

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΟ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ	15
2.1.Γενικές πληροφορίες	15
2.2.Η μελλοντική οικονομία των τρισδιάστατων εκτυπωμένων προϊόντων.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	19
3.1.Πλεονεκτήματα	19
3.2.Μειονεκτήματα	21
3.3.Χρήση πρωτοτύπων, τα οφέλη τους και από πού προέρχονται	23
3.4.Παράγοντες που καθυστερούν την ανάπτυξη της 3D εκτύπωσης.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ .28	
4.1.Γενικά	28
4.2.Πλαστικά Υλικά	29
4.2.1.Υλικά ABS	29
4.2.2.PLA – Βιοπολυμερές πολυγαλακτικού οξέος	30
4.2.3.Πολυπροπυλένιο	32
4.2.4. PVA – Πολυβινυλική αλκοόλη	33
4.2.5.PC- Πολυκαρμπονικά Υλικά.....	33
4.2.6.HDPE - Ρητίνες Πολυαιθυλενίου Υψηλής Πυκνότητας.....	34
4.2.7.HIPS (High Impact Polystyrene).....	34
4.2.8.Υλικά Υψηλής Θερμοκρασίας	34
4.2.9.Βιο-συμβατά Υλικά	35
4.2.10.Αδιαφανής ρητίνες.....	36
4.2.11.Ελαστικά υλικά.....	36
4.2.12.Ψηφιακά υλικά.....	37
4.2.13.Διαφανή Υλικά	37
4.3.Κεραμικά Υλικά	38
4.4.Ξύλινα Υλικά	38
4.4.1.LayWood.....	38
4.4.2.LayBrick.....	38

4.4.3.Polywood.....	39
4.5.Μεταλλικά υλικά.....	39
4.5.1.Χρυσός(Gold).....	39
4.5.2.Ασήμι(Silver).....	39
4.5.3.Χάλυβας(Steel).....	40
4.5.4.Ορείχαλκος(Brass).....	41
4.5.5.Μπρούντζος(Bronze).....	42
4.5.6.Αλουμίνιο.....	42
4.5.7.Τιτάνιο.....	43
4.6.Άλλες κατηγορίες υλικών.....	45
4.6.1.Fiberglass.....	45
4.6.2.Ανθρακόνημα.....	45
4.6.3.Νάυλον Ίνα(Nylon).....	47
4.6.4.Alumide.....	48
4.6.5.Γραφένιο.....	49
4.6.6.Πολύχρωμος αμμόλιθος(Full color sandstone).....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	52
5.1.Μηχανολογία.....	52
5.2.Αρχαιολογία.....	53
5.3.Αρχιτεκτονική.....	54
5.4.Ιατρική.....	54
5.5.Οδοντιατρική.....	56
5.6.Εκπαίδευση.....	57
5.7.Βιομηχανικός Σχεδιασμός.....	57
5.8.Ψυχαγωγία.....	57
5.9.Τέχνη - Κοσμήματα.....	58
5.10.Μόδα.....	58
5.11.Μαγειρική-Ζαχαροπλαστική.....	59
5.12.Άλλες εφαρμογές.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ.....	60
6.1.Γενικά.....	60
6.2.Αρχείο STL.....	61
6.3.Στηρίγματα.....	64
6.4.Τομή και Ένωση.....	65
6.5.Σημαντικοί παράγοντες της 3D εκτύπωσης.....	66

6.6.Μέθοδοι 3D εκτύπωσης.....	67
6.6.1.Στερεολιθογραφία (Stereolithography, SLA).....	67
6.6.2.Solid Ground Curing (SGC).....	69
6.6.3.Επιλεκτική σύντηξη με την χρήση ακτίνων λέιζερ (Selective Laser Sintering , SLS)	71
6.6.4.Συγκόλληση Λεπτών Φύλλων (Laminated Object Manufacturing , LOM).....	74
6.6.5.Εναπόθεση – Σύντηξη Διαδοχικών Στρώσεων(Fused Deposition Modeling, FDM)	76
6.6.6.3D ink-jet Printing	78
6.7.Σύγκριση των τεχνολογιών	79
6.8.Κατηγορίες υλικών και μέθοδοι εκτύπωσής τους	81
6.9.Καλούπια παραγόμενα με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ	84
7.1.Σχεδιαστικά και υπολογιστικά προγράμματα(CAD/CAE/CAM)	84
7.1.1.Computer Aided Design (CAD)	84
7.1.2.Computer Aided Engineering (CAE).....	87
7.1.3.Computer Aided Manufacturing (CAM).....	88
7.1.4.Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης γεωμετρικής μοντελοποίησης είναι	88
7.1.5.Μεταφορά γεωμετρίας μεταξύ σχεδιαστικών λογισμικών.....	89
7.1.6.Σύγχρονα λογισμικά.....	90
7.2.Παραδείγματα feature based CAD λογισμικών	91
7.2.1. Pro Engineer	91
7.2.2.Autodesk Inventor.....	92
7.2.3.AutoCAD	93
7.2.4.Maya	94
7.2.5.Dassault Systems Catia	96
7.2.6.EDS.....	97
7.2.7.UGS NX.....	98
7.2.8.Solidworks.....	99
7.2.9. 3D Studio MAX.....	102
7.2.10.Rhino 3D	104
7.2.11.IronCAD COMPOSE.....	105
7.2.12.Solid Edge	106
7.2.13.SketchUp	108
7.2.14.Blender	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΒΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΑΡΧΕΙΩΝ CAD ΣΕ ΑΡΧΕΙΑ STL	111
8.2.Προγράμματα	112
8.2.1.Autodesk Inventor.....	112
8.2.2.Catia.....	115
8.2.3.Google Sketchup.....	116
8.2.4.IronCAD.....	116
8.2.5.McNeel Rhino	117
8.2.6.Pro / Engineer	118
8.2.7.Solid Edge	119
8.2.8.SolidWorks.....	120
8.2.9.UGS NX.....	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΤΩΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ	122
9.1.Slic3r.....	122
9.2.Pronterface	125
9.3.Makerware (Makerbot).....	126
9.4.GCodeSimulator (3D Print Simulator)	131
9.5.PuzzleCut OpenSCAD.....	133
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ 4D ΕΚΤΥΠΩΣΗ.....	134
ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	136
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	138
Ξένη βιβλιογραφία	138
Ελληνική βιβλιογραφία	140

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1. 1. Charles W. (Chuck) Hull.....	11
Εικόνα 1.2. Ο πρώτος 3D εκτυπωτής	11
Εικόνα 1. 3. Παράδειγμα εκτυπωτή Micro 3D	12
Εικόνα 1. 4. Ο εκτυπωτής ZEUS	13
Εικόνα 1. 5. Από το σκανάρισμα στην εκτύπωση.....	13
Εικόνα 1. 6. Πολύχρωμος εκτυπωτής	13
Εικόνα 1. 7. Γράφημα παγκόσμιας αγοράς εκτυπωτών.....	14
Εικόνα 2. 1. Διάγραμμα χρήσης 3D εκτυπωτών στη βιομηχανία	16
Εικόνα 2.2. Διάγραμμα οικιακής χρήσης 3D εκτυπωτών	17
Εικόνα 3. 1. Πλέον η δημιουργία αντικειμένων γίνεται εύκολη και γρήγορη	24
Εικόνα 3. 2. Οι 3D εκτυπωτές ίσως δεν είναι τόσο εύχρηστοι όσο φαίνονται	25
Εικόνα 3. 3. Αξεσουάρ ενός εκτυπωτή	26
Εικόνα 4. 1. Αντικείμενα από ABS πλαστικό	29
Εικόνα 4. 2. Soft PLA υλικό	29
Εικόνα 4. 3. Διάγραμμα σύγκρισης διαφόρων πλαστικών ως προς την αντοχή σε κρούση.....	30
Εικόνα 4. 4. Διάγραμμα σύγκρισης ως προς την μηχανική αντοχή.....	30
Εικόνα 4. 5. Εκτυπωμένο ρομπότ από πολυπροπυλένιο.....	32
Εικόνα 4. 6. Νήμα PVA.....	32
Εικόνα 4. 7. Παράδειγμα βιο-συμβατού υλικού.....	34
Εικόνα 4. 8. Υλικό από διάφανη ρητίνη με χαρακτηριστική λεπτομέρεια.....	35
Εικόνα 4. 9. Ελαστικό υλικό.....	35
Εικόνα 4. 10. Διαφανές υλικό.....	36
Εικόνα 4. 11. Οικιακά είδη από κεραμικά υλικά.....	37
Εικόνα 4. 12. Διάφορα αντικείμενα εκτυπωμένα από Polywood υλικό.....	38
Εικόνα 4. 13. Στρόβιλος που χρησιμοποιείται στην αεροδιαστημική βιομηχανία.....	40
Εικόνα 4. 14. Διάγραμμα μέτρου κάμψης-παραμόρφωσης τεσσάρων υλικών.....	42
Εικόνα 4. 15. Εξαρτήματα ποδηλάτου από τιτάνιο ακριβώς μετά την εκτύπωσή του και πριν το στάδιο καθαρισμού τους.....	43
Εικόνα 4. 16. Νάρθηκας από fiberglass.....	44
Εικόνα 4. 17. Ο εκτυπωτής Mark One.....	45
Εικόνα 4. 18. Το όχημα Genesis.....	45
Εικόνα 4. 19. Διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης για Carbon fiber PLA.....	46
Εικόνα 4. 20. Μπρελόκ εκτυπωμένο από υλικό Aluimide.....	48
Εικόνα 4. 21. Εκτυπωμένες μεμβράνες από γραφένιο και νανοσωματίδια που φτάνουν σε πάχος 50-150μm, ιδιαίτερα ευέλικτες, που είναι εξαιρετικά αγωγίμες 2-3 ohm αντίσταση σε μια περιοχή 2".....	49
Εικόνα 4. 22. Φιγούρα από αμμόλιθο(sandstone).....	50
Εικόνα 5.1. Διάφορες μηχανολογικές κατασκευές που προέρχονται από 3D εκτυπωτές.....	52
Εικόνα 5.2. Το αυτοκίνητο Strati.....	53
Εικόνα 5.3. Ο Ποσειδώνας, ο Απόλλωνας και η Αρτεμις από την ανατολική ζωφόρο του Παρθενώνα με τα επιχρυσωμένα χάλκινα σύμβολά τους.....	53
Εικόνα 5.4. Μακέτα σπιτιού προς εκτύπωση.....	54
Εικόνα 5.5. Εκτυπωμένο βοηθητικό πόδι.....	55
Εικόνα 5.6. Το μόσχευμα που χορηγήθηκε στην 22χρονη.....	56
Εικόνα 5.7. Πόδι από σιλικόνη «τυπωμένο» από 3D εκτυπωτή για μία τραυματισμένη πάπια.....	56
Εικόνα 5.8. Οδοντοστοιχία από ABS πλαστικό.....	56
Εικόνα 5.9. Φιγούρες παιχνιδιών από τρισδιάστατη εκτύπωση είναι συνήθως από πλαστικό ή καουτσούκ.....	57

Εικόνα 5.10. Κιθάρα κατασκευασμένη από 3D εκτυπωτή.....	58
Εικόνα 5.11. Δαχτυλίδια και κοσμήματα από 3D εκτυπωτή.....	58
Εικόνα 5.12. Η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει εντυπωσιακά αποτελέσματα στο χώρο της μόδας.....	58
Εικόνα 5.13. Pizza ή burger «βγαλμένα» από 3D εκτυπωτή.....	59
Εικόνα 5.14. Ο Markus Kayser και ο 3D εκτυπωτής του στην Αίγυπτο το 2011.....	59
Εικόνα 6.1. Αρχική σφαίρα 10mm CAD.....	62
Εικόνα 6.2. Διασταυρωμένη σφαίρα STL με 0,5mm απόκλιση επιφάνειας.....	62
Εικόνα 6.3. Σφαίρα με 0,3mm απόκλιση επιφάνειας.....	62
Εικόνα 6.4. Σφαίρα με 0,1mm απόκλιση επιφάνειας.....	62
Εικόνα 6.5. Η βηματική των καμπυλών επιφανειών.....	63
Εικόνα 6.6. Τέσσερις περιπτώσεις που τα στηρίγματα κρίνονται απαραίτητα.....	65
Εικόνα 6.7. Βάθος επιρροής και πάχος στρώματος.....	66
Εικόνα 6.8. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της στερεολιθογραφίας από τις SLA μηχανές της 3D Systems Inc.....	67
Εικόνα 6.9. Η διαδικασία της Solid Ground Curing.....	70
Εικόνα 6.10. Η διαδικασία της SLS και η αναπαράσταση της σύντηξης των κόκκων της σκόνης.....	73
Εικόνα 6.11. Τα στάδια του καθαρισμού του αντικειμένου αμέσως μετά την εκτύπωση.....	73
Εικόνα 6.12. Σχηματική αναπαράσταση της LOM τεχνολογίας.....	75
Εικόνα 6.13. Η διαδικασία εξαγωγής του μοντέλου μέσα από τα στερεοποιημένα φύλλα του υλικού.....	75
Εικόνα 6.14. Παράδειγμα κατασκευής μοντέλου από φύλλα χαρτιού.....	76
Εικόνα 6.15. Η διαδικασία της εκτύπωσης χρησιμοποιώντας τεχνολογία FDM.....	77
Εικόνα 6.16. Εκτυπωτής εξώθησης FDM τεχνολογίας.....	77
Εικόνα 6.17. Τρισδιάστατη αναπαράσταση της inkjet τεχνολογίας.....	79
Εικόνα 6.18. Η διαδικασία εκτύπωσης μοντέλων κατά DMLS.....	82
Εικόνα 7.1. Το μενού σχεδίασης του Pro Engineer.....	91
Εικόνα 7.2. Αντικείμενο σχεδιασμένο από το Pro Engineer.....	92
Εικόνα 7.3. Παραδείγματα σχεδίασης σε Inventor.....	93
Εικόνα 7.4. Παραδείγματα σχεδίασης σε AutoCAD.....	94
Εικόνα 7.5. Το μενού σχεδίασης του Maya.....	95
Εικόνα 7.6. Μία άλλη έκδοση του λογισμικού Maya.....	95
Εικόνα 7.7. Παραδείγματα σχεδίασης σε Catia.....	97
Εικόνα 7.8. Το μενού σχεδίασης του EDS.....	98
Εικόνα 7.9. Το μενού σχεδίασης του UGS NX.....	98
Εικόνα 7.10. Παραδείγματα σχεδίασης σε SolidWorks.....	101
Εικόνα 7.11. Παραδείγματα σχεδίασης σε 3D Studio Max.....	103
Εικόνα 7.12. Το μενού σχεδίασης του Rhino 3D.....	104
Εικόνα 7.13. Από τη σχεδίαση του αντικειμένου στον υπολογιστή μέχρι και τη κατασκευή του.....	105
Εικόνα 7.14. Παραδείγματα σχεδίασης στο IronCAD.....	106
Εικόνα 7.15. Παραδείγματα σχεδίασης σε Solid Edge λογισμικό.....	107
Εικόνα 7.16. Το μενού σχεδίασης του SketchUp.....	108
Εικόνα 7.17. Μία άλλη όψη από το μενού του λογισμικού SketchUp.....	109
Εικόνα 7.18. Παραδείγματα σχεδίασης στο Blender.....	110
Εικόνα 8.1. Άνοιγμα προγράμματος και εισαγωγή CAD μοντέλου.....	112
Εικόνα 8.2.Είσοδος στο μενού «Αρχείο» και στη συνέχεια επιλογή "Save Copy As".....	112
Εικόνα 8.3. Επιλογή "STL File" από τους Τύπους "drop-down".....	113
Εικόνα 8.4. Κλικ στο κουμπί «Επιλογές» και επιλογή το υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας.....	113
Εικόνα 8.5. Κλικ στο κουμπί «Αποθήκευση».....	114
Εικόνα 8.6. Τέλος το μοντέλο είναι έτοιμο σε STL μορφή.....	114
Εικόνα 9.1. Το μενού του λογισμικού Slic3r.....	122
Εικόνα 9.2. Αντικείμενο με τα στηρίγματα έτοιμα προς αφαίρεση.....	123
Εικόνα 9.3. Οι τελευταίες εντολές πριν την εκτύπωση.....	124

Εικόνα 9.4. Το μενού του λογισμικού <i>Pronterface</i>	125
Εικόνα 9.5. Μία προσομοίωση της πλατφόρμας του εκτυπωτή.....	126
Εικόνα 9.6. Η επιλογή <i>Change View</i>	127
Εικόνα 9.7. Η επιλογή <i>Change Position</i>	127
Εικόνα 9.8. Η επιλογή <i>Change Rotation</i>	128
Εικόνα 9.9. Η επιλογή <i>Change Dimensions</i>	128
Εικόνα 9.10. Επιλογή προσθήκης δευτέρου αρχείου στη πλατφόρμα.....	129
Εικόνα 9.11. Επεξεργασία και των δύο αντικειμένων ταυτόχρονα.....	129
Εικόνα 9.12. Η επιλογή <i>Save</i>	130
Εικόνα 9.13. Τελευταίο βήμα πριν την εκτύπωση.....	130
Εικόνα 9.14. Το μενού εφαρμογής του <i>GCodeSimulator</i>	132
Εικόνα 9.15. Παράδειγμα <i>Simulation</i> κατά τη διαδικασία εκτύπωσης.....	133
Εικόνα 9.16. Το μενού εφαρμογής του λογισμικού <i>PuzzleCut OpensCAD</i>	133
Εικόνα 10.1. Η εξέλιξη των διαστάσεων.....	134
Εικόνα 10.2. Η εφαρμογή της 4D διάστασης.....	135

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 4.1. Σύγκριση <i>PolyMax PLA – ABS</i>	32
Πίνακας 4.2. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	34
Πίνακας 4.3. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	35
Πίνακας 4.4. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	37
Πίνακας 4.5. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	40
Πίνακας 4.6. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	41
Πίνακας 4.7. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	42
Πίνακας 4.8. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	44
Πίνακας 4.9. Πίνακας θερμικών ιδιοτήτων.....	44
Πίνακας 4.10. Πίνακας ιδιοτήτων υλικών.....	47
Πίνακας 4.11. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	48
Πίνακας 4.12. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	48
Πίνακας 4.13. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων.....	49
Πίνακας 4.14. Πίνακας θερμικών ιδιοτήτων.....	49
Πίνακας 6.1. Σύγκριση των μεθόδων.....	80

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα με το οποίο θα ασχοληθεί η εργασία αυτή είναι η νέα τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing). Ακούγοντας αυτόν τον όρο πολλοί ίσως νομίζουν ότι πρόκειται για μια συνηθισμένη εκτύπωση μιας τρισδιάστατης εικόνας σε χαρτί. Στην πραγματικότητα όμως πρόκειται για την εκτύπωση-κατασκευή ολόκληρων αντικειμένων από οποιοδήποτε υλικό (πλαστικό, μεταλλικό κ.α) σε σύντομο χρονικό διάστημα με την βοήθεια των τρισδιάστατων εκτυπωτών των οποίων η μορφή και η λειτουργία τους θυμίζει αυτή των κοινών εκτυπωτών που όλοι έχουμε χρησιμοποιήσει.

Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω υπολογιστή και πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να σχεδιαστεί το αντικείμενο που θέλουμε ή να το «κατεβάσουμε» έτοιμο από το διαδίκτυο και στη συνέχεια να το στείλουμε στον εκτυπωτή για να μας το κατασκευάσει. Ο δεύτερος τρόπος είναι να σαρωθεί ένα υπάρχον αντικείμενο μέσω ενός scanner, να δημιουργηθεί το σχέδιο στον υπολογιστή και να το στείλουμε στον εκτυπωτή για εκτύπωση. Πρόκειται δηλαδή για την εξέλιξη των εργαλειομηχανών σε μια σύγχρονη τεχνολογία ταχείας κατασκευής αντικειμένων.

Στη συνέχεια γίνεται αναδρομή στην ιστορία της τρισδιάστατης εκτύπωσης δηλαδή πως ξεκίνησε αυτή η ιδέα μέχρι και την σημερινή εξέλιξη της. Θα αναλυθεί λεπτομερώς ο τρόπος λειτουργίας των εκτυπωτών, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της διαδικασίας αλλά και οι επιρροές στην παγκόσμια οικονομία και το κοινωνικό σύνολο. Σημαντικός παράγοντας στην τρισδιάστατη εκτύπωση είναι τα υλικά πολλών ειδών που χρησιμοποιούνται και οι τομείς που βρίσκουν εφαρμογή. Σημαντικό τμήμα στην εργασία θα έχουν οι τεχνικές που διαθέτει η διαδικασία αυτή οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον τρόπο λειτουργίας και τα είδη των εκτυπωτών. Τέλος, θα παρουσιαστούν τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση των αντικειμένων καθώς και αυτά που αφορούν τους τρισδιάστατους εκτυπωτές.

ABSTRACT

This paper addresses the subject of the new technology of 3D printing. When hearing this term, many may think that it refers to an ordinary printing on paper of a 3D image. In reality though, it is about the printing-manufacturing of entire objects from any material (plastic, metal, etc) in a short time by means of three-dimensional printers, whose form and function is reminiscent of the regular printers we all use. This process is performed through a computer and is carried out in two ways. The first is designing the required object or "downloading" it, already finished, from the internet and sending it to the printer to build it. The second way consists of scanning an existing object through a scanner to create a computer model, which is sent to the printer for printing. This is therefore the evolution of machine tools in the context of the modern technology of rapid object manufacturing.

Next, the paper will cover the history of three-dimensional printing, from the conception of the idea to the current developments. It will explain in detail how the printers operate, the advantages and disadvantages of the process and the influence on society and the world economy. An important factor in the three-dimensional printing are the various materials used and the areas that they can be applied. A substantial part of this paper will address the available techniques of the printing process which differ according to their function and the type of printer used. Finally, it presents the available software used for designing the objects, as well as the related to three-dimensional printers one.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η μετατροπή μιας ιδέας σε σχέδιο και κατόπιν σε αντικείμενο, είναι μια σύνθετη διαδικασία με λιγότερα ή περισσότερα ενδιάμεσα στάδια που αποτελούσε και αποτελεί αυτό που ονομάζουμε γενικά «παραγωγή». Για τη μετάβαση από τον ιδεατό κόσμο του σχεδίου στον φυσικό κόσμο των αντικειμένων, απαιτείτο (παλαιότερα) η μεσολάβηση ενός αριθμού εργατών και τεχνιτών, οι οποίοι χρησιμοποιώντας τη δύναμη, τη πείρα, τις δεξιότητες και τα εργαλεία τους, έδιναν μορφή και υλική υπόσταση στο σχέδιο.

Εδώ και τρεις δεκαετίες περίπου τη μεσολάβηση αυτή σε πολλούς τομείς της παραγωγής, αναλαμβάνουν ολοένα και περισσότερο αυτοματοποιημένα συστήματα που βασίζονται στη ρομποτική. Σήμερα η ανάπτυξη νέων μηχανών και τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης ανοίγει το δρόμο στο επόμενο στάδιο της εξέλιξης της αυτοματοποίησης, το οποίο περιγράφεται ως «άμεση ταχεία παραγωγή» (direct/rapid manufacturing) και συνίσταται στην απευθείας μετάβαση από τον κόσμο του ψηφιακού πλέον σχεδίου ή μοντέλου στον κόσμο των φυσικών αντικειμένων.

Οι μηχανές τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιούν τα δεδομένα ψηφιακών αρχείων τα οποία έχουν σχεδιαστεί είτε από κάποιον μηχανικό είτε έχουν προκύψει από τη σάρωση ενός φυσικού αντικείμενου, για να κατασκευάσουν, “τυπώνοντας” σε τρεις διαστάσεις (X, Y, Z), το φυσικό αντικείμενο. Η χρήση του όρου τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) χρησιμοποιείται για την περιγραφή των εν λόγω μηχανών και κατασκευαστικών μεθόδων, αντανακλά τις ιδιαίτερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται, οι οποίες θυμίζουν σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο λειτουργίας των σημερινών εκτυπωτών laser ή ink-jet.

Όπως αναφέρεται, η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing ή “Additive manufacturing”) δεν είναι πρόσφατη ανακάλυψη. Ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '70 έχουν εφευρεθεί διάφορες τεχνικές τρισδιάστατης ψηφιακής εκτύπωσης αντικειμένων, με την διαφορά ότι μέχρι σχετικά πρόσφατα οι μηχανές που απαιτούνταν ήταν ιδιαίτερα ογκώδης, πολυέξοδες και περιορισμένων δυνατοτήτων.

Βασική αρχή όλων των διαφορετικών αυτών μεθόδων είναι η «ανάγνωση» ενός ψηφιακού τρισδιάστατου μοντέλου σχεδιασμένο στον υπολογιστή και η ανάλυσή του σε χιλιάδες επιμέρους τμήματα από αυτόν ώστε ο ειδικός «τρειςδιάστατος εκτυπωτής» να μπορεί να το αναπαράγει πλήρως, εκχέοντας πολλές επάλληλες στρώσεις υλικού της επιλογής μας (από συνθετικά πολυμερή μέχρι μεταλλικά κράματα, κεραμικά κονιάματα και ρευστές ρητίνες). Η κύρια διαφορά από τις συμβατικές μεθόδους κατασκευής βρίσκεται στο ότι παραδοσιακά θα πρέπει κανείς να σμιλέψει, να τροχίσει, να λιμάρει την πρώτη ύλη ώστε να της δώσει μορφή, να αφαιρέσει δηλαδή από την διαθέσιμη μάζα.

Από τα τέλη της δεκαετίας του '80, η ψηφιακή εκτύπωση τρισδιάστατων μοντέλων έφερε την επανάσταση στην παραγωγή πολύπλοκων “πρωτότυπων” και μακετών μέσα σε λίγες ώρες, αντικαθιστώντας τις χρονοβόρες και πολυέξοδες συμβατικές μεθόδους, μια τεχνική που έγινε γνωστή με τον όρο “rapid prototyping”. Η τεχνική αυτή όμως κυρίως λόγω των προβλημάτων φινιρίσματος που αντιμετώπιζε περιοριζόταν συνήθως στο στάδιο της σχεδιαστικής διερεύνησης για ακαδημαϊκούς σκοπούς ή πριν το τελικό αποτέλεσμα οδηγηθεί στην παραγωγή.

Σήμερα, οι τεχνολογικές εξελίξεις στο πεδίο αυτό δίνουν την δυνατότητα της ταχείας παραγωγής (rapid manufacturing), περνώντας έτσι από την ιδέα στο στάδιο της μαζικής

παραγωγής, αλλά και ακόμη πιο πέρα μια που οι 3D printers οικιακής χρήσης είναι γεγονός, αφού η παραγωγή ενός αντικειμένου μία και μοναδική φορά είναι πλέον απολύτως δυνατή οικονομικά, καθώς και το κόστος κατασκευής είναι ακριβώς το ίδιο κάθε φορά που εκτυπώνεται κάτι, σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα τεχνικές που απαιτούσαν την παραγωγή μεγάλου αριθμού τεμαχίων προκειμένου να πέφτει κατά μέσο όρο το κόστος παραγωγής.

Ο πρώτος 3D εκτυπωτής σχεδιάστηκε από τον Charles W. (Chuck) Hull το 1984, χρησιμοποιώντας τη τεχνική της στερεολιθογραφίας (stereolithography), της εταιρείας 3D Systems, την πρώτη εταιρεία που ασχολήθηκε με την τρισδιάστατη εκτύπωση, της οποίας και είναι ιδρυτής το 1986. (Παπαθανάσης, 2005)



Εικόνα 1.1. Charles W. (Chuck) Hull



Εικόνα 1.2. Ο πρώτος 3D εκτυπωτής

Ο όρος “3D printing” είναι ένας νεολογισμός που χρησιμοποίησε για πρώτη φορά ο καθηγητής του MIT Ely Sachs το 1995, ο οποίος με την βοήθεια των Jim Bredt και Tim Anderson τροποποίησε έναν εκτυπωτή ink-jet με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκχέει ένα ειδικό συνθετικό υλικό σε ένα στρώμα κονιάματος αντί σε χαρτί. Η τεχνική αυτή διαμορφώθηκε και οδήγησε στην δημιουργία διαφόρων εταιρειών που ειδικεύονται στον τομέα του 3D printing όπως η 3D Systems, Z Corporation, Stratasys, καθώς και στην Ελλάδα όπως η Solid 3D και η Anima.

Η πρώτη μορφή τρισδιάστατης εκτύπωσης, γνωστή ως στερεολιθογραφία, εμφανίστηκε στην αγορά το 1994. Με την τεχνική αυτή κατασκευάζονται τρισδιάστατα αντικείμενα από υγρά φωτοευαίσθητα πολυμερή, τα οποία στερεοποιούνται όταν εκτεθούν σε υπεριώδη ακτινοβολία. Έκτοτε, όμως, χάρη στις νέες τεχνολογικές εξελίξεις, η τεχνολογία έχει απογειωθεί, αν και προς το παρόν δεν έχει γίνει γνωστή στο ευρύ κοινό. Αλλά είναι θέμα χρόνου αυτό να συμβεί.

Εάν η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης αφηθεί να αναπτυχθεί ελεύθερα, θα πρόκειται για μια πραγματική επανάσταση όσον αφορά οτιδήποτε έχει να κάνει με τα υλικά

αγαθά. Φανταστείτε πως θα ήταν αν σε κάθε σπίτι βρισκόταν ένα τέτοιο μηχάνημα και μπορούσε κανείς να «αντιγράψει» ή να κατασκευάσει οτιδήποτε ήθελε με ελάχιστο κόστος, αρκεί να είχε το ψηφιακό μοντέλο του ή το ίδιο το αντικείμενο. Φυσικά μια τέτοια εξέλιξη θα άφηνε πίσω της πολλούς ανέργους και αρκετοί παραγωγοί αγαθών θα είχαν πρόβλημα, αν μπορούσαμε να φτιάξουμε μόνοι μας κάτι, αντί να το αγοράσουμε. Κοιτώντας πιθανές βιώσιμες προτάσεις, θα μπορούσαμε πλέον να «αγοράζουμε» online το CAD μοντέλο μιας συσκευής ή προϊόντος για να το εκτυπώνουμε μόνοι μας στο σπίτι, αντί να αγοράζουμε την ίδια τη συσκευή από το κατάστημα. Οι παράμετροι που θα πρέπει να εξεταστούν είναι πάρα πολλοί και οι κοινωνικο-οικονομικές επιδράσεις θα ήταν τεράστιες και φυσικά, εγείρονται ήδη πολλά προβλήματα ηθικής υπόστασης, αφού οι ελευθερίες που προσφέρει η τεχνολογία του 3D printing μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τη βούληση του κάθε ανθρώπου. Δεν απέχουμε όμως πολλά χρόνια από αυτές τις εξελίξεις, αν πιστέψουμε τους ειδικούς.

Είναι παράλα αυτά σίγουρα πολύ νωρίς για να προβλέψει κανείς τις επιδράσεις που θα έχει μακροπρόθεσμα αυτή η καινοτομία στην ζωή μας. Ήδη μέσα στο 2012, το DIY (Do It Yourself) 3D printing, δηλαδή όταν η διαδικασία της εκτύπωσης πραγματοποιείται από εμάς τους ίδιους, κέρδισε χιλιάδες οπαδούς με εφαρμογές που περιορίζονται σε κυρίως διακοσμητικής φύσης αντικείμενα και έχει ακόμα αρκετό δρόμο μέχρι να φτάσει να χρησιμοποιείται ευρύτερα για χρηστικά, καθημερινά αντικείμενα όπως έπιπλα και αξεσουάρ αλλά και δομικά στοιχεία ή και ολόκληρα κτίρια. (Σκιάννης, 2013)

Ένας από τους πρώτους 3D εκτυπωτές που προορίζεται για καταναλωτές και οικιακή χρήση κάνει την εμφάνισή του στην αγορά, είναι οικονομικός, εύκολος στην χρήση και κατάλληλος για αρχάριους και ειδικούς, αποτελεί ο Micro 3D της εταιρείας Micro 3D LLC.



Εικόνα 1. 3. Παράδειγμα εκτυπωτή Micro 3D

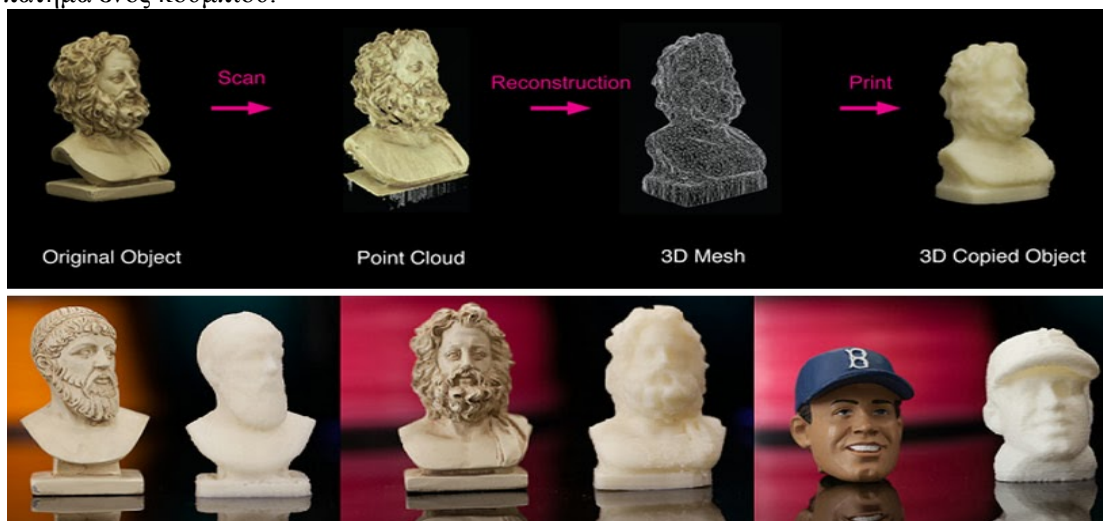
«Κλειδί» είναι η Micro Motion Technology : ένα σύστημα αισθητήρων και αλληλεπίδρασης που είναι ενσωματωμένο στην «κεφαλή», το οποίο παρέχει δυνατότητες αυτορύθμισης στη συσκευή. Παράλληλα, το λογισμικό είναι σχεδιασμένο για να παραπέμπει σε παιχνίδι και είναι πλήρως συμβατό με οθόνες αφής. Όσον αφορά στις διαστάσεις του, πρόκειται για έναν κύβο ακμής 185 χιλιοστών και βάρους ενός κιλού. Είναι συμβατός με Windows, Mac και Linux και συνδέεται μέσω USB. Υποστηρίζει διάφορα υλικά (ABS, PLA, νάιλον κ.α.).

Μάλιστα, πρόσφατα κατασκευάστηκε ο πρώτος 3D εκτυπωτής/σαρωτής/αντιγραφέας/fax από την AIO Robotics , ονόματι ZEUS.



Εικόνα 1. 4. Ο εκτυπωτής ZEUS

Επιτρέπει στους χρήστες του να εκτυπώσουν 3D αντικείμενα, να σαρώσουν, να αντιγράψουν και να στείλουν fax στις τρεις διαστάσεις σε άλλους ίδιους εκτυπωτές και όλα αυτά με το πάτημα ενός κουμπιού.



Εικόνα 1. 5. Από το σκανάρισμα στην εκτύπωση

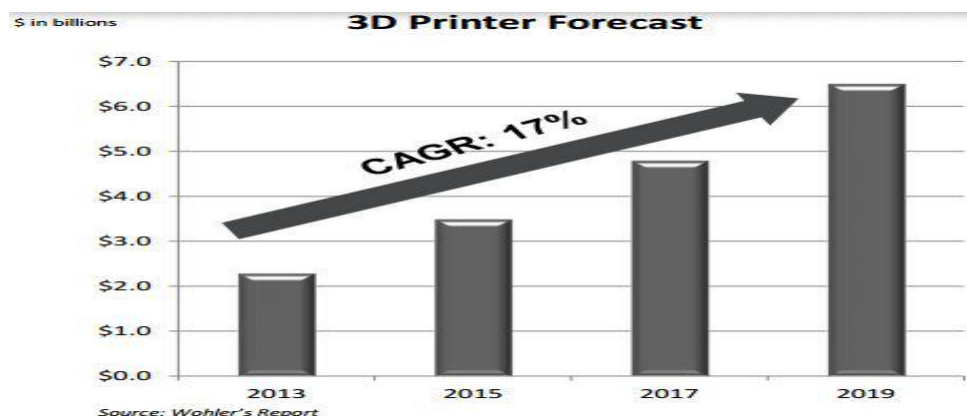
Στις 28 Ιανουαρίου 2014 παρουσιάστηκε από την Stratasys ο πρώτος πολύχρωμος 3D εκτυπωτής (Objet500 Connex3), ο οποίος έχει τη δυνατότητα να εκτυπώνει ταυτόχρονα πολλά αντικείμενα μαζί. Είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τις εταιρείες που θέλουν να δημιουργήσουν ένα πρωτότυπο μοντέλο πριν το βγάλουν σε μαζική παραγωγή. Η τιμή του κυμαίνεται περίπου στα 300.000 \$.



