθος	762x393x393 mm
Εκκαθάριση	0.8 mm

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του ανοξειδωτου Χάλυβα:
[\[20\]](#)

Κράμα Οικογένειας	420 SS + Bronze
UTS	99 KSI (682 MPa)
Απόδοση	66 KSI (455 MPa)
Μέτρο	21.4 Mpsi (147 GPa)
Επιμήκυνση	2,30%
Σκληρότητα	20-25 HRc
Χρώμα	Old Silver, Μεσαιωνική κασσίτερο ή Σιτάρι Πένυ

3.7 Καουτσούκ



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. Το υλικό μπορεί να λειανθεί, αλλά έχει ένα περιορισμένο επίπεδο λεπτομέρειας, και μια αμμόδη, κοκκώδη εμφάνιση. Η τεχνική ονομασία της ύλης είναι TPU 92A-1. TPU 92A - 1 είναι μια θερμοπλαστική πολυουρεθάνη που προέρχεται από ένα Shore A 92. Το "1" σημαίνει ότι είναι το πρώτο μέλος μιας οικογένειας των υλικών.

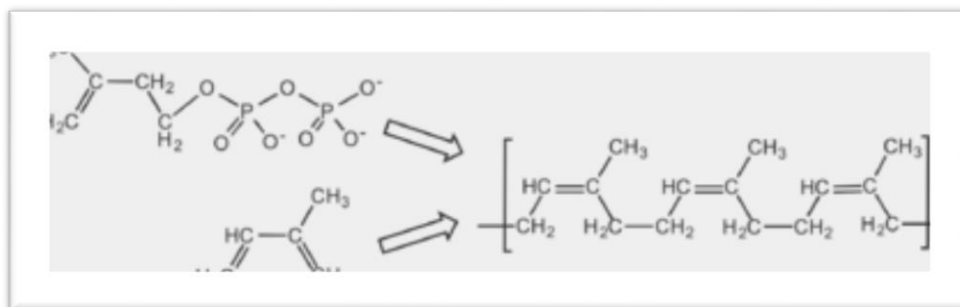
Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης με καουτσούκ: [\[43\]](#)

Πρόσθετες πληροφορίες: [\[44\]](#)

- Τα μοντέλα από καουτσούκ είναι αδιάβροχα
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υψηλή ραπτική.
- Απορροφούν τους κραδασμούς.
- Είναι ιδανικά για συμπιέσιμα και λειτουργικά μοντέλα καθώς επίσης και για "gadgets".

Ιδιότητες του καουτσούκ

Το καουτσούκ παρουσιάζει μοναδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες. Παρουσιάζει μια συμπεριφορά λάστιχου και συχνά μοντελοποιείται ως hyperelastic. Το στέλεχος Καουτσούκ κρυσταλλώνεται. Λόγω της παρουσίας ενός διπλού δεσμού σε κάθε επαναλαμβανόμενη μονάδα, το φυσικό καουτσούκ είναι ευπαθές σε βουλκανισμό και προκαλεί ευαισθησία σε ρωγμές του όζοντος.



Προδιαγραφές σχεδιασμού

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	1 mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.5 mm
Μέγιστο μέγεθος	320x270x300 mm
Εκκαθάριση	1 mm

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του καουτσούκ: [\[20\]](#)

Φυσικές ιδιότητες	Πρότυπο	Συνθήκες δοκιμής	Μονάδα	
Πυκνότητα	ISO 1183	Πορώδης δείγμα	g / cm ³	1.2
Απορρόφηση νερού 23 ° C / 24 ώρες		MPTS ISO 3167 A	%	<0.5
Ποσοστό του όγκου ροής MVR 170 ° C / 2,16 kg	ISO 1133	Granulate	cm ³ / 10 min	10
Μηχανικές ιδιότητες Normklima NK 23 ° C, 50% rel. Υγρασία αέρα, μετρημένη σε πορώδες μέρη				
Σκληρότητα Shore A	ISO 868		-	92

Μέτρο κάμψεως (χ-κατεύθυνση)	DIN 53504	Bar SLS αντοχή Tγερ S1	Mpa	9
Μέτρο κάμψεως (ζ-διεύθυνση)	DIN 53504	Bar SLS αντοχή Tγερ S1	Mpa	10
Αντοχή σε εφελκυσμό (χ-κατεύθυνση)	DIN 53504	Bar SLS αντοχή Tγερ S1	Mpa	27
Αντοχή σε εφελκυσμό (ζ-διεύθυνση)	DIN 53504	Bar SLS αντοχή Tγερ S1	Mpa	22
Παραμόρφωση θραύσης (χ-κατεύθυνση)	DIN 53504	Bar SLS αντοχή Tγερ S1	%	400
Παραμόρφωση θραύσης (ζ-διεύθυνση)	DIN 53504	Bar SLS αντοχή Tγερ S1	%	370
Αντοχή σε τριβή (χ-κατεύθυνση)	ISO 4649	Πορώδης δείγμα	mm ³	31
Αντοχή στην τριβή (ζ-διεύθυνση)	ISO 4649	Πορώδης δείγμα	mm ³	28
Θερμοκρασία Vicat-μαλάκωμα VST A	DIN ISO 306	MPTS ISO 3167 A	° C	90
Θερμοκρασία τήξης	DIN ISO 306		° C	160
Αντίστασης μόνωσης Bar elektrode R 25	DIN / IEC 60167	MPTS ISO 3167 A	Ω	> 10 12
Επιφανειακή αντίσταση R OB	DIN IEC 60093	Ronde 60x4 mm	Ω	> 10 12

* ISO 1183: Πρότυπη μέθοδος για τον προσδιορισμό της πυκνότητας στα μη κυψελοειδή πλαστικά.