Εικόνα 1. 6. Πολύχρωμος εκτυπωτής

Σύμφωνα με την Wohlers Associates, μια εταιρεία συμβούλων, η αγορά των 3D printers και υπηρεσιών τους ήταν αξίας 2,2 δις δολάρια το 2012 αυξημένη κατά 29% από το 2011. Με

βάση τις εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Πνευματικής Ιδιοκτησίας (WIPO), η παγκόσμια αγορά τρισδιάστατων εκτυπωτών αναμένεται να φθάσει τα 3,7 δισεκατομμύρια δολάρια(2,7 δις ευρώ) το 2015 και να έχει σχεδόν διπλασιαστεί στα 6,5 δισεκατομμύρια δολάρια(4,7 δις ευρώ) το 2019. (Selsick, 2013)



Εικόνα 1. 7. Γράφημα παγκόσμιας αγοράς εκτυπωτών

Όπως και να έχει πάντως, η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς σε πολλές χώρες του κόσμου. Οι ΗΠΑ θεωρούνται επικεφαλής στον τομέα, αλλά η Γερμανία, η Ιαπωνία και το Ισραήλ έχουν πραγματοποιήσει αξιοσημείωτη πρόοδο, ενώ αναμένεται ότι η τεχνολογία θα βρει σημαντική ανταπόκριση και σε λιγότερο ανεπτυγμένες τεχνολογικά χώρες. Μια από τις πλέον ενδιαφέρουσες εξελίξεις θα είναι η ανάπτυξη της λεγόμενης Παραγωγής από Απόσταση On-Demand (Distance Manufacturing On-Demand), η οποία συνδυάζει τεχνικές Ταχείας Παραγωγής με το Internet και θα επιτρέπει τόσο την αποστολή ψηφιακών σχεδίων προς τις κατασκευάστριες εταιρείες για άμεση παραγωγή, όσο και την προμήθεια/αγορά έτοιμων ψηφιακών σχεδίων για παραγωγή από τους ενδιαφερόμενους. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η εμφάνιση των τεχνολογιών ταχείας πρωτοτυποποίησης έδωσε ώθηση και στον παραδοσιακό τομέα κατασκευής προϊόντων με τη χρήση εργαλειομηχανών. Οι πρόοδοι στο λογισμικό αριθμητικού ελέγχου (numerical control) αλλά και στις δυνατότητες των μηχανημάτων αυτών, οδήγησαν στην αύξηση της ταχύτητας και της ακρίβειας των κατεργασιών. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των CNC εργαλειομηχανών ως προς τους 3D εκτυπωτές. Ξεκινώντας με τα μειονεκτήματα έχουμε ότι α) η κατεργασία μέσω CNC μηχανημάτων προκαλεί πολλά απόβλητα(γρέζια) και χωρίς κάποιο περιορισμό αυτών, β) Τα μηχανήματα CNC είναι πιο βαριά, ογκώδη και είναι πολύ δύσκολο να μετακινηθούν, γ) Το λογισμικό που χρησιμοποιείται είναι πιο περίπλοκο και χρειάζεται περισσότερες εντολές για να πραγματοποιήσει την κατεργασία. Το βασικό πλεονέκτημα των CNC ως προς τους 3D εκτυπωτές είναι ότι η τεχνολογία των εργαλειομηχανών είναι πιο ώριμη. Οι 3D εκτυπωτές χρειάζονται πειραματισμούς και πολλές φορές προσπάθεια για να επιτευχθεί μια καλή εκτύπωση. Αναμφίβολα, οι εργαλειομηχανές και τα κέντρα κατεργασίας θα εξακολουθήσουν και στο μέλλον να αποτελούν βασική συνιστώσα της παραγωγής, κυρίως όταν πρόκειται για κατεργασία μετάλλων, και είναι ασφαλέστερο να υποθεθεί ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση μάλλον θα συμπληρώσει παρά θα υποκαταστήσει τις μεθόδους αυτές. (Owad, 2014 και Παπαθανάσης, 2005)

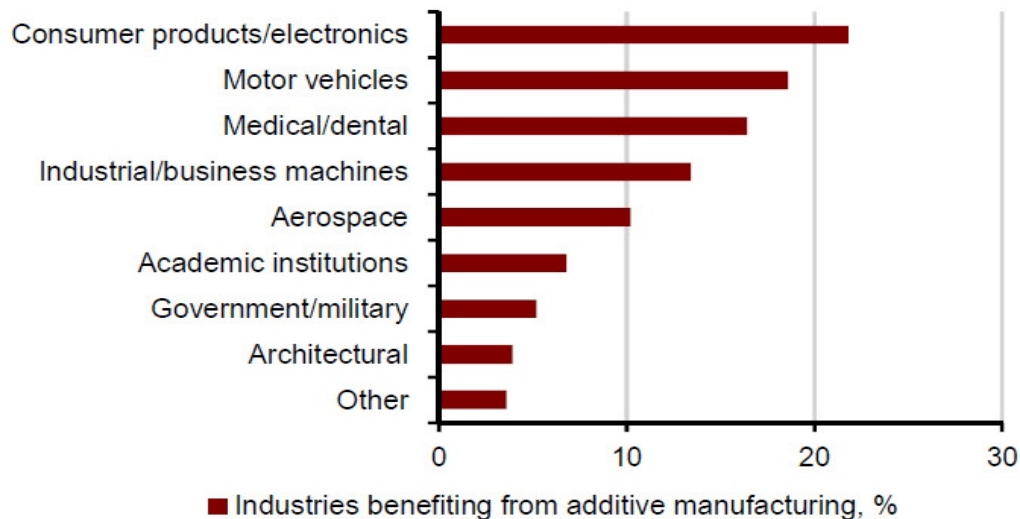
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ

2.1.Γενικές πληροφορίες

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται φυσικά τρισδιάστατα αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού ή αλλιώς κατασκευή με εναπόθεση υλικού (Additive Manufacturing). Μετατρέπει τρισδιάστατα μοντέλα σε πραγματικά, απτά αντικείμενα . Ένα αντικείμενο χτίζεται στην κυριολεξία από το μηδέν, σε μικροσκοπικά επάλληλα στρώματα ακολουθώντας μια διαδικασία που θυμίζει τους εκτυπωτές γραφείου, γι' αυτό και έχει γίνει γνωστή ως τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing). Στη τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά , πολυμερή κ.α. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση και επιτρέπουν την δημιουργία υψηλής ακρίβειας τρισδιάστατων μοντέλων . Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτοτύπων από σχεδιαστές, μηχανικούς και ομάδες ανάπτυξης νέων προϊόντων, έχουν τη δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής. Σήμερα δεν νοείται σοβαρή έρευνα και ανάπτυξη R&D (Research & Development) ενός προϊόντος χωρίς την βοήθεια ενός 3D Printer είτε εντός της εταιρίας είτε ως παροχή υπηρεσίας από κάποιο εξωτερικό εργαστήριο.

Η λειτουργία τους στηρίζεται στη θερμότητα που αναπτύσσεται σε ένα ειδικό υλικό, το οποίο αφού πάρει τη μορφή που του δίνει ο χρήστης, στερεοποιείται και δημιουργείται η μακέτα του αντικειμένου. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, λειτουργούν με την ίδια λογική που λειτουργούν οι σημερινοί συνηθισμένοι εκτυπωτές. Μόνο που στη θέση του μελανιού χρησιμοποιείται άλλο υλικό, όπως μέταλλο σε σκόνη ή πλαστική ίνα. Στην αρχή φτιάχνεται ένα λεπτό στρώμα, μετά άλλο ένα λεπτό στρώμα από πάνω του, μετά άλλο ένα, μέχρι που προκύπτει ένα πραγματικά τρισδιάστατο αντικείμενο.

Η 3D εκτύπωση θεωρείται διαφορετική από τις παραδοσιακές τεχνικές κατεργασίας, οι οποίες ως επί το πλείστον βασίζονται στην αφαίρεση ύλης, με μεθόδους όπως η κοπή ή η διάτρηση (αφαιρετικές διεργασίες). Ένας εκτυπωτής υλικών εκτελεί συνήθως διεργασίες 3D εκτύπωσης χρησιμοποιώντας την ψηφιακή τεχνολογία. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται τόσο για την προτυποποίηση όσο και για την κατανομή της παραγωγής σε κοσμήματα, υποδήματα, βιομηχανικό σχεδιασμό, αρχιτεκτονική, μηχανική και κατασκευή (AEC), αυτοκινητοβιομηχανία, αεροδιαστημική, οδοντιατρικές και ιατρικές βιομηχανίες, εκπαίδευση, γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, έργα πολιτικών μηχανικών και σε πολλούς άλλους τομείς.



Source: Wohlers Report 2013

Εικόνα 2. 1. Διάγραμμα χρήσης 3D εκτυπωτών στη βιομηχανία

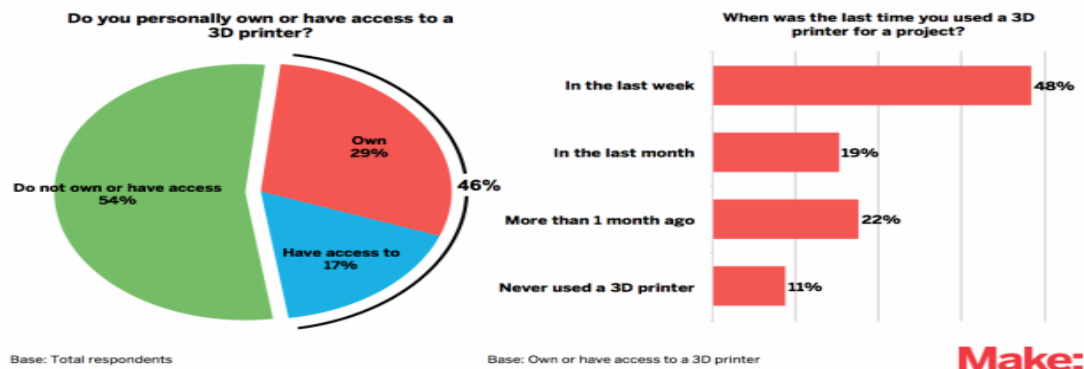
Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει τη χρήση και το όφελος των βιομηχανιών από τη χρήση των 3D εκτυπωτών. Παρατηρείται ότι τον κύριο λόγο σε ποσοστό περίπου 22% έχει ο τομέας καταναλωτικών/ηλεκτρονικών προϊόντων και οι τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι επίσης φανατικοί χρήστες με ποσοστό περίπου 18% , ενώ το ιατρικό / οδοντιατρικό επάγγελμα έχει επιπλέον καθιερωθεί ως ένας ισχυρός τομέας στην 3D εκτύπωση κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. (Durden, 2013)

Μέχρι πρόσφατα οι 3D εκτυπωτές ήταν απαγορευτικά ακριβοί και ήταν «κρυμμένοι» πίσω από τις πόρτες των εργοστασίων και των εργαστηρίων. Χάρη στις καινοτόμες προσπάθειες των κατασκευαστών και στο κίνημα των ανοικτών λογισμικών , η τιμή των μηχανημάτων έχει φτάσει σε προσιτό επίπεδο για τους καταναλωτές. Η κοινωνία των σχεδιαστών, κατασκευαστών, καλλιτεχνών έχουν «αγκαλιάσει» την τεχνολογία αυτή και την μεταφέρουν σιγά σιγά σε μια καινούργια κατεύθυνση. Μπορούν όμως οι 3D εκτυπωτές να αποτελούν στα σπίτια των καταναλωτών ένα κοινό αντικείμενων όπως ένα DVD player ή έναν υπολογιστή; Προβληματικά, ελλιπής λογισμικά και η διαπίστευση αυτών αποτελούσαν τις αδυναμίες για κάτι τέτοιο μέχρι σήμερα αλλά ήδη έχουν γίνει προσπάθειες βελτίωσης τους. Έτσι θα ανοιχτούν νέοι δρόμοι για ανθρώπους οι οποίοι είναι δημιουργικοί και γεμάτοι φαντασία για πολλά και φιλόδοξα πράγματα.

Παρακάτω παρατείνεται μια έρευνα που έγινε τον Νοέμβριο του 2013 στους αναγνώστες του επιστημονικού περιοδικού «Make» με θέμα την πρόσβαση και την χρήση των 3D εκτυπωτών.

3D Printer Access

- All together, close to half (46%) own or have access to a 3D printer.
- Among those with access, nearly half (48%) used a 3D printer in the last week.



Εικόνα 2.2. Διάγραμμα οικιακής χρήσης 3D εκτυπωτών

Παρατηρείται ότι το 46% των ερωτηθέντων έχει δικό του εκτυπωτή ή έχει κάποια πρόσβαση σε εκτυπωτή. Το 48% χρησιμοποίησε έναν 3D εκτυπωτή την τελευταία εβδομάδα. (Denison, 2013)

Ήδη διάφορες εταιρίες έχουν ξεκινήσει την παραγωγή οικονομικών εκτυπωτών για προσωπική χρήση με την υποστήριξη open source(ανοιχτού λογισμικού) προγραμμάτων τρισδιάστατων μοντέλων. Η επιλογή ενός εκτυπωτή στηρίζεται αποκλειστικά στις απαιτήσεις του πελάτη. Σε γενικές γραμμές ένας 3D printer μπορεί να είναι κατηγορίας hobbyist, office, professional ή ακόμη και production.

Τα εκτυπωμένα πρωτότυπα αρχικά προσφέρουν μια εντυπωσιακή παρουσίαση είτε είναι ένα νέο καταναλωτικό προϊόν ή μια αρχιτεκτονική μακέτα. Ακόμα και η κατανόηση πολύπλοκων εννοιών γίνεται ταχύτερη και ευκολότερη. Είναι ένα πραγματικό εργαλείο για την προώθηση του σχεδίου στον πελάτη και την έρευνα του αντίκτυπου που έχει η παρουσίαση αυτού, σε ένα ευρύ κοινό.

Τα οφέλη όμως από την χρήση ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή 3D Printer είναι πολύ πιο σημαντικά και πολλαπλά για μια επιχείρηση. Η συνεχής βελτίωση και έλεγχος του μοντέλου πριν κατασκευαστεί το καλούπι σημαίνει ότι υπάρχουν λιγότερα σφάλματα των οποίων η επιδιόρθωσή τους θα ήταν δαπανηρή και χρονοβόρα.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές (3D Printers) δεν χρησιμοποιούνται όμως μόνο για την ανάπτυξη προϊόντων, έχουν και έναν πιο παραγωγικό χαρακτήρα που οι περισσότεροι δεν γνωρίζουν. Τα μοντέλα που εκτυπώνονται από έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για την κατασκευή καλουπιών για μια μικρή παραγωγή προϊόντων και εργαλείων.

Η κεντρική αλλαγή που θα φέρει τα πάνω κάτω τόσο στην παραγωγή όσο και στην κατανάλωση θα είναι πλέον η δυνατότητα της δημιουργίας προϊόντων στο σημείο που επιθυμεί ο καταναλωτής και με τις προδιαγραφές που θέλει να προσδώσει στο αντικείμενο και όχι με εκείνες που επιβάλλει η εταιρεία κατασκευής. Έτσι, πολλά προϊόντα στο μέλλον δεν θα παράγονται σε βιομηχανική, μαζική κλίμακα αλλά σε πολύ πιο περιορισμένους αριθμούς. Αυτό θα περιορίσει την σπατάλη των πρώτων υλών και θα βοηθήσει στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης. Οι ωφέλειες τόσο για το περιβάλλον όσο και

για την οικονομία ήδη διαφαίνονται. Επιπλέον, αναμένεται μια έκρηξη δημιουργικότητας και φαντασίας, καθώς η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει να αποφευχθεί η απλή αντιγραφή αυτού που ήδη υπάρχει ως προϊόν. Η τεχνολογία 3D εκτύπωσης προσφέρει δυνατότητες που δεν προσφέρει η διαθέσιμη βιομηχανία.

Η ακρίβεια των κατασκευών αυτών ανέρχεται σε κλίμακα μικρομέτρων (μm), δηλαδή κλασμάτων του χιλιοστού. Χάρης σε αυτή μπορούν να αποτυπωθούν λεπτομέρειες πάνω στα 3D αντίτυπα ενός τέτοιου εκτυπωτή. Φυσικά τα αντικείμενα μπορούν να πάρουν όποιο χρώμα ή χρώματα θέλουμε, αφού λαμβάνουν τις πληροφορίες που χρειάζονται μέσω υπολογιστή. Το μόνο που απαιτείται είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου που θέλουμε με τη βοήθεια CAD software, έπειτα μπορούμε εμείς να το τροποποιήσουμε όπως θέλουμε, να προσθέσουμε σχέδια, χρώματα, λοιπές λεπτομέρειες, πριν το “στείλουμε” στον εκτυπωτή για να το δημιουργήσει από το μηδέν. Εναλλακτικά, αν θέλουμε να κάνουμε μια πιστή αντιγραφή ενός υπάρχοντος αντικειμένου, υπάρχουν τα 3D scanners. Σαρωτές laser που αναλύουν το αντικείμενο και μεταφέρουν το μοντέλο του στον υπολογιστή, σε τρεις διαστάσεις φυσικά. Ακόμα και κινούμενα μηχανικά μέρη μπορούν να σκαναριστούν και να εκτυπωθούν με ένα 3D scanner και ένα 3D printer. (Σκιάννης, 2013)

Δεδομένο είναι τελικά ότι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές (3D Printers) αποτελούν μια ουσιαστική αναβάθμιση για μια επιχείρηση όχι μόνο οικονομικά, δημιουργικά και παραγωγικά αλλά και ως μοχλός της έρευνας και της ανάπτυξης.

2.2. Η μελλοντική οικονομία των τρισδιάστατων εκτυπωμένων προϊόντων

Νέες τεχνολογίες και επιχειρηματικά μοντέλα ολοένα και βγαίνουν στην επιφάνεια. Αντίθετα, η καινοτομία στην παραγωγή είναι μια αργή και επιφυλακτική διαδικασία. Ο Bruce Kamer είναι ο διευθυντής του εθνικού επιστημονικού προγράμματος, αποτελεί μακροχρόνιος ευαγγελιστής της 3D εκτύπωσης και των εργαλείων κατασκευής προσωπικής κλίμακας. Εξηγεί ότι η παραγωγή χρειάζεται νέες τεχνολογίες για να καινοτομήσει και να έχει λιγότερο ρίσκο σύμφωνα με την άποψη της κοινωνίας του διαδικτύου και των λογισμικών. Σήμερα η βιομηχανία μαζικής παραγωγής είναι η ραχοκοκαλιά της παγκόσμιας οικονομίας. Η απόλυτη κλίμακα της, η πολυπλοκότητα καθιστούν την καινοτομία επικίνδυνη. Οι μεγάλες βιομηχανίες πρέπει να πειραματίζονται πολύ προσεχτικά. Ο πυρήνας ήθους της παραγωγής είναι η ελαχιστοποίηση των γενικών εξόδων, να κρατήσει εντός ορίων τις περιβαλλοντικές και τις εργασιακές ρυθμίσεις και να μεταφέρει αποτελεσματικά τα προϊόντα από το ένα σημείο στο άλλο. Η 3D εκτύπωση μειώνει το ρίσκο και το κόστος της εισαγωγής νέων προϊόντων στην αγορά. Αυτό λοιπόν κινεί μικρούς παραγωγούς να κατασκευάσουν λίγα προϊόντα άμεσα προς τις απαιτήσεις των πελατών και να ανεβάσει την κλίμακα των πωλήσεων. Για παράδειγμα, για να κατασκευαστεί μια μικρή θήκη τηλεφώνων χρειάζεται μια παραδοσιακή μηχανή χύτευσης η οποία απαιτεί μια επένδυση της τάξεως των 10.000 \$, το ελάχιστο για την κατασκευή του καλουπιού. Με τέτοια μεγάλα έξοδα δημιουργείται μια τριβή, φθορά της καινοτομίας και εμποδίζουν μικρές ιδέες να δοκιμαστούν μέχρι να ανακτηθεί και πάλι το αρχικό κόστος. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση πολλές μικρές ιδέες και σκέψεις μπορούν να πραγματοποιηθούν. Έτσι υποτίθεται μικρότερο οικονομικό ρίσκο, εάν θα μπορούσαν να πωλούνται μη δοκιμασμένα προϊόντα σε μικρές ποσότητες και εκτιμηθεί η αντίδραση της αγοράς. Ξεκινώντας να χρησιμοποιούμε μικρά 3D εκτυπωμένα προϊόντα, μία νέα επιχείρηση δεν χρειάζεται να επενδύσει σε μηχανήματα και υποδομές που συνδέονται με το σημερινό περιβάλλον παραγωγής. (Lipson και Kurman, 2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

3.1.Πλεονεκτήματα

Αναφέρονται δέκα αρχές της 3D εκτύπωσης, που θεωρείται, ότι θα βοηθήσουν τους ανθρώπους και τις επιχειρήσεις να εκμεταλλευτούν όλα τα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

1η αρχή: Η πολυπλοκότητα της παραγωγής απλοποιείται και ο ρυθμός της αυξάνεται. Στην παραδοσιακή μέθοδο παραγωγής, όσο πιο πολύπλοκο ήταν ένα αντικείμενο, τόσο πιο πολύ κόστιζε και διαρκούσε π.χ. έως και δύο ή περισσότερες ημέρες έναντι των μερικών ωρών που απαιτεί η 3D εκτύπωση. Στην 3D εκτύπωση, εάν ένα αντικείμενο είναι πολύπλοκο ή πιο απλό, κοστίζει το ίδιο. Κατασκευάζοντας ένα σύνθετο σχήμα, δεν απαιτεί περισσότερο χρόνο, ικανότητες, κόστος από την εκτύπωση ενός απλού αντικειμένου. Η δυνατότητα ελευθερίας κατασκευής πολύπλοκων αντικειμένων θα διαταράξει τις τιμές των μοντέλων και θα αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο εμείς υπολογίζουμε το κόστος των πραγμάτων. Στο σημείο αυτό απλοποίησης της παραγωγής, οι εμπορευματικές σχέσεις γίνονται περιττό εμπόδιο, η ανταλλαγή προϊόντων με βάση την αξία τους παρωχημένη. Γίνεται πιο συμφέρον να διαθέτει κανείς δωρεάν στο διαδίκτυο το προϊόν της πνευματικής εργασίας του, της εταιρείας του, ένα ηλεκτρονικό αρχείο, δηλαδή, μερικά bytes, με αντάλλαγμα την ελεύθερη πρόσβαση στα ηλεκτρονικά αρχεία που παράγουν άλλες ομάδες, κοινότητες ή εταιρείες. Ηλεκτρονικά αρχεία τα οποία μπορεί να μετατραπούν σε υλικά αντικείμενα πολύ απλά και πολύ φθηνά, με το πάτημα ενός κουμπιού.

2η αρχή: Η ποικιλία κατασκευής σχημάτων. Ένας 3D εκτυπωτής μπορεί να φτιάξει πολλά σχήματα κάθε φορά που εκτυπώνει. Οι παραδοσιακές μηχανές είναι λιγότερο ευέλικτες και έχουν περιορισμένο φάσμα σχηματισμών. Η 3D εκτύπωση αφαιρεί το κόστος που συνδέεται με την επανεκπαίδευση των μηχανικών που χειρίζονται τα μηχανήματα ή την παροχή επιπρόσθετου εξοπλισμού στις μηχανές. Απλά χρειάζεται μόνο ένα διαφορετικό ψηφιακό προσχέδιο και μια φρέσκια παρτίδα ακατέργαστων υλικών.

3η αρχή: Δεν απαιτείται συναρμολόγηση. Η μαζική παραγωγή στηρίζεται στην συναρμολόγηση. Όσο περισσότερα τμήματα περιέχει ένα προϊόν, τόσο πιο πολύ χρόνο θα διαρκέσει η διαδικασία του και θα είναι πολύ ακριβή η ολοκλήρωση του. Εκτυπώνοντας μοντέλα επίπεδο με επίπεδο, ένας 3D εκτυπωτής μπορεί να κατασκευάσει ένα αντικείμενο και να συνδέσει τα συμπλεκόμενα τμήματα του στον ίδιο χρόνο χωρίς περαιτέρω συναρμολόγηση. Έτσι μειώνεται το κόστος της εργασίας και της μεταφοράς και οι αλυσίδες εφοδιασμού θα συμπληρωθούν θα επιβαρύνουν λιγότερο το περιβάλλον.

4^η αρχή : Μηδενικός χρόνος οδηγίων. Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής μπορεί να εκτυπώσει απευθείας όταν χρειάζεται. Η χωρητικότητα της επιτόπου παραγωγής μειώνει την ανάγκη των εταιρειών να αποθηκεύουν την καταγραφή των εμπορευμάτων. Οι 3D εκτυπωτές προσφέρουν στις εταιρείες την ειδικότητα να ανταποκρίνονται άμεσα στις ανάγκες των πελατών. Μειώνεται λοιπόν το κόστος της φόρτωσης των αντικειμένων για μεγάλες αποστάσεις όταν τα τρισδιάστατα αγαθά εκτυπώνονται όταν και όπου χρειάζονται. Επίσης με τις φθηνότερες πρώτες ύλες και το λιγότερο εργατικό δυναμικό που χρειάζεται, η 3D εκτύπωση βοηθά τις εταιρείες να αποταμιεύσουν έως και το 70 % του κόστους παραγωγής τους. Έτσι οι επιχειρήσεις γίνονται πιο προοδευτικές και κερδοφόρες.

5^η αρχή : Ικανότητα σχεδιασμού χωρίς όρια. Μέχρι πρότινος μπορούσαν να σχεδιαστούν πεπερασμένα σχήματα. Οι μηχανές κατεργασίας δημιουργούσαν συγκεκριμένα σχέδια και πολύ περιορισμένων δυνατοτήτων. Το 3D printing καταρρίπτει αυτά τα όρια, ανοίγει νέους δρόμους και κατασκευάζει πράγματα τα οποία δεν υπήρχε πιθανότητα να γίνουν μέχρι σήμερα με τα υπάρχοντα μέσα. Οι σχεδιαστές μπορούν να βελτιώσουν άμεσα τα πρωτότυπά τους, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα ενός οργανισμού.

6^η αρχή : Μηδενική ικανότητα παραγωγής. Ένας 3D printer χρειάζεται ένα αρχείο σχεδίου για να ξεκινήσει την διαδικασία. Απαιτεί λοιπόν λιγότερες χειριστικές ικανότητες από τις κοινές μεθόδους παραγωγής. Έτσι η παραγωγή χωρίς ιδιαίτερες δεξιότητες μπορεί να προσφέρει νέα μοντέλα και τρόπους παραγωγής για ανθρώπους σε απομακρυσμένα περιβάλλοντα και σε κρίσιμες συνθήκες.

7^η αρχή: Συμπαγής, φορητή παραγωγή και εύκολη προσβασιμότητα. Οι 3D εκτυπωτές έχουν περισσότερη χωρητικότητα παραγωγής από τις παραδοσιακές μηχανές. Μπορούν να κατασκευάσουν αντικείμενα σε τόσο μέγεθος όσο είναι η επιφάνεια εκτύπωσης τους (print bed). Αυτό καθιστά αυτούς τους εκτυπωτές προσβάσιμους σχεδόν οπουδήποτε, όπως στο σπίτι, σε γραφείο, τις επιχειρήσεις, τα νοσοκομεία και τα σχολεία.

8^η αρχή: Λιγότερα απόβλητα ανά προϊόν. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές αποβάλλουν πολύ λιγότερα απόβλητα και σε ελεγχόμενο περιβάλλον σε σχέση με τις υπόλοιπες μηχανές, όπου ένα μεγάλο ποσοστό ιδιαίτερα των μεταλλικών υλικών μολύνει το έδαφος και τον χώρο εργασίας π.χ. για ορισμένους κατασκευαστές αεροσκαφών το 90% του υλικού αποτελεί σπατάλη. Μερικές φορές το τελικό προϊόν της 3D εκτύπωσης μπορεί να είναι μέχρι 60% ελαφρύτερο από το προϊόν μια εργαλειομηχανής. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να επιτευχθούν μεγάλες εξοικονομήσεις κόστους και μικρότερες επιβαρύνσεις στο περιβάλλον. Έτσι η 3D εκτύπωση αποτελεί την πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο παραγωγής.

9^η αρχή: Μεγάλος αριθμός υλικών. Η μίξη διαφορετικών υλικών για τη κατασκευή ενός προϊόντος αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση, μπορεί κανείς να μίξει δύο ή περισσότερα υλικά και να προσδώσει στο αντικείμενο νέες ιδιότητες και ποικίλες συμπεριφορές. Επίσης μπορεί να εξαλείψει τους περιορισμούς των υλικών λόγω του υψηλού κόστους που απαιτείται για τον συνδυασμό τους ως προς τις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες στις μαζικές μεθόδους παραγωγής. Έτσι πολλές εταιρείες παρέχουν τώρα δεκάδες διαφορετικά υλικά με μοναδικά φινιρίσματα που δημιουργούν την αίσθηση και την εμφάνιση του γυαλιού, κεραμικών ή μεταλλικών υλικών με μια πληθώρα ιδιοτήτων.

10^η αρχή: Ακριβής αντιγραφή μοντέλων. Η δυνατότητα σάρωσης (scanning) μαζί με την 3D εκτύπωση θα μπορεί να σημάνει την σύνδεση ανάμεσα στο φυσικό κόσμο γύρω μας με το ψηφιακό και ιδεατό περιβάλλον. Θα δημιουργούμε ακριβή αντίγραφα φυσικών μοντέλων και σχημάτων και θα μπορούμε να βελτιώσουμε τα πρωτότυπα με την εκτύπωση των εκλιπόντων τμημάτων τους. (Lipson και Kurman, 2013)

3.2.Μειονεκτήματα

Παρόλο τη θετική πλευρά των 3D εκτυπωτών υπάρχει και η αρνητική όψη η οποία τους χαρακτηρίζει δυνητικά επικίνδυνους με κοινωνικές, πολιτικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δεν έχουν ακόμη μελετηθεί εκτενώς. Παρακάτω αναφέρονται βασικά μειονεκτήματα του 3D printing.

1. Ισχυροί καταναλωτές ενέργειας. Κατά την τήξη του πλαστικού με θερμότητα ή λέιζερ, οι 3D εκτυπωτές καταναλώνουν περίπου 50 έως 100 φορές περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από την χύτευση με έγχυση για να κάνει ένα στοιχείο του ίδιου βάρους, σύμφωνα με έρευνα από το Πανεπιστήμιο του Loughborough. Το 2009, η έρευνα, σε ευνοϊκές συνθήκες προς το περιβάλλον, στο βιομηχανικό πρόγραμμα του MIT έδειξε ότι η τεχνολογία σύντηξης μεταλλικής σκόνης χρησιμοποιεί εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια από την παραδοσιακή χύτευση ή μεταλλοτεχνία. Εξαιτίας αυτού, οι 3D εκτυπωτές είναι καλύτεροι για μικρές σειρές παρτίδων. Οι βιομηχανικού μεγέθους 3D εκτυπωτές δεν μπορούν να είναι η απάντηση στην μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με αυτή των μηχανών που λειτουργούν με καύση άνθρακα.
2. Κίνδυνοι και ανθυγιεινές εκπομπές αερίων. Οι 3D εκτυπωτές μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την υγεία όταν χρησιμοποιούνται στο σπίτι, σύμφωνα με τους ερευνητές στο Illinois Institute of Technology. Οι εκπομπές από τους επιτραπέζιους 3D εκτυπωτές είναι παρόμοιες με το κάψιμο ενός τσιγάρου ή το μαγείρεμα με γκάζι ή ηλεκτρική κουζίνα. Η μελέτη του 2013 ήταν η πρώτη για να μετρήσει αυτές τις αέριες εκπομπές σωματιδίων από τους επιτραπέζιους εκτυπωτές 3D. Ενώ θερμαίνοντας το πλαστικό και εκτυπώνοντας μικρά μοντέλα, τα μηχανήματα που χρησιμοποιούν PLA νήμα εκπέμπουν 20 δισεκατομμύρια λεπτά σωματίδια ανά λεπτό, και το ABS εξέπεμψε έως 200 δισεκατομμύρια σωματίδια ανά λεπτό. Η πραγματική επίδραση στην υγεία σύμφωνα με την μελέτη έχει ως αποτέλεσμα τα λεπτά σωματίδια UFP να τοποθετούνται πολύ εύκολα στους πνεύμονες ενώ μπορούν να καταλήξουν και στον εγκέφαλο μέσω του οσφρητικού νεύρου. Λόγω της μεγάλης επιφάνειας την οποία καταλαμβάνουν τα UFP, μπορούν να απορροφήσουν και άλλες βλαβερές ουσίες με αποτέλεσμα με τη μακροχρόνια χρήση 3D εκτυπωτών, να υπάρχει πιθανότητα παρουσίασης άσθματος, καρδιακής ανακοπής, εγκεφαλικού επεισοδίου η ακόμα και το ενδεχόμενο θανάτου. Οι εκτυπωτές FDM τρέχουν κινδύνους ασφάλειας διότι μπορούν να φτάσουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες αλλά και οι εκτυπωτές που βασίζονται σε σκόνη είναι βρώμικοι και παράγουν πολλά απόβλητα. Η μελέτη καταλήγει ότι όποιος χρησιμοποιεί συνεχώς έναν 3D εκτυπωτή, θα πρέπει να φοράει την κατάλληλη ενδυμασία και να είναι σίγουρος ότι ο χώρος που βρίσκεται εξαερίζεται αρκετά καλά.
3. Η εξάρτηση από πλαστικές ύλες. Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά κινήματα στην πρόσφατη ιστορία ήταν να μειωθεί η εξάρτηση από τις πλαστικές ύλες δηλαδή από τις σακούλες των παντοπωλείων, τα μπουκάλια νερού, τα αντικείμενα του σπιτιού που μπορούν να γίνουν από ανακυκλώσιμα υλικά αντ 'αυτού. Οι πιο δημοφιλής και φθηνότεροι 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούν πλαστικό νήμα. Αν και η χρήση πρώτων υλών μειώνει την ποσότητα των αποβλήτων εν γένει, οι μηχανές εξακολουθούν να αφήνουν αχρησιμοποίητα ή υπερβολικό πλαστικό στις επιφάνειες εκτύπωσης. Το PLA είναι βιοαποικοδομήσιμο, αλλά το ABS εξακολουθεί να είναι το πιο συχνό χρησιμοποιούμενο είδος πλαστικού. Εάν η 3D εκτύπωση πρόκειται να χρησιμοποιηθεί

- σε βιομηχανίες, αυτό το προϊόν ή άλλο ανακυκλώσιμο πλαστικό πρέπει να ξαναχρησιμοποιηθεί.
4. Παραβίαση των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας και κίνδυνοι εθνικής ασφάλειας. Με αυτή τη τεχνολογία μπορεί να γίνει κατάχρηση με αποτέλεσμα την άνοδο πολλών ηθικών ανησυχιών. Όπως κάθε επιθυμητό αντικείμενο μπορεί να εκτυπωθεί, ένας ιδιοκτήτης ενός 3D εκτυπωτή μπορεί να εκτυπώσει τα αντικείμενα που προστατεύονται από πνευματικά δικαιώματα. Κόβοντας τη διαθεσιμότητα του 3D σχεδίου του προστατευόμενου έργου μπορεί να βοηθήσει στην προστασία των πνευματικών δικαιωμάτων. Ωστόσο, είναι σχεδόν αδύνατο να αφαιρεθεί η διαθεσιμότητα όλων των υπαρχόντων αρχείων σχεδιασμού στο διαδίκτυο. Επίσης με την αύξηση της ποσότητας των προϊόντων απομίμησης με την 3D εκτύπωση μπορεί να προκληθεί προσβολή της αυθεντικότητας των προϊόντων και της ζήτησης για πολλές μάρκες. Με τη σάρωση και την εκτύπωση π.χ. πιστωτικών καρτών, κλειδιών αυτοκινήτου, καθώς και ένα πλήθος άλλων ιδιωτικών αντικειμένων μπορεί να δημιουργηθεί παραβίαση της ιδιωτικής ιδιοκτησίας. Δεδομένου ότι θα υπάρξουν σημαντικές νομικές και οικονομικές επιπτώσεις στον επιχειρηματικό τομέα και ότι οι 3D εκτυπωτές προσφέρουν τη δυνατότητα να παράγουν ένα ευρύ φάσμα αντικειμένων που δεν μπορούν να ελεγχθούν ακόμη, η νομοθεσία αναφέρει ότι υπάρχουν σίγουρα κίνδυνοι εθνικής ασφάλειας που πρέπει να αναλυθούν στο άμεσο μέλλον. Αυτή η δυνατότητα ψηφιακής πειρατείας μπορεί να συγκριθεί με τον τρόπο που το διαδίκτυο αμφισβήτησε τις βιομηχανίες ταινιών και μουσικής για τα πνευματικά δικαιώματα, εμπορικά σήματα, καθώς και παράνομες λήψεις.
 5. Εκτυπωμένα όπλα. Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα είναι η δυνατότητα εκτύπωσης επικίνδυνων αντικειμένων, όπως πλαστικά ή μεταλλικά πιστόλια, μαχαίρια, ή οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως όπλο. Αυτή η τεχνολογία μετασχηματισμού μπορεί να καταστήσει ευκολότερο για τους εγκληματίες και τους τρομοκράτες να φέρουν όπλα σε δημόσιους χώρους, όπως ένα αεροδρόμιο με ευκολία και χωρίς τη δυνατότητα ανίχνευσης. Έχουν αναπτυχθεί πολλές εταιρείες που προσπαθούν να πουλήσουν αυτά τα όπλα ή τα σχέδια CAD αυτών.
 6. Δυνατότητα εκτύπωσης ναρκωτικών. Η σύνθεση χημικών ενώσεων σε μοριακό επίπεδο, χρησιμοποιώντας ένα 3D εκτυπωτή είναι δυνατή. Ένας ερευνητής στο Πανεπιστήμιο της Γλασκώβης δημιούργησε τον εκτυπωτή 3D "Chemputer" που εκτυπώνει φάρμακα. Θέλει να φέρει την επανάσταση στην φαρμακοβιομηχανία, επιτρέποντας στους ασθενείς να εκτυπώνουν το δικό τους φάρμακο με χημικό σχέδιο που θα παίρνουν από το φαρμακείο. Φυσικά, αυτό είναι ένα πάρα πολύ μακρινό σχέδιο, αλλά μπορεί να επιτρέψει στους χημικούς που χρησιμοποιούν DIY εκτυπωτές να δημιουργήσουν από κοινά απλά φάρμακα έως και ναρκωτικά και άλλες επικίνδυνες ουσίες.
 7. Ασφάλεια των αντικειμένων που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Μπορούμε να εκτυπώσουμε ένα πιρούνι, ένα κουτάλι ή άλλα μαγειρικά σκεύη, αλλά αν χρησιμοποιήσουμε πλαστικό ABS, δεν είναι αρκετά ασφαλές για επαφή με το στόμα μας. Πολλοί 3D εκτυπωτές, έχουν χώρους όπου τα βακτήρια μπορούν εύκολα να αναπτυχθούν αν δεν καθαρίζονται σωστά. Ευτυχώς, έχουν δημιουργηθεί νέες ίνες υλικά(όπως κεραμικά) που είναι ασφαλέστερα, αλλά δεν είναι ευρέως διαθέσιμα ακόμα. Για την μεγαλύτερη ασφάλεια των 3D τυπωμένων τροφίμων και μαγειρικών σκευών, πρέπει να υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος εκτυπωτής για αυτή τη διαδικασία.
 8. Η χειρωνακτική εργασία μειώνεται-κίνδυνος αύξησης της ανεργίας. Κατά την εκτίμησή μας, η νέα τεχνολογία θα εκτοπίσει σε μεγάλο βαθμό την παλιά, καθώς

είναι οικονομικότερη και πιο αποτελεσματική, κυρίως όμως διότι ανταποκρίνεται στην τάση της εποχής για γενίκευση της χρήσης της πληροφορικής, και για αλλαγή του συσχετισμού μεταξύ επιστήμης και χειρονακτικής εργασίας στη διαδικασία παραγωγής. Και πράγματι, το πρώτο και πιο χτυπητό αποτέλεσμα της τρισδιάστατης εκτύπωσης, στο βαθμό που θα γενικευθεί και θα τελειοποιηθεί, είναι ο ακόμη μεγαλύτερος εκτοπισμός της χειρονακτικής εργασίας από την παραγωγή. Μάλιστα, κάποιои εκτιμούν ότι οι χώρες με πολύ φθηνή εργατική δύναμη, όπως η Κίνα, θα χάσουν το ανταγωνιστικό τους πλεονέκτημα. Η ιδέα περί προϊόντος, εργασίας, παραγωγής ενδέχεται να αλλάξει. Συντελείται μια καθοριστική μετατόπιση προς το στάδιο της πνευματικής εργασίας για τη σύλληψη και το σχεδιασμό αγαθών και χάνει τη σημασία του επειδή απλοποιείται, «εκφυλίζεται» στο επίπεδο ενός «κλικ», το στάδιο κατασκευής των αγαθών, της υλοποίησης της ιδέας. Η απλοποίηση αυτή της υλικής παραγωγής σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση στις πρώτες ύλες σημαίνει και μια άνευ προηγουμένου δυνατότητα αφθονίας των αγαθών, με λιγότερη εργασία, με τις ίδιες ή λιγότερες πρώτες ύλες.