* MPTS ISO 3167 A: Πρότυπη μέθοδος μέτρησης

* DIN 53504: Προσδιορισμό της αντοχής στη θραύση, εφελκυστική τάση σε απόδοση, επιμήκυνση κατά τη θραύση και τις αξίες στρες σε δοκιμή εφελκυσμού [\[64\]](#)

3.8 Τιτάνιο:

Το Τιτάνιο είναι ένα χημικό στοιχείο με σύμβολο Ti και ατομικό αριθμό 22. Πρόκειται για ένα λαμπερό μέταλλο με ασημένιο χρώμα, χαμηλή πυκνότητα και υψηλή αντοχή. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό, καθώς επίσης και στο χλώριο. Αξίζει να αναφέρουμε ότι το τιτάνιο ανακαλύφθηκε στην Μεγάλη Βρετανία, από την William Gregor το 1791 και το όνομά του το πήρε από τον Martin Heinrich Klaproth για τους Τιτάνες της ελληνικής μυθολογίας. Το στοιχείο αυτό συναντάται σε μια σειρά από ορυκτά κοιτάσματα, κυρίως ρουτίλιο και ilmenite, τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα στο φλοιό της Γης και της λιθόσφαιρας. Επίσης βρίσκεται σχεδόν σε όλα τα έμβια όντα, βράχια, τα υδατικά συστήματα, και τα εδάφη. [45]



Τα τρισδιάστατα μοντέλα τιτανίου τυπώνονται από σκόνη τιτανίου, που συντήκεται με λέιζερ. Τα αντικείμενα που προκύπτουν είναι εξίσου καλά με τα μηχανικά μοντέλα που δεν προέρχονται από εκτύπωση. Όσον αφορά την εμφάνιση, τα τρισδιάστατα μοντέλα είναι πιο γκρίζα και πιο ματ, με ελαφρώς σκληρότερη και λιγότερο καθορισμένη επιφάνεια. Τα μοντέλα τιτανίου είναι πολύ δυνατά, μπορούν να έχουν μεγάλη ακρίβεια και έχουν το χαρακτηριστικό μέγεθος τόσο μικρό όσο 0,25 mm. [20]

Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης με τιτάνιο [46]

Ιδιότητες του τιτανίου:

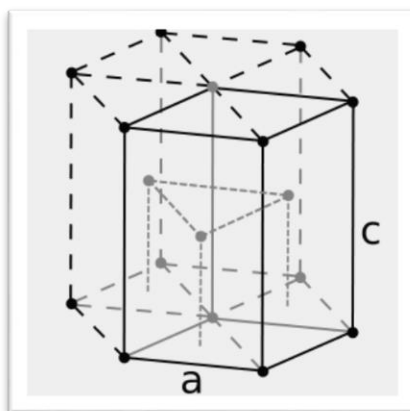
Οι δύο πιο χρήσιμες ιδιότητες του μετάλλου είναι η αντοχή στη διάβρωση και η υψηλότερη αντοχής ως προς την πυκνότητα σε σχέση με κάθε μεταλλικό στοιχείο. [47]



Σε μη κεκραμμένη κατάσταση, το τιτάνιο είναι τόσο ισχυρό ο χάλυβας, αλλά 45% λιγότερο πυκνό. [48] Υπάρχουν δύο αλλοτροπικές μορφές και πέντε φυσικώς απαντώμενα ισότοπα του στοιχείου αυτού, 46 Ti , 50 Ti , 48 Ti είναι η

πιο άφθονη (73,8%). [\[49\]](#) Οι ιδιότητες του τιτανίου είναι χημικώς και φυσικώς παρόμοιες με του ζirkονίου , καθώς και τα δύο αυτά στοιχεία έχουν τον ίδιο αριθμό των ηλεκτρονίων σθένους και ανήκουν στην ίδια ομάδα στον περιοδικό πίνακα.

Η κρυσταλλική δομή του τιτανίου είναι πυκνή εξαγωνική, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Πρόσθετες πληροφορίες:

- Το τιτάνιο είναι ασφαλές για κοσμήματα καθώς είναι βιοσυμβατό. Επομένως δεν θα έχουμε κανένα πρόβλημα με τις αλλεργίες.
- Στις μέρες μας είναι το ισχυρότερο υλικό που μπορεί να εκτυπωθεί τρισδιάστατα.
- Πρόκειται για ένα υλικό υψηλής αξίας που αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείται για υψηλής λεπτομέρειας κοσμήματα και ρολόγια.
- Οι γωνίες με μικρότερη κλίση από 35% θα έχουν την τάση να είναι λιγότερο ελκυστικές με αυτή τη διαδικασία.
- Είναι το πιο ιδανικό υλικό για να σχεδιάσουμε ένα "πλέγμα με οπές". Αυτό το καθιστά εύκολο, και παίρνουμε τα καλύτερα αποτελέσματα. [\[20\]](#)

Προδιαγραφές σχεδιασμού

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	0.4 mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.25 mm
Μέγιστο μέγεθος	250x250x400
Εκκαθάριση	N/A

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του τιτανίου:

Σχετική πυκνότητα		περίπου 100%
Απόλυτη πυκνότητα		4,41 g / cm ³
Αντοχή στον εφελκυσμό	ASTM E8M	1140 Mpa
Απόδοση ισχύος (Rp 0,2%)		1050 Mpa
Επιμήκυνση στο όριο θραύσης		8%
Μέτρο του Young		111 Gpa
Charpy V-notch σκληρότητα	ASTM E23	10 - 11,5 J
Σκληρότητα	Rockwell C	± 37 HRC
Συντελεστή θερμικής διαστολής	20-100 ° C	8.1 x 10 ⁻⁶ / °
	20-300 ° C	10,1 x 10 ⁻⁶ / ° C
Ειδική θερμοχωρητικότητα 1	20 ° C	580 J / kg.K
	205 ° C	610 J / kg.K
	425 ° C	670 J / kg.K
	650 ° C	760 J / kg.K
	870 ° C	930 J / kg.K
Θερμική αγωγιμότητα 1	50 ° C	6,7 W / mK
Σημείο τήξεως 1		1660 ° C
Μαγνητική διαπερατότητα		1,00005

* ASTM E8M: Πρότυπη μέθοδος για δοκιμές έντασης σε μεταλλικά υλικά

* ASTM E23: Πρότυπη μέθοδος για δοκιμές μεταλλικών υλικών. Αυτές οι δοκιμές αφορούν ειδικά στη συμπεριφορά του μετάλλου όταν υποβάλλεται σε μια ενιαία εφαρμογή μιας δύναμης που προκύπτει σε πολυ-αξονικές καταπονήσεις που συνδέονται με μία εγκοπή, σε συνδυασμό με υψηλά ποσοστά φορτώσεως και σε ορισμένες περιπτώσεις με υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες. [\[65\]](#)

3.9 Χρυσός:

Ο χρυσός είναι ένα χημικό στοιχείο με σύμβολο Au και ατομικό αριθμό 79. Πρόκειται για ένα πυκνό, μαλακό, εύπλαστο, και όλκιμο μέταλλο με ένα ελκυστικό, φωτεινό κίτρινο χρώμα και λάμψη που διατηρείται χωρίς να αμαυρώνει στον αέρα ή το νερό. Χημικά, ο χρυσός είναι ένα μέταλλο μεταπτώσεως και ένα στοιχείο της ομάδας 11 του περιοδικού πίνακα. Είναι ένα από τα λιγότερο αντιδραστικά χημικά στοιχεία, στερεά υπό κανονικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, το μέταλλο εμφανίζεται συχνά σε ελεύθερη στοιχειακή (μητρική) μορφή, ως ψήγματα ή ως κόκκοι σε βράχους,

σε σχισμές και προσχώσεις. Ο χρυσός αντιστέκεται επιθέσεις από μεμονωμένα οξέα, αλλά μπορεί να διαλυθεί με aqua regia (νιτρο-υδροχλωρικό οξύ), που ονομάζεται έτσι επειδή μπορεί να διαλύει χρυσό. Ο χρυσός επίσης διαλύεται σε αλκαλικά κυανιούχα διαλύματα, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στην εξόρυξη. Είναι αδιάλυτος στο νιτρικό οξύ, το οποίο διαλύει το ασήμι και πολλά βασικά μέταλλα, μια ιδιότητά του που έχει χρησιμοποιηθεί από καιρό για να επιβεβαιώσει την παρουσία του χρυσού σε αντικείμενα. Εκτός από την ευρεία



νομισματική και τις συμβολικές λειτουργίες του, ο χρυσός έχει πολλές πρακτικές χρήσεις στην οδοντιατρική, στα ηλεκτρονικά όπως επίσης και σε άλλους τομείς. 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, συμπεριλαμβανομένων

των ηλεκτρικών καλωδίων, η παραγωγή χρωματιστού γυαλιού, και η παραγωγή φύλλων χρυσού. Πιθανολογείται ότι η μεγαλύτερη ποσότητα χρυσού, βρίσκεται στον πυρήνα της γης, διότι η υψηλή του πυκνότητα το έκανε να βυθιστεί εκεί. Θεωρείται ότι σχεδόν όλος ο χρυσός που έχει ανακαλυφθεί, προέρχεται από μετεορίτες που περιείχαν το στοιχείο. [\[51\]](#)[\[52\]](#)[\[53\]](#)

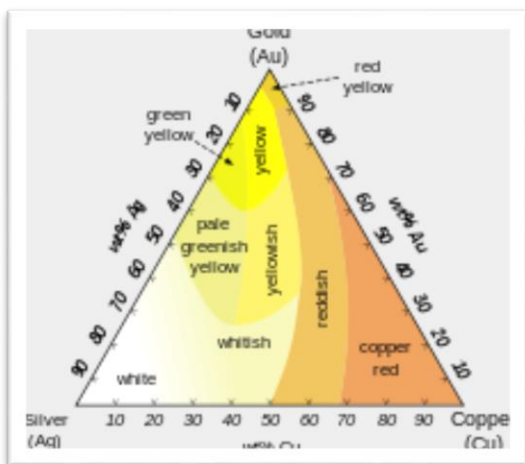
Τα μοντέλα χρυσού που εκτυπώνονται τρισδιάστατα, προέρχονται από 14k στερεό χρυσό. Ο στερεός χρυσός αναμιγνύεται με ένα κράμα όπως ο χαλκός για σκλήρυνση, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα υγιεινής. Ολόκληρο το κόσμημα θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από 14k ατόφιο χρυσάφι.

Ιδιότητες του χρυσού:

Το χρώμα του καθορίζεται από την πυκνότητα των χαλαρά δεσμευμένων ηλεκτρονίων (ηλεκτρόνια σθένους). Αυτά τα ηλεκτρόνια ταλαντώνονται ως ένα συλλογικό "πλάσμα" μέσο που περιγράφεται σε όρους ενός "quasiparticle" και ονομάζεται "plasmon". Η συχνότητα αυτών των ταλαντώσεων έγκειται στην υπεριώδη περιοχή για τα περισσότερα μέταλλα, αλλά πέφτει μέσα στο ορατό φάσμα για το χρυσό λόγω λεπτών σχετικιστικά αποτελεσμάτων που επηρεάζουν τα τροχιακά άτομα του χρυσού. [\[54\]](#), [\[55\]](#) Ο χρυσός έχει μόνο ένα σταθερό ισότοπο, ^{197}Au , το οποίο είναι επίσης το μόνο φυσικό ισότοπο του.

Τριάντα-έξι ραδιοϊσότοπα έχουν συντεθεί και κυμαίνονται σε ατομική μάζα 169-205. Η πιο σταθερή από αυτές είναι 195 Au με ένα χρόνο ημίσειας ζωής των 186,1 ημερών. Το λιγότερο σταθερό είναι 171 Au, το οποίο διασπάται με εκπομπή πρωτονίου με ένα χρόνο

ημίσειας ζωής 30 μικροδευτερόλεπτα. Τα περισσότεροι από τα ραδιοϊσότοπα χρυσού με ατομικές μάζες κάτω από 197 αποσυντήθενται με κάποιο συνδυασμό εκπομπής πρωτονίων, α αποσύνθεσης, και β + αποσύνθεσης. Οι εξαιρέσεις είναι το 195 Au, το οποίο διασπάται με σύλληψη ηλεκτρονίων, και το 196 Au, το οποίο διασπάται πιο συχνά, με σύλληψη ηλεκτρονίων (93%), με μια μικρή β - αποσύνθεσης (7%). Όλα τα ραδιοϊσότοπα του χρυσού με ατομικές μάζες παραπάνω 197 αποσυντήθενται με



β – αποσύνθεση. [54] , [55]

Πρόσθετες πληροφορίες

Αναφέρουμε ότι δομές, όπως μια «μπάλα μέσα μια μπάλα» δεν μπορούν να υλοποιηθούν με αυτή τη διαδικασία.

Επίσης, οι κρίκοι των αλυσίδων, δεν μπορούν να γίνουν με αυτή τη διαδικασία.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ιδανική για όσους θέλουν να δημιουργήσουν ράβδους χρυσού

Καθώς επίσης για όσους θέλουν να σχεδιάσουν τα κοσμήματά τους με νόημα.