Η αγορά χειρονακτικής εργατικής δύναμης τείνει να εκτοπίζεται από την αγορά ιδεών, δηλαδή της πνευματικής εργατικής δύναμης. Χάνουν τη σημασία τους οι μεταφορές αγαθών εφόσον το αγαθό βρίσκεται εκεί που βρίσκεται ο εκτυπωτής του, ενώ κερδίζουν σε σημασία τα δίκτυα και κυρίως το διαδίκτυο, στους τομείς αντίθετα της πρωτογενούς παραγωγής, στη γεωργία και στην εξόρυξη πρώτων υλών, εξακολουθεί με τα μέχρι τώρα δεδομένα να κυριαρχεί η εκμηχανισμένη μεν παραγωγή, αλλά με καθοριστικό ακόμη το ρόλο της χειρονακτικής εργασίας. Με όρους πολιτικής οικονομίας, ο βαθμός αυτοματοποίησης της παραγωγής που συνεπάγεται η τρισδιάστατη εκτύπωση πληγώνει ανεπανόρθωτα το νόμο της αξίας και τη δυνατότητα άντλησης υπεραξίας. Η συμμετοχή ανθρώπινης εργασίας στην παραγωγή αγαθών γίνεται τόσο μικρή, ώστε τα περιθώρια κέρδους συρρικνώνονται.

Η νέα τεχνολογία μπορεί να μην αξιοποιηθεί ή να αξιοποιηθεί μόνο περιθωριακά. Επειδή υπεραξία παράγει μόνο η ανθρώπινη εργασία, δεν αποκλείεται πολυεθνικοί κολοσσοί να κρίνουν ότι τους συμφέρει περισσότερο να παράγουν με απαρχαιωμένες μεθόδους που στηρίζονται στην εκμετάλλευση ανθρώπινης εργασίας, σε εργοστάσια, κάτεργα σε χώρες με φθηνά εργατικά χέρια. Μάλιστα, επειδή θα πρέπει να συναγωνιστούν τις νέες αυτόματες μηχανές, η εκμετάλλευση των εργατών μπορεί να είναι ακόμη πιο έντονη και σε επίπεδο πνευματικής εργασίας. Στην εξόρυξη πρώτων υλών και στη γεωργία η εργασία πιθανόν να υποτιμηθεί ακόμη περισσότερο από ό,τι σήμερα. Ως αποτέλεσμα η ανεργία θα είναι ίσως μία δυσάρεστη συνέπεια της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης. (Lyndsey, 2014 και Μοσχίδης, 2013)

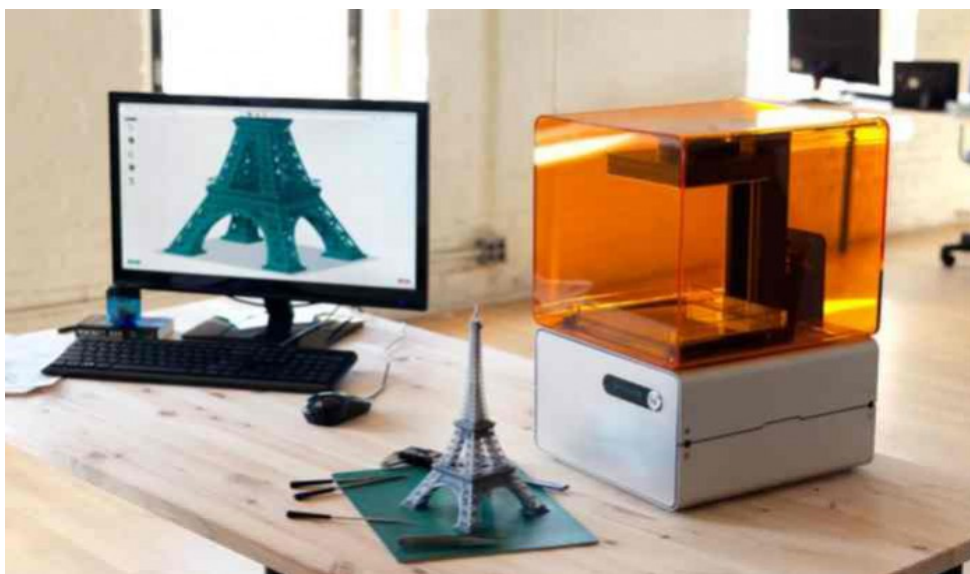
3.3.Χρήση πρωτοτύπων, τα οφέλη τους και από πού προέρχονται

Τα εκτυπωμένα πρωτότυπα αρχικά προσφέρουν μια εντυπωσιακή παρουσίαση είτε είναι ένα νέο καταναλωτικό προϊόν ή μια αρχιτεκτονική μακέτα. Ακόμα και η κατανόηση πολύπλοκων εννοιών γίνεται ταχύτερη και ευκολότερη. Είναι ένα πραγματικό εργαλείο για την προώθηση του σχεδίου στον πελάτη και την έρευνα του αντίκτυπου που έχει η παρουσίαση αυτού, σε ένα ευρύ κοινό.

Τα οφέλη όμως από την χρήση ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή 3D Printer είναι πολύ πιο σημαντικά και πολλαπλά για μια επιχείρηση. Η συνεχής βελτίωση και έλεγχος του μοντέλου

πριν κατασκευαστεί το καλούπι σημαίνει ότι υπάρχουν λιγότερα σφάλματα των οποίων η επιδιόρθωσή τους θα είναι δαπανηρή και χρονοβόρα. Πιο συγκεκριμένα τα οικονομικά οφέλη και η εξοικονόμηση χρόνου της χρήσης ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή 3D Printer προέρχονται από:

1. Τους ελέγχους και δοκιμές των μοντέλων όπως:
 - α) οπτικός
 - β) της λειτουργικότητας
 - γ) των διαστάσεων
 - δ) της συναρμολόγησης
 - ε) στην εφαρμογή
2. Την βελτίωση του σχεδίου πριν την παραγωγή και την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων
3. Την αναγνώριση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων
4. Την αύξηση της παραγωγικότητας και της δημιουργικότητας - περισσότερα σχέδια και πειράματα με νέα προϊόντα
5. Οι προμηθευτές των ενδιάμεσων προϊόντων και οι εταίροι μπορούν να συμμετέχουν νωρίτερα στην διαδικασία ανάπτυξης
6. Την συντομότερη εισαγωγή ενός προϊόντος στην αγορά (Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα)
7. Αισθητά μικρότερος χρόνος του κύκλου σχεδιασμού
8. Συντομότερη λήψη των αποφάσεων
9. Κύρος και προβολή της εταιρίας

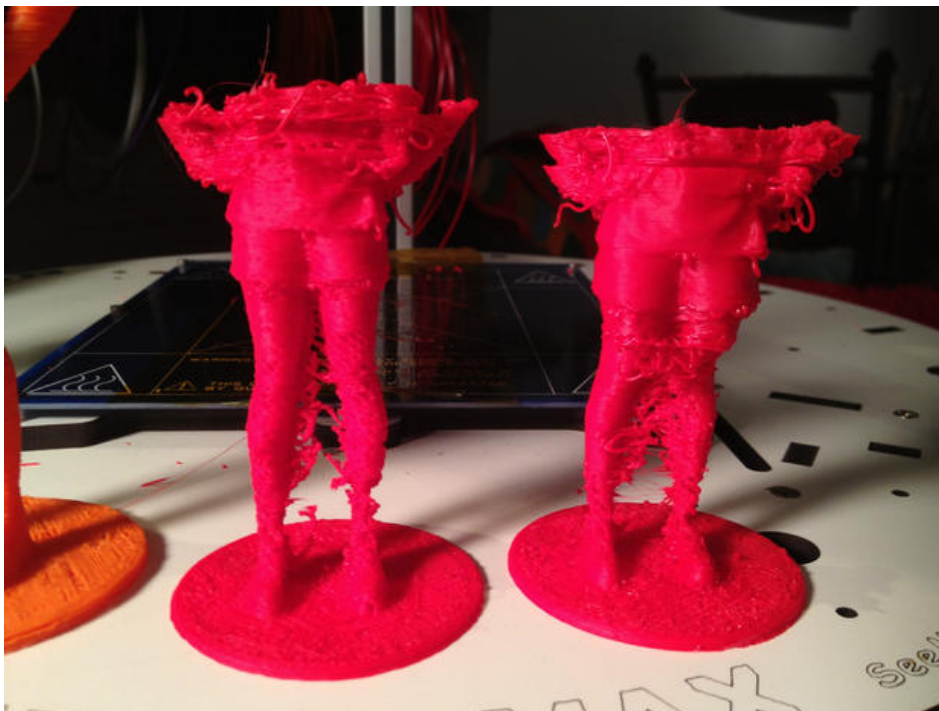


Εικόνα 3. 1. Πλέον η δημιουργία αντικειμένων γίνεται εύκολη και γρήγορη

Κάποιες από αυτές τις αρχές τις συναντάμε σήμερα και κάποιες θα τις βρούμε σίγουρα μπροστά μας στα επόμενα χρόνια. Η 3D εκτύπωση έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την ποιότητα της ζωής και της ευημερίας δεδομένου ότι τα βασικά εξαρτήματα ή τα μοντέλα μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν για τη χρήση της εκπαίδευσης, της ιατρικής και της υγείας, των στρατιωτικών, των αυτοκινήτων, του τρόπου ζωής και μια ποικιλία από άλλους σκοπούς. Με τόσα πολλά πιθανά οφέλη της 3D εκτύπωσης, δεν υπάρχει καμία έκπληξη το γεγονός ότι η μέθοδος αυτή κάνει το δρόμο της μέσα από ένα ευρύ αριθμό των βιομηχανιών για να γίνει γρήγορα ένα αγαπημένο εργαλείο των εμπόρων.

3.4. Παράγοντες που καθυστερούν την ανάπτυξη της 3D εκτύπωσης

Φαίνεται ότι η χρησιμότητά των 3D εκτυπωτών είναι ακόμη υπό αμφισβήτηση όσον αφορά το υψηλό κόστος, την ασφάλεια, τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας και την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού. Η 3D εκτύπωση έχει μεταμορφώσει εντελώς τον τρόπο που κάνουμε αντικατάσταση και μεταφορά προϊόντων και πρόκειται να διαταράξει σχεδόν κάθε μεγάλη βιομηχανία. Ωστόσο, η τεχνολογία εξακολουθεί να είναι προσανατολισμένη προς κατασκευαστές με πάθος, κίνητρο, ικανούς χομπίστες και όχι τους μέσους πολίτες. Παρακάτω παρατείθεται ένας κατάλογος με ορισμένους βασικούς λόγους που κρατάνε πίσω την νέα αυτή τεχνολογία.



Εικόνα 3. 2. Οι 3D εκτυπωτές ίσως δεν είναι τόσο εύχρηστοι όσο φαίνονται

- Εν αναμονή της επανάστασης των καταναλωτικών μοντέλων. Η ευρεία υιοθέτηση του καταναλωτή σε 3D εκτυπωτές θα εξαρτηθεί από την πτώση των τιμών τους. Επί του παρόντος, οι εκτυπωτές που κοστίζουν λιγότερο από \$ 1.000 χρησιμοποιούν ένα κιτ DIY που απαιτεί τη συναρμολόγηση του ίδιου του μηχανήματος και συχνά δεν αναπαράγουν τα CAD σχέδια με ακρίβεια. Αλλά υπάρχουν σχετικά φθηνοί 3D εκτυπωτές. Στα \$ 299 ο Printrbot Simple είναι μια προσιτή επιλογή, αν και είναι πολύ απλός και δεν μπορεί να εκτυπώσει προϊόντα υψηλής ποιότητας. Επίσης κάτω από \$ 1.000 είναι η γραμμή open-source(ανοιχτού λογισμικού) RepRap εκτυπωτών, οι οποίοι πρέπει να συναρμολογούνται ξεχωριστά. Ο Cubify Cube είναι κοστίζει περίπου \$ 1.300 και πιθανώς η καλύτερη επιλογή desktop printer, δεδομένου ότι συνδέεται με wifi, αλλά το πλαστικό νήμα που χρησιμοποιεί δεν μπορεί να κάνει τίποτα πάρα πολύ ανθεκτικό. Μέχρι οι αξιόπιστοι, άνετοι, κομψοί 3D εκτυπωτές να εισέλθουν δυναμικά στην αγορά, οι επαναστατικές επιπτώσεις της τεχνολογίας θα συναντήσουν εμπόδια.



Εικόνα 3. 3. Αξεσουάρ ενός εκτυπωτή

Παράδειγμα εκτυπωτή (Printbot Kit) κοστίζει \$ 349 και παραδίδεται στον καταναλωτή με μια δήλωση ότι η εταιρεία δεν είναι υπεύθυνη για την ικανότητά σας να τον συναρμολογήσει.

- Το χάσμα της χρησιμότητας των εκτυπωτών. Πλαστικές φιγούρες δράσης, θήκες iPhone είναι διασκεδαστικό να τα σχεδιάζεις και να τυπώνεις με σχετικά προσιτούς desktop 3D εκτυπωτές, όπως ο Cube, αλλά δεν είναι ακριβώς εύστοχοι στην καθημερινή μας ζωή, ούτε είναι αυτοί που μπορούν να πείσουν τους καταναλωτές ότι οι εκτυπωτές αυτοί είναι μια αξιόλογη επένδυση. Δεν υπάρχει επιτακτική εφαρμογή στην παρούσα στιγμή, γιατί κάτι που μπορούμε να εκτυπώσουμε σε έναν εκτυπωτή 3D, εκτός από τα πράγματα που είναι πραγματικά προσαρμοσμένα, τα υπόλοιπα μπορούμε να τα αγοράσουμε σε ένα κατάστημα. Οι 3D εκτυπωτές πρέπει να έχουν λιγότερα καλώδια από μια τηλεόραση και λιγότερα κουμπιά από έναν υπολογιστή για να γίνει μια οικιακή ηλεκτρονική συσκευή. Οι εκτυπωτές χρησιμοποιούν υψηλής τάσης τροφοδοτικά και εξειδικευμένο εξοπλισμό και εξαρτήματα. Μερικοί από τους φθηνότερους εκτυπωτές δεν μπορούν καν να συνδεθούν με wifi και οι περισσότεροι έχουν χαμηλή ανάλυση.
- Το πλαστικό νήμα δεν είναι αρκετά ανθεκτικό. Για το άμεσο μέλλον, η φθηνότερη και πιο προσιτή μέθοδος 3D εκτυπωτών θα είναι η FDM. Υπάρχουν επιτραπέζιοι εκτυπωτές που χρησιμοποιούν PLA και ABS πλαστικό, τα οποία μπορούν εύκολα να λιώσουν και να ταιριάζουν μικρά καλούπια. Ωστόσο, το πλαστικό δεν είναι ανθεκτικό και πολλά προϊόντα οικιακής χρήσης με κινούμενα μέρη δεν μπορούν να δημιουργηθούν από αυτό το υλικό. Εκτυπωτές θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουν σύνθετα υλικά με άνθρακα ή μέταλλα για να γίνουν πιο χρήσιμοι για τον μέσο καταναλωτή καθώς και για τους κατασκευαστές.
- Πολυπλοκότητα λογισμικού σχεδιασμού. Αρχεία από το Thingiverse και Shapeways είναι εύκολο κανείς να πάρει, αλλά δεν εποπτεύονται και ως εκ τούτου δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε κάθε τύπο εκτυπωτή. Αν θέλει κάποιος να σχεδιάσει το δικό του αρχείο, θα πρέπει να έχει μια καλή γνώση του σχεδιασμού CAD προγραμμάτων. Η ρύθμιση του μοντέλου και η χρήση του εκτυπωτή χρειάζεται αρκετή υπομονή και χρόνο, έτσι αποτελούν τους κύριους λόγους που

η τεχνολογία χρησιμοποιείται κυρίως από τους λάτρεις της 3D εκτύπωσης και αυτούς που κατέχουν γνώσεις σχεδιασμού μέχρι σήμερα.

- Οι 3D εκτυπωτές είναι ακόμη αργοί. Είναι ιδανικοί για μαζική προσαρμογή, αλλά εξακολουθούν να είναι πολύ αργοί για την κατασκευή των παρτίδων των αντικειμένων. Για να αλλάξει η παραγωγή των βιομηχανιών, τα μέρη θα πρέπει να εκτυπώνονται σε λίγα λεπτά όχι ώρες. Σήμερα χρειάζονται από αρκετές ώρες έως αρκετές ημέρες για εκτύπωση, ανάλογα με το μέγεθος του μοντέλου και την ποιότητα του. Λαμβάνοντας μια σειρά προϊόντων από την Shapeways, την εταιρεία που προσαρμόζει και εκτυπώνει μια ποικιλία προϊόντων, η διαδικασία της εκτύπωσης μπορεί να διαρκέσει μέχρι και δύο εβδομάδες, ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται.
- Ανευθυνότητα των χρηστών, κατασκευαστών. Κάθε εταιρεία που εκτυπώνει διαφόρων ειδών προϊόντα όπως κράνη, τροχούς για ποδήλατα, παιχνίδια για μικρά παιδιά ακόμα και όπλα ή μαχαίρια θα πρέπει να πιστοποιεί τις προδιαγραφές βάσει των προτύπων για την ασφαλή χρήση των προϊόντων τους. Φυσικά υπάρχει το ζήτημα της πνευματικής ιδιοκτησίας και των εμπορικών σημάτων, αλλά το μεγαλύτερο ζήτημα αφορά την ευθύνη. Εάν ένα άτομο βλάψει κάποιον με ένα 3D τυπωμένο όπλο, ποιος είναι υπόλογος για αυτή τη πράξη; Ο ιδιοκτήτης του εκτυπωτή, ο κατασκευαστής του εκτυπωτή ή το ανεύθυνο πρόσωπο που σκέφτηκε ότι ήταν μια καλή ιδέα να παράγει και να χρησιμοποιεί ένα επικίνδυνο προϊόν; (Lyndsey, 2014)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ

4.1.Γενικά

Πολλές εταιρίες τρισδιάστατης εκτύπωσης παράγουν ήδη πρωτότυπα εξαρτήματα και κομμάτια παραγωγής, απλά όχι στις ποσότητες και την τιμή που θα χρειαζόταν για να διαταράξει την σημερινή τυπική αλυσίδα παραγωγής. Το κόστος των μηχανών και των μεταλλικών υλικών είναι πολύ υψηλό καθώς και οι παραγωγικές δυνατότητες των 3D εκτυπωτών είναι ακόμα περιορισμένες. Υπάρχουν πολλά υλικά που χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές με πληθώρα εφαρμογών σε πολλούς τομείς, μερικά από τα οποία δεν έχουν ακόμα την απαραίτητη ανάπτυξη παρόλο των αξιόλογων αποτελεσμάτων που έχουν παρουσιάσει για να εισαχθούν στην μαζική παραγωγή. Βεβαίως αυτή η διαδικασία αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς και είναι θέμα χρόνου να συμβεί ώστε να είμαστε αντιμέτωποι με μια καινούργια μορφή βιομηχανικής επανάστασης. Το υλικό που μπορεί να εξάγει η κεφαλή της εκτύπωσης είναι ο παράγοντας κλειδί στην εξάπλωση της τεχνολογίας και την ανατροπή της παραγωγικής διαδικασίας.

Για τους μηχανικούς και τους σχεδιαστές το κατάλληλο υλικό είναι το σημαντικότερο στοιχείο μιας κατασκευής. Αλλά σχεδόν κάθε διαφορετική μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης έρχεται με τα δικά της υλικά. Εκτυπώσεις εξώθησης, ψεκασμού, ψεκασμού κόλλας, φωτοπολυμερισμού, σύντηξης σκόνης και σύστημα κατευθυνόμενου φωτός, δεν μπορεί κανείς πραγματικά να μείξει τα υλικά τους και να είναι σίγουρος για τα αποτελέσματα, μια σιγουριά που είναι απαραίτητη στην μεγάλη παραγωγή. Εκτός αυτού, μιας και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο 3D printing δεν είναι τα ίδια οι κατασκευαστές και οι βιομηχανίες χρειάζονται πολλές περισσότερες πληροφορίες πάνω στα υλικά αυτά πριν μπορούν να τα θεωρούν κατάλληλα για ευρεία εφαρμογή στις κατασκευές. Πληροφορίες μηχανικές, χημικές, θερμικές, ηλεκτρικές, περιβαλλοντολογικές και θέματα ανισοτροπίας του κάθε υλικού.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στους 3D εκτυπωτές είναι κυρίως συνθετικά πολυμερή που θερμαίνονται για να βρεθούν σε ημι-στέρεα ή υγρή μορφή και να έχουν καλύτερη συνοχή μεταξύ τους οι στρώσεις κατά την εκτύπωση. Σε πολλές περιπτώσεις το αναλώσιμο είναι σε μορφή σκόνης, με τα συσσωματώματα να συγκολλούνται μεταξύ τους με χρήση ειδικής κόλλας που ψεκάζει ο εκτυπωτής. Αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μέταλλα για τρισδιάστατη εκτύπωση αντικειμένων, τα οποία έχουν εκπληκτική ακρίβεια, σχεδόν εφάμιλλη με αυτή των χειροποίητων κατασκευών και φυσικά την απαραίτητη αντοχή. Τα υλικά που βρίσκονται στην υπηρεσία της νέας τεχνολογίας δίνουν στο εκτυπωμένο αντικείμενο τη δυνατότητα να περιέχει κινητά μέρη και να είναι όσο εύκαμπτο ή σκληρό επιθυμεί ο σχεδιαστής του. (Καρπούζης, 2012 και Σκιάνης, 2013)

Η μεγάλη ποικιλία υλικών επιτρέπει στο χρήστη να προσομοιώσει μια μεγάλη ποικιλία μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων, όπως την διαφάνεια του γυαλιού, την ελαστικότητα του καουτσούκ ή συγκεκριμένες ιδιότητες των βασικών πλαστικών και άλλων. Πιο αναλυτικά:

4.2. Πλαστικά Υλικά

4.2.1. Υλικά ABS

Το συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρενίου (ABS) είναι ένα άμορφο πολυμερές που παρασκευάζεται με τεχνολογία πολυμερισμού γαλακτώματος ή μάζας ακρυλονιτριλίου και στυρολίου υπό την παρουσία πολυβουταδιενίου. Το ABS χαρακτηρίζεται συνήθως από τέσσερις βασικές ιδιότητες:

1. Ρευστότητα
2. Αντοχή στη θερμότητα
3. Αντοχή σε κρούση
4. Ανθεκτικότητα

Το ABS δεν είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και ως εκ τούτου συνιστάται για εφαρμογές εσωτερικού χώρου και μόνο. Χρειάζεται υψηλότερες θερμοκρασίες (μεταξύ 215-250 °C) από το PLA για να «τυπωθεί» το αντικείμενο. Θερμοκρασία ακροφυσίου 230 °C.

Οι συνηθέστερες εφαρμογές του είναι:

- Γενικές: παιχνίδια, καταναλωτικά προϊόντα, τηλέφωνα, κράνη ασφαλείας
- Αυτοκίνητα: εσωτερικά πάνελ θυρών, κολόνες, διακοσμητικά καλύμματα καθισμάτων, γρίλιες, πίνακες οργάνων, περιβλήματα καθρεπτών
- Οικιακές συσκευές: περιβλήματα οικιακών συσκευών κουζίνας, περιβλήματα ηλεκτρικής σκούπας, πίνακες ελέγχου για λευκά προϊόντα
- Εφαρμογές εξώθησης: φύλλα, ντουσιέρες, οροφές τρακτέρ, τελειώματα επίπλων, επένδυση ψυγείων, αποσκευές

Γενικότερα είναι ιδανικά για:

- Προτυποποίηση μοντέλων με λειτουργικά μέρη
- Μέρη τα οποία κουμπώνουν μεταξύ τους
- Πρωτότυπα που προσομοιώνουν μηχανολογικά μέρη



Εικόνα 4. 1. Αντικείμενα από ABS πλαστικό

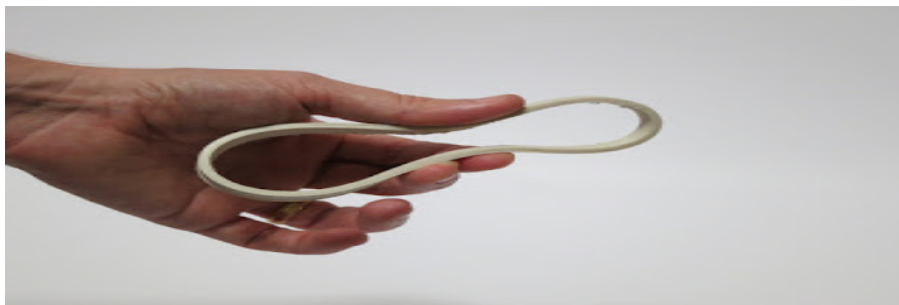
4.2.2.PLA – Βιοπολυμερές πολυγαλακτικού οξέος

Το PLA ή **πολυγαλακτικό οξύ** παρασκευάζεται από δεξτρόζη (ζάχαρη) που εξάγεται από φυτικής προέλευσης υλικά. Είναι το πιο δημοφιλές βιοπλαστικό ή βιοπολυμερές και το μόνο που παράγεται αυτή τη στιγμή σε παγκόσμιας κλίμακας εργοστάσιο. Αυτό το **βιοπολυμερές** είναι επίσης πολύ κατάλληλο για την εξώθηση ινών, όπου μπορεί να υποκαταστήσει το πολυπροπυλένιο(PP).Ιδανικές θερμοκρασίες εκτύπωσης μεταξύ 180-220 °C και θερμοκρασία ακροφυσίου 210-220 °C. Το PLA είναι πιο στερεό, σκληρότερο, πιο εύθραυστο και πιο γυαλιστερό από το ABS.

Οι τυπικές εφαρμογές του PLA (πολυγαλακτικό οξύ) είναι:

1. Εξώθηση/Εκβολή ινών: φακελάκια τσαγιού, είδη ένδυσης
2. Χύτευση με έγχυση: κοσμηματοθήκες.
3. Ενώσεις: με ξύλο, PMMA.
4. Θερμομορφοποίηση: δοχεία σε σχήμα αχιβάδας, πιατέλες για μπισκότα, φλιτζάνια, φακελάκια καφέ.
5. Χύτευση με εμφύσηση: μπουκάλια για νερό (μη ανθρακούχο), φρέσκους χυμούς, φιαλίδια για καλλυντικά.

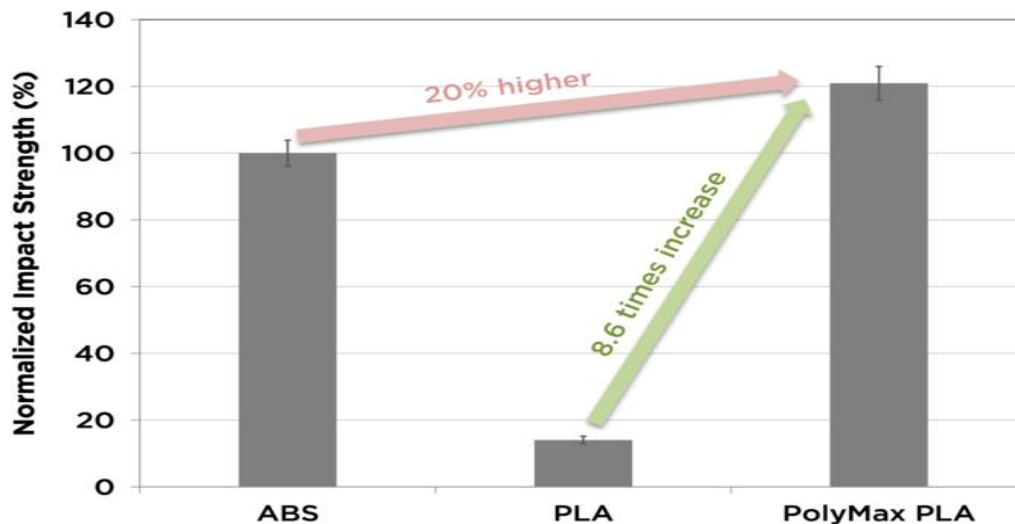
Τα PLA αντικείμενα μπορούν να γίνουν μαλακά σε θερμοκρασίες περίπου 50 °C τα οποία δημιουργούν μια υποκατηγορία των PLA που είναι τα soft PLA τα οποία είναι πιο εύκαμπτα και ενεργούν σαν λάστιχο. Μπορούν να λυγίσουν ή να καμφθούν έτσι ώστε να προσαρμόζονται σε διάφορα αντικείμενα όπως η θήκη ενός κινητού στη συσκευή, το ελατήριο σε μία βαλβίδα, το πόμα σε ένα μπουκάλι και πολλά άλλα.



Εικόνα 4.2. Soft PLA υλικό

Μια άλλη υποκατηγορία των PLA είναι το PolyMax PLA το οποίο είναι εντελώς ανασχεδιασμένο PLA με εξαιρετική μηχανική αντοχή. Σχεδιάστηκε για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα των απλών PLA αντικειμένων τα οποία είναι οι φτωχές μηχανικές ιδιότητες, ειδικότερα η τάση σε πλήρη θραύση και η περιορισμένη εφαρμογή για λειτουργικά μέρη που χρησιμοποιούνται σε μηχανικώς απαιτητικές καταστάσεις.

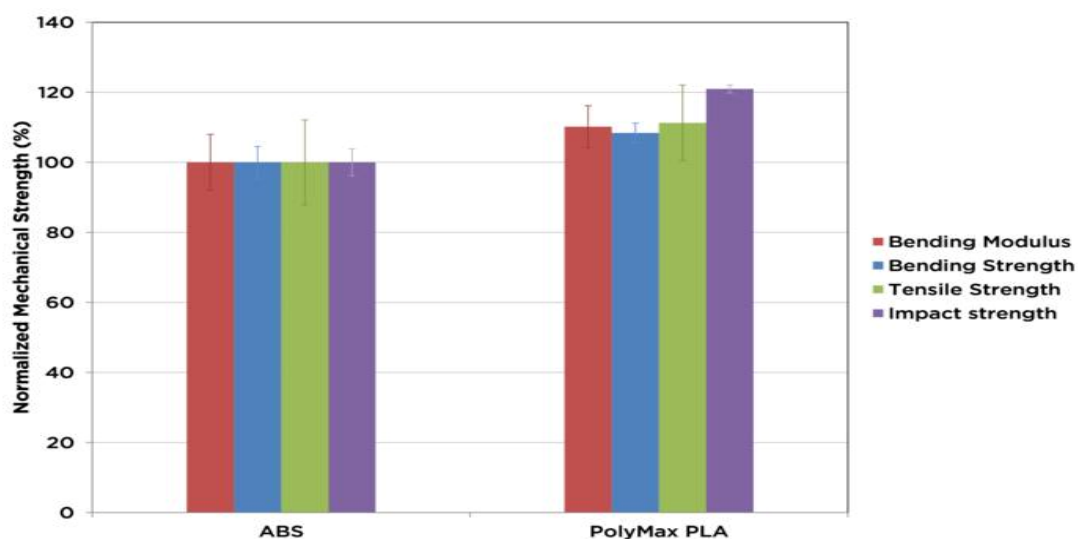
Παρακάτω στο σχετικό διάγραμμα συγκρίνονται τα υλικά ABS, PLA, PolyMax PLA ως προς την αντοχή σε κρούση σε 3D εκτυπωμένα αντικείμενα.



Εικόνα 4.3. Διάγραμμα σύγκρισης διαφόρων πλαστικών ως προς την αντοχή σε κρούση

Παρατηρείται ότι το PolyMax PLA έχει την υψηλότερη αντοχή από το PLA κατά 8,6 φορές και κατά 20% από το ABS.

Στη συνέχεια συγκρίνονται το ABS με το PolyMax PLA ως προς την μηχανική αντοχή λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες : μέτρο κάμψης (Bending modulus), αντοχή σε κάμψη (Bending strength), αντοχή σε θραύση (Tensile strength), αντοχή σε κρούση (Impact strength).



Εικόνα 4.4. Διάγραμμα σύγκρισης ως προς την μηχανική αντοχή

Εδώ παρατηρείται ότι το PolyMax PLA υπερیشχει του ABS σε όλες τις παραπάνω μηχανικές ιδιότητες. Εκτός από τις μηχανικές ιδιότητες συγκρίνουμε και κάποια άλλα χαρακτηριστικά των δύο αυτών υλικών. (Clyde, 2014)

Πίνακας 4.1. Σύγκριση PolyMax PLA - ABS

	PolyMax™ PLA	ABS
Printing temperature	Low (nozzle - 190-210 °C, heated plate - 60-70 °C)	High (nozzle - 230 °C, heated plate - 110 °C)
Tendency to warp	Almost warping-free	Tends to warp for larger parts
Health hazards during printing	Minimal (main degradation product is non-toxic lactic acid)	High (generates toxic gas and high concentrations of nanoparticle aerosols)
Dual-extrusion stability	Excellent	Good
Mechanical Properties	Excellent	Good

Το Υψηλής Θερμοκρασίας PLA (**High Temperature PLA**) είναι κατασκευασμένο από μια προσαρμοσμένη μεταλλική ένωση συμπληρωμένη με PLA. Η κρυστάλλωση που δημιουργείται μετά την εκτύπωση είναι αυτή που προσθέτει την αντοχή στη θερμότητα. Το χρώμα του είναι ένα γυαλιστερό πολύ ανοιχτό γκρι. Το υλικό αυτό δεν είναι ημιδιαφανές σαν το πρότυπο PLA.

4.2.3. Πολυπροπυλένιο

Το πολυπροπυλένιο(PP) είναι συνθετική ένωση, ανήκει στη μεγάλη κατηγορία των πλαστικών, είναι άοσμο, άχρωμο και διαυγές, χαρακτηρίζεται ως θερμοπλαστικό πολυμερές, ανήκει στις πολυολεφίνες και προέρχεται από τον πολυμερισμό του προπυλενίου. Η επιμήκυνση κατά την θραύση είναι της τάξεως του 44% και με μέτρο κάμψης 1026 MPa. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα κυριότερα χαρακτηριστικά που εμφανίζει το πολυπροπυλένιο:

1. Μεγάλη αντοχή σε μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις.
2. Ελαστικότητα.
3. Αντοχή στις καιρικές συνθήκες.
4. Αντίσταση σε ρηγματώσεις από καταπονήσεις.
5. Χαμηλό συντελεστή διαστολής από υψηλές θερμοκρασίες.
6. Αντίσταση σε χημικά.
7. Αντίσταση σε ακτινοβολία UV.
8. 100 % αδιαπέρατο από το νερό και απρόσβλητο από όσμωση.
9. Απόλυτα λεία επιφάνεια (για μέγιστη αντίσταση σε μικρόβια, βρωμιά και λίπη)
10. Μεγάλη διάρκεια ζωής (χωρίς να ξεθωριάζει ή να ξεφτίζει).

Το πολυπροπυλένιο είναι 100% ανακυκλώσιμο. Αποτελείται από άνθρακα και υδρογόνο και καίγεται χωρίς να παράγει τοξικά (παράγει διοξείδιο του άνθρακα και νερό). Μπορεί να ανακυκλωθεί, να αποτεφρωθεί, ή να θαφτεί σε χωματερή χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον. Χρησιμοποιείται σε αμέτρητες καθημερινές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η συσκευασία νερού, τροφίμων και φαρμάκων, τα ιατρικά εμφυτεύματα και σκεύη, οι εφαρμογές ύδρευσης, θέρμανσης και αποχέτευσης, τα παιδικά παιχνίδια, η

αυτοκινητοβιομηχανία, παραγωγή σωλήνων αποχέτευσης, πίεσης κλπ. Επίσης, εξαιτίας της ιδιότητας του ως μονωτής του ηλεκτρικού ρεύματος, χρησιμοποιείται σε αμέτρητες ηλεκτρικές εφαρμογές. Διαθέτει ακόμη πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, επομένως είναι το ιδανικό υλικό για τη μεταφορά κρύου και ζεστού νερού χρήσης, με σχεδόν μηδενικές απώλειες θερμότητας.



Εικόνα 4.5. Εκτυπωμένο ρομπότ από Πολυπροπυλένιο

4.2.4. PVA – Πολυβινυλική αλκοόλη

Το PVA είναι ιδανικό υλικό στήριξης για 3D εκτύπωση διπλής εξώθησης. Είναι υδροδιαλυτό θερμοπλαστικό, διαλύεται μέσα σε λίγα λεπτά σε καυτό νερό και δεν αφήνει υπολείμματα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό εκτύπωσης στους εκτυπωτές Prusa, Makerbot, Huxley, Ultimaker και άλλους. Έχει παρόμοια υφή με το ABS. Το υλικό αυτό πρέπει να φυλάσσεται σε δροσερό και ξηρό μέρος. Τυπικά εξωθείται στους 190 °C



Εικόνα 4.6. Νήμα PVA

4.2.5.PC- Πολυκαρμπονικά Υλικά

Το πολυκαρμπονικό υλικό είναι ένα θερμοπλαστικό υλικό, ισχυρό και ανθεκτικό στα χτυπήματα. Χρησιμοποιείται για τη κατασκευή αλεξίσφαιρων τζαμιών και ψηφιακών δίσκων. Έχει αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες ενώ μπορεί να καμφθεί και να διαμορφωθεί όταν

ψύχεται χωρίς ρωγμές. Τείνει να λυγίζει και να παραμορφώνεται περισσότερο από άλλα υλικά όπως ABS, PLA και μετά από πολύ προσπάθεια θα τεντώσει σαν πολύ σκληρό λάστιχο μέχρι τελικά να σπάσει.

Πίνακας 4.2. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων

Αντοχή στον εφελκυσμό	68 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	2300 MPa
Επιμήκυνση κατά την θραύση	5 %
Αντοχή σε κάμψη	104 MPa
Μέτρο κάμψης	2200 MPa

4.2.6.HDPE - Ρητίνες Πολυαιθυλενίου Υψηλής Πυκνότητας

Οι ρητίνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE) προσφέρουν ανθεκτικότητα, ακαμψία και αντοχή σε εφαρμογές χύτευσης με εμφύσηση, προϊόντα εκβολής (extrusion), μεμβράνες και αντικείμενα χύτευσης με έγχυση (injection). Το HDPE διατίθεται για γενικές εφαρμογές φυσητών μεμβρανών όπως σωληνοειδείς μεμβράνες, σακούλες παντοπωλείων, και χρήση σε μίγματα ή πολυστρωματικά υλικά.

4.2.7.HIPS (High Impact Polystyrene)

Είναι κατασκευασμένο από υψηλής συγκέντρωσης πολυστυρένιο. Εξωθείται με λείζερ ελεγχόμενης διακύμανσης και η λευκή φωτεινή του εμφάνιση το καθιστά ιδανικό υλικό για εκτύπωση. Όπως και το ABS χρησιμοποιείται σε καλά αεριζόμενους χώρους. Δεν θεωρείται καρκινογόνο ή επικίνδυνο για τον άνθρωπο και τα ζώα. Προτεινόμενη θερμοκρασία ακροφυσίου : 230oC

4.2.8.Υλικά Υψηλής Θερμοκρασίας

Συνδυάζουν θερμική λειτουργικότητα με εξαιρετική διαστασιολογική σταθερότητα. Τα υλικά αυτά είναι κατάλληλα για προσομοίωση της θερμικής απόδοσης των πλαστικών υλών και προσφέρονται για θερμικές δοκιμές όπως ροή καυτού νερού σε σωλήνες και βρύσες. Αρχίζουν να παραμορφώνονται και να χάνουν την διαστασιολογική τους σταθερότητα μετά τους 63–67 °C. Ωστόσο υπάρχει δυνατότητα αύξησης αυτού του ορίου στους 75-80 °C με μια ειδική θερμική κατεργασία. Χρησιμοποιούνται για:

1. Μορφοποίηση και θερμική δοκιμή πρωτοτύπων
2. Μοντελοποίηση εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας

3. Έκθεση μοντέλων υπό συνθήκες ισχυρού φωτισμού
4. Πρωτότυπα που θα υποστούν βαφή ή συγκόλληση
5. Μοντελοποίηση σωλήνων και οικιακών συσκευών
6. Δοκιμή μοντέλων με έκθεσή τους σε θερμό αέρα και νερό

4.2.9.Βιο-συμβατά Υλικά

Είναι άκαμπτα υλικά που διαθέτουν μεγάλη σταθερότητα διαστάσεων και διαφάνεια. Τα υλικά αυτά είναι ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν παρατεταμένη επαφή με το δέρμα για περισσότερες από 30 ημέρες ή επαφή με το στόμα μέχρι και 24 ώρες. Προσφέρουν εξαιρετική απεικόνιση και έχουν ιατρικές εγκρίσεις συμπεριλαμβανομένης της κυτταροτοξικότητας, γονοτοξικότητας, καθυστερημένου τύπου υπερευαισθησίας και ερεθισμού.

Χρησιμοποιούνται για:

- Ιατρικές και οδοντιατρικές εφαρμογές
- 3D εκτύπωση οδοντικών και χειρουργικών οδηγών
- Βοηθήματα ακοής



Εικόνα 4.7. Παράδειγμα Βιο-συμβατού υλικού

Πίνακας 4.3. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων

Αντοχή στον εφελκυσμό	50-65 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	2000-3000 MPa
Επιμήκυνση κατά την θραύση	10-25%
Αντοχή σε κάμψη	75-110 MPa
Μέτρο κάμψης	2200-3200 MPa

Αντοχή σε κρούση	20-30 J/m
Σκληρότητα	73-76 HRM

4.2.10.Αδιαφανείς ρητίνες

Τα υλικά αυτά καθώς χαρακτηρίζονται από διαστασιολογική σταθερότητα και πολύ καλή απόδοση των λεπτομερειών, είναι ιδανικά για να προσομοιάσουν τις μηχανικές ιδιότητες των πλαστικών. Χρησιμοποιούνται για:

- Έλεγχο της λειτουργικότητας και του σχήματος
- Προσομοίωση κινούμενων και συναρμολογούμενων μερών
- Είναι ιδανικά για εφαρμογές χύτευσης σιλικόνης



Εικόνα 4.8. Υλικό από αδιαφανή ρητίνη με χαρακτηριστική λεπτομέρεια

4.2.11.Ελαστικά υλικά

Η κατηγορία αυτή αποτελείται από εύκαμπτα, ελαστικά υλικά τα οποία προσφέρουν τη δυνατότητα προσομοίωσης των χαρακτηριστικών διαφόρων ελαστομερών. Επίσης χαρακτηρίζονται από σκληρότητα, επιμήκυνση κατά την θραύση και αντοχή σε εφελκυσμό. Χρησιμοποιούνται για:

- Κατασκευή μοντέλων που διαθέτουν μη ολισθηρές επιφάνειες
- Προσομοίωση χειρολαβών και παπουτσιών



Εικόνα 4.9. Ελαστικό υλικό

4.2.12. Ψηφιακά υλικά

Προέρχονται από την ανάμειξη δύο υλικών τα οποία συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίσουν ένα νέο υλικό με τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες όπως το ψηφιακό ABS που δημιουργείται με την χρήση δύο υλικών και είναι σχεδιασμένο για την προσομοίωση ABS πλαστικών συνδυάζοντας υψηλή θερμική αντίσταση και σκληρότητα. Τα ψηφιακά υλικά προσφέρουν:

- Άριστη προσομοίωση των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων
- Βέλτιστη προσομοίωση περίπλοκων συναρμολογούμενων προϊόντων
- Απορρόφηση κραδασμών
- Υψηλή αντοχή σε κρούση (65-80 J/m)

4.2.13. Διαφανή Υλικά

Ιδανικά για την προσομοίωση διάφανων πρωτοτύπων, καθώς συνδυάζουν μεγάλη σταθερότητα διαστάσεων και επιφανειακή ομαλότητα. Επίσης συνδυάζοντας το διάφανο υλικό με άλλα άκαμπτα ή ελαστικά μπορούν να παραχθούν και μοντέλα με ημιδιάφανες ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται για:

1. Μορφοποίηση και έλεγχο διάφανων μοντέλων
2. Αναπαράσταση γυάλινων επιφανειών, γυαλιών οράσεως και φωτιστικό
3. Ιατρικές εφαρμογές
4. Κατασκευή μοντέλων στο πεδίο της τέχνης



Εικόνα 4.10. Διαφανές υλικό

Πίνακας 4.4. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων

Αντοχή στον εφελκυσμό	45,7 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	2000 MPa
Επιμήκυνση κατά την θραύση	41,6 %
Αντοχή σε κάμψη	73,5 MPa

Μέτρο κάμψης	2300 MPa
Αντοχή σε κρούση	1,6 J/cm

4.3.Κεραμικά Υλικά

Τα υλικά αυτά παράγονται από λεπτή κεραμική σκόνη, η οποία ενώνεται με ένα συνδετικό υλικό, καίγεται και περνιέται με ένα λούστρο. Εκτός του ότι είναι ασφαλή για τρόφιμα, είναι ανακυκλώσιμα και ανθεκτικά στη θερμότητα. Είναι ιδανικά για πιατάκια, φλιτζάνια, πιάτα, ακόμα και αγάλματα και ειδώλια. Είναι πυρίμαχα στους 500 °C. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι είναι εύθραυστα.

Μερικές ιδιότητες τους είναι:

1. Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
2. Μονωτικές ιδιότητες, ή ημιαγώγιμη συμπεριφορά με διάφορες μαγνητικές και διηλεκτρικές ιδιότητες
3. Αντίσταση στην παραμόρφωση - ευθραυστότητα
4. Χαμηλές τιμές στις μηχανικές ιδιότητες



Εικόνα 4.11. Οικιακά είδη από κεραμικά υλικά

4.4.Ξύλινα Υλικά

4.4.1.LayWood

Αποτελείται από μια μίξη υλικού από ξύλινες ίνες και πολυμερή και έχει τις εξής ιδιότητες: α) η σύσταση του είναι από 40% ανακυκλωμένο ξύλο, β) δεν στρεβλώνει κατά τη διάρκεια ή μετά την εκτύπωση γ) έχει μυρωδιά και αίσθηση ξύλου δ) δεν απαιτείται θερμαινόμενη πλατφόρμα για την εκτύπωση και ε) με μεταβολή της θερμοκρασίας εξωθητή (μεταξύ 185 °C και 230 °C) μεταβάλλεται και η φωτεινότητα του έντυπου υλικού. (Clyde, 2014)

4.4.2.LayBrick

Είναι μια εξέλιξη του LayWood το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση μεγάλων μοντέλων αρχιτεκτονικής ή τοπίων. Το νήμα Laybrick μπορεί να δημιουργήσει από ομαλές μέχρι πολύ τραχιές επιφάνειες. Όταν η θερμοκρασία φθάσει σε 195 °C θα μπορούσε να έχει ένα αρκετά ρεαλιστικό αποτέλεσμα αμμόλιθου. Ιδιότητες: α) σχεδόν μηδενική

στρέψη, β) ιδανικό για μεγάλους εκτυπωτές, γ) δεν απαιτείται θερμαινόμενη πλατφόρμα, δ) Θερμοκρασία εκτύπωσης: 165 ° C έως 190 ° C για λείες επιφάνειες, σε υψηλότερες θερμοκρασίες (210 ° C) θα εκτυπώσει σκληρότερες επιφάνειες, απαιτείται ο ανεμιστήρας να είναι ενεργοποιημένος.

4.4.3.Polywood

Το συγκεκριμένο υλικό μοιάζει σαν ξύλο αλλά στην πραγματικότητα δεν περιέχει καθόλου ξύλο, η αφρώδης δομή του δίνει στο υλικό την εμφάνιση ξύλου. Έχει πορώδη μικροδομή, παρόμοια με φυσικό ξύλο και τραχιά επιφάνεια.



Εικόνα 4.12.Διάφορα αντικείμενα εκτυπωμένα από Polywood υλικό

4.5.Μεταλλικά υλικά

4.5.1.Χρυσός(Gold)

Περνιέται μέσα από εκτεταμένο γυάλισμα για να δώσει ένα ομαλό, λαμπερό τελείωμα. Ο χρυσός μπορεί να διατηρηθεί με τα περισσότερα λειαντικά καθαριστικά. Πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση στην οικιακή χλωρίνη, η οποία μπορεί να προκαλέσει διάβρωση και αποχρωματισμό. Το μοντέλο είναι τυπωμένο σε κεριά χρησιμοποιώντας ένα εξειδικευμένο υψηλής ανάλυσης 3D εκτυπωτή. Αυτό στη συνέχεια τοποθετείται σε ένα δοχείο όπου ο υγρός γύψος χύνεται γύρω από αυτό. Όταν ο γύψος τοποθετηθεί, το κεριά τήκεται σε ένα φούρνο και ο υπόλοιπος γύψος γίνεται το καλούπι. Χύνεται λιωμένος χρυσός σε αυτό το καλούπι και σκληραίνει. Ο γύψος σπάει, αποκαλύπτοντας το νέο προϊόν από χρυσό. Το προϊόν στη συνέχεια καθαρίζεται προσεκτικά και γυαλίζεται στο χέρι για να δώσει την λάμψη του χρυσού.

4.5.2.Ασήμι(Silver)

Το Premium ασήμι είναι ιδιαίτερα γυαλισμένο στο χέρι και φαίνεται πολύ λαμπερό. Το γυαλισμένο(Polished) ασήμι είναι ελαφρά γυαλισμένο για να επιτευχθεί ένα λείο φινιρίσμα αλλά εξακολουθεί η επιφάνεια να έχει κάποια υφή. Το ακατέργαστο ασήμι(raw) είναι μηχανικά γυαλισμένο, έτσι μπορούν να φανούν οι γραμμές εκτύπωσης και η επιφάνεια έχει μια τραχιά υφή. Η διαδικασία της εκτύπωσης είναι η ίδια ακριβώς με του χρυσού που αντί για

χρυσό τοποθετείται λιωμένο ασήμι. Το γνήσιο ασήμι είναι ένα κράμα από 92,5% καθαρό ασήμι και 7,5% χαλκό. Είναι γνωστό για τις εξής ιδιότητες :

1. Λαμπερής εμφάνιση
2. Εύκολο στην συγκόλληση
3. Σχετικά χαμηλό κόστος σε σύγκριση με άλλα πολύτιμα μέταλλα
4. Η καλή μηχανική κατεργασία
5. Καλός αγωγός της θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας
6. Αποτελεί όλκιμο υλικό
7. Καλή αντανάκλαση του φωτός

Το ασήμι αποτελεί κράμα με χαλκό για να δώσει αντοχή, ενώ ταυτόχρονα διατηρώντας την ολκιμότητα και την ομορφιά του πολύτιμου μετάλλου.

Πίνακας 4.5. Πίνακας Μηχανικών Ιδιοτήτων

Πυκνότητα	10.37 *10 ³ kg/m ³
Θερμοχωρητικότητα	245 J/(kg*K)
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	96 %
Αντοχή σε εφελκυσμό(κατά την ανόπτηση)	207 MPa
Αντοχή σε εφελκυσμό(σε πλήρης σκλήρυνση)	496 MPa
Όριο Διαρροής(κατά την ανόπτηση)	124 MPa
Επιμήκυνση(κατά την ανόπτηση)	41 %
Σκληρότητα(κατά την ανόπτηση)	71 HV
Σκληρότητα(σε πλήρης σκλήρυνση)	123 HV
Θερμοκρασία Τήξης	788 °C
Θερμοκρασία Πήξης	891 °C

4.5.3.Χάλυβας(Steel)

Είναι ένα ισχυρό μέταλλο με μια τραχιά επιφάνεια. Διαθέσιμος είτε γυαλισμένος είτε σε ματ φινίρισμα και με ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως κοσμήματα, λειτουργικά μέρη και μικρά γλυπτά. Εάν υπάρχει ποσοστό χαλκού μέσα στο χάλυβα τότε θα αλλάξει το χρώμα του προϊόντος. Είναι στεγανό, μη ανακυκλώσιμο, μη ασφαλή για φαγητό και είναι ανθεκτικό μέχρι 831 ° C. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να μεταβληθούν σημαντικά οι ιδιότητες του. Για την κατασκευή μοντέλων από χάλυβα, ειδικοί 3D εκτυπωτές εναποθέτουν μικρές σταγόνες κόλλας επάνω σε στρώματα σκόνης από ανοξείδωτο χάλυβα, ένα στρώμα τη φορά, έως ότου η εκτύπωση είναι πλήρης. Στη συνέχεια αφαιρούνται προσεκτικά αυτά τα μοντέλα

από τον εκτυπωτή. Σε αυτό το στάδιο της διαδικασίας, τα αντικείμενα είναι πολύ εύθραυστα. Τα μοντέλα επεξεργάζονται έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό φινίρισμα.

Πίνακας 4.6. Πίνακας Μηχανικών Ιδιοτήτων

Σημείο UTS	682 MPa
Όριο Διαρροής	455 MPa
Επιμήκυνση	2.30%
Σκληρότητα	20-25 HRC

Μπορούμε να κατεργαστεί, να τρυπηθεί, να χτυπηθεί. Χαρακτηρίζεται ως αρκετά ανθεκτικό υλικό, μάλιστα «τυπώνονται» στρόβιλοι από χάλυβα που λειτουργούν στις 3500 rpm για τους σκοπούς δοκιμών.



Εικόνα 4.13. Στρόβιλος που χρησιμοποιείται στην αεροδιαστημική βιομηχανία

4.5.4.Ορείχαλκος(Brass)

Ο ορείχαλκος αποτελείται από 15% ψευδάργυρο, 5% κασσίτερο, και 80% από χαλκό. Ο επίχρυσος και ο γυαλισμένος ορείχαλκος περνάνε από μία διαδικασία εκτεταμένης στίλβωσης για να τους δοθεί ένα ομαλό, γυαλιστερό φινίρισμα. Ο γυαλισμένος ορείχαλκος έχει ένα φωτεινό κίτρινο χρώμα ενώ τα επίχρυστα μοντέλα μοιάζουν με αυθεντικά αντικείμενα από χρυσό. Ο ακατέργαστος ορείχαλκος έχει ματ εμφάνιση με τραχιές επιφάνειες. Είναι ιδανικός για αντικείμενα που θέλουμε να έχουν μια εμφάνιση παλαιάς εποχής(αντίκες). Ο επίχρυσος ορείχαλκος είναι ένα ανθεκτικό υλικό, αλλά μπορεί να φθαρεί. Για να μην προκληθεί ζημιά, θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση σε χημικά προϊόντα οικιακής χρήσης και προϊόντα καθαρισμού. Όσον αφορά για την εκτύπωση, η διαδικασία για τα κοινά είδη ορείχαλκου είναι πανομοιότυπη με του χρυσού και το ασήμι. Στην εκτύπωση του επιχρυσωμένου περνά μέσα από μια τελική διαδικασία ηλεκτρόλυσης για την εξωτερική στρώση από χρυσό. Πρέπει να γνωρίζουμε ότι το γυάλισμα και επίστρωση μπορεί να αλλοιώσει τις πολύ μικρές λεπτομέρειες και τα άκρα.

4.5.5.Μπρούντζος(Bronze)

Ο μπρούντζος αποτελείται από 10% κασσίτερο και 90% χαλκό. Ο ακατέργαστος μπρούντζος είναι ένα μέταλλο υψηλής λεπτομέρειας με ένα βαθύ κόκκινο χρώμα και διαθέτει μια εμφάνιση με ανώμαλες επιφάνειες. Είναι ιδανικός για αντίκες, vintage, πρωτότυπα κοσμήματα και λειτουργικά μέρη. Ο γυαλισμένος μπρούντζος είναι κατάλληλος για μινιατούρες, πολύτιμα αντικείμενα και λαμπερά, μοντέρνα κοσμήματα. Κατά την διαδικασία της 3D εκτύπωσης χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος που εφαρμόζεται στον χρυσό, ασήμι που αναφέραμε προηγουμένως.

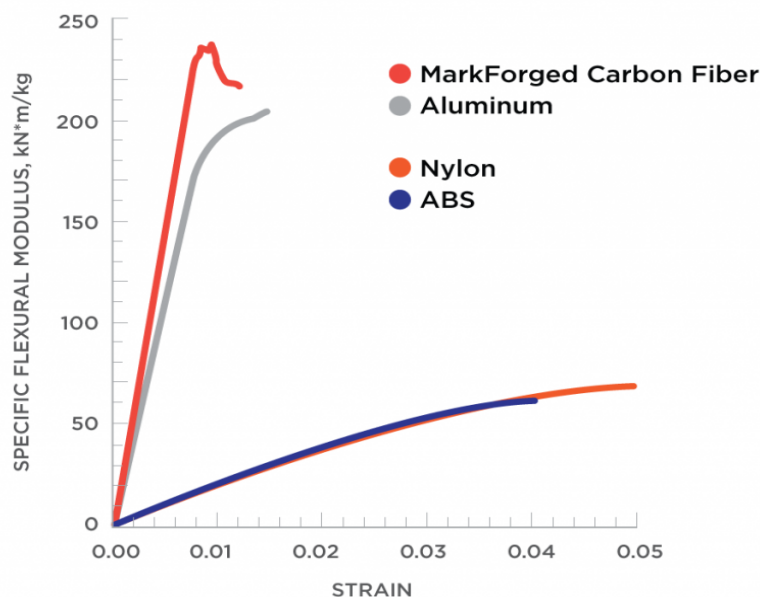
4.5.6.Αλουμίνιο

Στη 3D εκτύπωση χρησιμοποιείται συνήθως το κράμα αλουμινίου AlSi10Mg, είναι ένα κράμα αλουμινίου σε μορφή λεπτής σκόνης με ιδιότητες χύτευσης που χρησιμοποιείται για τμήματα με λεπτά τοιχώματα και πολύπλοκη γεωμετρία. Το αλουμίνιο συνδυάζεται με το πυρίτιο και το μαγνήσιο που έχει ως αποτέλεσμα μια σημαντική αύξηση στην αντοχή και σκληρότητα. Διαθέτει καλές δυναμικές ιδιότητες και χρησιμοποιείται για τα τμήματα που απαιτούνται για υψηλά φορτία. Είναι κατάλληλο για εφαρμογές όπως άμεση κατασκευή λειτουργικών πρωτοτύπων, ανταλλακτικά, μέρη που απαιτούν ένα συνδυασμό καλών θερμικών ιδιοτήτων με το χαμηλό βάρος, π.χ. για τις εφαρμογές του μηχανοκίνητου αθλητισμού .

Πίνακας 4.7. Πίνακας Μηχανικών Ιδιοτήτων

Αντοχή σε εφελκυσμό	340±40 MPa
Όριο Διαρροής	250±15 MPa
Επιμήκυνση	1.5 % ± 0.5 %
Σκληρότητα	120 ±5 HBW
Αντοχή σε κόπωση	97 ± 7 MPa

Παρακάτω παρατείνεται ένα σχετικό διάγραμμα μέτρου κάμψης – παραμόρφωσης τεσσάρων υλικών και παρατηρείται ότι το αλουμίνιο και το ανθρακόνημα επιδέχονται την μικρότερη παραμόρφωση έχοντας μεγαλύτερη αντοχή στην κάμψη.



Εικόνα 4.14. Διάγραμμα μέτρου κάμψης – παραμόρφωσης τεσσάρων υλικών

4.5.7. Τιτάνιο

Τα μοντέλα που γίνονται με τιτάνιο είναι τυπωμένα σε σκόνη τιτανίου που συντήκονται μεταξύ τους με ένα λέιζερ για να παράγουν για τελική χρήση μεταλλικά μέρη τα οποία είναι εξίσου καλά όσο και τα μηχανικά μοντέλα. Το τιτάνιο από 3D εκτύπωση δεν μοιάζει με το παραδοσιακό γυαλιστερό αλεσμένο τιτάνιο. Αντ' αυτού είναι λίγο πιο γκριζό και πιο ματ με ελαφρώς σκληρότερη και λιγότερο λεία επιφάνεια. Μοντέλα σε τιτάνιο έχουν μεγάλη αντοχή και μπορεί να έχουν χαρακτηριστικό μέγεθος τόσο μικρό όσο 0,25 mm. Μερικές εφαρμογές υλικών από τιτάνιο είναι :

1. Άμεση κατασκευή λειτουργικών πρωτοτύπων , μικρής σειράς προϊόντων , εξατομικευμένων προϊόντων
2. Ανταλλακτικά που απαιτούν καλές ιδιότητες διάβρωσης
3. Μέρη που απαιτούν ένα συνδυασμό υψηλών μηχανικών ιδιοτήτων και χαμηλού ειδικού βάρους
4. Τα διαρθρωτικά εξαρτήματα του κινητήρα για την αεροδιαστημική βιομηχανία και τις εφαρμογές του μηχανοκίνητου αθλητισμού , κλπ.

Το τιτάνιο είναι επίσης ένα υλικό υψηλής αξίας που αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείται ήδη για κοσμήματα και ρολόγια .

Πίνακας 4.8. Πίνακας Μηχανικών Ιδιοτήτων

Πυκνότητα	4.41 g/cm ³
Αντοχή σε εφελκυσμό	1140 MPa
Όριο Διαρροής	1050 MPa
Επιμήκυνση κατά τη θραύση	8%
Σκληρότητα	± 37 HRC

Πίνακας 4.9. Πίνακας Θερμικών Ιδιοτήτων

Συντελεστής θερμικής διαστολής	20 – 100 °C $8.1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 100 – 300 °C $10.1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Ειδική θερμοχωρητικότητα	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	50 °C - 6.7 W/m.K
Θερμοκρασία Τήξης	1660 °C



Εικόνα 4.15. Εξαρτήματα ποδηλάτου από τιτάνιο ακριβώς μετά την εκτύπωση τους και πριν το στάδιο του καθαρισμού τους

4.6. Άλλες κατηγορίες υλικών

4.6.1. Fiberglass

Τα προϊόντα γυαλιού, υπό μορφή ινών, υφασμένων ή όχι μεταξύ τους, χρησιμοποιούνται σαν ενισχυτικός οπλισμός στις πολυεστερικές κατασκευές. Τα υαλοϋφάσματα πρέπει να επιλέγουν με βάση τις απαιτήσεις αντοχών, βάρους καθώς και την ευκολία χρήσης τους, η οποία εξαρτάται από την πλέξη τους. Υπάρχουν κατάλληλα υαλοϋφάσματα για όλες τις απαιτήσεις. Βασικό είναι η καλή συνοχή μεταξύ των στρώσεων τους χωρίς διάκενα αέρα και πλεόνασμα πολυεστερικής ρητίνης.



Εικόνα 4.16. Νάρθηκας από fiberglass

Οι ίνες του γυαλιού έχουν τις παρακάτω εξαιρετικές ιδιότητες :

1. Μεγάλη αντοχή σε σχέση με μικρό βάρος
2. Μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση
3. Αδιάβροχες
4. Υψηλό μέτρο ελαστικότητας
5. Εξαιρετικά μεγάλη αντίσταση στη θερμότητα
6. Είναι άκαυστες
7. Καλές ηλεκτρικές ιδιότητες
8. Χαμηλό κόστος

4.6.2. Ανθρακόνημα

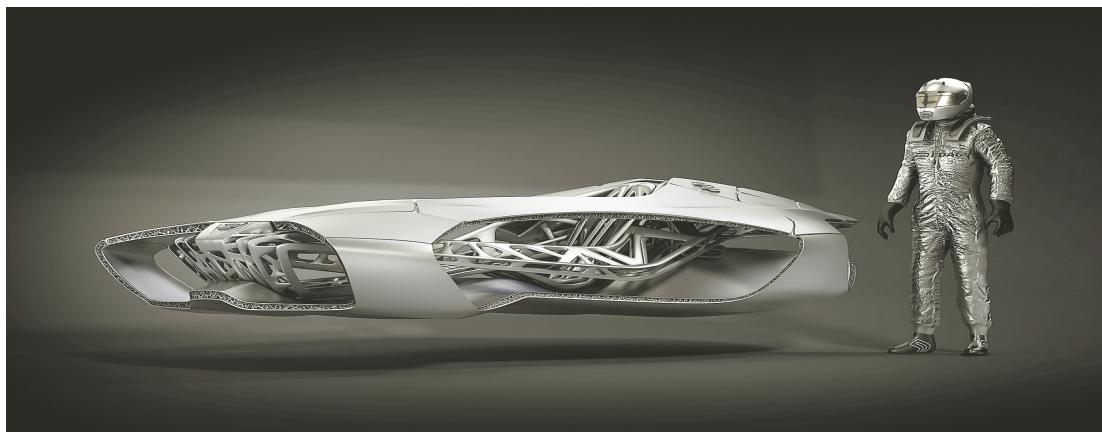
Το ανθρακόνημα είναι υλικό που αποτελείται από ίνες διαμέτρου 0,005 – 0,010 mm που αποτελούνται από άτομα άνθρακα. Οι ιδιότητες των ανθρακονημάτων όπως υψηλή ακαμψία, χαμηλό βάρος, υψηλή χημική αντοχή, υψηλή θερμική αντοχή και χαμηλή θερμική διαστολή τα καθιστούν πολύ δημοφιλή στην αεροδιαστημική, στο στρατό κ.α. Τα ανθρακονήματα χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή μερών αεροπλάνων και διαστημόπλοιων, αγωνιστικά αμαξώματα, πλαίσια ποδηλάτων, καλάμια ψαρέματος, ελατήρια αυτοκινήτων, ιστούς ιστιοφόρων και πολλά άλλα μέρη όπου το μικρό βάρος, η αεροδυναμική και η υψηλή αντοχή είναι απαραίτητα. Το μοναδικό τους ίσως μειονέκτημα είναι ότι το κόστος τους είναι

υψηλότερο σε σύγκριση με ανάλογες ίνες όπως πλαστικές ίνες και ίνες υάλου. Η απίστευτη δύναμη των ανθρακονημάτων προέρχεται από τους μεγάλους και συνεχείς κλώνους που αποτελούν την βάση του υλικού. Έχει εφαρμογές σε διαστημικά λεωφορεία, σε ποδήλατα και κυρίως στον μηχανοκίνητο αθλητισμό. Ο πρώτος 3D εκτυπωτής που λειτουργεί τυπώνοντας ανθρακόνημα αλλά και fiberglass, PLA είναι ο της εταιρείας Markforged.



Εικόνα 4.17. Ο εκτυπωτής Mark One

Η διαφορά με τα πλαστικά 3D μοντέλα είναι τεράστια αφού το ανθρακόνημα είναι γνωστό για την αντοχή του και το μικρό βάρος. Σε σύγκριση με το πλαστικό, τα τρισδιάστατα μοντέλα που μπορεί να κατασκευάσει έχουν περίπου 20 φορές μεγαλύτερη ακαμψία και 5 φορές μεγαλύτερη αντοχή. Η εντυπωσιακή τεχνολογία του Mark One έρχεται με τιμή 5000 δολάρια, υψηλότερη από τους “κοινούς” τρισδιάστατους εκτυπωτές αλλά σημαντικά χαμηλή για τις δυνατότητες που προσφέρει.

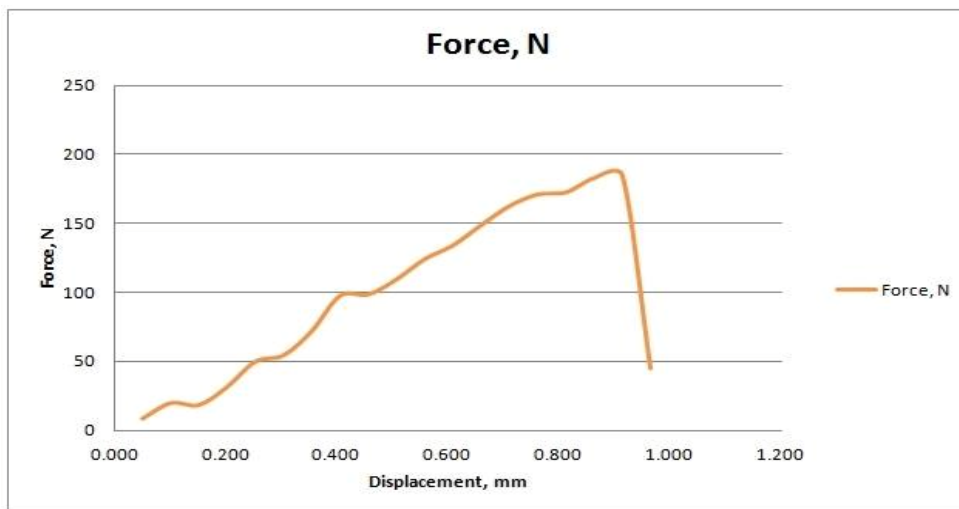


Εικόνα 4.18. Το όχημα Genesis

Ένα εντυπωσιακό παράδειγμα είναι το «εκτυπωμένο» όχημα ονόματι Genesis που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, του οποίου η εσωτερική δομή αποτελείται από ένα μίγμα θερμοπλαστικών υλικών και ανθρακονήματος. Έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρει στον οδηγό ενισχυμένη προστασία και στήριξη.

Επίσης το ανθρακόνημα έχει προστεθεί σαν ενισχυτικό υλικό στο PLA (**Carbon fiber PLA**) και σχεδιάστηκε για να είναι άκαμπτο ή να αντιστέκεται στην κάμψη. Είναι το σκληρότερο υλικό που προσφέρεται και έχει μια απίστευτα συμπαγή αίσθηση. Κατά την εκτύπωση, το υλικό αυτό είναι σκούρο γυαλιστερό που λάμπει ελαφρώς στο άμεσο φως. Η κύρια διαφορά

είναι ότι είναι εύθραυστο και για αυτό πρέπει να δίνεται προσοχή κατά τον χειρισμό του νήματος και την τοποθέτηση του στον εκτυπωτή.



Εικόνα 4.19. Διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης για Carbon fiber PLA

Πίνακας 4.10. Πίνακας ιδιοτήτων υλικών

Υλικό	Αντοχή σε κρούση(J/m)	Ακαμψία(MPa)	Αντοχή σε κάμψη(MPa)
High Temp PLA	118	3135	57
PLA	100	4565	110
PLA+15%Carbon fiber	53	6560	96
ABS	125	2241	43
PC	591	3096	83

4.6.3.Νάυλον Ίνα(Nylon)

Το νάυλον σαν πρώτη ύλη αποτελείται από ακρυλονιτρίλιο, βουταδιένιο και στυρόλιο. Το νάυλον προσφέρει μεγάλη χημική αντοχή και χαμηλή απορρόφηση υγρασίας. Θερμοκρασία τήξης περίπου στους 181 °C. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κάποια πρόσθετα υλικά όπως γυαλί και αλουμίνιο για εφαρμογές όπως μοντελοποίηση και κατασκευή πρωτοτύπων. Το νάυλον με πρόσθετα υλικά έχει αναπτυχθεί για να προσφέρει υψηλότερη αντοχή στη θερμότητα και εξαιρετική μηχανική ακαμψία.

Πίνακας 4.11. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων

Αντοχή στον εφελκυσμό	48 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	1700 MPa
Μέτρο κάμψης	1500 MPa
Επιμήκυνση κατά την θραύση	24%
Θερμοκρασία τήξης	181 °C

Το **νάυλον ενισχυμένο με γυαλί(Nylon Glass-filed)** είναι ένα ελαφρύ γκρι χρώματος υλικό, εξαιρετικά ανθεκτικό στην θερμότητα και διατηρεί την αρχική του ελαστικότητα και τις φυσικές ιδιότητες .

Πίνακας 4.12. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων

Αντοχή στον εφελκυσμό	36 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	3685 MPa
Μέτρο κάμψης	2650 MPa
Επιμήκυνση κατά την θραύση	1.4-6 %

4.6.4.Alumide

Είναι ένα νάυλον πλαστικό ενισχυμένο με σκόνη αλουμινίου. Αυτή η σκόνη δίνει στο Alumide τη λάμψη, αλλά και κάνει το υλικό πιο εύθραυστο από ένα ισχυρό και εύκαμπτο υλικό. Είναι ασφαλές για χρήση σε πλυντήριο πιάτων, δεν είναι στεγανό υλικό, δεν είναι ανακυκλώσιμο και ασφαλές για φαγητό. Επίσης υπάρχει μια ομαλότερη έκδοση του Alumide το Polished Alumide το οποίο είναι ιδανικό για κοσμήματα και δίνει στα μοντέλα ένα ματ μεταλλικό φινίρισμα σε χαμηλότερη τιμή από το ανοξείδωτο ατσάλι και ασήμι. Μια τυπική εφαρμογή του υλικού είναι η κατασκευή δύσκαμπτων αντικειμένων μεταλλικής εμφάνισης στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, ένθετων εργαλείων για την έγχυση και χύτευση μικρών παραγωγών όπως και στην εκπαίδευση. Οι επιφάνειες που είναι κατασκευασμένες από το υλικό αυτό μπορούν να ολοκληρωθούν με την λείανση, στίλβωση, επίχρισμα και η κατεργασία είναι δυνατή π.χ με το φρεζάρισμα, διάτρηση.

Πίνακας 4.13. Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων

Μέτρο ελαστικότητας	3800 MPa
Αντοχή σε εφελκυσμό	48 MPa
Επιμήκυνση κατά τη θραύση	4%
Μέτρο κάμψης	3600 MPa
Αντοχή στην κάμψη	72 MPa
Αντοχή στην κρούση	29 kJ/m ²

Πίνακας 4.14. Πίνακας θερμικών ιδιοτήτων

Σημείο τήξης	172-180 °C
Θερμοκρασία παραμόρφωσης	177,22 °C



Εικόνα 4.20. Μπρελόκ εκτυπωμένο από υλικό Alumide

4.6.5.Γραφένιο

Το γραφένιο έχει πάχος ενός ατόμου, με δομική κατασκευή πλέγματος ατόμων άνθρακα, με εφαρμογές που υπόσχονται να φέρουν επανάσταση στη βιομηχανία τεχνολογίας, με τρόπους που μπορεί να είναι ακόμα αδιανόητοι. Βασικό υλικό για την παραγωγή γραφενίου είναι ο υψηλής ποιότητας γραφίτης. Τα άτομα του άνθρακα που συνθέτουν το γραφένιο αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας ισχυρούς, αδιαπέραστους δεσμούς. Αρκετές μελέτες που έχουν γίνει επί του υλικού έχουν αποδείξει ότι γραφένιο πρόκειται για ένα επαναστατικό υλικό με εξαιρετικές ιδιότητες: 1) είναι πιο σκληρό από διαμάντι και πάνω από 200 φορές πιο ισχυρό από τον χάλυβα, 2) είναι ο καλύτερος αγωγός θερμότητας από τα γνωστά υλικά, 3) είναι καλύτερος αγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από τον χαλκό και παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν φωτίζεται, 4) είναι πάρα πολύ λεπτό και ελαφρύ υλικό. Η κάμψη, επιμήκυνση, στρέψη δεν αποτελούν πολύ εύκολες ενέργειες με αυτό το υλικό. Πρόσφατα δε, ανακαλύφθηκε ότι ως υλικό έχει την ιδιότητα του να αυτοεπισκευάζεται. Δεν αποτελεί έκπληξη ότι οι δυο επιστήμονες που το ανακάλυψαν έλαβαν το βραβείο Νόμπελ. Σήμερα, μεγάλος αριθμός επιστημόνων σε όλον τον κόσμο πειραματίζονται στα εργαστήριά τους με

τα μόρια υφιστάμενων υλικών ή δημιουργώντας εντελώς νέες, συνθετικές ουσίες. Τα αποτελέσματα των προσπαθειών τους δεν είναι ακόμα ορατά, όμως, σύντομα θα αρχίσουν να κατακλύζουν την παγκόσμια αγορά με τη μορφή εντυπωσιακών νέων εφευρέσεων και τεχνολογιών υποδομής. Προσθέτοντας γραφένιο σε πολυμερή υλικά βελτιώνονται οι ιδιότητες τους με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, όπως η μηχανική αντοχή καθώς και η ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Αυτά τα πολυμερή χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ηλεκτρονικών συσκευών. Μπορεί να θεωρηθεί ως αντικατάσταση του πυριτίου και ενδέχεται να οδηγήσει σε πιο λεπτές, πιο γρήγορες, φθηνότερες, πιο ευέλικτες συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των πηγών ενέργειας. Η Grafoid μια ιδιωτική канаδική εταιρεία, που ασχολείται με την ανάπτυξη των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας γραφενίου με βάση όλο τον κόσμο, ανακοίνωσε ότι εισέρχεται στην αγορά της 3D εκτύπωσης και θα παράγει ένα υλικό με βάση σκόνη γραφενίου, που ονομάζεται MesoGraf, για χρήση σε εκτυπωτές 3D. Η εταιρεία πιστεύει ότι θέτει το παγκόσμιο πρότυπο για την υψηλή πυκνότητα ενέργειας γραφενίου από μία παγκόσμια πατενταρισμένη διαδικασία. Αυτή η διαδικασία μετατρέπει μοναδικά ακατέργαστα, μη επεξεργασμένα μεταλλεύματα γραφίτη σε προσιτά και κλιμακούμενα, υψηλής καθαριότητας, στρώματα γραφενίου. Θα είναι πλέον δυνατό να εκτυπώσουμε οθόνες τηλεόρασης, οθόνες pc, ακόμα και smartphone mobilescreens χρησιμοποιώντας γραφένιο. Ο ιατρικός και επιστημονικός τομέας αναμένεται να επωφεληθούν πολύ από την 3D εκτύπωση χρησιμοποιώντας γραφένιο όπως επίσης και ο στρατιωτικός τομέας με πολλές εφαρμογές. (Wellington, 2013 και Krassentein, 2014)



Εικόνα 4.21. Εκτυπωμένες μεμβράνες από γραφένιο και νανοσωματίδια που φτάνουν σε πάχος 50-150 μm, ιδιαίτερα ευέλικτες, που είναι εξαιρετικά αγώγιμες και εμφανίζουν περίπου 2 - 3ohm αντίσταση σε μια περιοχή 2".