Προδιαγραφές σχεδιασμού

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	0.5 mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.3 mm
Μέγιστο μέγεθος	88x63x125 mm
Εκκαθάριση	N/A

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του χρυσού: [\[20\]](#)

Gold (AU)	14kt (yellow/white/red)
Yellow	Au 58.50% Ag 12.60% Cu 25.40% Zn 3.50%
White	Au 58.50% Ag 6.0% Cu 20.90% Zn 7.40% Nk 7.20%
Red	Au 58.50% Cu 39.50% Zn 2.0%

3.10 Ασήμι:

Το ασήμι είναι ένα χημικό στοιχείο με χημικό σύμβολο Ag (Ελληνικά : άργυρος) και ατομικό αριθμό 47. Πρόκειται για ένα μαλακό, λευκό, λαμπερό μέταλλο μετάβασης, κατέχει την υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από κάθε στοιχείου και την υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από οποιοδήποτε μέταλλο. Το μέταλλο εμφανίζεται φυσικά σε καθαρή, ελεύθερη μορφή του (μητρική ασήμι), ως ένα κράμα με χρυσό και άλλα μέταλλα, καθώς επίσης και σε μέταλλα όπως argentite και chlorargyrite. Το ασήμι από καιρό έχει αποτιμηθεί ως πολύτιμο μέταλλο, που χρησιμοποιείται στην κατασκευή νομισμάτων, για την δημιουργία στολιδιών, κοσμημάτων, σκεύη μεγάλης αξίας (εξ ου και ο όρος ασημικά) και ως επένδυση στις μορφές των νομισμάτων και πολύτιμων μετάλλων. Το ασήμι μέταλλο χρησιμοποιείται βιομηχανικώς σε ηλεκτρικές επαφές και αγωγούς, σε καθρέπτες και στην κατάλυση των χημικών αντιδράσεων. Οι ενώσεις του χρησιμοποιούνται σε φωτογραφικό φιλμ και αραιό νιτρικό άργυρο και οι άλλες ενώσεις αργύρου χρησιμοποιούνται ως απολυμαντικά. Ενώ πολλές ιατρικές αντιμικροβιακές χρήσεις του αργύρου έχουν αντικαταστήσει αντιβιοτικά. Η περαιτέρω έρευνα στην κλινική συνεχίζεται δυναμικά.



νομισμάτων, για την δημιουργία στολιδιών, κοσμημάτων, σκεύη μεγάλης αξίας (εξ ου και ο όρος ασημικά) και ως επένδυση στις μορφές των νομισμάτων και πολύτιμων μετάλλων. Το ασήμι μέταλλο χρησιμοποιείται βιομηχανικώς σε ηλεκτρικές επαφές και αγωγούς, σε καθρέπτες και στην κατάλυση των χημικών αντιδράσεων. Οι ενώσεις του χρησιμοποιούνται σε φωτογραφικό

φιλμ και αραιό νιτρικό άργυρο και οι άλλες ενώσεις αργύρου χρησιμοποιούνται ως απολυμαντικά. Ενώ πολλές ιατρικές αντιμικροβιακές χρήσεις του αργύρου έχουν αντικαταστήσει αντιβιοτικά. Η περαιτέρω έρευνα στην κλινική συνεχίζεται δυναμικά.

Το υλικό τρισδιάστατης εκτύπωσης με ασήμι είναι στερεό Sterling ασήμι, φτιαγμένο από 92,5% καθαρό ασήμι και 7,5% από άλλο μέταλλο, συνήθως χαλκό. Το Sterling ασήμι είναι ένα κράμα πρότυπο για κατασκευή κοσμημάτων και

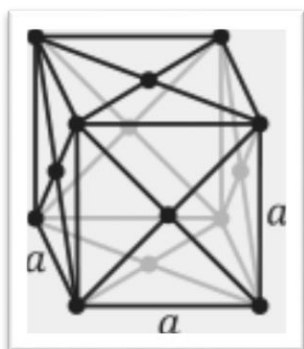
είναι ασφαλές να φορέσουμε στο δέρμα μας. Το ασήμι είναι ένα μέταλλο με πολύ υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Έχει μία εξαιρετική λάμψη όταν είναι γυαλισμένο και είναι επίσης πολύ εύπλαστο. Η ποιότητα ενός μοντέλου αργύρου είναι συγκρίσιμη με τα συνηθισμένα κομμάτια κοσμημάτων που βρίσκουμε στα καταστήματα κοσμημάτων. [58]

Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης με άργυρο [59]

Πρόσθετες πληροφορίες [20]

- Ακριβώς όπως είπαμε και με τον χρυσό, δομές, όπως μια «μπάλα μέσα μια μπάλα» δεν μπορεί να υλοποιηθούν με αυτή τη διαδικασία.
- Κρίκοι αλυσίδων δεν μπορούν επίσης να κατασκευαστούν με τρισδιάστατη εκτύπωση.

Ιδιότητες του ασημιού



Κρυσταλλική δομή: Το ασήμι αποτελείται από δύο φυσικά σταθερά ισότοπα, ^{107}Ag και ^{109}Ag . Το ισότοπο ^{107}Ag είναι ελαφρώς πιο άφθονο (51.839% φυσική αφθονία). Τα ισότοπα του ασημιού είναι σχεδόν ίσα σε αφθονία, κάτι που είναι σπάνιο στον περιοδικό πίνακα. Το ατομικό βάρος του ασημιού είναι $107.8682(2) \text{ g/mol}$. [60], [61]

Προδιαγραφές σχεδιασμού

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	0.5 mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.3 mm
Μέγιστο μέγεθος	88x63x125 mm
Εκκαθάριση	N/A

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του ασημιού:

Silver (AG)	Ag 93% Cu 4% Zn 3%
	Non-tarnish premix standard sterling silver

3.11 Χαλκός

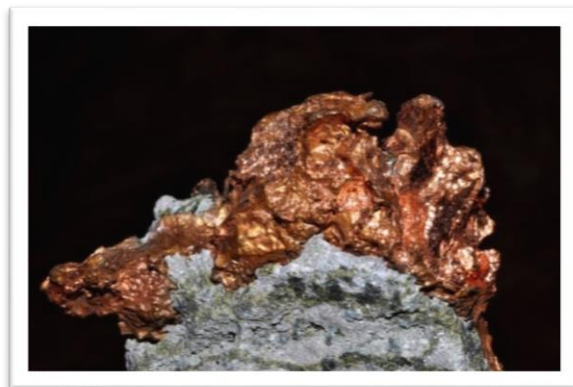


Ο χαλκός είναι ένα χημικό στοιχείο, που ανήκει στην κατηγορία των μετάλλων. Έχει ατομικό αριθμό 29 και ατομικό βάρος 63,546. Το σύμβολό του είναι Cu. Έχει κοκκινωπό χρώμα και είναι όλκιμος και ελατός. Ανήκει στην ομάδα της 1ης κύριας σειράς των στοιχείων μετάπτωσης. Τα μοντέλα σε χαλκό κατασκευάζονται από σκόνη που είναι εμποτισμένη από χαλκό. Πρόκειται για ένα υλικό φθινό και προσιτό για όσους θέλουν να εκτυπώσουν ένα μεταλλικό αντικείμενο.

Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης με χαλκό [19]

Ιδιότητες του χαλκού

Είναι μέταλλο με χαρακτηριστικό χρώμα (ερυθρό του χαλκού) και χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη. Είναι επίσης μαλακός (σκληρότητα 2.5-3 στην Κλίμακα Mohs δύστηκτος (σημείο τήξεως 1084,6° C, σημείο βρασμού 2562° C), ιδιαίτερα ελατός και όλκιμος, πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του



ηλεκτρισμού. Λόγω της ιδιότητάς του όταν είναι τηγμένος να απορροφά ατμοσφαιρικό αέρα, τον οποίο αποβάλλει ψυχόμενος, δεν μπορούν να κατασκευασθούν χυτά αντικείμενα από χαλκό. Δεν εμφανίζει σχιστότητα, ενώ έχει ανώμαλη θραύση. Είναι τελείως αδιαφανής, ακόμη και σε λεπτά ελάσματα. Δεν εμφανίζει

μαγνητικές ιδιότητες. Σε επαφή με άλλα μέταλλα εμφανίζει διαφορά δυναμικού (φαινόμενο Galvani). Ο χαλκός εμφανίζει δύο αριθμούς οξειδωσης (+1 και +2). Δεν είναι ιδιαίτερα δραστικό μέταλλο γι' αυτό και δεν αντιδρά εύκολα με άλλα στοιχεία και δεν χρησιμοποιείται ευρέως ως αναγωγικό. Στον ατμοσφαιρικό αέρα καλύπτεται αρχικά από οξειδίό του, το οποίο, με το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε ανθρακικό χαλκό, προσδίνοντάς του πρασινωπό χρώμα. Αντιδρά με οξυγόνο, θείο και αλογόνα προς τις αντίστοιχες ενώσεις. Δεν προσβάλλεται από

αραιά οξέα ούτε από πυκνό θειικό οξύ, προσβάλλεται από το νιτρικό οξύ (HNO₃).
[\[60\]](#)

Πρόσθετες πληροφορίες

- Δεν μπορούν να κατασκευαστούν αλυσίδες ή πολύ λεπτά σχέδια και δομές.
- Είναι δυνατόν να εκτυπωθούν χάλκινα κοσμήματα, όμως συνίσταται προσοχή, διότι πολλές φορές ο χαλκός μπορεί να προκαλέσει ερυθρότητα ή ερεθισμούς του δέρματος.

Προδιαγραφές σχεδιασμού: [20]

Ελάχιστο πάχος τοιχώματος	3mm
Μέγιστο μέγεθος	60x40x35mm
Εκκαθάριση	0.8mm
Ελάχιστες λεπτομέρειες	0.8 - 1mm

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. Το primegray είναι κατάλληλο για σχεδιασμό μοντέλων μιάς όψης. Η επιφάνεια του υλικού είναι πολύ

ομαλότερη σε σχέση με κάθε άλλο υλικό, και δίνει μια πολυτελή αίσθηση αφής. Τα μοντέλα που κατασκευάζονται έχουν μια μέση μηχανική αντοχή. Η ελευθερία σχεδιασμού είναι αρκετά περιορισμένη λόγω της δομής που χρησιμοποιείται για την εκτύπωση.

Δείγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης με Prime Gray [\[20\]](#)

Πρόσθετες πληροφορίες

- Όπως αναφέραμε παραπάνω, είναι ένα ιδανικό υλικό για εκτυπώσεις αντικειμένων των οποίων θέλουμε να φαίνεται η μία όψη. 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.
- Θα πρέπει τα εκτυπωμένα μοντέλα να φυλάσσονται μακριά από τον ήλιο, διότι είναι πιθανόν να αποχρωματιστούν.

Παρακάτω αναφέρω κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του *Prime Gray*

Μέτρο ελαστικότητας	Mpa	D638M	1790 – 1980
Αντοχή σε εφελκυσμό	Mpa	D638M	[38, 44]
Επιμήκυνση Θραύσης	%	D638M	[14, 22]
Καμπτική Modulus	Mpa	D790M	[1520, 2070]
Notched κρούση Izod	J / m ²	D256A	[35, 52]
Θερμότητα Εκτροπής t	° C	D648 – 98C	στις 0:46 MPa: 56 στις 1:81 MPa: 47

3.13 Πίνακας σύγκρισης υλικών

Υλικά/ Χαρακτηριστικά:	Polyamide	Alumide	Paintable resin	High Detail resin	Trasparent resin	Prime Gray	ABS
Μέτρο ελαστικότητας	[1500,1800] Mpa	[3650, 3950] Mpa	2310 Mpa	2495 Mpa	[2650, 2880] Mpa	[1790, 1980] Mpa	1627 Mpa
Αντοχή σε εφελκυσμό	[45,51] Mpa	[45, 51] Mpa	43.8 Mpa	49.8 Mpa	[41.7, 53.6] Mpa	[38, 44] Mpa	22 Mpa
Επιμήκυνση Θραύσης	[15,25] %	[-1.5, 8.5] %	16 %	15.25 %	[11, 20] %	[14, 22] %	
Καμπτική Modulus	[1370,1630] N/mm ²	[3450, 3750] N/mm ²	2130 N/mm ²	2137 N/mm ²	[2040,2370] N/mm ²	[1520, 2070] N/mm ²	1834 N/mm ²
Θερμοκρασία Εκτροπής t °	86° C	130° C	Σε 0.46Mpa:56° C Σε 1.81Mpa:47° C	Σε 0.45Mpa:47.6° C	Σε 1.81Mpa:[45.9, 54.5]° C	Σε 0.46Mpa:56° C Σε 1.81Mpa:47° C	Σε 0.45Mpa:90° C Σε 1.81Mpa:76° C
Αντοχή κρούσης Charpy	[49.2,56.8] Mpa	[27, 31] Mpa	70.5 Mpa			[35, 52] Mpa	