4.6.6. Πολύχρωμος αμμόλιθος (Full color sandstone)

Ο αμμόλιθος είναι το μόνο υλικό ικανό για έγχρωμη 3D εκτύπωση. Παράγεται σε εκτυπωτές Z-Corp, είναι ιδανικό για φιγούρες, όπως τα μοντέλα avatars και άλλα προϊόντα που προσφέρονται σε πολύχρωμη υψηλής ποιότητας εκτύπωση. Τα μοντέλα δημιουργούνται από την εκτύπωση του συνδετικού υλικού και από ένα χρωματιστό μελάνι επίπεδο με επίπεδο σε μια πλατφόρμα με βάση γύψο σε σκόνη. Μετά την εκτύπωση, τα μοντέλα ολοκληρώνονται με ένα κυανοακρυλικό σφραγιστικό (εξαιρετικής ποιότητας κόλλα) για να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητα και τα ζωντανά χρώματα. Το τελικό προϊόν είναι ένα σκληρό, εύθραυστο υλικό που λειτουργεί ιδανικά για τα οπτικά πρότυπα, αλλά δεν είναι κατάλληλο για λειτουργικά τμήματα. Τα μοντέλα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή και να μην

εκτίθενται σε νερό, καθώς θα προκαλέσει ξεθώριασμα. Κατά την εκτύπωση σε αυτό το υλικό, κάποια ενδεχομένως μεταβολή στην απόχρωση είναι αναπόφευκτη, ειδικά με δύσκολα χρώματα, όπως καφέ κ.α. Είναι πυρίμαχο έως 60 ° C. Υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να μεταβάλουν σημαντικά τις ιδιότητες του υλικού. Δεν αποτελεί στεγανό και ανακυκλώσιμο υλικό.



Εικόνα 4.22. Φιγούρα από αμμόλιθο (sandstone)

Τέλος ως υλικά «βάσης» που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις τρισδιάστατες εκτυπώσεις είναι και το καουτσούκ που βρίσκει εφαρμογή σε φιγούρες παιχνιδιών, οικιακά είδη και άλλες εφαρμογές τις οποίες θα αναλύσουμε λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο. Υλικά από 100% κερί RealWax για χύτευση μέχρι σκληρά, ανθεκτικά πρωτότυπα με εκπληκτικής λεπτομέρειας γεωμετρία και οργανικά σχήματα. Πολλά από τα υλικά μπορούν να τρυπηθούν, να βαφτούν ή ακόμη και να επιμεταλλωθούν.

Στα επόμενα χρόνια το παιχνίδι θα παιχτεί στον τομέα των υλικών αλλά και της εφαρμογής τους σε βιώσιμα βιομηχανικά πλάνα. Αν κάτι τέτοιο επιτευχθεί, μπορεί να έχουμε μπροστά μας μια καινούργια μορφή βιομηχανικής επανάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εισαγωγή

Η τεχνολογία των εκτυπώσεων 3D βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς όπως στην παραγωγή κοσμημάτων, αρχιτεκτονικών μακετών, αγαλμάτων, χαρτών, και καθώς και στους κλάδους της ιατρικής, της μηχανολογίας, του βιομηχανικού σχεδιασμού κ.α. Για αυτό το λόγο η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μια επαναστατική αλλαγή στην διαδικασία της βιομηχανικής αλυσίδας. Πιο αναλυτικά:

5.1.Μηχανολογία

Η χρήση της ταχείας πρωτοτυποποίησης (3D printing) στην μηχανολογία είναι μια καινοτόμος τεχνολογία που επιτρέπει την παραγωγή υψηλής ποιότητας τμημάτων προκειμένου να διαπιστωθεί η λειτουργικότητά τους. Η τρισδιάστατη εκτύπωση παρέχει συγκριτικά πλεονεκτήματα στους μηχανολόγους για την γρήγορη απεικόνιση αρχικών σχεδίων εξαλείφοντας την ανάγκη παραγωγής μικρών παρτίδων των πρωτότυπων τμημάτων. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί μέταλλα όπως χαλκός, ρινίσματα από ατσάλι, σίδηρο για την κατασκευή εργαλείων, εξαρτημάτων μηχανών, εργαλειομηχανών, αυτοκινήτων, αεροσκαφών ακόμα και πραγματικών όπλων.



Εικόνα 5.1. Διάφορες μηχανολογικές κατασκευές που προέρχονται από 3D εκτυπώτες

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατασκευή αυτοκινήτου από 3D εκτυπωτή. Με βάρος περίπου 680 κιλά, κατασκευάστηκε από ίνες άνθρακα, εμποτισμένες με πλαστικά σφαιρίδια μέσα σε μόλις 44 ώρες, «φόρεσε» ηλεκτρική μηχανή και ρόδες και ήταν έτοιμο προς χρήση. Η αμερικανική εταιρεία Local Motors παρουσίασε το πρωτότυπο αυτοκίνητο που λέγεται Strati στη Διεθνή Έκθεση Τεχνολογιών στην «Πόλη των Ανέμων». Τα μόνα μέρη του αυτοκινήτου που δεν εκτυπώθηκαν είναι η μπαταρία, η μηχανή και τα λάστιχα. Αντίθετα με

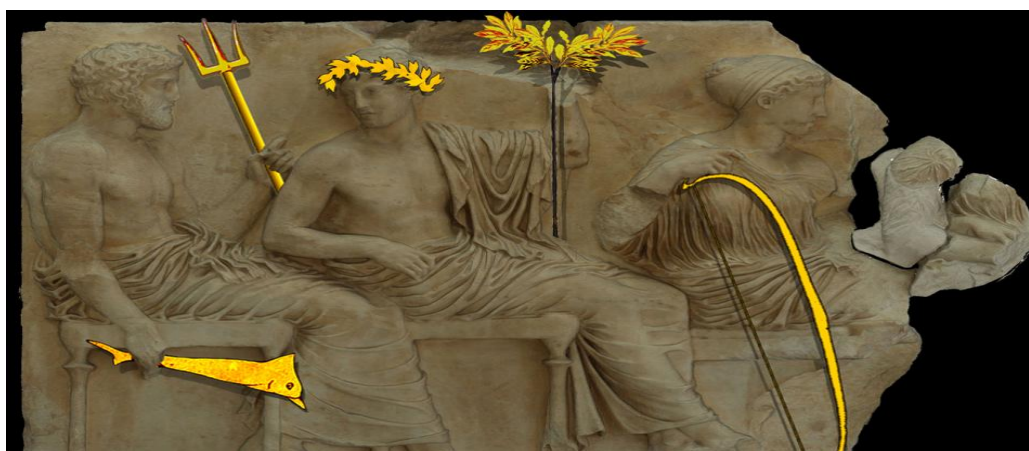
ένα συνηθισμένο αυτοκίνητο που αποτελείται από περισσότερα από 20.000 εξαρτήματα, το Strati αποτελείται μόνο από 40. Όπως μάλιστα εξηγούν οι κατασκευαστές του, λιγότερα εξαρτήματα σημαίνει λιγότερα προβλήματα. Προς το παρόν η ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει δεν ξεπερνά τα 64 χιλιόμετρα την ώρα και το κόστος κατασκευής του φθάνει τα 18.000 δολάρια όμως στο μέλλον μπορεί να μειωθεί ακόμη και στο μισό.



Εικόνα 5.2. Το αυτοκίνητο Strati

5.2. Αρχαιολογία

Η χρήση της τρισδιάστατη εκτύπωσης κάνει πιο προσιτή την αναπαραγωγή αρχαιοτήτων. Ένα πρόβλημα είναι ότι τα περισσότερα αρχαία βρίσκονται διασκορπισμένα σε μουσεία ανά τον κόσμο για λόγους συντήρησης. Με τις δυνατότητες όμως της 3D εκτύπωσης δημιουργούνται πραγματικά αντίγραφα (προτομές, αγάλματα, μνημεία) ακόμα και τα πιο μικρά αντικείμενα μπορούν να αναπαραχθούν για μελέτη και άλλους σκοπούς. Οι ερευνητές μπορούν να παραλάβουν ένα πιστό αντίγραφο ακόμη και αν βρίσκονται μακριά από τα εκθέματα ενώ η αντιγραφή αρχαίων έργων τέχνης για εμπορική χρήση γίνεται πλέον άμεση και εύκολη. Με την τρισδιάστατη σάρωση αποκτούν οι ερευνητές την δυνατότητα να μελετήσουν λεπτομερώς τις σπές που τυχόν να έχουν τα αγάλματα, να τις ερμηνεύσουν και να προσθέσουν ψηφιακά τα σύμβολα που έχουν χαθεί.



Εικόνα 5.3. Ο Ποσειδώνας, ο Απόλλωνας και η Άρτεμη από την ανατολική ζωφόρο του Παρθενώνα με τα επιχρυσωμένα χάλκινα σύμβολά τους.

5.3. Αρχιτεκτονική

Η μακέτα στην αρχιτεκτονική είναι το σημαντικότερο εργαλείο απεικόνισης. Με την χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης ο αρχιτέκτονας έχει την δυνατότητα να πειραματιστεί με νέες μορφές και με μια μεγάλη γκάμα υλικών αξεπέραστης ακρίβειας και λεπτομέρειας. Η τρισδιάστατη εκτύπωση επαναπροσδιορίζει την έννοια της μακέτας καθιστώντας την ένα αυτόνομο έργο και ένα διαχρονικό αντικείμενο. Ένα παράδειγμα είναι το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για οικοδομικές εργασίες μέχρι και τη κατασκευή ολόκληρων κτιρίων.



Εικόνα 5.4. Μακέτα σπιτιού προς εκτύπωση

5.4. Ιατρική

Οι ιατρικές εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης αφορούν την κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου περιοχής με κύριο στόχο την επισκόπηση για επιλογή της κατάλληλης θεραπευτικής προσέγγισης (χειρουργικός εμβολισμός, χειρουργική επέμβαση, ακτινοχειρουργική), εκτίμηση ρίσκου σε χειρουργικές επεμβάσεις, εκπαίδευση του επεμβαίνοντος σε λεπτές κινήσεις στο τρισδιάστατο ρεαλιστικό μοντέλο της συγκεκριμένης περιοχής προχειρουργικά. Επίσης άλλες εφαρμογές είναι η δοκιμή ή προσαρμογή μεταλλικών ή άλλων προθέσεων σε τρισδιάστατο μοντέλο (π.χ. κρανίο) πριν την εφαρμογή τους στον ασθενή, εξοικονομώντας πολύτιμο εγχειρητικό χρόνο, όπως επίσης και η 3D εκτύπωση εξατομικευμένου για κάθε ασθενή μοντέλου (καλούπι) για εμφύτευμα ισχίου με τη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και η συνακόλουθη κατασκευή εξατομικευμένου εμφυτεύματος ισχίου για το συγκεκριμένο ασθενή από την κατασκευάστρια εταιρεία. Τρισδιάστατη εκτύπωση της μορφής του εμβρύου είτε για διαγνωστικούς είτε για συναισθηματικούς λόγους. Τρισδιάστατη εκτύπωση δομών (π.χ. γνάθων) για εκπαιδευτικούς λόγους (π.χ. τοποθέτηση εμφυτευμάτων) ή για λόγους επίδειξης/επεξήγησης σε ασθενείς/φοιτητές. Αν συνεκτιμηθούν οι παράγοντες μειωμένες επιπλοκές ασθενούς, δυνατότητες κατασκευής πολύπλοκων αποκαταστάσεων, δυνατότητα αποθήκευσης και επανάκτησης ή σχετικά απλής διόρθωσης καθώς και η δαπάνη υλικού, κόστη παραγωγής (εργατοώρες) μάλλον το κόστος της 3D εκτύπωσης θα πρέπει να θεωρείται ήσσονος σημασίας.

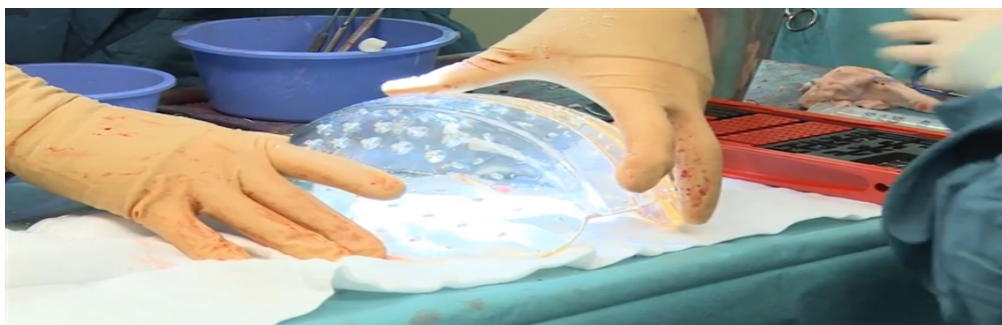


Εικόνα 5.5. Εκτυπωμένο βοηθητικό πόδι

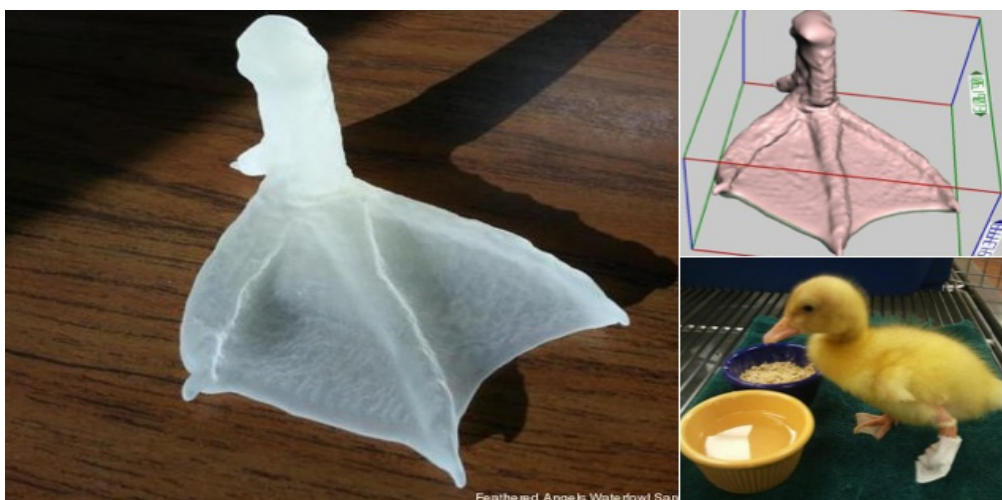
Ένας σωστός συνδυασμός της τεχνολογίας και των ανθρωπίνων αναγκών θα μπορούσε να αποφέρει πραγματικά αδιανόητα, μέχρι πρότινος, αποτελέσματα. Καθώς τα υλικά των 3D εκτυπωτών δε χρειάζεται να είναι απαραίτητα συνθετικό πλαστικό ή μέταλλα, με τη χρήση οργανικών υλικών, ήδη δημιουργούνται δοκιμαστικά ολόκληρα ανθρώπινα όργανα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταμοσχεύσεις κατά παραγγελία. Και θα ήταν συμβατά με το χρήστη-δέκτη, αφού θα παράγονταν με τη χρήση δικών του κυττάρων. Ερευνητές στο πανεπιστήμιο Wake Forest στην βόρεια Καρολίνα δημιούργησαν τον πρώτο στο είδος του 3D εκτυπωτή που «τυπώνει» ιστούς και όργανα. Ζωντανά κύτταρα και βιώσιμα υλικά τα οποία συγκρατούν τα κύτταρα ενωμένα, εκτυπώνονται σε τρισδιάστατους σχηματισμούς και εμφυτεύονται στο σώμα, όπου εκεί συνεχίζουν την ανάπτυξη τους. Οι δομές δεν είναι λειτουργικές μέχρι να εμφυτευτούν, χρησιμοποιώντας τις φυσικές αναγεννητικές διαδικασίες του σώματος για την ολοκλήρωση της εμφύτευσης. Η ομάδα έχει επιτυχώς κατασκευάσει μια μινιατούρα νεφρών με στόχο την δημιουργία ανθρώπινων εκδόσεων. Ακόμη στο San Diego ερευνητές έχουν «εκτυπώσει» αιμοφόρα αγγεία διαμέτρου 1mm, 5cm μέσα σε 30 λεπτά. Επιστήμονες στις ΗΠΑ ανακοίνωσαν πως πλέον ανθρώπινη καρδιά η οποία λειτουργεί κανονικά και μπορεί να μεταμοσχευθεί σε ασθενή με καρδιολογικά προβλήματα εκτυπώθηκε σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Εκτύπωσαν όλα τα μέρη που την αποτελούν, τα συναρμολόγησαν και προέκυψε ολόκληρο το όργανο. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση είναι βιολογικά, δηλαδή άνθρωποι ιστοί και βιολογικά υγρά. Ένα παιδί μάλιστα που γεννήθηκε στις ΗΠΑ με τρύπα στην καρδιά, αναμένεται να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα υγείας με εκτύπωση του τμήματος που του είναι απαραίτητο, για το οποίο οι επιστήμονες θα χρησιμοποιήσουν κύτταρα από το λίπος του. Οι επιστήμονες έχουν επίσης προτείνει την ανάμειξη ανθρώπινων βλαστικών κυττάρων με μυϊκά κύτταρα ώστε να δημιουργήσουν βελτιωμένο ιστό του οργάνου. Η εκτύπωση χόνδρου εξακολουθεί να είναι η πιο ρεαλιστική μέθοδος της «βιοεκτύπωσης».

Ένα επίσης πρόσφατο αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι μιας 22χρονης κοπέλας η οποία έπασχε από μια σπάνια πάθηση που προκαλούσε πάχυνση των οστών του κρανίου της, με αποτέλεσμα να έχει όλο και περισσότερους πονοκεφάλους και να χάνει σταδιακά την όρασή της. Οι γιατροί υποστήριζαν ότι ήταν θέμα χρόνου να πεθάνει η νεαρή κοπέλα και ως εκ τούτου αποφάσισαν να προχωρήσουν στην επέμβαση. Οι χειρουργοί αφαίρεσαν σχεδόν όλα τα οστά από το κρανίο της 22χρονης και τα αντικατέστησαν με το μόσχευμα, που δημιουργήθηκε στον 3D εκτυπωτή και το οποίο στη συνέχεια σύνδεσαν με τον αυχένα. Η

επέμβαση ολοκληρώθηκε επιτυχώς και πλέον η κοπέλα έχει επιστρέψει σε κανονικούς ρυθμούς ζωής χωρίς κανένα σημάδι στο πρόσωπο της. (Dean, 2014 και Λούβρου, 2014)



Εικόνα 5.6. Το μόσχευμα που χορηγήθηκε στην 22χρονη



Εικόνα 5.7. Πόδι από σιλκόνη “τυπωμένο” από 3D εκτυπωτή για μια τραυματισμένη πάπια

5.5.Οδοντιατρική

Η κατασκευή εκμαγείων (και όχι μόνο) για οποιαδήποτε λύση, αλλά ιδιαίτερα για αποκαταστάσεις CAD/CAM τώρα μπορεί να αναζητηθεί σε λύσεις 3D printing κατά τις οποίες η συσκευή χτίζει τη δομή σε στρώματα από ρητινώδες υλικό. Έτσι, επιπλέον μπορούν να εκτυπωθούν πρότυπα για χύτευση σκελετών μερικής οδοντοστοιχίας, συγκρατητικές συσκευές για ορθοδοντική χρήση, προχειρουργικοί νάρθηκες για τοποθέτηση εμφυτευμάτων. Η εκτύπωση ακολουθεί τη ψηφιακή απεικόνιση/σχεδιασμό των εκμαγείων/αποκαταστάσεων. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με ενδοστοματικές συσκευές καταγραφής (π.χ. Sirona Omnicam, Lava COS, Itero, 3Shape Trios), είτε ψηφιοποιώντας ένα συμβατικό αποτύπωμα.



Εικόνα 5.8. Οδοντοστοιχία από ABS πλαστικό

5.6.Εκπαίδευση

Στην ανθρωπολογία, τη βιολογία, τα καλλιτεχνικά και σε πλήθος άλλων μαθημάτων, ο εκπαιδευτικός, με την απλή δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων έχει τη δυνατότητα να κάνει το μάθημά του διαδραστικό και δημιουργικό. Ο ερευνητής ή ο ακαδημαϊκός μπορεί να πειραματιστεί σε πρωτότυπα, φτιαγμένα με ακρίβεια και ταχύτητα με βάση τις αποκλειστικές του ανάγκες διευκολύνοντας την εργαστηριακή έρευνα ή να εργαστεί σε ρεαλιστικά αντίγραφα μέσω της χρήσης της τρισδιάστατης σάρωσης (3D scanning). Ο καθηγητής και ο μαθητής αποκτούν ένα νέο εργαλείο έρευνας και μάθησης. Η ευελιξία της τεχνολογίας 3D σημαίνει ότι ο τομέας της έρευνας και της μάθησης απλοποιείται και επεκτείνεται επιτρέποντας την ανάπτυξη της τεχνολογίας, της επιστήμης και της εκπαίδευσης. Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) προσφέρει μια επαναστατική αναβάθμιση στην εκπαίδευση.

5.7.Βιομηχανικός Σχεδιασμός

Η προηγμένη τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης επιτρέπει τη δημιουργία μοναδικών αντικειμένων, αλλά και τον πειραματισμό με νέες ιδέες, σχήματα και υλικά τόσο για τη δημιουργία πρωτοτύπων όσο και για το σχεδιασμό και την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση και σάρωση (3D scanning), ο σχεδιαστής γίνεται δημιουργός, παραγωγός και ο τελικός καταναλωτής. Παλαιά αντικείμενα μεταποιούνται, επιδιορθώνονται, ανακυκλώνονται. Νέα αντικείμενα που δεν ήταν υλοποιήσιμα στο παρελθόν τώρα παίρνουν μορφή και το μαζικό με το εξατομικευμένο ταυτίζονται.

5.8.Ψυχαγωγία

Με μία σάρωση και μία εκτύπωση, κρατάει κανείς τον εαυτό του στα χέρια του σε μικρογραφία. Μπορεί κάποιος να δημιουργήσει τα παιχνίδια του υπολογιστή του σε μικρές φιγούρες, το μοντέλο που πάντα ήθελε, μία θήκη κινητού, ένα εργαλείο κ.α



Εικόνα 5.9. Φιγούρες παιχνιδιών από τρισδιάστατη εκτύπωση είναι συνήθως από πλαστικό ή καουτσούκ



Εικόνα 5.10. Κιθάρα κατασκευασμένη από 3D εκτύπωση

5.9. Τέχνη - Κοσμήματα

Ο καλλιτέχνης μπορεί με τη χρήση του υπολογιστή να δημιουργήσει έργα τέχνης, εξαστομικευμένα, μοναδικά ή σε πολλαπλά αντίγραφα. Το έργο δεν έχει πλέον μία στατική μορφή, αλλά μπορεί να εξελίσσεται και να μεταλλάσσεται διαρκώς. Το κοινό γίνεται συνδημιουργός και το κόσμημα γίνεται προσωπικό. Η διαδικασία παραγωγής κοσμημάτων διευκολύνεται καθώς ο κοσμηματοποιός έχει τη δυνατότητα να τυπώσει καλούπια, να σαρώσει ένα κόσμημα δημιουργώντας τρισδιάστατο αρχείο, και να το επανεκτυπώσει μέσω της γρήγορης και ακριβούς διαδικασίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης .



Εικόνα 5.11. Δαχτυλίδια και κοσμήματα από 3D εκτύπωση

5.10. Μόδα

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει εφαρμογή και στο χώρο της μόδας με εντυπωσιακά φορέματα, παπούτσια αλλά και όλων των ειδών ρούχων και αξεσουάρ που μπορεί να φανταστεί κανείς σε υλικά και χρώματα τα οποία επιθυμεί.



Εικόνα 5.12. Η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει εντυπωσιακά αποτελέσματα στο χώρο της μόδας

5.11.Μαγειρική-Ζαχαροπλαστική

Έχουν ακόμη γίνει προσπάθειες για «εκτύπωση» φαγώσιμων υλικών όπως σοκολάτα, burger, pizza κ.α. με την έκχυση ζύμης από τον εκτυπωτή.

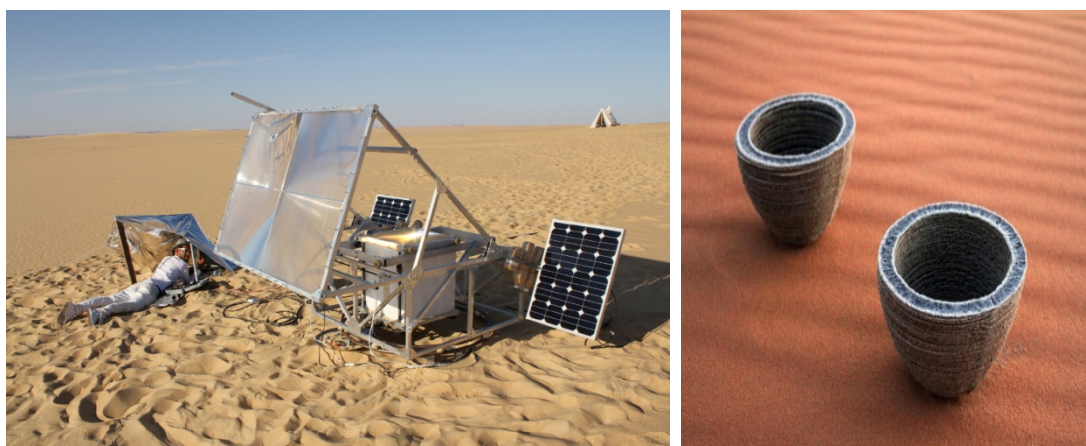


Εικόνα 5.13. Pizza ή burger «βγαλμένα» από 3D εκτυπωτή

5.12.Άλλες εφαρμογές

Η τεχνολογία βρίσκει επίσης εφαρμογή στην εγκληματολογία για την ανακατασκευή οστών του σώματος. Ένας τώρα καινοτόμος 3D εκτυπωτής που καταφέρνει να συνδυάζει την τέχνη με την φύση είναι ο εκτυπωτής που χρησιμοποιεί ένα ειδικό μείγμα με λάσπη και σπόρους και στη συνέχεια με τον κατάλληλο προγραμματισμό ζωγραφίζει σχήματα και γράμματα πάνω σε ένα ειδικό πλέγμα. Μετά από λίγο οι ζωγραφιές ανθίζουν ανάλογα με τους σπόρους που χρησιμοποιήθηκαν στο μείγμα. (Trzan, 2014)

Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα ενός πρωτοπόρου 3D εκτυπωτή που αξίζει να αναφερθεί είναι αυτός που δημιούργησε ο Markus Kayser (βοηθός της έρευνας του MIT και κάτοχος master στον σχεδιασμό προϊόντος). Ο συγκεκριμένος εκτυπωτής μπορεί να φτιάξει αντικείμενα από γυαλί χρησιμοποιώντας τον ήλιο και την άμμο της ερήμου. Βασισμένος στην μέθοδο SLS(selective laser sintering) αντικαταστεί το laser με τις ακτίνες του ήλιου και τις ρητίνες με την άμμο. Το μηχάνημα διαβάζει τον κωδικό από την SD κάρτα και μετακινεί το κουτί που περιέχει την άμμο σύμφωνα με συντεταγμένες κατά 1mm/sec ενώ ο φακός εστιάζει μια δέσμη φωτός που παράγει θερμοκρασίες 1400-1600 °C αρκετές για να λιώσουν την άμμο.



Εικόνα 5.14. Ο Markus Kayser και ο 3D εκτυπωτής του στην Αίγυπτο το 2011

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

6.1.Γενικά

Κατά τα τελευταία 25 χρόνια, αρκετές τεχνολογίες και μέθοδοι ταχείας προτυποποίησης (RP) έχουν εμφανιστεί, όλες με βάση την ιδέα κατασκευής πρόσθετης ύλης. Οι τεχνικές διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά το μέγεθος των εκτυπωτών, την ακρίβεια, τον χρόνο κατασκευής, το φινίρισμα επιφάνειας και το κόστος. Λόγω αυτών των μεγάλων διακυμάνσεων, οι τεχνολογίες της 3D εκτύπωσης θα πρέπει να εξεταστούν με βάση τις ανάγκες των εφαρμογών που απευθύνονται. Οι τεχνολογίες αυτές που είναι διαθέσιμες στην αγορά σήμερα, περιλαμβάνουν έξι βασικές τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης, κάθε μία από τις οποίες έχει τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματά της: τη στερεολιθογραφία (stereolithography, STL), την επιλεκτική σύντηξη με τη χρήση ακτινών λέιζερ (selective laser sintering, SLS), την παραγωγή αντικειμένων μέσω της συγκόλλησης λεπτών φύλων (Laminated Object Manufacturing, LOM), την κατασκευή μοντέλων μέσω εναπόθεσης/σύντηξης διαδοχικών στρώσεων (Fused Deposition Modeling), την τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης ink-jet (3D ink-jet Printing) και μία παραλλαγή της στερεολιθογραφίας γνωστή ως Solid Ground Curing, SGC.

Όλες οι τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης ακολουθούν μια κοινή διαδικασία πέντε σταδίων:

1. Δημιουργία ψηφιακού CAD μοντέλου του σχεδίου ή του σκαναρισμένου αντικειμένου.
2. Μετατροπή του μοντέλου CAD σε αρχείο STL.
3. "Τεμαχισμό" με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, του αρχείου STL σε λεπτές "διατομές" ελάχιστου πάχους.
4. Κατασκευή του αντικειμένου με τη διαδοχική πρόσθεση των διατομών.
5. Καθαρισμό και τελικό φινίρισμα του μοντέλου.

Το πρώτο βήμα το οποίο είναι η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του αντικειμένου, εκτελείται κατά κανόνα με λογισμικό σχεδίασης στερεών μοντέλων όπως το Pro/Engineer, Inventor, Google Sketch Up καθώς μπορούν να αναπαριστούν τα τρισδιάστατα αντικείμενα με μεγάλη ακρίβεια. Ο σχεδιαστής μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα υπάρχον αρχείο CAD ή να δημιουργήσει ένα νέο, ειδικά για τις ανάγκες της προτυποποίησης. Η διαδικασία αυτή είναι κοινή για όλες τις τεχνικές 3D εκτύπωσης.

Η μετατροπή του μοντέλου CAD σε αρχείο STL (StereoLithography), αποτελεί το δεύτερο βήμα της τρισδιάστατης εκτύπωσης και είναι το μεταβατικό στάδιο του ψηφιακού μας μοντέλου σε αρχείο κατάλληλο και αναγνωρίσιμο για το λογισμικό του 3D εκτυπωτή.

Το τρίτο βήμα της διαδικασίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης, συνίσταται στη λειτουργία ενός προγράμματος το οποίο προετοιμάζει την κατασκευή του αντικειμένου που αναπαριστά το αρχείο STL. Το λογισμικό του προγράμματος αυτού διαιρεί ("τεμαχίζει") το ψηφιακό μοντέλο σε έναν αριθμό λεπτών εγκάρσιων διατομών (πάχους 0,01 έως 0,7 mm, ανάλογα με την τεχνική εκτύπωσης), ενώ μπορεί να δημιουργήσει και μια βοηθητική δομή, που θα χρησιμοποιείται για τη στήριξη του πρωτοτύπου κατά τη διάρκεια της κατασκευής του (σε περίπτωση που υπάρχουν εσωτερικές κοιλότητες, πρόβολοι, ή λεπτά τοιχώματα). Στην αγορά προσφέρονται σήμερα διάφορα τέτοια προγράμματα, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνική, τα περισσότερα από τα οποία επιτρέπουν στον χρήστη να ρυθμίσει το μέγεθος, τη θέση και τον προσανατολισμό του ψηφιακού μοντέλου. Ο προσανατολισμός του μοντέλου καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο

αυτό θα κατασκευαστεί, κάτι που έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι ιδιότητες των αντικειμένων που κατασκευάζονται με τις τεχνικές της τρισδιάστατης εκτύπωσης δεν είναι όμοιες και στις τρεις συντεταγμένες x,y,z. Για παράδειγμα στη συντεταγμένη z (κατακόρυφη) τα αντικείμενα τείνουν να είναι λιγότερο ακριβή και όχι τόσο στιβαρά, απ' ό,τι στο επίπεδο x,y. Επιπλέον, ο προσανατολισμός του μοντέλου καθορίζει κατά ένα μέρος τον χρόνο που θα απαιτηθεί για την κατασκευή του πρωτοτύπου, εφόσον οι σχεδιαστές προτιμούν να επιλέγουν τη συντεταγμένη z για τη μικρότερη διάσταση του αντικειμένου, έτσι ώστε να μειώσουν τον αριθμό των διαδοχικών λεπτών διατομών που θα εναποτεθούν η μία πάνω στην άλλη, μειώνοντας έτσι τον συνολικό χρόνο κατασκευής.

Το τέταρτο στάδιο είναι η κατασκευή του φυσικού αντικειμένου με τη χρήση των έξι τεχνικών που προαναφέρθηκαν, από μηχανές οι οποίες κατασκευάζουν μία-μία τις διατομές στις οποίες διαιρέθηκε το ψηφιακό μοντέλο, χρησιμοποιώντας διάφορα υλικά (ρητίνες, πλαστικά, χαρτί, κεραμικά ή μέταλλα σε σκόνη κλπ.). Οι περισσότερες μηχανές είναι αυτόματες και απαιτούν μικρή ανθρώπινη παρέμβαση.

Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την απομάκρυνση του αντικειμένου από τη μηχανή, την απόσπασή του από τυχόν στηρίγματα και τον καθαρισμό του από υπολείμματα υλικού. Μερικά πρωτότυπα κατασκευασμένα από φωτοευαίσθητα υλικά ακολουθούν την φάση της ωρίμανσης όπου υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία σκλήρυνσης πριν παραδοθούν για χρήση. Η φάση της ωρίμανσης συνίσταται στην έκθεση ολόκληρου του αντικειμένου σε υπέρυθη ακτινοβολία μέσα σε ειδική συσκευή (συσκευή ωρίμανσης ή «φούρνος»), εφοδιασμένη με τους ανάλογους λαμπτήρες. Αρκετές φορές το συγκεκριμένο στάδιο παραλείπεται. Τέλος, μπορεί επίσης να απαιτηθεί το φινίρισμα των επιφανειών του πρωτοτύπου ή άλλες επεμβάσεις που σχετίζονται με την εμφάνιση ή την αντοχή του για την καλύτερη απόδοση τους. (Παπαθανάσης, 2005)

6.2.Αρχείο STL

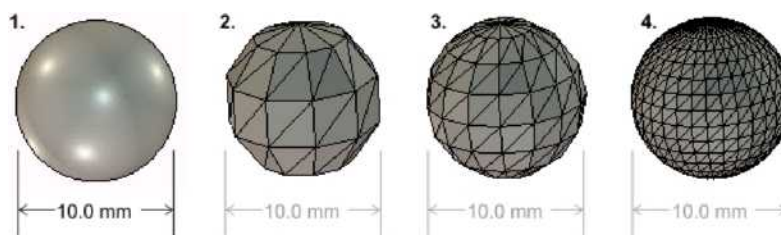
Τα αρχεία STL αναπαριστούν γεωμετρικά στο χώρο ολόκληρο το κλειστό σύνολο επιφανειών που απαρτίζουν ένα τρισδιάστατο στερεό μοντέλο σε H/Y, διαχωρίζοντας τις σε προσανατολισμένες στο χώρο (ύπαρξη κανονικού διανύσματος) τριγωνικές έδρες που θυμίζουν την πολυεδρική όψη της επιφάνειας ενός κατεργασμένου διαμαντιού. Οι έδρες αυτές διασυνδέονται μεταξύ τους με προκαθορισμένο τρόπο, έτσι ώστε η κάθε μια να μοιράζεται υποχρεωτικά μία κοινή πλευρά και δύο κοινές κορυφές με κάποια γειτονική της. Επειδή τα αρχεία STL χρησιμοποιούν στοιχειώδη επίπεδα, δεν μπορούν να αναπαραστήσουν καμπύλες επιφάνειες, παρά μόνο κατά προσέγγιση. Η αύξηση του αριθμού των στοιχειωδών τριγώνων επιτρέπει καλύτερη προσέγγιση, αλλά έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους και της πολυπλοκότητας του αρχείου. Μεγάλα και πολύπλοκα αρχεία σημαίνουν μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας και κατασκευής. Συνεπώς, οι σχεδιαστές πρέπει να εξισορροπήσουν τις απαιτήσεις ακρίβειας με τις ανάγκες ευχρηστίας ώστε να κατασκευάσουν ένα χρήσιμο αρχείο STL. Επιπλέον, αλλάζοντας χαρακτηριστικές παραμέτρους του αρχείου όπως είναι Chord Tolerance, Surface Deviation , ή Angular Control μπορούμε να αλλάξουμε την ανάλυση (resolution) του αρχείου STL. Όσο μεγαλύτερης χωρητικότητας είναι το αρχείο STL , τόσο μεγαλύτερος είναι ο τριγωνισμός του μοντέλου. Τυπικά ένα σύνθετο CAD μοντέλο που εξάγεται σε STL format έχει χωρητικότητα μεταξύ 1-1.5 MB.

Η ακρίβεια προσέγγισης της επιφάνειας εξαρτάται από την απόκλιση, μεταξύ της επιφάνειας (Surface Deviation) που δημιούργησε το CAD και της πολυεδρικής που δημιούργησε η

μετατροπή σε STL. Η ακρίβεια αυτή, ελέγχεται από δύο παραμέτρους: το ύψος της χορδής και τον έλεγχο της γωνίας.

Ύψος της χορδής (Chord Tolerance) είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ της χορδής που δημιουργείται από τη μετατροπή και της πραγματικής επιφάνειας του μοντέλου. Μικρότερη απόκλιση από την πραγματική επιφάνεια προκύπτει, όταν το ύψος της χορδής μειώνεται.

Έλεγχος της γωνίας (Angular Control): ρυθμίζει και βελτιώνει τις καμπύλες με μικρή ακτίνα. Π.χ. αν σε ένα σφαιρικό αντικείμενο υπάρχει μία εσοχή πολύ μικρής ακτίνας, το ψηφιοποιημένο αποτέλεσμα μπορεί να έχει πολύ μικρό γεωμετρικό προσδιορισμό. Τα αρχεία STL αποτελούνται από τριάδες συντεταγμένων του χώρου X,Y,Z, που αποτελούν κορυφές τριγώνων.



Εικόνα 6.1- Αρχική σφαίρα 10 χιλιοστών CAD

Εικόνα 6.2- Διασταυρωμένη σφαίρα STL με 0,5 χιλιοστά απόκλιση επιφάνειας

Εικόνα 6.3-- Σφαίρα με 0,3 χιλιοστά απόκλιση επιφάνειας

Εικόνα 6.4- Σφαίρα με 0,1 χιλιοστά απόκλιση επιφάνειας

Τα STL αρχεία εξάγονται από τις περισσότερες 3D εφαρμογές της αγοράς. Έτσι μέσα στο αρχείο STL κωδικοποιείται πλήρως η γεωμετρική περιγραφή του αντικειμένου ως πλέγμα αλληλοσυνδεδεμένων τριγωνικών εδρών. Για τη συγκρότηση του αρχείου χρησιμοποιείται η ακόλουθη ομάδα εντολών :

1. **solid**: Δίνει το όνομα του στερεού.
2. **facet normal**: Δίνει την κατεύθυνση του κανονικού διανύσματος τριγωνικής έδρας.
3. **outer loop**: Ξεκινά την αλληλουχία κορυφών της τριγωνικής έδρας.
4. **vertex endloop**: Τελειώνει την αλληλουχία κορυφών της έδρας.
5. **endfacet**: Τελειώνει την περιγραφή της τριγωνικής έδρας.
6. **end solid**: Τελειώνει την περιγραφή του στερεού

Η απλότητα του STL format έχει ως αποτέλεσμα η μετατροπή ενός 3D CAD μοντέλου στο εν λόγω πρότυπο να γίνεται εξαιρετικά εύκολα. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι τριγωνισμού επιφανειών , οι οποίοι συμβάλλουν στο να αναπτυχθούν ρουτίνες μετατροπής αρχείων σε STL format. Αναφορικά με την ακρίβεια , αυτή σχετίζεται με τον αριθμό των τριγώνων που εμείς ορίζουμε. Κάθε 3D μορφή μπορεί να απεικονιστεί στο πρότυπο STL και ένας απλός slicing αλγόριθμος είναι ικανός να μετατρέπει το πλέγμα τριγώνων σε εγκάρσιες διατομές (cross-sectional slices).(Βαρέλης, 2009 και Κουζέλης, 2008). Τα αρχεία STL που εξάχθηκαν από το σύστημα CAD μεταφέρονται στο ειδικό λογισμικό επεξεργασίας των 3D εκτυπωτών όπου εκτελούνται οι εξής εργασίες:

1. Έλεγχος του αρχείου για τυχόν λάθη στην μετάφραση καθώς και για την ύπαρξη κενών.
2. Διόρθωση(αν υπάρχουν τα λάθη και μπορούν φυσικά να διορθωθούν).
3. Τοποθέτηση στο χώρο.
4. “Τεμαχισμός”(Slicing) του αρχείου σε εγκάρσιες τομές.

Η φάση του τεμαχισμού έχει ως σκοπό την εξαγωγή αρχείων .SLI που χρησιμοποιούνται από το σύστημα για την καθοδήγηση της ακτίνας laser και την κίνηση των υπολοίπων μηχανικών μερών (λεπίδα επικάλυψης, πλατφόρμα). Τα αρχεία αυτά ουσιαστικά αποτελούν το σύνολο των εγκάρσιων τομών που προκύπτουν από την τομή του αντικειμένου στον χώρο με διαδοχικά οριζόντια επίπεδα (επίπεδα παράλληλα της πλατφόρμας). Το STL αρχείο έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματα είναι:

1. Απλή μετατροπή. Οι αλγόριθμοι είναι γνωστοί. Η ακρίβεια ελέγχεται με ευκολία.
2. Μεγάλο εύρος εφαρμογών.
3. Οι αλγόριθμοι τομής του μοντέλου, για τη λειτουργία της μηχανής είναι απλοί.
4. Ευκολία στη διαίρεση του μοντέλου σε τμήματα.

Τα μειονεκτήματα είναι:

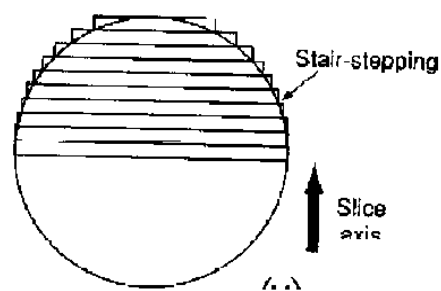
1. Πληθώρα και περίσσεια δεδομένων
2. Σφάλμα προσέγγισης καμπυλών
3. Σφάλματα στρογγυλοποίησης
4. Έλλειψη πληροφόρησης ως προς το είδος του κάθε γεωμετρικού στοιχείου, δηλαδή κύκλος, ευθεία, κ.λ.π

Η διαίρεση του μοντέλου σε τρίγωνα μπορεί να έχει προβλήματα όπως ότι μπορεί να αφήσει ένα κενό, που δίνει μια μη έγκυρη διατομή. Το μέγεθος και η ακρίβεια της διαίρεσης (του

αντικειμένου) μπορεί να ελεγχθεί από το χρήστη. Ένας δεύτερος παράγοντας είναι και το βήμα που δίνουμε για κάθε στρώμα υλικού. Το μέγεθος του βήματος εξαρτάται από την επιλεγείσα ακρίβεια, καθώς και ο χρόνος παραγωγής του πρωτότυπου.

Γενικότερα τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν στα αρχεία STL είναι :

1. Λάθος στην διεύθυνση του διανύσματος(η φορά του διανύσματος μας δείχνει που υπάρχει υλικό). Σε περίπτωση που η φορά των διανυσμάτων είναι αντίθετη μπορεί να μπλοκάρει όλο το σύστημα. Υπάρχουν διορθωτικά προγράμματα τα οποία κάνουν μια προεπισκόπηση του μοντέλου και μας δίνουν την δυνατότητα να διορθώσουμε τέτοιου είδους προβλήματα.
2. Μια πλευρά είναι δυνατόν να οριστεί και με ένα μόνο τρίγωνο. Όταν σε αυτήν την πλευρά υπάρχουν δύο τρίγωνα είναι περιττή πληροφορία και δεν μας χρειάζεται.



Εικόνα 6.5 Η βηματική απόδοση των καμπύλων επιφανειών.

3. Δεδομένο είναι ότι οι πλευρές αποτελούνται μόνο από τρίγωνα, από λάθος μπορεί να υπάρχουν και τετράπλευρα. Τα STL αρχεία αναγνωρίζουν μόνο τρίγωνα οπότε εάν δεν έχουμε τρίγωνο δεν έχουμε επιφάνειες. Έτσι προκαλούνται οι οπές.
4. Όταν έχουμε πολύ μεγάλες καμπυλότητες δημιουργούνται αιχμηρές εξοχές οι οποίες χαλούν με την σειρά τους την ποιότητα του κομματιού.

6.3.Στηρίγματα

Τα συστήματα 3D εκτύπωσης πρέπει να διαθέτουν δομή υποστήριξης, για την ορθή κατασκευή των πρωτοτύπων. Η στήριξη των κατασκευών είναι μια διαδικασία που υποστηρίζεται με πολλούς τρόπους. Στηρίγματα απαιτούνται για περιπτώσεις όπου η άνω επιφάνεια που δημιουργείται είναι μεγαλύτερη από τη βάση και για την αρχική στήριξη του αντικειμένου. Η μορφή τους επηρεάζει σημαντικά το τελικό πρωτότυπο, και καλό θα είναι ο χρήστης να μοντελοποιεί αυτά τα στηρίγματα.

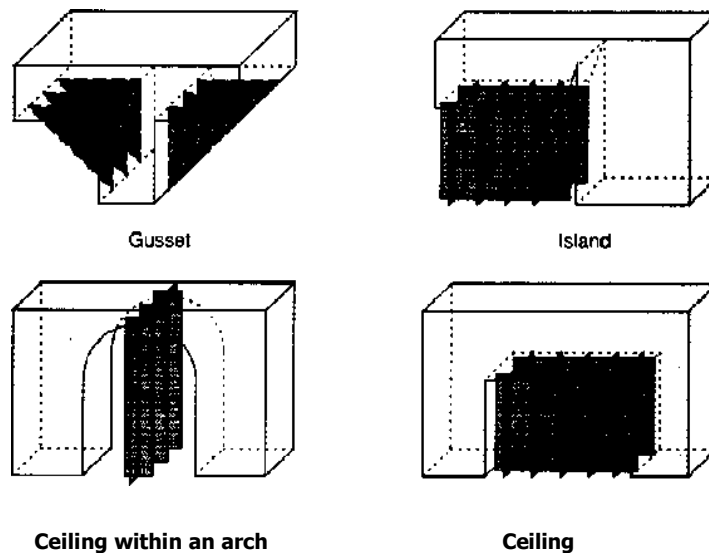
Η δομή υποστήριξης έχει την ίδια λογική με τα υποστηρίγματα των κομματιών (εργαλειοδέτες) στη μηχανουργία, τα οποία είναι λεπτά τοιχώματα, διατεταγμένα σε ένα τετραγωνισμένο ή κυκλικό πλέγμα ή ιστό.

Η δομή υποστήριξης είναι απαραίτητη για τους εξής λόγους :

- Συγκρατεί το κομμάτι στη θέση του κατά τη διάρκεια της κατασκευής του.
- Ελαχιστοποιεί ή εξαλείφει τις παραμορφώσεις της βάσης (πλατφόρμας), πάνω στην οποία κατασκευάζεται το πρωτότυπο
- Τα στηρίγματα παρεμβάλλονται μεταξύ πλατφόρμας κατασκευής και κομματιού, έτσι ώστε το κομμάτι να αφαιρεθεί πιο εύκολα και να μην τραυματιστεί, όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή.
- Συγκρατεί τμήματα της γεωμετρίας του κομματιού, τα οποία κρέμονται ή δεν συνδέονται με την κύρια μάζα του μοντέλου.

Η αφαίρεση των στηριγμάτων γίνεται φυσικά χειρονακτικά και απαιτεί από τον χρήστη αρκετή προσοχή και εμπειρία, καθώς αρκετές φορές αντικείμενα τραυματίζονται ανεπανόρθωτα στη φάση αυτή. Κατόπιν ακολουθεί διεξοδικός καθαρισμός του κομματιού σε διάλυμα ακετόνης, ισοπροπανόλης ή TPM. Το στάδιο αυτό είναι επίσης σημαντικό γιατί υπολείμματα υγρής ρητίνης εκτός του ότι προκαλούν δυσάρεστα συναισθήματα στην αφή(το αντικείμενο “κολλάει”), μπορούν να προκαλέσουν και αλλεργικές αντιδράσεις(λόγω του τοξικού τους χαρακτήρα).

Μερικά συστήματα διαθέτουν λογισμικό που δημιουργεί αυτόματα τα απαραίτητα υποστηρίγματα, ενώ κάποια άλλα χρησιμοποιούν λογισμικό άλλων εταιρειών. Επίσης, κάποια συστήματα δεν χρειάζονται λογισμικό δομής υποστήριξης, γιατί χρησιμοποιούν σαν υποστηρίγματα το υλικό, από το οποίο δομείται το πρωτότυπο. Μερικά συστήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης διαφημίζουν ότι δεν χρειάζονται υποστηρίγματα. Ωστόσο, όταν απαιτούνται κλειστές ανοχές και δύσκολες γεωμετρίες, επιβάλλονται.



Εικόνα 6.6 Τέσσερις περιπτώσεις που τα στηρίγματα κρίνονται απαραίτητα

Ένα από τα υλικά που χρησιμοποιείται για τη στήριξη των αντικειμένων είναι το PVA(τα μαύρα χαρακτηριστικά στο παραπάνω σχήμα) το οποίο εξαλείφεται με υδροβολή μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης.

6.4. Τομή και Ένωση

Το μοντέλο τέμνεται με μια σειρά από επίπεδα, που ενώνονται στη συνέχεια μεταξύ τους. Το πάχος κάθε στρώματος εξαρτάται από τη μηχανή. Μπορεί να έχει και περισσότερα του ενός τεμάχια σε μια πλατφόρμα. Ο τρόπος με τον οποίο γεμίζει η μηχανή με υλικό το τεμάχιο ονομάζεται μέθοδος γεμίσματος (hatch style) και σημαντικοί παράγοντες είναι η απόσταση μεταξύ γραμμών γεμίσματος (hatch spacing), η αντιστάθμιση πάχους γραμμής και ο συντελεστής συστολής (shrinkage factor).

- Στο γέμισμα πρώτα γίνεται η περιβάλλουσα και μετά γεμίζει το εσωτερικό (Internal hatch). Το εσωτερικό γεμίζει με διαφορετικές μεθόδους, όπως:
 1. Tri-Hatch. το γέμισμα γίνεται παράλληλα στον x , και υπό γωνία 60° και 120° ως προς τον x . Απόσταση μεταξύ γραμμών 1.27 mm.
 2. WEAVE. Γραμμές παράλληλα ως προς x και y . Απόσταση 0.11 in. Επιτυγχάνει καλή ακρίβεια.
 3. STAR(Staggered Alternate Retract)-WEAVE. Εισάγει την έννοια του Staggered hatch, σχ. 11α, Alternate Hatch και Retract Hatch.
 4. QuickCast. Η απόσταση γεμίσματος είναι μεγάλη και το πρωτότυπο είναι μισογεμάτο.
 5. ACES (Accurate, Clear, Epoxy Solid).

Οι διάφοροι μέθοδοι αποσκοπούν στο να εξαλείψουν τις εσωτερικές τάσεις.

- Η αντιστάθμιση πάχους γραμμής (Line width compensation) έχει την ίδια σημασία με την αντιστάθμιση του κοπτικού εργαλείου. Η τιμή της αντιστάθμισης είναι θέμα και εμπειρίας.
- Όσον αφορά τον παράγοντα συστολής ο πολυμερισμός αυξάνει την πυκνότητα του υλικού με συνέπεια να μειώνεται ο όγκος του. Μετά τη στερεοποίηση συστέλλεται για αυτό και πρέπει να προβλέπεται.

6.5.Σημαντικοί παράγοντες της 3D εκτύπωσης

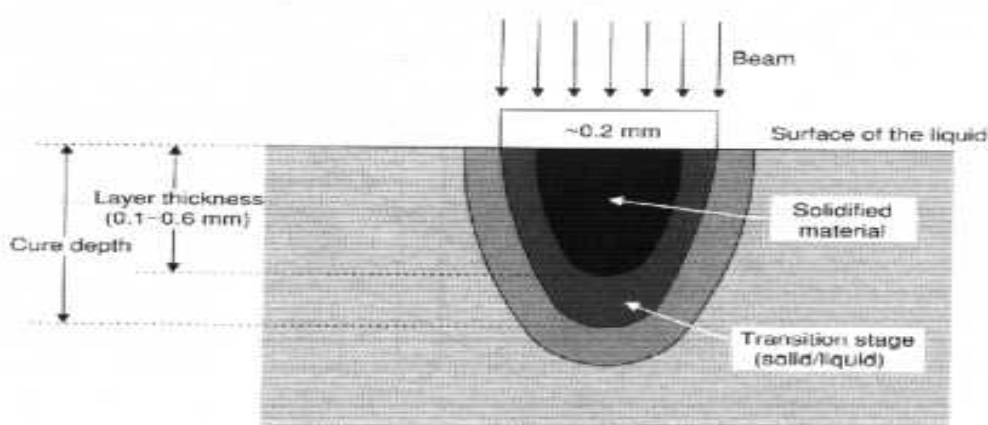
Οι δύο βασικές αποφάσεις που καλείται να πάρει ο χρήστης στη φάση του σχεδιασμού είναι η επιλογή «προσανατολισμού» και η επιλογή του πάχους των στρώσεων υλικού που θα σχηματίσουν το αντικείμενο. Αρχικά ο χρήστης λαμβάνει υπόψη του μια σειρά από κριτήρια προσανατολισμού, όπως ο απαιτούμενος χρόνος κατασκευής, ο αριθμός και η θέση των στηριγμάτων που χρειάζονται, το πρόβλημα της συρρίκνωσης του υλικού και το φαινόμενο της «κλιμακωτής επιφάνειας».

Η επιλογή του κατάλληλου πάχους στρώματος αποτελεί ίσως τη σημαντικότερη απόφαση που λαμβάνει ο χρήστης, αφού από την απόφαση αυτή επηρεάζεται άμεσα ο χρόνος και το κόστος κατασκευής, καθώς επίσης και η ακρίβεια και η ποιότητα ορισμένων επιφανειών. Ο χρήστης πριν κάνει τις επιλογές αυτές πρέπει να γνωρίζει:

1. Μεγαλύτερο πάχος στρώματος σημαίνει λιγότερος χρόνος-κόστος κατασκευής, αλλά και χειρότερη ακρίβεια-ποιότητα επιφάνειας.
2. Ότι οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τα στηρίγματα μπορεί να είναι χειρότερες ποιοτικά.
3. Όσο πιο ψηλά είναι το αντικείμενο τόσο αυξάνεται ο χρόνος κατασκευής.
4. Το σύστημα λόγω συρρίκνωσης αλλά και λόγω των στρωμάτων διαθέτει μεγαλύτερη ακρίβεια στους άξονες X-Y(επίπεδο της πλατφόρμας) παρά στον άξονα Z(επίπεδο κατασκευής).

Σημαντικό ρόλο στη φάση της κατασκευής του αντικειμένου παίζουν η ταχύτητα σάρωσης που καθορίζει άμεσα την ενέργεια που αποδίδεται σε κάθε σημείο και το βάθος στερεοποίησης του κάθε στρώματος υλικού.

Το βάθος επίδρασης ή διείδυσης (Cure depth) αποτελεί κύριο παράγοντα της 3D εκτύπωσης στις τεχνικές που χρησιμοποιούν ακτίνες laser για την κατασκευή των μοντέλων και είναι το βάθος μέχρι το οποίο η ακτίνα laser έχει επίδραση στο υλικό. Αυτό πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το πάχος της στρώσης (Layer thickness). Το βάθος διείδυσης είναι αυτό που καθορίζει σε ποιο βαθμό το ένα στρώμα υπερκαλύπτει το προηγούμενο και τελικά προσδιορίζει (“ελέγχει”) το βαθμό συνοχής του δημιουργούμενου αντικειμένου.

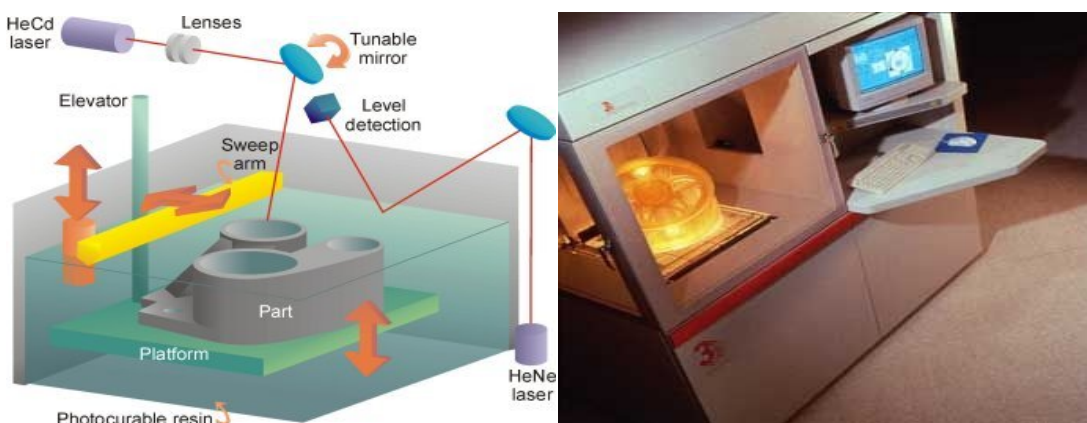


Εικόνα 6.7. Βάθος επιρροής και πάχος στρώματος

6.6.Μέθοδοι 3D εκτύπωσης

6.6.1.Στερεολιθογραφία (Stereolithography, SLA)

Η στερεολιθογραφία είναι η παλαιότερη τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης. Την εφηύρε ο Charles Hall το 1984 και κατοχυρώθηκε το 1986. Με την τεχνική αυτή κατασκευάζονται τρισδιάστατα αντικείμενα από υγρά φωτοευαίσθητα πολυμερή, τα οποία στερεοποιούνται όταν εκτεθούν σε υπεριώδη ακτινοβολία. Το αντικείμενο κατασκευάζεται πάνω σε μια βάση η οποία βυθίζεται σε ένα δοχείο που περιέχει υγρή εποξική, ακρυλική ρητίνη ή ρητίνη βινυλαιθέρα, οι οποίες συνήθως αποτελούν μίγμα δύο συστατικών, των μονομερών και του καταλύτη έναρξης της αντίδρασης(photo initiator). Ο καταλύτης είναι αυτός που ουσιαστικά απορροφά την ενέργεια που αποδίδει η ακτίνα λέιζερ(σε μορφή φωτονίων και όχι θερμότητας), ξεκινώντας έτσι τη διαδικασία πολυμερισμού(σχηματισμός μεγαλύτερων μορίων με σύνδεση μονομερών) Αρχικά, η βάση τοποθετείται σε ελάχιστο βάθος μέσα στο υγρό (ίσο με το πάχος της διατομής που πρόκειται να κατασκευαστεί). Κατόπιν μια κεφαλή λέιζερ υπεριωδών ακτινών χαμηλής ισχύος και συχνότητας κινούμενη στους άξονες x και y, διαγράφει το σχήμα της διατομής (όπως προβλέπεται από το ψηφιακό σχέδιο) φωτίζοντας και στερεοποιώντας τις αντίστοιχες περιοχές του στρώματος του πολυμερούς (τα υπόλοιπα τμήματα του οποίου παραμένει υγρό). Κατόπιν η βάση βυθίζεται μέσα στο υγρό πολυμερές κατά το πάχος της επόμενης διατομής, ενώ ένας κύλινδρος "απλώνει" και οριζοντιώνει το υγρό πάνω στο στερεοποιημένο τμήμα και η κεφαλή λέιζερ χαράσσει τη νέα διατομή πάνω στην πρώτη. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή του αντικειμένου. Στη συνέχεια το μοντέλο απομακρύνεται από το δοχείο, αφαιρείται το παγιδευμένο στο εσωτερικό του μοντέλου ρευστό μέσα σε ένα ειδικό φούρνο, αφαιρούνται τα τυχόν στηρίγματά του, πλένεται και κατόπιν τοποθετείται σε ένα "φούρνο" υπεριωδών ακτινών για τη τελική σκλήρυνση. Ας αναφερθεί ότι κατά τα πρώτα χρόνια της στερεολιθογραφίας, τα κατασκευαζόμενα αντικείμενα ήταν σχετικά εύθραυστα, ενώ εμφάνιζαν διάφορες στρεβλώσεις και παραμορφώσεις κατά τη φάση της σκλήρυνσης, αλλά τα προβλήματα αυτά διορθώθηκαν αργότερα. Οι πρώτες μηχανές στερεολιθογραφίας κατασκευάστηκαν από την εταιρία 3D Systems που εδρεύει στη Valencia της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ από το 1988 και η οποία παραμένει έως σήμερα επικεφαλής της αγοράς στον τομέα των μηχανών ταχείας προτυποποίησης.



Εικόνα 6.8. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της στερεολιθογραφίας, από τις τελευταίες SLA μηχανές της 3D Systems Inc

Η ακτίνα laser που στερεοποιεί το ρευστό είναι η ακτίνα He-Cd. Μια δεύτερη ακτίνα laser χρησιμοποιείται για να επιβεβαιώνει ότι η επιφάνεια του ρευστού βρίσκεται στη σωστή θέση. Ο σαρωτής «σπάει» τις επιφανειακές εντάσεις, επιβεβαιώνει ότι πετυχαίνουμε επίπεδη επιφάνεια και ελαχιστοποιεί το χρόνο διαδικασίας για κάθε επίπεδο. Ο χρόνος σάρωσης εξαρτάται από την γεωμετρία των περιγραμμάτων και την ταχύτητα του laser. Το πάχος των επιπέδων μπορεί να είναι 0.05-0.15mm, κατασκευάζει μοντέλα βάρους μέχρι και 68 kg. Ο χρόνος κατασκευής, εξαρτάται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του σχεδίου. Οι περισσότερες μηχανές, παράγουν κομμάτια με μέγιστο μέγεθος 500x500x600 mm. Τα πρωτότυπα που παράγονται από την Στερεολιθογραφία, έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή και μπορούν να επεξεργασθούν από εργαλειομηχανές C.N.C. Τα εξαρτήματα αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κύρια τμήματα καλουπιών με χύτευση, θερμομόρφωση και χύτευση με εμφύσηση καθώς και διάφορες διαδικασίες χύτευσης μετάλλων. Η στερεολιθογραφία μπορεί να παράγει ένα μεγάλο εύρος σχημάτων, τα οποία συχνά έχουν μεγάλο κόστος (κόστος φωτοσκληρυνόμενης ρητίνης από 80 έως 210 δολάρια ανά λίτρο). Το κόστος των μηχανών αυτών ξεκινάει από 100.000\$ και μπορεί να φθάσει πάνω από 500.000\$ αν και πρόσφατα δημιουργήθηκαν μοντέλα χαμηλότερου κόστους. Η πιο οικονομική λύση σποραδικής εκμετάλλευσης της τεχνολογίας αυτής είναι μέσω εταιριών παροχής τέτοιου είδους υπηρεσιών. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως το κοστολόγιο τέτοιων υπηρεσιών κυμαίνεται γύρω στα 50€ ανά ώρα εκτύπωσης, το οποίο μεταφράζεται σε 30 με 60 στρώματα στερεοποιημένου πολυμερούς. Το μηχάνημα SLA-1 υπήρξε το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο σύστημα ταχείας προτυποποίησης στον κόσμο και ήταν ο πρόδρομος του σημερινού SLA-250.

Τα βασικά μέρη της συσκευής στερεολιθογραφίας :

1. Laser υπεριώδους ακτινοβολίας και τα οπτικά συστήματα εστίασης της δέσμης
2. Καθρέφτες κατεύθυνσης της ακτίνας Laser
3. Δοχείο (VAT) που περιέχει φωτοπολυμεριζόμενο υγρό
4. Σύστημα ευθυγράμμισης της επιφάνειας του υγρού
5. Σύστημα κατακόρυφη μετακίνησης του δοχείου, με βήματα ίσα με το πάχος των στρωμάτων

Η συσκευή Laser : Η ενέργεια που χρειάζεται για τον πολυμερισμό δεν είναι σε μορφή θερμότητας αλλά σε μορφή φωτός(φωτονίων), δεν απαιτείται λείζερ μεγάλης ισχύος αλλά σχετικά ασθενές λείζερ, σταθερής όμως απόδοσης και μορφής. Τα λείζερ που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι λείζερ αερίων όπως ηλίου – καδμίου(He-Cd) ή ιονισμένου αργού υπέρυθρης ακτινοβολίας και σπανιότερα στερεάς καταστάσεως(σε μεγαλύτερα συστήματα) . Η ακτίνα εκπέμπεται από το σύστημα καθρεπτών προς τις διευθύνσεις X, Y της επιφάνειας της ρητίνης (στο δοχείο vat). Αρχικά, η ακτίνα Laser ακολουθεί την πρώτη οριζόντια τομή του CAD και σαρώνει το πρώτο στρώμα του κομματιού. Καθώς η ακτίνα αγγίζει την επιφάνεια της υγρής ρητίνης, αρχίζει ο πολυμερισμός της μόνο στις περιοχές που εκτίθενται στην ακτινοβολία . Το ποσοστό της ακτινοβολίας , που προσπίπτει και απορροφάται από το φωτοπολυμεριζόμενο υγρό, καθορίζει το βαθμό και το βάθος της στερεοποίησης του στρώματος. Το βάθος διείσδυσης της ακτίνας Laser ελέγχεται, με βάση τις παραμέτρους της (ταχύτητα, ισχύς, εστίαση). Με τη διείσδυσή της, τα διαδοχικά στρώματα συνδέονται μεταξύ τους. (Κουζέλης, 2008)

Το φινίρισμα (τελική επεξεργασία) της εξωτερικής επιφάνειάς του γίνεται επειδή τα στρώματα της κατασκευής φαίνονται. Αφού ολοκληρωθεί η εκτύπωση, η ρητίνη πρέπει να στεγνώσει πλήρως πριν το πρωτότυπο είναι έτοιμο. Η τελική διαδικασία περιλαμβάνει επικάλυψη του κομματιού με άμμο ή με βερνίκωμα. Επίσης γίνεται με τρίψιμο στο χέρι, με λίμα ή γυαλόχαρτο, ή με μηχανουργική κατεργασία (ρεκτιφιέ). Στη συνέχεια βάφεται και διακοσμείται, για να γίνει πιο εντυπωσιακό. Τα πολυμερισμένα κομμάτια, μετά τη στερεοποίησή τους, χαρακτηρίζονται από ευθραυστότητα, ολκιμότητα ή ελαστικότητα. Οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται από τον τύπο του φωτοπολυμεριζόμενου υγρού : η αρχική, ακρυλική ρητίνη δημιουργεί εύθραυστα κομμάτια, με μεγάλο συντελεστή συρρίκνωσης. Οι νεότερες, εποξικές ρητίνες έχουν μικρό συντελεστή συρρίκνωσης και μεγαλύτερη ολκιμότητα και ελαστικότητα. Χωρίς τη τελική διαδικασία το προϊόν έχει εύθραυστα χαρακτηριστικά και είναι ευαίσθητο στις ακτίνες UV και την υγρασία. Το τελικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα ποιοτικών ελέγχων.

Χαρακτηριστικά Στερεολιθογραφίας:

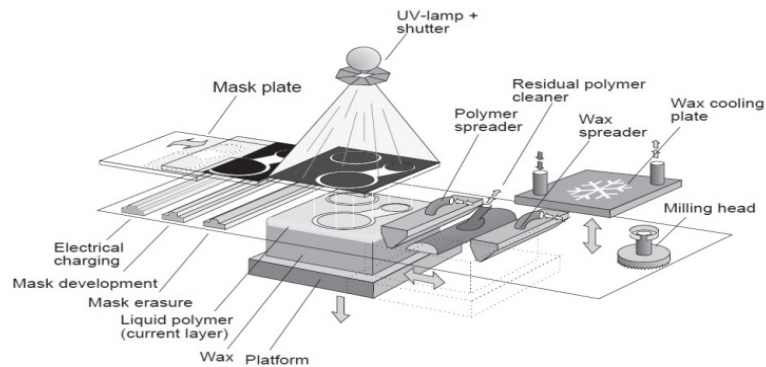
1. Καλή ποιότητα επιφάνειας, αλλά μικρή αντοχή κομματιών(δεν ενδείκνυται για λειτουργικές δοκιμές). Τα τελευταία χρόνια έχει βελτιωθεί σημαντικά η αντοχή των υλικών που χρησιμοποιούνται.
2. Δυνατότητα πολύπλοκης γεωμετρίας με μεγάλη ακρίβεια.
3. Υψηλό κόστος υλικών και μηχανών.
4. Μικρή Δυνατότητα επεξεργασίας επιφανειών.

Τελευταία γίνονται προσπάθειες να διαδοθούν ευρέως και άλλα πρότυπα που περιέχουν απευθείας τα δεδομένα των εγκάρσιων τομών που χρησιμοποιεί το σύστημα της Στερεολιθογραφίας για να αποφευχθεί, κατά περιπτώσεις, η απώλεια δεδομένων και να εξοικονομηθεί το ενδιάμεσο βήμα της εξαγωγής stl. (Κουζέλης, 2008 και Βάρελης, 2009)

6.6.2.Solid Ground Curing (SGC)

Η τεχνική αυτή η οποία αναπτύχθηκε από την αμερικανική εταιρία Cubital America, θεωρείται παραλλαγή της στερεολιθογραφίας, καθώς χρησιμοποιεί και αυτή υπεριώδεις ακτίνες για τη σκλήρυνση φωτοευαίσθητων πολυμερών. Σε αντίθεση με τη στερεολιθογραφία, στην τεχνική SGC οι υπεριώδεις ακτίνες φωτίζουν και σκληραίνουν ολόκληρο το στρώμα του υλικού και όχι το τμήμα που αντιστοιχεί στη διατομή του. Η διαδικασία ξεκινά με τον ψεκασμό ενός στρώματος φωτοευαίσθητης ρητίνης πάνω σε μια βάση. Κατόπιν η μηχανή κατασκευάζει μια "φωτομάσκα" (δηλαδή ένα είδος στένσιλ) που διαγράφει τη διατομή του μοντέλου. Το στένσιλ αυτό τυπώνεται πάνω σε μια γυάλινη πλάκα (τοποθετημένη πάνω από τη βάση με τη ρητίνη), με τη χρήση μιας ηλεκτροστατικής διαδικασίας(φορτισμένα ιόντα και ηλεκτροστατικό μελάνι) παρόμοιας με αυτή των φωτοτυπικών μηχανημάτων. Κατόπιν το κλείστρο ανοίγει για 3 δευτερόλεπτα και το στένσιλ εκτίθεται σε υπεριώδη ακτινοβολία η οποία διέρχεται μόνο από τα διαφανή τμήματά του σκληραίνοντας στις αντίστοιχες περιοχές το στρώμα ρητίνης. Όλες οι περιοχές που εκτέθηκαν στην υπεριώδη ακτινοβολία στερεοποιούνται πλήρως. Μετά τη σκλήρυνση του στρώματος, η μηχανή απομακρύνει την περίσσεια υγρής ρητίνης και ψεκάζει κερί στη θέση της, το οποίο λειτουργεί ως στήριγμα του αντικειμένου κατά την διάρκεια της κατασκευής

του. Μία ειδική πλάκα κρύνει και στερεοποιεί το κερί και μια φρεζοκεφαλή καθαρίζει το επιπλέον κερί, ενώ τα γρέζια συλλέγονται με ένα σύστημα κενού. Ακολουθεί λείανση της άνω επιφάνειας του στρώματος ώστε να γίνει επίπεδη και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Όταν τα κομμάτι ολοκληρωθεί είναι εγκλωβισμένο μέσα στο κερί, το οποίο απομακρύνεται είτε με τήξη σε φούρνο μικροκυμάτων είτε ξεπλένοντάς το, οπότε αποκαλύπτεται το πρωτότυπο. Οι μηχανές SGC, είναι ογκώδεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μεγάλων αντικειμένων. Το σύστημα αυτό της Cubital μπορεί να πετύχει πάχος επιπέδου ίσο με 0.05-0.15 mm, μπορεί να κατασκευάσει ένα επίπεδο σε 70 sec και κοστίζει 470.000 \$.



Εικόνα 6.9. Η διαδικασία της Solid Ground Curing

Οι κύριες διαφορές της SGC σχετικά με τη Στερεολιθογραφία είναι:

1. Η πλατφόρμα μετακινείται και οριζόντια μεταφέροντας τον ενεργό χώρο διαδικασίας σε διαφορετικούς σταθμούς στη μηχανή.
2. Χρησιμοποιείται λάμπα υπεριώδους φωτός που φωτίζει το θάλαμο και στερεοποιεί όλη τη στρώση.
3. Τα μοντέλα χτίζονται περικυκλωμένα από κερί περιορίζοντας την ανάγκη χρήσης κατασκευών για υποστήριξη.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου SGC είναι :

1. Πιο παραγωγική, κατά 10-15 φορές, από άλλα συστήματα RPT που βασίζονται σε φωτοπολυμερισμό.
2. Μπορεί να κατασκευάσει οποιοδήποτε σχήμα σε κάθε πιθανή τοποθέτηση.
3. Τα κομμάτια δεν χρειάζονται πρόσθετη έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία μόλις κατασκευαστούν, γιατί χτίζονται σε ομάδες κατά τη διάρκεια της νύχτας
4. Η χρήση του κεριού, που υποβάσταζει το κομμάτι, διευκολύνει γεωμετρίες που επικρέμονται.
5. Δεν χρειάζεται πρόσθετη στερεοποίηση.
6. Δεν χρειάζονται υποστηρίγματα του κομματιού (γιατί συνδυάζεται το στέρεο πολυμερές με το κερί).

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου SGC είναι:

1. Παράγεται μεγάλος όγκος αποβλήτου
2. Η ρητίνη που συλλέγεται από τον απορροφητήρα και από το σύστημα κενού δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί.
3. Η υγρή ρητίνη είναι ανθυγιεινή: το πρόβλημα αυτό μειώνεται, κατασκευάζοντας περισσότερα κομμάτια σε κάθε κατασκευαστικό κύκλο.
4. Το σύστημα κενού που καθαρίζει την επιφάνεια, δεν απομακρύνει εντελώς το φωτοπολυμερές υγρό, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται επιφανειακές ανωμαλίες και η κατασκευή να μην είναι ακριβής.