Υλικά/ Χαρακτηριστικά:	Polyamide	Alumide	Paintable resin	High Detail resin	Trasparent resin	Prime Gray	ABS
Αντοχή κρούσης Izod	[29.4, 36.2] J/m ²		22 J/m ²		[20, 30] J/m ²		107 J/m ²
Shore D σκληρότητα	[73, 77]		88	83	81		
Tg			[57, 59] ° C	58° C			
Δύναμη Notched Impact Charpy	[4.5,5.1] Mpa	[4.3, 4.9] Mpa					
Θερμοκρασία μαλάκυνσης Vicat B/50	163° C	169° C					
Δύναμη Notched Impact Izod	[4, 4.8] J/ m ²						
Ball Εσοχές Σκληρότητας	[75.6, 79.6]						

Αναφέρουμε επίσης :

- Το υλικό Paintable resin παρουσιάζει απορρόφηση νερού 0.68%
- Το υλικό Trasparent resin έχει αντοχή κάμψης [63.1, 74.16] Μρα
- Το υλικό ABS έχει αντοχή κάμψης 41 Μρα, πυκνότητα 1.05 g / cm^3 και επιμήκυνση θραύσης 6%.

4 Σύγκριση των υλικών

Παρακάτω συγκρίνουμε τα υλικά που έχουμε αναφέρει ως προς το μέγιστο μέγεθος εκτύπωσης, το ελάχιστο πάχος τοιχωμάτων, το μέγιστο μέγεθος εκτύπωσης καθώς επίσης και ως προς την απαιτούμενη εκκαθάριση.

- Πάχος τοιχωμάτων
- Μέγιστο μέγεθος
- Εκκαθάριση
- Λεπτομέρειες

Πάχος τοιχωμάτων

Ως προς το πάχος των τοιχωμάτων μπορούμε να κάνουμε τις παρακάτω εκτιμήσεις:

Ελάχιστο πάχος τοιχωμάτων (mm)	Υλικό
0,4	Titanium
0,5	Brass, Gold, Silver
0,8	Polyamide
1	ABS, Rubber, Prime Gray
3	Stainless Steel, Bronze
3 – 6	Ceramics

Από τον παραπάνω πίνακα, καθώς επίσης και από τον πίνακα σύγκρισης των υλικών, συμπεραίνουμε ότι τα μεταλλικά υλικά μπορούν να έχουν μικρότερο ελάχιστο πάχος τοιχωμάτων σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά. Μειωνεκτούν έναντι των υπολοίπων υλικών, τα κεραμικά στα οποία βλέπουμε ότι δεν μπορούμε να έχουμε πάχος μικρότερο των 3-6 mm, λόγω του υλικού.

Συμπεραίνουμε ότι με την τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούμε να έχουμε αρκετά μικρό πάχος τοιχωμάτων, ωστόσο δεν είναι ακόμα συγκρίσιμο με χειροποίητες κατασκευές, ή κατασκευές πιο διαδεδομένων μεθόδων.

Μέγιστο Μέγεθος

Ως προς το μέγιστο μέγεθος εκτύπωσης, έχουμε τα ακόλουθα:

Μέγιστο Μέγεθος	Υλικό
60x40x35	Bronze
90x65x125	Gold, Silver, Brass
240x250x400	Titanium, Prime Gray
300x300x300	Ceramics, Alumide, Kaoutsouk,
400x350x400	ABS
650x350x550	Polyamide
750x400x400	Stainless Steel

Ο παραπάνω πίνακας μας δείχνει μία προσεγγιστική εκτίμηση του μεγέθους εκτύπωσης όπως αυτό διαμορφώνεται ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται. Ωστόσο αυτό το μέγεθος μπορεί να έχει αποκλίσεις, ανάλογα με τις δυνατότητες του εκτυπωτή. Αναμένεται να έχουμε μεγαλύτερο εύρος μεγέθους εκτύπωσης καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία των εκτυπωτών.

Ελάχιστες λεπτομέρειες

Ελάχιστες λεπτομέρειες (mm)	Υλικό
0,3	Polyamide, ABS, Bronze, Titanium, Gold, Silver.
0,5	Alumide, Rubber, Prime Gray
1	Stainless steel, brass.
2	Ceramic

Με τον όρο ελάχιστες λεπτομέρειες εννοούμε τις πιο μικρές λεπτομέρειες που μπορεί να έχει το αντικείμενο που θα κατασκευάσουμε. Με βάση τον παραπάνω πίνακα, ο οποίος είναι προσεγγιστικός και αναφέρεται στους εκτυπωτές της παρούσας τεχνολογίας, παρατηρούμε ότι τα μεταλλικά αντικείμενα μπορούν να εκτυπώνονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Σε αντίθεση, τα κεραμικά μπορούν να εκτυπώνονται με μικρότερη λεπτομέρεια περίπου 2mm.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι υλικά όπως ο χρυσός, το ασήμι, ο χαλκός το πολυαμίδιο δεν απαιτούν μεγάλη εκκαθάριση. Σε αντίθεση με τα κεραμικά τα οποία χρειάζονται μεγαλύτερη εκκαθάριση.

Εκκαθάριση

Εκκαθάριση (mm)	Υλικό
0,3	ABS, Prime Gray,
0,5	Polyamid, Alumide
0,8	Stainless Steel, Bronze
1	Rubber
4	Ceramic

Με τον όρο εκκαθάριση αναφερόμαστε στην διαδικασία που πρέπει να γίνει μετά την εκτύπωση ενός αντικειμένου, προκειμένου αυτό να αποκτήσει την επιφάνεια που επιθυμούμε. Είναι μία διαδικασία κατά την οποία ουσιαστικά καθαρίζουμε το προϊόν από τυχόν υπολείμματα ή εξοχές.