6.6.3.Επιλεκτική σύντηξη με την χρήση ακτίνων λέιζερ (Selective Laser Sintering , SLS)

Η τεχνική SLS αναπτύχθηκε από τον Carl Deckard στο Πανεπιστήμιο του Texas και κατοχυρώθηκε το 1989. Στην τεχνική αυτή μια ακτίνα λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα CO₂ λιώνει και στερεοποιεί διάφορα υλικά (νάιλον, ελαστομερή ή μέταλλα) τα οποία βρίσκονται σε μορφή σκόνης. Ένας κύλινδρος "στρώνει" μια ποσότητα σκόνης κατάλληλου πάχους πάνω σε μια επιφάνεια και μια κεφαλή λέιζερ διαγράφει το σχήμα της πρώτης διατομής με σάρωση σε εγκάρσιες τομές από ένα ψηφιακό 3D αρχείο, λιώνοντας και στερεοποιώντας επιλεκτικά την σκόνη. Κατόπιν 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 συνεχίζεται μέχρι την ολοκλήρωση του αντικειμένου. Η περίσσεια της σκόνης κάθε στρώματος λειτουργεί ως υποστήριγμα του κατασκευαζόμενου αντικειμένου. Επειδή, η πυκνότητα του τελικού εξαρτήματος, εξαρτάται από την μέγιστη ισχύ του λέιζερ και όχι από την διάρκεια της ακτινοβολίας, οι μηχανές S.L.S. χρησιμοποιούν συνήθως παλμικό λέιζερ. Η μηχανή προθερμαίνει το κονιοποιημένο υλικό λίγο κάτω από το σημείο τήξης του, ώστε να καταστεί ευκολότερο για το λέιζερ να αυξήσει την θερμοκρασία των επιλεγμένων περιοχών στο σημείο τήξης του. Μερικά μηχανήματα S.L.S., χρησιμοποιούν σκόνη ενός συστατικού, (π.χ. άμεση συσσωμάτωση μετάλλου με λέιζερ), ωστόσο οι περισσότερες μηχανές χρησιμοποιούν σκόνη δύο συστατικών, συνήθως είτε επικαλυμμένης σκόνης είτε ένα μείγμα σκόνης. Σε ενός συστατικού σκόνης, το λέιζερ λιώνει μόνο την εξωτερική επιφάνεια των σωματιδίων, (τήξη επιφανείας) ενώνοντας τους στερεούς μη λιωμένους πυρήνες μεταξύ τους και με το προηγούμενο στρώμα. Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους παραγωγής με πρόσθεση υλικού, οι μηχανές αυτές μπορούν να παράγουν εξαρτήματα από ένα ευρύ φάσμα εμπορικά διαθέσιμων υλικών σε σκόνη. Μερικά από αυτά είναι το νάιλον, το καθαρό γυαλί, πολυστυρόλιο ή μέταλλα συμπεριλαμβανομένου του τιτανίου, του χάλυβα, μείγμα κράματος και σύνθετα. Η φυσική διαδικασία, μπορεί να είναι μερική τήξη ή υγρής φάσης πυροσυσσωμάτωση. Ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού, μπορούμε να πετύχουμε μηχανικές ιδιότητες, ανάλογες με αυτές από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής. Σε πολλές περιπτώσεις, μεγάλος αριθμός εξαρτημάτων μπορεί να τοποθετηθεί μέσα στην σκόνη επιτρέποντας έτσι πολύ μεγάλη παραγωγικότητα. Αντίθετα με τις μεθόδους που

παρουσιάστηκαν πριν, όπου υπάρχει μόνο μία μεταβατική φάση, στην διαδικασία SLS υπάρχουν δύο: από στερεό σε ρευστό και πίσω πάλι σε στερεό.

Ο εξοπλισμός SLS περιλαμβάνει: τον υπολογιστή ελέγχου, τον έλεγχο ατμόσφαιράς και το θάλαμο κατασκευής.

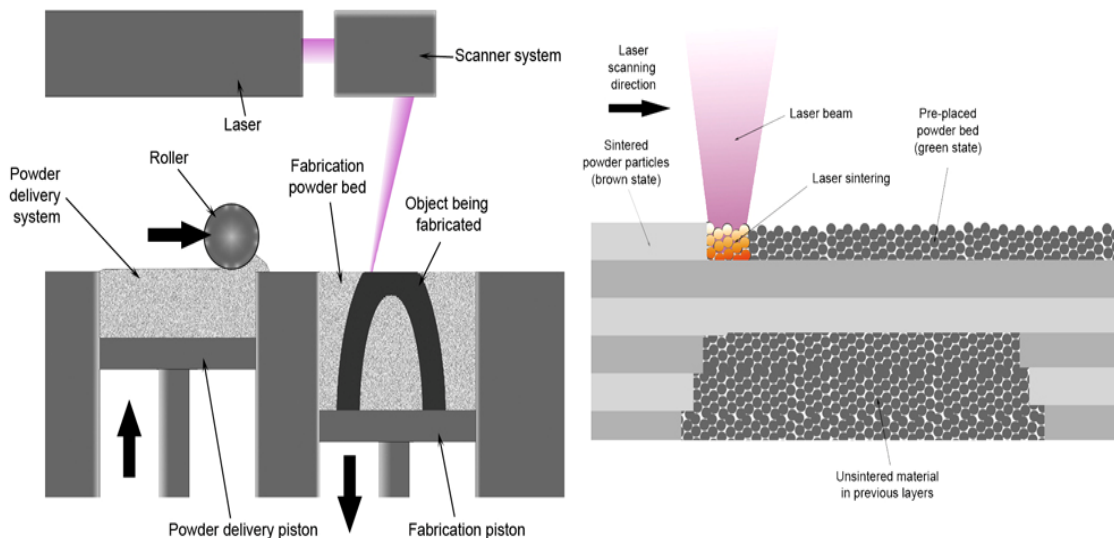
Ο υπολογιστής ελέγχου βασίζεται σε λειτουργικό σύστημα UNIX, στο οποίο δημιουργούνται τα αρχεία STL και τα αρχεία τεμαχισμού του μοντέλου. Ο υπολογιστής ελέγχου παρακολουθεί όλη τη διαδικασία κατασκευής.

Η μονάδα ελέγχου ατμόσφαιρας περιλαμβάνει τα όργανα φιλτραρίσματος και ανακύκλωσης των αερίων του θαλάμου κατασκευής. Διατηρούν σταθερή τη θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θάλαμο και ρυθμίζουν την ποσότητα του αζώτου μέσα στη μονάδα.

Ο θάλαμος κατασκευής περιλαμβάνει το laser και το σύστημα διαχείρισης της πούδρας. Το laser εστιάζεται με τα κατάλληλα οπτικά . Η σάρωση της επιφάνειας της πούδρας από την ακτίνα laser γίνεται με καθρέφτες. Στις δύο απέναντι πλευρές του κυλίνδρου υπάρχουν δύο αποθήκες υλικού: η μία τροφοδοτεί με νέο υλικό και η άλλη συλλέγει τα υπολείμματα από το στρώσιμο και την ευθυγράμμιση της επιφάνειας του υλικού. Το κτίσιμο των κομματιών ξεκινάει με την θέρμανση της ατμόσφαιρας του θαλάμου κατασκευής και γεμίζεται με άζωτο.(Παπαθανάσης, 2005)

Χαρακτηριστικά SLS:

1. Μεγάλη γκάμα υλικών, κυρίως νάιλον. Βασικό χαρακτηριστικό η δυνατότητα κατασκευής μεταλλικών κομματιών.
2. Κρίσιμη παράμετρος ο έλεγχος της ενέργειας που μεταφέρεται στη σκόνη από το laser κατά την σάρωση.
3. Δεν απαιτούνται στηρίγματα.
4. Κομμάτια με τραχεία επιφάνεια, στην οποία μπορεί να γίνει κατεργασία για την βελτίωση της ποιότητας της αλλά γενικότερα δεν απαιτείται ιδιαίτερη επεξεργασία μετά την κατασκευή.
5. Μεγάλη αντοχή κομματιών, ακρίβεια και κόστος.
6. Δυνατότητα συναρμολόγησης εξαρτημάτων.
7. Μεγαλύτερος χρόνος κατασκευής κομματιού.
8. Δυνατότητα προσδιορισμού χαρακτηριστικών, όπως κατανομή θερμοκρασίας λειτουργίας του εξαρτήματος(μεταλλικά κομμάτια).
9. Δυνατότητα κατασκευής σχετικά μεγάλων αντικειμένων.



Εικόνα 6.10. Η διαδικασία της SLS και η αναπαράσταση της σύντηξης των κόκκων της σκόνης



Block of nylon is removed from the machine.



Excess un-sintered powder is removed from parts surface



Part is sand blasted to remove the all un-sintered Nylon.



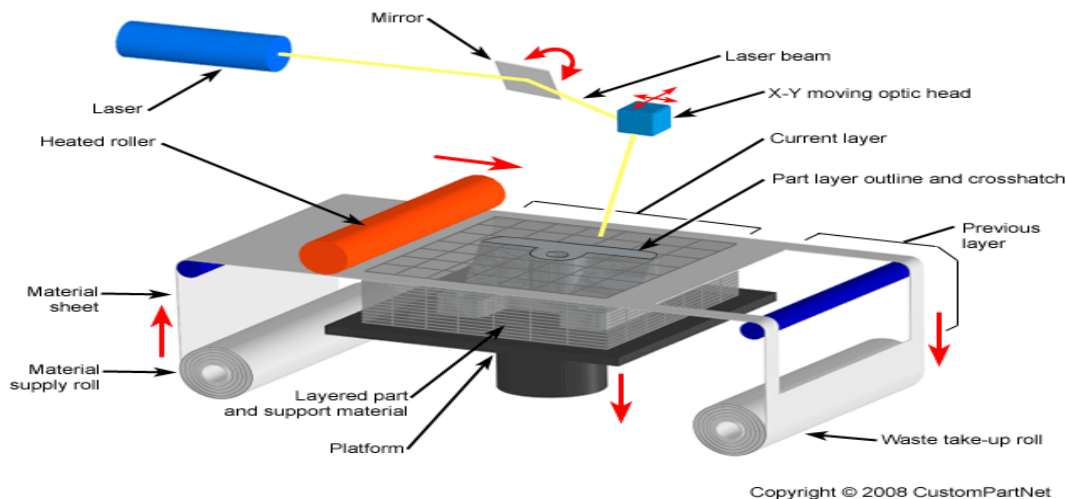
Part is complete and ready for shipment to customer

Εικόνα 6.11. Τα στάδια του καθαρισμού του αντικειμένου αμέσως μετά την εκτύπωση

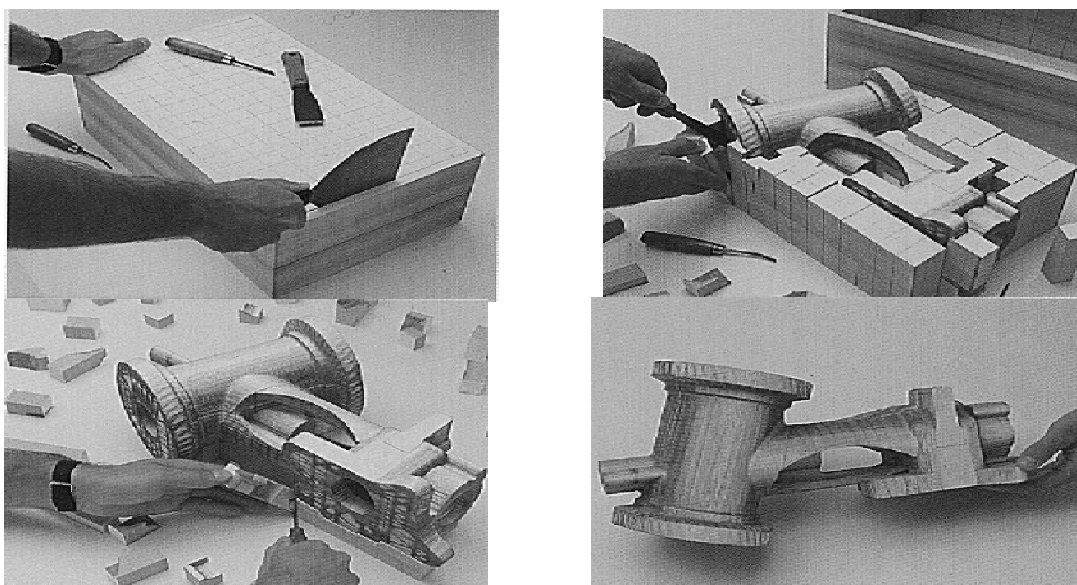
Παρόμοια μέθοδος με την SLS είναι η μέθοδος **Electron Beam Melting (EBM)** μοιάζοντας αρκετά με την SLS, χρησιμοποιεί αντί δέσμης laser δέσμη ηλεκτρονίων (παρόμοια με τη δέσμη οθονών και τηλεοράσεων CRT) με μεγαλύτερη ισχύ, σε περιβάλλον αδρανούς αερίου. Σε εμπορική μορφή τέτοια συστήματα παράγουν η εταιρεία Arcam. (Βάρελης, 2009)

6.6.4. Συγκόλληση Λεπτών Φύλλων (Laminated Object Manufacturing , LOM)

Η τεχνική LOM, η οποία αναπτύχθηκε από την αμερικανική εταιρία Helisys, βασίζεται στην κατασκευή αντικειμένων με τη συγκόλληση λεπτών φύλλων (σε μορφή ρολών χαρτιού) υλικού που φέρουν επίστρωση θερμοκολλητικής ουσίας (heat-activated glue). Υπάρχουν ουσιαστικά δύο ρολά χαρτιού όπου το ένα απελευθερώνει υλικό(χαρτί) και το άλλο μαζεύει. Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαρτί, ενώ αργότερα η εταιρία ανέπτυξε και χρησιμοποίησε και άλλα υλικά (αδιάβροχο χαρτί, πλαστικά αλλά και λεπτές ταινίες κεραμικών υλικών ή μετάλλων υπό μορφή σκόνης). Οι συσκευές LOM λειτουργούν ως εξής: Μια διάταξη τροφοδοσίας τοποθετεί το πρώτο φύλλο χαρτιού πάνω σε μια βάση και κατόπιν ένας θερμαινόμενος κύλινδρος περνά πάνω από αυτό πιέζοντάς το ώστε να κολλήσει πάνω σε αυτήν. Στη συνέχεια μια κεφαλή λείζερ "κόβει" το σχήμα της διατομής πάνω στο χαρτί και κατόπιν χαράζει μικρές εγκοπές στο υπόλοιπο τμήμα του ώστε να διευκολύνεται η απόσπαση του αντικειμένου όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της κατασκευής του. Αφού κοπεί το πρώτο στρώμα, η βάση κατέρχεται, ένα νέο φύλλο προωθείται από τη διάταξη τροφοδοσίας και κατόπιν η βάση ανέρχεται λίγο ώστε ο θερμαινόμενος κύλινδρος να πιέσει και να κολλήσει το δεύτερο φύλλο στο πρώτο. Ακολουθεί η κοπή της νέας διατομής από την κεφαλή λείζερ και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την ολοκλήρωση του αντικειμένου. Το πάχος του χαρτιού δεν είναι σταθερό. Συνεπώς, ένας αισθητήρας μετράει το πάχος του παρόντος χαρτιού και το μοντέλο κόβεται ανάλογα. Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η επικάλυψη του αντικειμένου με χρώμα ή βερνίκι ώστε να μη προσβάλλεται και παραμορφώνεται από την υγρασία. Όταν χρησιμοποιούνται ταινίες κεραμικών υλικών ή μετάλλων υπό μορφή σκόνης το αντικείμενο πρέπει να υποστεί μια διαδικασία "σύντηξης" (sintering) για την αύξηση της αντοχής του. Ας σημειωθεί εδώ ότι από το 2001 η εταιρία Helisys δεν δραστηριοποιείται πλέον στην αγορά. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής, είναι το χαμηλό κόστος, τα απλά υλικά κατεργασίας, τα μεγάλα εξαρτήματα που μπορούμε να κατασκευάσουμε και ότι η πολυπλοκότητα του κομματιού δεν μας περιορίζει. Η διαδικασία αυτή θεωρείται από τις πιο γρήγορες. Δεν χρειάζονται κάποια χημική επεξεργασία όπως σε άλλες μεθόδους, και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου, μοιάζουν με αυτά του ξύλου. Ένα μειονέκτημα που έχει η μέθοδος αυτή, είναι ότι έχουμε μικρότερη ακρίβεια σε σχέση με άλλες τεχνικές. Δύο υπάρχουσες τεχνολογίες σήμερα είναι οι: 1)LOM 1015(μέγιστο μέγεθος κομματιού κατασκευής 355*381*254 mm και κόστος περίπου \$95000, 2) LOM 2030(με μέγιστο μέγεθος κομματιού κατασκευής 762*508*508 mm και κόστος περίπου \$180000)



Εικόνα 6.12. Σχηματική αναπαράσταση της LOM τεχνολογίας



Εικόνα 6.13. Η διαδικασία εξαγωγής του μοντέλου μέσα από τα στερεοποιημένα φύλλα του υλικού

Πανομοιότυπη διαδικασία με την LOM είναι η μέθοδος **Paper Laminating Technology (PLT)**. Αποτελεί παραλλαγή της μεθόδου LOM. Η διαφορά έγκειται στο ότι χρησιμοποιεί απ' ευθείας φύλλα χαρτιού ή πολυμερούς τυποποιημένης διάστασης, όπως ένα φωτοαντιγραφικό μηχάνημα. Το τρέχον επίπεδο συγκολλείται με τα προηγούμενα με τη βοήθεια θερμής πλάκας ή κόλλας (αναλόγως μηχανών) και οι επίπεδες τομές αποδίδονται από κατάλληλα (CNC) κατευθυνόμενο κοπτικό εργαλείο (μαχαίρι) ή χειροκίνητα. Εκτυπώνονται έγχρωμα και οι δυο πλευρές των σελίδων A4 και σχηματίζεται ένα χάρτινο στερεό τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο μοιάζει, λόγω στιβαρότητας, να έχει κατασκευαστεί από ένα μασίφ κομμάτι ξύλου. Σε εμπορική μορφή τέτοια συστήματα παράγουν οι εταιρείες: Mcor Technologies, Kira, Solido. (Lagos, 2014)

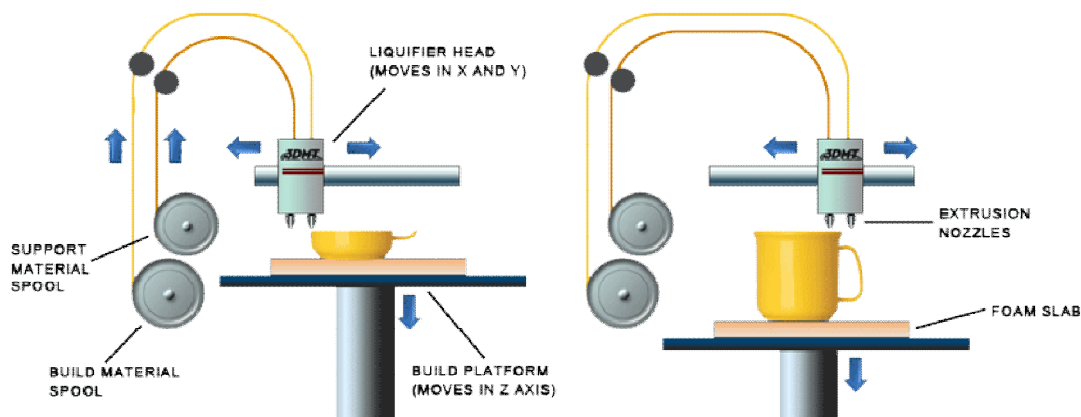


Εικόνα 6.14. Παράδειγμα κατασκευής μοντέλου από φύλλα χαρτιού

6.6.5.Εναπόθεση – Σύντηξη Διαδοχικών Στρώσεων(Fused Deposition Modeling, FDM)

Στην τεχνική αυτή ίνες θερμού πλαστικού υλικού εξέρχονται από μια κεφαλή η οποία κινείται στο επίπεδο x-y. Η κεφαλή εναποθέτει λεπτές στρώσεις του πλαστικού πάνω σε μια βάση κατά τρόπο παρόμοιο με την εναπόθεση κρέμας πάνω σε ένα κέικ από έναν ζαχαροπλάστη, διαγράφοντας την πρώτη διατομή. Το υλικό έρχεται σε νηματώδη μορφή σε ένα καρούλι, το οποίο τροφοδοτείται στο πίσω μέρος της μηχανής. Το νήμα σπρώχνεται μέσω θερμαινόμενων άκρων σε ένα ακροφύσιο εξωθήσεως(Hotend) καθώς κινείται και εξωθείται. Το ακροφύσιο λιώνει το υλικό και μπορεί να κινείται σε οριζόντια και κάθετη διεύθυνση, με ένα ηλεκτική αριθμητικού ελέγχου (N.C. Controller). Το μοντέλο ή εξάρτημα, παράγεται, με εξώθηση υλικού, σε εύπλαστη μορφή, από ένα θερμοπλαστικό υλικό, για τον σχηματισμό στρωμάτων, καθώς το υλικό σκληραίνει αμέσως μετά από την εξώθησή του από το ακροφύσιο διότι η βάση βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η κίνηση και προέκταση ελέγχονται έτσι ώστε το υλικό να κατατίθεται παίρνοντας τη μορφή διαδοχικών επιπέδων (layers) ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Κατόπιν η βάση κατέρχεται και η κεφαλή εναποθέτει το δεύτερο στρώμα πάνω στο πρώτο. Για την υποστήριξη των ευαίσθητων θέσεων του αντικειμένου κατασκευάζονται από μια δεύτερη κεφαλή υποστηρίγματα διαφορετικού υλικού που αφαιρούνται εύκολα από το τελικό πρωτότυπο. Η κεφαλή εξώθησης του συστήματος, περιέχει μια μονάδα ελέγχου ηλεκτρο-μαγνητικής κίνησης. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι την ολοκλήρωση του αντικειμένου. Η κίνηση του ακροφυσίου, γίνεται με βηματικούς κινητήρες ή σερβοκινητήρες και η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε από τον S. Scott Crump, στα τέλη του 1980, και εμφανίστηκε στο εμπόριο το 1990. Ο όρος F.D.M., είναι εμπορικό σήμα της Stratasys Inc και ακριβός ισοδύναμος όρος είναι το F.F.F. (Fused Filament Fabrication) που επινοήθηκε, από τα μέλη των RepRap Project, για να δώσει μια φράση που θα μπορούσε να είναι νόμιμη χωρίς περιορισμούς. Δέχεται επίσης μοντέλα σχεδιασμένα σε σύστημα CAD σε μορφή wireframe. Μηχανές FDM κατασκευάζονται από

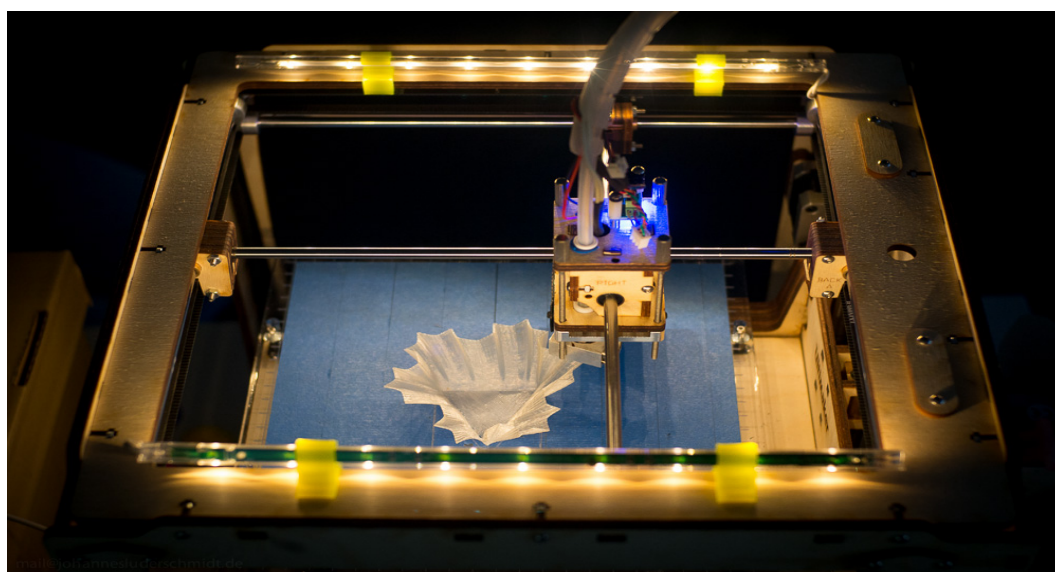
την αμερικανική εταιρία Stratasys σε δύο εκδόσεις: μία για την ταχεία κατασκευή μοντέλων που αποδίδουν τη γενική ιδέα ενός σχεδίου και μία βραδείας εκτύπωσης που επιτρέπει την κατασκευή πρωτοτύπων ακριβείας. Τα χρησιμοποιούμενα υλικά περιλαμβάνουν ABS, διάφορα ελαστομερή, πολυκαρμπονικά υλικά, PLA, πολυανθρακικά, κεριά κλπ. Το νέο σύστημα της Stratasys, Quantum έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει μοντέλα με διαστάσεις ως 600x500x600 mm. Το υλικό αποτίθενται, σε στρώματα λεπτού πάχους, έως 0,01mm.



Εικόνα 6.15. Η διαδικασία της εκτύπωσης χρησιμοποιώντας την τεχνολογία FDM

Χαρακτηριστικά FDM:

1. Κομμάτια από πλαστικό.
2. Μεγάλη αντοχή κομματιών.
3. Δυνατότητα συναρμολόγησης κομματιών και ελέγχου δυναμικών χαρακτηριστικών.
4. Κομμάτια με σχετικά καλή ακρίβεια, αλλά ελαφρώς τραχεία επιφάνεια.
5. Μέσο κόστος κομματιών.
6. Μικρή δυνατότητα επεξεργασίας επιφανειών.
7. Κρίσιμη παράμετρος ο έλεγχος της θερμοκρασίας.
8. Η ταχύτητα κατασκευής επηρεάζεται σημαντικά από το σχήμα του αντικειμένου.
9. Δυνατότητα χρήσης σε περιβάλλον γραφείου.

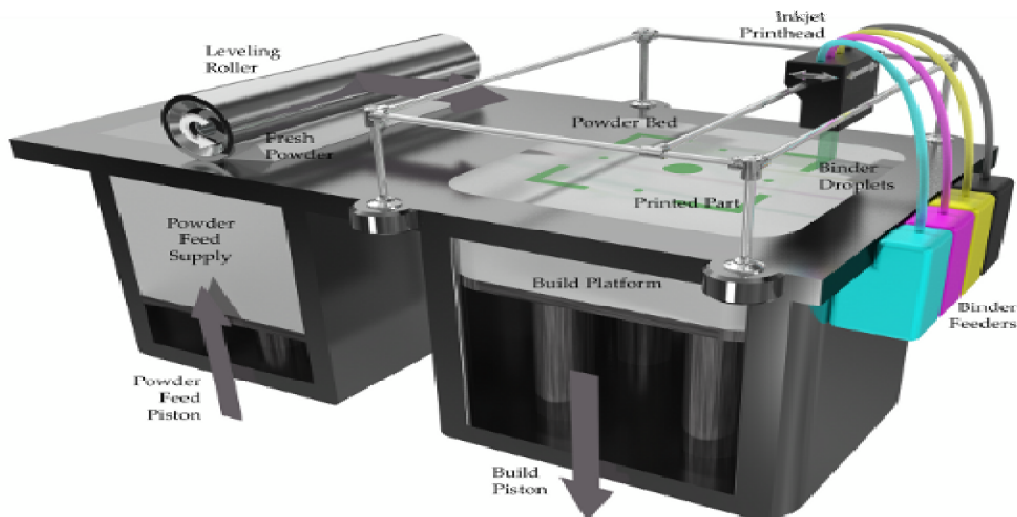


Εικόνα 6.16 Εκτυπωτής εξόθησης FDM τεχνολογίας

Μία παραλλαγή της μεθόδου FDM είναι η μέθοδος **Drop on Demand Inkjet Plotting (DDIP)** : Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν δύο κεφαλές ψεκασμού του υλικού . Η μια κεφαλή ψεκάζει τήγμα θερμοπλαστικού υλικού χαμηλού σημείου τήξεως, ενώ η δεύτερη ψεκάζει κερί για τη στήριξη του αντικειμένου. Μετά την περάτωση κάθε στρώσης, γίνεται επιπεδοποίηση (milling) της επιφάνειας για ομοιομορφία ύψους όπου μια κεφαλή με κοπτικό εργαλείο φρεζάρει τη διατομή. Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει καλή ακρίβεια , βρίσκοντας εφαρμογές στη βιομηχανία κοσμημάτων. Σε εμπορική μορφή τέτοια συστήματα παράγουν οι εταιρείες: Sanders Prototyping, 3D Systems. (Παπαθανάσης, 2005)

6.6.6.3D ink-jet Printing

Η τεχνική αναφέρεται σε μια κατηγορία μηχανών που χρησιμοποιούν τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης ink-jet. Η διαδικασία αναπτύχθηκε από την IBM και στη συνέχεια πουλήθηκε στην εταιρεία Stratasys Inc. Η πρώτη από τις μηχανές αυτές (γνωστή ως 3D Printing, 3DP) αναπτύχθηκε από το MIT το οποίο χορήγησε δικαιώματα κατασκευής σε έναν αριθμό εταιριών (Soligen Corporation, Extrude Hone, Z Corporation και άλλες). Ο εκτυπωτής ZCorp 3D της Z Corporation αποτελεί τυπικό παράδειγμα της κλάσης: Τα αντικείμενα κατασκευάζονται πάνω σε μια βάση η οποία βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο που περιέχει το υλικό υπό μορφή σκόνης. Κατά την εκκίνηση της διαδικασίας, η βάση κατέρχεται κατά το πάχος μιας διατομής και μια διάταξη τροφοδοσίας απλώνει πάνω της μια κατάλληλη ποσότητα σκόνης. Κατόπιν μια κεφαλή ink-jet που κινείται κατά τους άξονες x, y ψεκάζει επιλεκτικά ένα συγκολλητικό υγρό το οποίο στερεοποιεί τη σκόνη διαγράφοντας το επιθυμητό σχήμα της διατομής. Η περίσσεια σκόνης που απομένει χρησιμεύει για τη στήριξη του κατασκευαζόμενου αντικειμένου. Στη συνέχεια η βάση κατέρχεται κατά το πάχος της επόμενης διατομής. Προστίθεται και πάλι η ανάλογη ποσότητα σκόνης και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή, το αντικείμενο απομακρύνεται από το δοχείο και με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα καθαρίζεται από την περίσσεια σκόνης. Τα τελειωμένα τεμάχια μπορούν να ψεκαστούν με κερί, κυανοακρυλική κόλλα ή με άλλες ουσίες για να βελτιωθεί η αντοχή τους και το φινίρισμα της επιφάνειάς τους. Το τυπικό πάχος κάθε διατομής είναι 0,1 mm. Η τεχνική είναι υψηλής ταχύτητας, ενώ παράγει αντικείμενα με σχετικά αδρό φινίρισμα. Η Z Corp χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά υλικά, μια σκόνη με βάση άμυλο (η οποία δεν παράγει στιβαρά αντικείμενα, αλλά μπορεί να καεί και συνεπώς να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή χυτών ακριβείας) και μία κεραμική σκόνη. Προφέρει επίσης τη δυνατότητα εισαγωγής χρωμάτων στην κατασκευή. Οι μηχανές 3D ink-jet Printing της εταιρίας 3D Systems (γνωστές και ως Thermo ή Multi-jet Printers) χρησιμοποιούν μια γραμμική διάταξη κεφαλών ink-jet για την ταχεία κατασκευή μοντέλων από θερμοπλαστικό υλικό. Εάν το αντικείμενο έχει μικρό πλάτος, είναι δυνατή η κατασκευή κάθε διατομής με μία μόνο διέλευση της κεφαλής, αλλιώς εκτελούνται περισσότερες διελεύσεις μέχρι να κατασκευαστεί η διατομή. Πολλοί επιμένουν πως αυτή η διαδικασία είναι η πιο ευέλικτη από όλες τις τεχνολογίες.



Εικόνα 6.17. Τρισδιάστατη αναπαράσταση της inkjet διαδικασίας

Χαρακτηριστικά 3D inkjet printing:

1. Δυνατότητα χρήσης των επιτραπέζιων συστημάτων σε περιβάλλον γραφείου (όχι όμως των 3D printers που χρησιμοποιούν υλικά σε σκόνη)
2. Μεγάλη ταχύτητα κατασκευής κομματιών και μέτρια ακρίβεια.
3. Κομμάτια με τραχεία επιφάνεια.
4. Δυνατότητα χρήσης χρωμάτων.
5. Μεγάλη αντοχή κομματιών.
6. Δυνατότητα κατασκευής καλουπιών.
7. Δυνατότητα συναρμολόγησης κομματιών και ελέγχου δυναμικών χαρακτηριστικών.

6.7. Σύγκριση των τεχνολογιών

Στηρίζεται στον χρόνο κατασκευής, το κόστος και τη λειτουργικότητα. Καμία από τις τεχνολογίες Ταχείας Προτυποποίησης δεν υπερέχει σε όλα. Κάθε μία έχει περιορισμούς που επιβάλλονται από το κόστος, την ακρίβεια, τα υλικά, την γεωμετρία και το μέγεθος του μοντέλου. Ο παρακάτω συγκριτικός πίνακας παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά κάποιων ενδεικτικών συστημάτων των τεχνολογιών τα οποία βασίζονται στην αρχή λειτουργίας αυτών.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

6.8.Κατηγορίες υλικών και μέθοδοι εκτύπωσής τους

Σύνθετα και κεραμικά υλικά : Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η προαναφερόμενη ink-jet διαδικασία της οποίας τα βήματα είναι τα ίδια με την κύρια μέθοδο. Επιπρόσθετα για τα συγκεκριμένα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν βαμμένα συνδετικά σε ορισμένες μηχανές για να παράγουν μοντέλα με πολύχρωμη εμφάνιση.

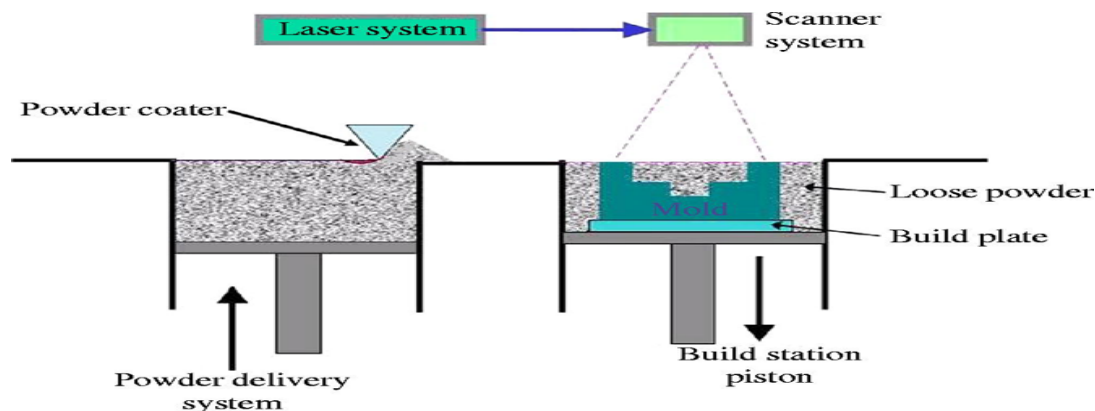
Με την μέθοδο αυτή μπορούν να κατασκευαστούν και κεραμικά μοντέλα τα οποία είναι ασφαλή για χρήση σε φαγητό. Μετά την απομάκρυνση από την πλατφόρμα την εκτύπωσης, τα ακατέργαστα κεραμικά μοντέλα υποβάλλονται σε μια σειρά από θερμικές κατεργασίες για να ξεραθούν, πυρωθούν, γυαλιστούν, βελτιώνοντας την αντοχή και την εμφάνιση τους.

Πλαστικά υλικά: Σε αυτά τα υλικά εφαρμόζονται οι τεχνολογίες της Στερεολιθογραφίας (SLA), της επιλεκτικής σύντηξης υλικού με laser (SLS) και της φωτοπολυμερούς υδροβολής(Photopolymer Jetting) η οποία χρησιμοποιεί την διαδικασία της solid ground curing (SGC) εκτύπωσης, όμως με κάποιες διαφορές. Η SLA και SLS ακολουθούν τα βήματα που αναφέραμε προηγουμένως αναλυτικά στις τεχνολογίες.

Η φωτοπολυμερούς υδροβολή χρησιμοποιεί κινητή κεφαλή όπως οι ink-jet εκτυπωτές για να εναποθέσουν σταγονίδια ρητίνης σε μια πλατφόρμα εκτύπωσης. Όταν οι σταγόνες βρίσκονται εκεί που πρέπει, μια λάμπα υπεριώδους φωτός διασχίζει την πλατφόρμα, σκληραίνοντας το υλικό. Ένα υποστηρικτικό υλικό μπορεί να εκτυπωθεί περιβάλλοντας το μοντέλο, με την δυνατότητα αφαίρεσης του χειροκίνητα ή πλένοντας όταν το αντικείμενο έχει απομακρυνθεί από την πλατφόρμα εκτύπωσης. Η διαδικασία αυτή μπορεί να δημιουργήσει λεπτομερή μοντέλα με λείες επιφάνειες και πολλαπλά υλικά όπως φιμέ, άκαμπτα, εύκαμπτα αντικείμενα σε μία εκτύπωση.