5 Πίνακες σύγκρισης των υλικών

Στην συνέχεια έχουμε συγκεντρωτικούς πίνακες όπου μπορεί να γίνει μία σύγκριση των υλικών που έχουμε παρουσιάσει παραπάνω, ως προς τις ιδιότητες εκτύπωσης. Παρουσιάζονται οι παρακάτω παράμετροι:

Μια μικρή περιγραφή, τυπική χρήση, τεχνολογία εκτύπωσης, χρόνος παραγωγής, ελάχιστο πάχος τοιχωμάτων, ελάχιστες λεπτομέρειες εκτύπωσης, μέγιστο μέγεθος εκτυπωμένου προϊόντος, ακρίβεια, εκκαθάριση, αντοχή στην θερμότητα, δυνατότητα επιλογής χρώματος, καθώς επίσης δυνατότητα σύμπλεξης και κλειστών τμημάτων.

Πίνακες Σύγκρισης των Υλικών:

Material	Polyamide	ABS	Ceramics	Alumide	Brass	Stainless-Steel
Short description	A strong and flexible material with a high level of detail.	Strong and tough, great dimensional accuracy.	A foodsafe material that shines like no other	Polyamide blended with aluminum particles.	Copper meets Zinc, plated to have a 18kt gold look.	The most affordable metal material.
Typical use	complex models, concept models, small series of models, lamps, functional models	full functional models	home decoration, tableware, pottery	complex models, concept models, small series of models, functional models, models that need more stiffness than polyamide, models that require an aluminum look	jewelry items, detailed miniatures, sculptures	robust, functional, decorative but not too thin models
Technology	Laser sintering	Fused Deposition Modeling	Z Corp printing technology	Laser sintering	Wax 3D printing and lost wax casting	Stainless steel 3D printing
Production time	8-13 business days	8-13 business days	15-20 business days	8-13 business days	13-15 business days	15-20 business days
Minimum wall thickness	0.8 to 1 mm	1 mm	3 to 6 mm	1 mm	0.5 mm	3 mm
Minimum detail	0.3 mm	0.3 mm	2 mm	0.4 to 0.5 mm	0.3 mm	0.8 to 1 mm

Material	Polyamide	ABS	Ceramics	Alumide	Brass	Stainless-Steel
Maximum size	650 x 330 x 560 mm	400 x 355 x 400 mm	340 x 240 x 200 mm	310 x 310 x 400 mm	88 x 63 x 125 mm	762 x 393 x 393 mm
Accuracy	± 0.3% (with a lower limit of ± 0.3 mm)	± 0.1% (min ± 0.2 mm)	±3% deviation, adds 1 mm of glaze	± 0.3% (with a lower limit of ± 0.3 mm)	N/A	± 2.5%
Clearance	0.5 mm	N/A	4 mm	0.5 mm	N/A	0.8 mm
Heat resistance	86.00°C	76.00°C	N/A	130.00°C	N/A	N/A
Multiple colors/finishes?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Interlocking or enclosed parts?	Yes	Yes	No	Yes	No	No

Material	Rubber-like	Titanium	Gold	Silver	Bronze	Prime-Gray
Short description	A strong, high-flexible and durable material.	The strongest 3D printing material in the world.	14 carat solid gold, available in yellow, white or red gold.	Solid sterling silver, available in 4 different finishes.	Used since antiquity, now 3D printed.	Very smooth, detailed, and 'luxurious' to the touch.
Typical use	haute couture, models that need shock absorption, gadgets, squeezeable models, and functional models	full functional parts, spare parts, jewelry	jewelry	jewelry	small robust and arty objects like coins, medal, keys, statues, freshly made artefacts	visual prototypes, presentation models, character models, scale models
Technology	Laser sintering	Direct metal laser sintering	Wax 3D printing and lost wax casting	Wax 3D printing and lost wax casting	Wax 3D printing and lost wax casting	Stereolithography
Production time	8-13 business days	15-20 business days	15-18 business days	8-15 business days	13-15 business days	8-13 business days
Minimum wall thickness	1 to 3 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	1 mm

Material	Rubber-like	Titanium	Gold	Silver	Bronze	Prime-Gray
Minimum detail	0.5 mm	0.25 mm	0.3 mm	0.3 mm	0.3 mm	0.5 mm
Maximum size	320 x 270 x 300 mm	250 x 250 x 400 mm	88 x 63 x 125 mm	88 x 63 x 125 mm	88 x 63 x 125 mm	250 x 250 x 235 mm
Accuracy	± 0.5% (with a lower limit of ± 0.5 mm)	± 2% (with a minimum of ± 200μ)	N/A	N/A	N/A	± 0.2% (with a lower limit of ± 0.2 mm)
Clearance	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.3 mm
Heat resistance	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	62.00°C
Multiple colors/finishes?	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Interlocking or enclosed parts?	Yes	No	No	No	No	No

**Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε ότι τα στοιχεία των παραπάνω πινάκων περιλαμβάνουν προσεγγιστικές παραμέτρους οι οποίες μπορεί να μεταβάλλονται από την μία τεχνολογία στην άλλη, καθώς επίσης αναμένονται αλλαγές με την εξέλιξη της τεχνολογίας.*

6 Πρόταση για μελλοντική μελέτη

Ύστερα από την διεκπεραίωση της παραπάνω διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να προτείνω μελλοντική μελέτη σε ότι αφορά τις εφαρμογές που θα έχουν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές στην βιοϊατρική τεχνολογία.

Σύγκριση της τεχνολογίας των τρισδιάστατων εκτυπωτών, με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι βιο-εκτυπωτές. Πώς θα μπορούσε να συμβάλει η παρούσα τεχνολογία στην τρισδιάστατη εκτύπωση ολόκληρων ζωτικών οργάνων;

Πώς θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τις οπτικές ίνες για την βελτίωση της τεχνολογίας των τρισδιάστατων εκτυπωτών;

Ευχαριστώ!

7 References

1. <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6262/Infographic-The-History-of-3D-Printing.aspx> #istoria
2. <http://www.3dfuture.com.au/the-mathematics-of-3d-printing/> #fubini
3. M. Durham, T. Grimm and J. Rollins, *SLS and SLA: Different Technologies for Different Applications*, Accelerated Technologies, 1996.
4. Scaffold development using 3D printing with a starch-based polymer
5. <http://news.in.gr/science-technology/>
6. <http://poseidon.library.tuc.gr/artemis/DT2005-0182/DT2005-0182.pdf>
7. http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=49
8. S. Srivastava *A course on Borel sets*. Springer, 1998
9. *Mathematical methods for physics and engineering*, K.F. Riley, M.P. Hobson, S.J. Bence, Cambridge University Press, 2010, ISBN 978-0-521-86153-3
10. *Jump up^ Vector Analysis (2nd Edition)*, M.R. Spiegel, S. Lipschutz, D. Spellman, Schaum's Outlines, McGraw Hill (USA), 2009, ISBN 978-0-07-161545-7
11. P.M. Jack (2003). "Physical Space as a Quaternion Structure I: Maxwell Equations. A Brief Note.". Toronto, Canada.
12. (<http://coolweb.gr/ti-einai-optikes-ines-pos-leitourgoun/>)
13. Thyagarajan, K. and Ghatak, Ajoy K. (2007). *Fiber Optic Essentials*
14. "Press Release — Nobel Prize in Physics 2009 http://3lyk-kalam.mes.sch.gr/opt_fiber_gr.htm
15. http://www.citytec.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=82&Itemid=55
16. *INSTANT MANUFACTURING*, Technology Review, November 2003.
17. Palmer, RJ 2001. Πολυαμίδια, Πλαστικά. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* #1
18. *Market Study Engineering Plastics*, Ceresana, Sep 2013 #2
19. www.3ders.org #3
20. i.materialise.com/materials #4
21. *3D printed Water Waves lamps inspired by traditional Chinese painting*

22. Συνεργεία νανοτεχνολογίας και πολυμερισμού στερεάς κατάστασης για την αναβάθμιση πολυαμιδικών ρυτίνων Διδακτορική διατριβή Αναστασίας Χ.Μπούσια Επιβλέπων Καθηγητής: Παπασυρίδης.
23. *Density improvement of alumina parts produced through selective laser sintering of alumina-polyamide composite powder* Jan Deckers, Jean-Pierre Kruth, Khuram Shahzad, Jef Vleugels.
24. *Journal of Membrane Science Application of interfacially polymerized polyamide composite membranes to isopropanol dehydration: Effect of membrane pre-treatment and temperature.* Jonathan Albo, Jinhui Wang, Toshinori Tsuru
25. ABS. Stratasys Inc. (2007).
26. <http://www.calgraphix.com/>
27. *Mechatronics* Volume 23, Issue 6, September 2013, Pages 713–726
28. en:Acrylonitrile butadiene styrene article in Wikipedia
29. *Tracking 3D Printing News the Emerging 3D Printing Revolution! Belgian Design Studio Unfold Features Beautiful Ceramic 3D Printing*
30. *Ceramic Tile and Stone Standards.* Ctioa.org. Retrieved on 2011-11-28.
31. "ceramic". *Oxford English Dictionary* (3rd ed.). Oxford University Press. September 2005.
32. "Alumide". *Shapeways*. Retrieved 4 September 2013.
33. "Materials and Material Management". *Electro Optical Systems*. Retrieved 4 September 2013.
34. <http://www.shapeways.com>
35. *Engineering Designer* 30(3):6-9, May-june 2004
36. *Bearings and bearing metals.* The Industrial Press. 1921. p. 29.
37. M. F. Ashby; Kara Johnson (2002). *Materials and design: the art and science of material selection in product design.* Butterworth-Heinemann. pp. 223–. ISBN 978-0-7506-5554-5. Retrieved 12 May 2011.
38. *OSH Answers: Non-sparking tools.* Ccohs.ca (2011-06-02). Retrieved on 2011-12-09.
39. "The Stainless Steel Family". Retrieved 2012-12-08.
40. *Stainless Steels and Alloys: Why They Resist Corrosion and How They Fail*". *Corrosionclinic.com*. Retrieved on 2012-06-29.
41. Ashby, Michael F.; & David R. H. Jones (1992) [1986]. "Chapter 12". *Engineering Materials 2 (with corrections ed.)*. Oxford: Pergamon Press. p. 119. ISBN 0-08-032532-7.

42. Joseph R. Davis (1 January 1994), *Stainless Steels*, ASM International, p. 118, ISBN 978-0-87170-503-7
43. *New flexible materials pave the way for 3D-printed clothing*. By Jason Falconer. June 3, 2013
44. Heinz-Hermann Greve "Rubber, 2. Natural" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2000, Wiley-VCH, Weinheim.
45. "Titanium". *Encyclopædia Britannica*. 2006. Retrieved 2006-12-29.
46. <http://www.wired.com/gadgetlab/2011/01/3d-printing-now-in-titanium>
47. Donachie, Matthew J., Jr. (1988). *TITANIUM: A Technical Guide*. Metals Park, OH: ASM International. p. 11
48. Barksdale 1968, p. 738
49. "Titanium". *Columbia Encyclopedia* (6th ed.). New York: Columbia University Press. 2000–2006.
50. Barbalace, Kenneth L. (2006). "Periodic Table of Elements: Ti – Titanium". Retrieved 2006-12-26
51. Battison, Leila (8 September 2011). "Meteorites delivered gold to Earth". *BBC News*.
52. "Where does all Earth's gold come from? Precious metals the result of meteorite bombardment, rock analysis finds". *Sciencedaily.com*.
53. *Magnetic susceptibility of the elements and inorganic compounds* in Lide, D. R., ed. (2005). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (86th ed.)
54. "Relativity in Chemistry". *Math.ucr.edu*. Retrieved 5 April 2009.
55. Schmidbaur, Hubert; Cronje, Stephanie; Djordjevic, Bratislav; Schuster, Oliver (2005). "Understanding gold chemistry through relativity". *Chemical Physics* 311 (1–2): 151–161.
56. "Nudat 2". *National Nuclear Data Center*. Retrieved 12 April 2012.
57. Audi, G.; Bersillon, O.; Blachot, J.; Wapstra, A.H. (2003). "The NUBASE Evaluation of Nuclear and Decay Properties". *Nuclear Physics A (Atomic Mass Data Center)* 729: 3–128.
58. *Magnetic susceptibility of the elements and inorganic compounds* in Lide, D. R., ed. (2005). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (86th ed.). Boca Raton (FL): CRC Press.
59. www.blendernation.com
60. "Atomic Weights of the Elements 2007 (IUPAC)". Retrieved 11 November 2009.
61. "Atomic Weights and Isotopic Compositions for All Elements (NIST)". Retrieved 11 November 2009.

62. <http://el.wikipedia.org/>

63. INDEPENDENT-DAILY MAIL

64. <http://www.ultrac.com/en/solutions/test-methods/mechanical/izod-impact-test.html>

65. <http://www.astm.org/Standards>