Μεταλλικά υλικά: Στα μεταλλικά υλικά χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι: άμεση σύντηξη μετάλλου με χρήση ακτινών λέιζερ (Direct metal laser sintering, DMLS), οι άμεσες μέθοδοι εκτύπωσης μετάλλου(Direct Metal Printing) και οι έμμεσες μέθοδοι εκτύπωσης(Indirect Printing Methods). Αναλυτικά η αρχή λειτουργίας της μεθόδου **DMLS**, είναι ίδια με αυτή της μεθόδου **SLS** με κάποιες μόνο αλλαγές σε βασικά μέρη. Στο επάνω μέρος συναντάμε ένα λέιζερ οπτικών ινών μεγάλης ισχύος (200watt συνήθως), το οποίο σαρώνει με μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα, μια επιφάνεια με μέταλλο σε μορφή λεπτής σκόνης. Η δέσμη του λέιζερ, λιώνει γειτονικά σωματίδια μετάλλου τα οποία συγκολλούνται μεταξύ τους, σχηματίζοντας ένα στερεό αντικείμενο. Στην συνέχεια η πλατφόρμα πάνω στην οποία λαμβάνει χώρα η εκτύπωση, χαμηλώνει κατά ένα ύψος, όσο το πάχος του στρώματος και στρώνεται στην επιφάνεια ένα νέο στρώμα σκόνης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και το αντικείμενο δημιουργείται μέσα στην μεταλλική σκόνη. Το πάχος το οποίο χαμηλώνει η πλατφόρμα εκτύπωσης μπορεί να είναι ίσο με 20 μm, με αποτέλεσμα την πολύ καλή ποιότητα επιφάνειας και τις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες του αντικειμένου, ισοδύναμες με σφυρήλατα υλικά. Το υλικό τήκεται πλήρως αντί πυρωσυσσωματωμένο (μερικής τήξης) όπως στην SLS διαδικασία επιτρέποντας διαφορετικές ιδιότητες(κρυσταλλική δομή, πορώδες υλικό κλπ.). Η μέθοδος αυτή, είναι ικανή για την παραγωγή αντικειμένων με αρκετά πολύπλοκη γεωμετρία, που με τις μέχρι τώρα μεθόδους, θα ήταν αδύνατη η κατασκευή της. Ανάλογα με το μέγεθος και τη γεωμετρία ο χρόνος εκτύπωσης μπορεί να είναι τόσο μικρός όσο μερικές ώρες. Επιπλέον αυτά τα κομμάτια μπορούν να υποβληθούν σε λειτουργικές δοκιμές στο περιβάλλον για το οποίο έχουν σχεδιαστεί. Τα διαθέσιμα κράματα μετάλλου, που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή, περιλαμβάνουν ανοξείδωτο χάλυβα 17-4 και 15-5, χάλυβα μαρτενγήρανσης, κοβάλτιο, χρώμιο, inconel 625 και 718 (κράμα που περιέχει Cr και

Fe), και τιτάνιο Ti6AlV4. Θεωρητικά, σχεδόν οποιοδήποτε μεταλλικό κράμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτή τη διαδικασία, αφού αναπτυχθεί και επικυρωθεί πλήρως. Τα υψηλά κόστη και οι αυστηρές γραμμές σχεδιασμού κάνουν τη διαδικασία λιγότερο προσιτή στους αρχάριους. Αυτή η τεχνολογία προσφέρει απεριόριστες δυνατότητες για τους μηχανικούς να δημιουργήσουν λύσεις που ήταν προηγουμένως αδύνατες αγκαλιάζοντας μια νέα εποχή του σχεδιασμού με γνώμονα τη κατασκευή.



Εικόνα 6.18. Η διαδικασία εκτύπωσης μοντέλων κατά DMLS

Οι άμεσες μέθοδοι εκτύπωσης μετάλλου χρησιμοποιούν μια σύνθετη διαδικασία για να δημιουργήσουν μεταλλικά μοντέλα, κυρίως από ανοξείδωτο χάλυβα, με βάση από μεταλλική σκόνη. Η διαδικασία γίνεται με βάση την **ink-jet** τεχνολογία με κάποιες διαφορές όπως ότι χρησιμοποιείται πλαστικό υλικό στήριξης, αντί για σκόνη, το οποίο καίγεται και μία θερμική κατεργασία ενώνει τα μεταλλικά κομμάτια. Στο πορώδες υλικό εγχέεται λιωμένο μέταλλο (όπως μπρούντζος, ασήμι κλπ.) το οποίο μπορεί να δώσει μια ποικιλία επιφανειακών κατεργασιών συμπεριλαμβάνοντας την επιμετάλλωση με χρυσό ή άλλα μέταλλα.

Οι έμμεσες μέθοδοι εκτύπωσης δημιουργούν μοντέλα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με συμβατικές μεθόδους χύτευσης για να κατασκευάσουν μεταλλικά κομμάτια. Τα μοντέλα εκτυπώνονται σε μία ρητίνη κεριού χρησιμοποιώντας την τεχνική της Στερεολιθογραφίας, έπειτα τοποθετούνται σε ένα δοχείο με υγρό γύψο ή πυριτική άμμο τα οποία στερεοποιούνται και αποτελούν τα καλούπια των αντικειμένων. Στη συνέχεια λιώνει το κέρι και στη θέση του εγχέεται το λιωμένο μέταλλο που στερεοποιείται, σπάει το καλούπι και μένει το τελικό μεταλλικό αντικείμενο.

6.9. Καλούπια παραγόμενα με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή

Τα μοντέλα που εκτυπώνονται από έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή 3D Printer μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης ως καλούπια ή για την κατασκευή καλουπιών για μια μικρή παραγωγή προϊόντων και εργαλείων. Κάποιες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι ακόλουθες:

1. Reaction Injection Molding (RIM) - Δημιουργία καλουπιού σιλικόνης από το πρωτότυπο και σε συνέχεια την παραγωγή με την χρήση συστήματος έγχυσης ρητινών.
2. Rapid Tooling – Χρήση του εκτυπωμένου μοντέλου ως καλούπι για την παραγωγή προϊόντων σιλικόνης.
3. Vacuum Forming – Το πρωτότυπο χρησιμοποιείται ως καλούπι για την διαμόρφωση υπό κενό π.χ. πλαστικής συσκευασίας.
4. Sand Casting – Δημιουργία του αποτυπώματος του πρωτότυπου σε καλούπι από άμμο, στο οποίο γίνεται χύτευση μετάλλου.
5. Jewelry Molds Using VLT (Very Low Temperature) Rubber – Καλούπι το οποίο δημιουργείται από το πρωτότυπο και εύπλαστο σιλικονούχο ελαστικό.

Επίσης υπάρχουν μερικές τεχνικές που βασίζονται στην τεχνολογία της Στερεολιθογραφίας, οι οποίες είναι:

1. 3D KELTOOL – Διαδικασία της εταιρείας 3D Systems η οποία βασίζεται σε μεταλλική σκόνη.
2. Silicone rubber tooling – Παραγωγή καλουπιών από ελαστική σιλικόνη.
3. Direct AIM tooling – Της 3D Systems, επεξεργασία έγχυσης σε καλούπι με άμεση χρήση στερεολιθογραφικού συστήματος φωτοπολυμερούς υλικού.
4. Epoxy/composite tooling – Επεξεργασία εποξικών υλικών.
5. Spray metal tooling – Τεχνική εναπόθεσης μετάλλου σε σκόνη.
6. Cast Kirksite tooling – Διαδικασία κατασκευής χυτών μεταλλικών εξαρτημάτων από ειδικό κράμα ψευδαργύρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ

Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται αρχικά στα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση των αντικειμένων, δηλαδή ποια είναι αυτά τα προγράμματα, πως λειτουργούν και χρησιμοποιούνται, ποια είναι δωρεάν και ποια επί πληρωμή, τα χαρακτηριστικά τους και ποια είναι πιο διαδομένα. Θα γίνει περιγραφή των μέσων ανοιχτού λογισμικού και των τρόπων με τους οποίους μπορεί κανείς να βρει ελεύθερα αντικείμενα έτοιμα προς εκτύπωση χωρίς την ανάγκη προγραμμάτων σχεδίασης. Στη συνέχεια θα αναφερθεί στα λογισμικά τα οποία μετατρέπουν το αρχείο σχεδίασης σε αρχείο κατάλληλο και αναγνωρίσιμο από το λογισμικό του 3D εκτυπωτή, τα βήματα που ακολουθούνται για αυτήν την διαδικασία και τέλος για την προσομοίωση της εκτύπωσης με τα κατάλληλα εργαλεία και νέες τεχνικές.

7.1.Σχεδιαστικά και υπολογιστικά προγράμματα(CAD/CAE/CAM)

7.1.1.Computer Aided Design (CAD)

Ο σχεδιασμός με την βοήθεια υπολογιστή μέσω των προγραμμάτων ορίζεται ως η δημιουργία και ο χειρισμός σχεδιαστικών πρωτοτύπων ως εργαλείο του μηχανικού στη διαδικασία σχεδιασμού. Οι τεχνικές σχεδιασμού εξελίχθηκαν τα τελευταία τριάντα χρόνια, ως ένα ανεξάρτητο εργαλείο για την τεχνολογία, το σχεδιασμό και την παραγωγική διαδικασία σε βιομηχανίες. Η τεχνολογία των συστημάτων CAD αποτελείται από τρεις συνιστώσες, το υλικό μέρος (υπολογιστές κλπ), το λογισμικό και το χρήστη. Η ανάμειξη των υπολογιστών και της ανθρώπινης ικανότητας στη λήψη αποφάσεων οδηγούν στο βέλτιστο CAD σύστημα, του οποίου οι πρωταρχικές λειτουργίες είναι ο σχεδιασμός, η ανάλυση και η κατασκευή. Επικρατεί η αντίληψη πως τα συστήματα CAD αποτελούν σχεδιαστική πλατφόρμα, οι δυνατότητες τους όμως εκτείνονται από το σχεδιασμό αντικειμένων. Στη μηχανολογία μπορούν να εξαχθούν από τα συστήματα αυτά πληροφορίες χρήσιμες για την ανάλυση μηχανισμών με πεπερασμένα στοιχεία, μετάδοση θερμότητας, ανάλυση τάσεων, δυναμική εξομοίωση μηχανισμών και διαδικασιών, ρευστοδυναμική ανάλυση κλπ.

Όλα σχεδόν τα συστήματα 3D εκτύπωσης λειτουργούν με ειδικό λογισμικό, το οποίο τεμαχίζει τρισδιάστατα μοντέλα CAD ως προς τον κατακόρυφο άξονα, δημιουργώντας μια διαδοχική σειρά από λεπτά στρώματα. Από τα στρώματα αυτά προκύπτουν οι εντολές συντεταγμένων που οδηγούν τη μονάδα ελέγχου (υπολογιστή) των συστημάτων αυτών.

Ο σχεδιασμός ενός μοντέλου CAD έδειξε ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση πρέπει να έχει:

- Ακρίβεια διαστάσεων
- Γεωμετρικές ανοχές ευθυγράμμισης, επιπεδότητας, κυκλικότητας, κλπ
- Δυνατότητα κατασκευής τοιχωμάτων διαφορετικού πάχους
- Δυνατότητα κατασκευής επιφανειών ελεύθερης μορφής
- Δυνατότητα κατασκευής μικρών λεπτομερειών
- Ακρίβεια κατά μήκος του κομματιού, όταν περιέχει επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά.

Κριτήρια αξιολόγησης ενός λογισμικού CAD:

1. Τυποποιημένη και ανοικτή αρχιτεκτονική. Πρέπει να δέχεται εύκολα και χωρίς προβλήματα λογισμικό τρίτων εταιρειών, καθώς και διάφορα περιφερειακά.
2. Δυνατότητες μοντελοποίησης. Στα περισσότερα εμπορικά λογισμικά υπάρχουν τρεις μέθοδοι μοντελοποίησης: Συρματική, Επιφανειακή και Στερεά μοντελοποίηση.
3. Δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ διαφόρων συστημάτων συντεταγμένων, για ευκολότερη αναπαράσταση των μοντέλων.
4. Για τη μεταφορά δεδομένων από ένα σύστημα σε ένα άλλο, πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη τυποποίηση της μορφής των δεδομένων για τα γραφικά.
5. Το λογισμικό πρέπει να είναι σχεδιασμένο, ώστε ο χρήστης να αφιερώνει περισσότερο χρόνο στο σχεδιασμό, παρά στην εισαγωγή εντολών.
6. Το πλήθος των απαραίτητων βημάτων, για την ενεργοποίηση μιας εντολής, να είναι το μικρότερο δυνατό.
7. Κάθε εντολή, που μπορεί να επηρεάσει τη βάση δεδομένων, πρέπει να έχει προστασία απέναντι σε κάθε προσπάθεια αλλαγής των παραμέτρων της.
8. Οι μπάρες εντολών πρέπει να είναι σχεδιασμένες, για εύκολη πρόσβαση από το χρήστη.
9. Ένα πλήθος εντολών πρέπει να είναι προσβάσιμο κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης άλλων εντολών, χωρίς να επηρεάζουν τη διαδικασία εκτέλεσης των εντολών αυτών.
10. Ο σχεδιασμός του περιβάλλοντος εργασίας του συστήματος πρέπει να είναι φροντισμένος, τακτοποιημένος και απλός.

Τρόπος λειτουργίας των συστημάτων CAD :

Τα συστήματα αυτά παρέχουν ένα περιβάλλον εργασίας, στο οποίο υπάρχουν εντολές, κουμπιά και μενού για το χειρισμό του χώρου σχεδίασης και τη δημιουργία των σχεδίων. Για την εκτέλεση αυτών των λειτουργιών χρησιμοποιούνται από τα λογισμικά μαθηματικά μοντέλα, τα οποία αποτελούνται κυρίως από μήτρες μετασχηματισμών. Για την παραγωγή και την οπτικοποίηση των σχεδίων λοιπόν ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία : 1) Οι χειρισμοί του χρήστη μετατρέπονται σε μαθηματικά μοντέλα πινάκων, 2) γίνεται επεξεργασία των μαθηματικών μοντέλων με την εκτέλεση των απαιτούμενων κάθε φορά πράξεων, 3) το αποτέλεσμα μεταφράζεται γραφικά στην θέση του υπολογιστή.

Όλα τα σχήματα λοιπόν εκφράζονται από το λογισμικό με μαθηματικό τρόπο. Όταν για παράδειγμα ο χρήστης περιστρέφει ένα αντικείμενο στο χώρο σχεδίασης, το πρόγραμμα με τη χρήση μετασχηματισμών περιστροφής υπολογίζει τις τελικές συντεταγμένες του αντικειμένου και το εμφανίζει στην οθόνη στη νέα του θέση. Γενικά στις λειτουργίες του λογισμικού χρησιμοποιείται η κατάλληλη μήτρα(πίνακας) μετασχηματισμού.

Τα συστήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης απαιτούν μοντέλα CAD, απόλυτα ορισμένα, γιατί κατά την επεξεργασία των γεωμετρικών στοιχείων του μοντέλου, τα συστήματα αυτά δημιουργούν κλειστές περιοχές και διαχωρίζουν το εσωτερικό του μοντέλου από το εξωτερικό του. Δηλαδή, το μοντέλο CAD πρέπει να είναι σαφώς ορισμένο και κλειστό σε όγκο. Θεωρώντας ένα μοντέλο CAD στο οριζόντιο επίπεδο, όπου μία λεπτή λεπίδα κόβει αρχικά την εξωτερική του επιφάνεια και εισχωρεί μέσα στη μάζα του, τέμνοντας έτσι κάθε εσωτερική λεπτομέρεια, μέχρι να βγει από την αντίθετη πλευρά του μοντέλου, θα προέκυπταν από κάθε τέτοια τομή μία ή περισσότερες κλειστές επίπεδες επιφάνειες, που βοηθούν να κατανοήσουμε πλήρως τους κλειστούς όγκους του μοντέλου. Από τις

συντεταγμένες των εξωτερικών επιφανειών κάθε οριζόντιας τομής δημιουργείται μία σταυρωτή διαγράμμιση, με ειδικούς αλγόριθμους, η οποία στερεοποιεί τις περιοχές μεταξύ των ορίων του πρωτοτύπου. Αν η γεωμετρία του μοντέλου δεν είναι απόλυτα κλειστή (π.χ. κακή συναρμογή των ακμών), τότε δημιουργούνται προβλήματα (π.χ. ανοίγματα, ατέλειες), που πρέπει να επιλύσει το λογισμικό του συστήματος του 3D εκτυπωτή.

Εκτός από τα όρια της εξωτερικής επιφάνειας, για την περιγραφή ενός στερεού αντικειμένου είναι απαραίτητος και ο προσανατολισμός της μάζας του, ο οποίος επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τα όρια του μοντέλου και προσδιορίζοντας τις πληροφορίες της επιφάνειας. Λανθασμένα στοιχεία, π.χ. μηδενικό πάχος, κλπ, οδηγούν σε ανέφικτους σχηματισμούς.

Μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης

Η δημιουργία γεωμετρικών μοντέλων σε ένα σύστημα CAD είναι μια διαδικασία η οποία συναντάται με δύο διαφορετικές μορφές.

- Ο σχεδιαστής προσπαθεί να μεταφράσει τις σκέψεις του σε σχήματα και να τα μεταφέρει στο σύστημα αυτό.
- Ο σχεδιαστής προσπαθεί να προσδιορίσει και να διαστασιολογήσει ένα υπάρχον αντικείμενο, για να το μεταφέρει στο CAD.

Η κάθε μορφή μοντελοποίησης παράγει σχήματα με την εκτέλεση διαφορετικών εντολών. Κάθε μορφή μοντελοποίησης παράγει διαφορετικές διαμορφώσεις (διαφορετικά σχήματα). Όπως έχει αναφερθεί, υπάρχουν τρεις μορφές γεωμετρικής μοντελοποίησης:

1. Συρματική αναπαράσταση: Τα μοντέλα στον τρισδιάστατο χώρο έχουν σχεδιαστεί με τη χρήση δισδιάστατων σχημάτων. Η μοντελοποίηση αυτή αποτελεί την πρώτη προσπάθεια δημιουργίας τρισδιάστατων σχεδίων και έχει εγκαταλειφθεί ως μέθοδος μοντελοποίησης. Χρησιμοποιείται ως μέθοδος απεικόνισης των μοντέλων.
2. Στερεά γεωμετρική μοντελοποίηση: Τα μοντέλα θεωρούνται από το λογισμικό συμπαγή με ιδιότητες μάζας, όγκου, αδράνειας, κλπ. Υπάρχει η δυνατότητα πράξεων boole με στερεά (δηλαδή πρόσθεση, αφαίρεση, τομή γεωμετρικών μοντέλων) πάνω σε αρχέτυπα στερεά (κώνος, κύβος, κύλινδρος, σφαίρα), είτε προεκτείνοντας ένα δισδιάστατο σχήμα στο χώρο είτε περιστρέφοντάς το γύρω από ένα νοητό άξονα. Επίσης γίνονται οι απαιτούμενες γεωμετρικές πράξεις για το συνδυασμό των στερεών, την τομή του στερεού με επιφάνειες ή επίπεδα. Οι γεωμετρικές πράξεις εφαρμόζονται, μέχρις ότου ολοκληρωθεί η διαδικασία με την κωδικοποίηση των όρων κατασκευής και τη νοητή υλοποίησή της μορφής.
3. Επιφανειακή γεωμετρική μοντελοποίηση: Τα σχήματα δεν έχουν μάζα, όγκο, κλπ. Σχηματίζεται ένας φλοιός που είναι η παράπλευρη επιφάνεια του εκάστοτε αντικειμένου. Για παράδειγμα για το σχεδιασμό ενός κύβου πρέπει να σχεδιαστούν οι έξι έδρες του. Δεν υπάρχει η δυνατότητα πράξεων boole. Συνήθως τα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε μνήμη από τον υπολογιστικό εξοπλισμό.

Τα περισσότερα CAD μοντελισμού στερεών διαθέτουν υβρίδια μαθηματικών αλγόριθμων (λογισμικά), που διευκολύνουν το μοντελισμό στερεών. Συγκεκριμένα :

- **(CSG) Constructive Solid Geometry** : το μοντέλο οικοδομείται με απλά γεωμετρικά στερεά , όπως κύβος, κώνος, σφαίρα, σαν βασικά, τα οποία συνδυάζονται , με απλές αλγεβρικές πράξεις του Bool, όπως ένωση, διαφορά τομή. Η σχεδιαστική διαδικασία αναπαρίσταται στο ιεραρχικό δέντρο.
- **(B-REP) Boundary Representation Systems** : συστήματα αναπαράστασης εξωτερικών επιφανειών, που βασίζονται σε πολυώνυμα ή NURBS. Τα NURBS είναι ακριβής μαθηματική περιγραφή γεωμετρίας, διευκολύνοντας το χειρισμό δύο ή τριών διαστάσεων, απλών ή πολύπλοκων επιφανειών.
- **Προσέγγιση της γεωμετρίας με επίπεδα τμήματα** : με την τεχνική αυτή, η επιφάνεια του στερεού χωρίζεται σε επίπεδα τμήματα, συνήθως τρίγωνα ή τετράπλευρα. Αυξάνοντας την πυκνότητα των επιπέδων, προσεγγίζεται καλύτερα η γεωμετρία των καμπύλων επιφανειών. Π.χ. ο κύκλος προσεγγίζεται από διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα , δηλαδή, από ένα πολύγωνο.

Τα συστήματα CAD διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον τρόπο σύνθεσης των επιμέρους γεωμετρικών τμημάτων που απαρτίζουν το μοντέλο : κάποια συστήματα βασίζονται στη σύνθεση χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του μοντέλου, όπως οπές, σχισμές, πλευρές, κελύφη, όπου ο χρήστης πρέπει να σκεφθεί, τη σύνθεση του μοντέλου. Κάποια άλλα συστήματα, βασίζονται στη σύνθεση απλών γεωμετρικών στερεών , αλλά προϋποτίθεται ο χρήστης να είναι εξοικειωμένος με την άλγεβρα Boole, για να συνθέσει το μοντέλο.

Η διαφορά στις δύο αυτές κατηγορίες είναι ότι τα συστήματα που βασίζονται στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, τροποποιούνται εύκολα , γιατί τα χαρακτηριστικά αυτά συσχετίζονται μεταξύ τους. Αντίθετα, τα συστήματα που διαχειρίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά με πράξεις Boole, δεν τροποποιούνται εύκολα π.χ. τυχόν τροποποιήσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών οδηγούν σε λάθη και αποτυχίες.

Συστήματα CAD που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία σήμερα είναι : Parametric Technologies Pro/ENGINEER - Microstation (Intergraph) - ME - 30 (Hewlett - Packard) - Dassault Systems CATIA - SDRC I-DEAS - Unigraphics (EDS) - Alias Research, Inc. Alias Designer.

7.1.2. Computer Aided Engineering (CAE)

Είναι η τεχνολογία που απαρτίζεται από λογισμικά που προβαίνουν σε υπολογιστική ανάλυση ενός προϊόντος ή μιας κατασκευής βασισμένα στην υφιστάμενη, στον H-Y, γεωμετρία τους και σε καθιερωμένες επιστημονικές μεθόδους και επιτρέπουν στο σχεδιαστή να προσομοιώνει και να μελετά τη συμπεριφορά ενός προϊόντος , με σκοπό να το βελτιστοποιήσει σχεδιαστικά πριν αυτό παραχθεί. Οι τεχνολογίες CAE υποδιαιρούνται στους παρακάτω τομείς :

- Ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων FEA (Finite Element Analysis), για κατασκευαστική και θερμική ανάλυση μεμονωμένων εξαρτημάτων και συναρμολογούμενων συνόλων.

- Υπολογιστική μηχανική ρευστών CFD (Computational Fluid Dynamics), για θερμική και ροϊκή ανάλυση ρευστών.
- Κινηματική ανάλυση (Kinematics), για καθορισμό τροχιών κίνησης και εύρεσης ταχυτήτων συνδέσμων μηχανισμών.
- Λογισμικά ανάλυσης μεγάλων μετατοπίσεων (Large Displacement Analysis), για την εύρεση φορτίων και μετατοπίσεων σε σύνθετα συναρμολογούμενα σύνολα , π.χ. οχήματα, αεροσκάφη κλπ.
- Προγραμματιστικά εργαλεία αυτοματοποιημένης βελτιστοποίησης και σχεδίασης.
- Εργαλεία παραγωγικής και κατασκευαστικής ανάλυσης (manufacturing tools), για προσομοίωση διαφόρων κατεργασιών (π.χ. χύτευση, molding, die press forming).

7.1.3. Computer Aided Manufacturing (CAM)

Χρησιμοποιούνται για σχεδιασμό της διαδικασίας παραγωγής ενός προϊόντος. Τα συστήματα CAM παρέχουν εργαλεία για μελέτη παραμέτρων και τη λήψη δεδομένων σε σχέση με τη παραγωγή του προϊόντος.

Είναι η τεχνολογία λογισμικών, που εκτελούνται από υπολογιστικά συστήματα και καταστρώνουν (plan) , διαχειρίζονται (manage) και ελέγχουν παραγωγικές (manufacturing) διαδικασίες. Οι πιο βασικές εφαρμογές της τεχνολογίας CAM περιλαμβάνουν αριθμητικό έλεγχο NC (Numeric Control) , ρομποτικό έλεγχο και computer-aided process planning (CAPP). Η τεχνολογία NC είναι αυτή η οποία χρησιμοποιεί προγραμματιστικά εργαλεία , για να ελέγξει λειαντικές , κοπτικές , διατρητικές κ.α. εργαλειομηχανές. Ο ρομποτικός έλεγχος αναφέρεται στη χρήση ρομπότ , τα οποία επιλέγουν και τοποθετούν τα εργαλεία και τα προς κατεργασία τεμάχια στις μηχανές NC. Λαμβάνοντας δεδομένα από το κατασκευαστικό σχέδιο, το process planning είναι η διαδικασία με την οποία περιγράφονται αναλυτικά οδηγίες που σχετίζονται με τον τύπο και την αλληλουχία των παραγωγικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα , ώστε να παραχθεί ένα τελικό προϊόν σε μια βιομηχανία. Τα CAPP συστήματα περιλαμβάνουν λογισμικά που αυτοματοποιούν την ανάπτυξη των παραγωγικών διαδικασιών μιας βιομηχανίας.

7.1.4. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης γεωμετρικής μοντελοποίησης είναι

1. Καλύτερη αξιολόγηση του προϊόντος, οπότε απαιτούνται λιγότερα πρωτότυπα για την ανάπτυξη του.
2. Περισσότερη πληροφόρηση για τα χαρακτηριστικά του προϊόντος κατά την φάση της σχεδίασης.
3. Καλύτερη οπτικοποίηση του προϊόντος, οπότε περιορισμός σχεδιαστικών λαθών, καλύτερη ποιότητα προϊόντος και μείωση του χρόνου εισαγωγής του προϊόντος στην αγορά.
4. Καλύτερη ανταπόκριση του αντικειμένου στις ανάγκες της αγοράς.
5. Ο σχεδιασμός γίνεται πιο γρήγορα, δεν απαιτούνται πολλές όψεις.
6. Οι αλλαγές γίνονται ταχύτερα, αφού δεν απαιτείται η αλλαγή κάθε όψης χωριστά.

7. Σύνδεση του γεωμετρικού μοντέλου με σύστημα FEA και CAM, για τον προσδιορισμό τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών και της μεθοδολογίας για την παραγωγή του.

7.1.5.Μεταφορά γεωμετρίας μεταξύ σχεδιαστικών λογισμικών

Κάθε λογισμικό εργαλείο αποθηκεύει τα δεδομένα σε μια μορφή αρχείου, σύμφωνα με την τυποποίηση που έχει ορίσει η εταιρεία κατασκευής του. Έτσι ένα αρχείο που έχει δημιουργηθεί σε ένα λογισμικό δεν είναι εφικτό πάντα να ανοίξει σε ένα άλλο λογισμικό.

Η διαφορετική τυποποίηση μεταξύ δεδομένων ίδιας μορφής (π.χ ίδια γεωμετρικά μοντέλα δημιουργημένα σε διαφορετικά λογισμικά εργαλεία) σχετίζεται με τις λειτουργίες κάθε λογισμικού. Συχνά είναι απαραίτητη η μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών λογισμικών εργαλείων. Στη συγκεκριμένη ενότητα αναφέρεται η δυνατότητα μεταφοράς του γεωμετρικού μοντέλου από ένα σύστημα CAD σε άλλο λογισμικό. Για παράδειγμα είναι απαραίτητο να μεταφερθεί η γεωμετρία ενός αντικειμένου από το σύστημα CAD στο σύστημα CAM, για το σχεδιασμό της διαδικασίας παραγωγή του.

Η διαδικασία αυτή γίνεται με δύο τρόπους. Το σύστημα στο οποίο θα μεταφερθεί η γεωμετρία παρέχει κάποιο εργαλείο (φίλτρο) για την απευθείας συνεργασία με το σύστημα, που δημιουργήθηκε το γεωμετρικό μοντέλο. Σε αυτήν την περίπτωση η διαδικασία μεταφοράς της γεωμετρίας συνήθως ολοκληρώνεται χωρίς προβλήματα (εκτός αν το φίλτρο έχει αναπτυχθεί για προηγούμενη έκδοση του λογισμικού). Ο δεύτερος τρόπος, ο οποίος είναι αυτός που συνήθως συναντάται, είναι μέσω της εξαγωγής της γεωμετρίας σε κάποια μορφή αρχείου, η οποία υποστηρίζεται (είναι συμβατή) από το λογισμικό που θα μεταφερθεί η γεωμετρία. Για τη λειτουργία αυτή έχουν αναπτυχθεί από τα πρώτα βήματα των συστημάτων CAD ουδέτερες μορφές αρχείων, οι οποίες χρησιμοποιούνται μόνο για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών λογισμικών. Οι ουδέτερες μορφές αρχείων μετατρέπουν τη γεωμετρία του μοντέλου σε κάποια τυποποιημένη κωδικοποίηση, η οποία παρέχει συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών λογισμικών. Τέτοιες μορφές αρχείων είναι τα αρχεία dxf IGES, STL και η μορφή STEP η οποία τείνει να καθιερωθεί ως η πιο αξιόπιστη για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών λογισμικών εργαλείων.

Τα βασικά σημεία για τη μεταφορά γεωμετρίας μεταξύ διαφορετικών λογισμικών είναι :

- Η λειτουργία αυτή αποτελεί συχνά πηγή προβλημάτων. Αν δεν ολοκληρωθεί επιτυχώς, ο χρήστης συνήθως δεν μπορεί να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που θα προκύψουν.
- Η λειτουργία αυτή δεν είναι εφικτή σε αρκετές περιπτώσεις. Κάθε φορά πρέπει να ελέγχεται η συμβατότητα μεταξύ λογισμικών, ακόμα και όταν είναι εφικτή η χρήση τυποποιημένων ουδέτερων αρχείων.
- Για να είναι εφικτή η μεταφορά μεταξύ διαφορετικών λογισμικών πρέπει το αρχικό λογισμικό να μπορεί να εξάγει δεδομένα σε μορφή, η οποία μπορεί να εισαχθεί στο τελικό λογισμικό. Αυτό είναι βασικό, γιατί ενώ υπάρχει τυποποίηση στα αρχεία ουδέτερης μορφής, δεν υποστηρίζονται όλες οι μορφές ουδέτερων αρχείων από όλα τα λογισμικά.
- Η συμβατότητα δύο λογισμικών δεν εξασφαλίζεται από την υποστήριξη της ίδιας ουδέτερης μορφής αρχείου. Πρέπει να ελέγχεται η συμβατότητα σε κάθε περίπτωση, αφού μπορεί να υπάρχουν προβλήματα στη μεταφορά δεδομένων. Σύνηθες είναι να

γίνεται μεταφορά της γεωμετρίας, χωρίς δυνατότητα οποιασδήποτε επεξεργασίας σε αυτήν.

- Κάποιες εταιρείες ανάπτυξης λογισμικού χρεώνουν επιπλέον τα φίλτρα για την εξαγωγή δεδομένων σε συγκεκριμένη μορφή αρχείου.

7.1.6. Σύγχρονα λογισμικά

Τα σύγχρονα λογισμικά (CAD, CAM, κλπ) έχουν ειδικά προγράμματα που εμπεριέχουν τη λογική των γεωμετρικών κατασκευών : π.χ. ένα πρόγραμμα CAD ,θυμάται τον τρόπο με τον οποίο ένα γεωμετρικό στοιχείο συνδέεται με ένα άλλο αντίστοιχο, όπως π.χ. όταν τα σχήματα εφάπτονται ή τέμνονται μεταξύ τους. Η λογική αυτή των συνδέσεων εξασφαλίζει τη σύνδεση ομοιογενών γεωμετρικών στοιχείων, που συγκροτούν, διαρθρώνουν, ή κατασκευάζουν μια παραλλαγή της αρχικής μορφής.

Χαρακτηριστικά σύγχρονων λογισμικών CAD :

- Feature based λογισμικά (βασισμένα σε χαρακτηριστικά) : Σχεδιασμός κομματιών, σχεδιάζοντας κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά του χωριστά, π.χ. μια τρύπα είναι ένα χαρακτηριστικό. Αυτή η διαδικασία βοηθάει τους σχεδιαστές, οι οποίοι συνδέουν το σχεδιασμό με τον τρόπο παραγωγής. Μέχρι τώρα γινόταν προσέγγιση της γεωμετρίας με χρήση εργαλείων σχεδιασμού συγκεκριμένων γεωμετρικών διαμορφώσεων.
- Παραμετρικός σχεδιασμός: Βασίζεται στη δημιουργία σχέσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών, οι οποίες δημιουργούνται με βάση τη σειρά σχεδίασης. Έτσι αλλάζοντας μια διάσταση σε ένα χαρακτηριστικό, αλλάζει όλη η γεωμετρία των υπολοίπων χαρακτηριστικών, που σχετίζονται με αυτό.
- Παροχή ολοκληρωμένων λύσεων σχεδιασμού: Τα σύγχρονα λογισμικά CAD ξεφεύγουν από την απλή απεικόνιση της γεωμετρίας του προϊόντος και παρέχουν ολοκληρωμένες λύσεις για το σχεδιασμό και την παραγωγή του. Αυτό επιτυγχάνεται με την παροχή εξειδικευμένων εφαρμογών, για τις ανάγκες κάθε χρήστη, οι οποίες λειτουργούν πάνω στην εφαρμογή CAD. Υπάρχει η τάση ενοποίησης όλων των λογισμικών σε μια εταιρεία, από το CAD/CAM έως τη μηχανογράφηση και τα λογισμικά διαχείρισης δεδομένων. Αυτό αποτελεί την λογική λειτουργίας των συστημάτων PDM (Product Data Management). (Πετούσης, 2003)

Κάποια προγράμματα μπορεί κανείς να τα βρεί και να τα εγκαταστήσει στον υπολογιστή του ελεύθερα, χωρίς κανένα κόστος και να αρχίσει να δημιουργεί τα δικά του μοντέλα και κάποια άλλα αποκτούνται επί πληρωμή για να μπορεί κάποιος να έχει πρόσβαση στις δυνατότητες του. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια ελεύθερα προγράμματα σχεδίασης 3D όπως: το Freecad, Openscad, Sketch Up κ.α. Ορισμένα εκ των εμπορικών είναι: Catia, Solidworks, Autodesk Inventor, Rhino 3D κ.α. Προγράμματα όπως το Inventor, Autocad μπορεί να τα αποκτήσει κανείς για ορισμένο χρονικό διάστημα με την ιδιότητα του φοιτητή από τις επίσημες ιστοσελίδες των εταιρειών αυτών.

Υπάρχει και η δυνατότητα εύρεσης έτοιμων σχεδίων, μοντέλων χωρίς κανένα κόστος και κόπο για την κατασκευή τους από συγκεκριμένες αρμόδιες πηγές ελεύθερου λογισμικού (open source). Όποιος ενδιαφέρεται να εκτυπώσει κάποιο αντικείμενο χωρίς να το σχεδιάσει

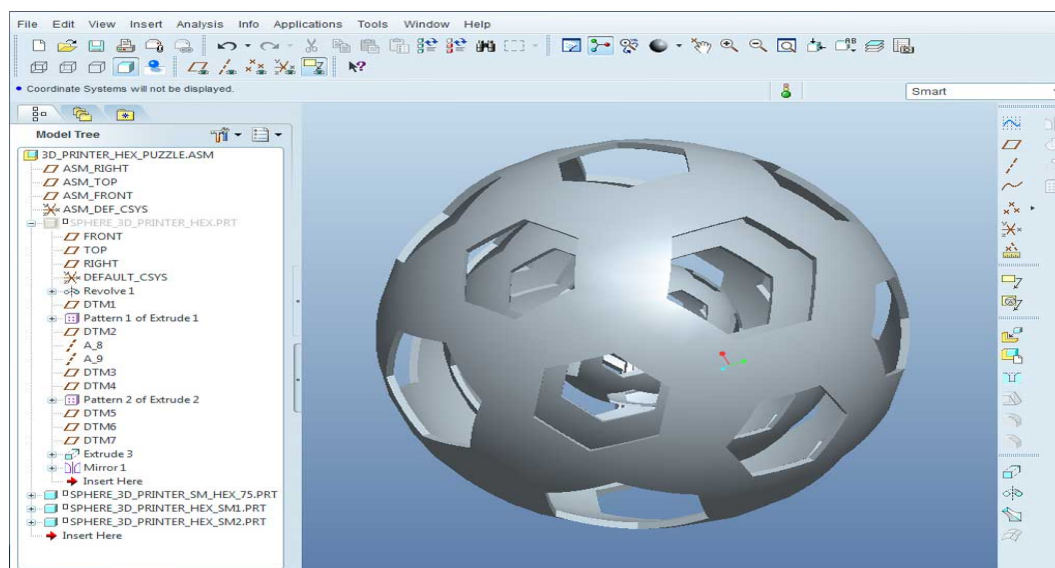
ο ίδιος, μπορεί να επισκεφτεί κάποιες από τις παρακάτω πηγές, να αποθηκεύσει το μοντέλο που επιθυμεί από την λίστα και να το ετοιμάσει για την εκτύπωση από το σχετικό λογισμικό του εκάστοτε 3D εκτυπωτή. Κάποιες από τις ενδεικνυόμενες πηγές είναι: το Autodesk 123D (<http://www.123dapp.com/Gallery/content/all>) , Bld3r (<http://www.bld3r.com/>), Cubehero (<https://cubehero.com/>), FabFabbers (<http://www.fabfabbers.com/>), Repables (<http://repables.com/>), Makerbot Thingiverse (<http://www.thingiverse.com/>), Treasure Island (<http://www.treasure.is/#/products>) και Youmagine (<https://www.youmagine.com/>).

7.2. Παραδείγματα feature based CAD λογισμικών

7.2.1. Pro Engineer

Το πιο διαδεδομένο και πρώτο σε πωλήσεις CAD σύστημα, με πλήθος ειδικευμένες εφαρμογές. Ενδεικτικά αναφέρονται:

- Plastic advisor: Σχεδιασμός καλουπιών χύτευσης.
- Λαμαρίνα: Κατανομή κομματιών σε φύλλα λαμαρίνας, για μείωση του σκάρτου.
- In part: Βάση δεδομένων με έτοιμα τρισδιάστατα σχέδια από τυποποιημένα εξαρτήματα, όπως βίδες , ρουλεμάν κλπ. Έχει πάνω από 200.000 σχέδια. Έχει καταργηθεί ως προϊόν.
- Mechanical: Υπολογισμός καταπονήσεων σε μηχανισμούς.
- Pipes: Σχεδιασμός σωλήνων.
- Assembly: Συναρμολόγηση εξαρτημάτων, για τη δημιουργία μηχανισμών.
- Behavior: Μια νέα εφαρμογή στο σχεδιασμό, όπου το πρόγραμμα βελτιώνει αυτόματα το σχεδιασμό, μειώνοντας το βάρος ή δημιουργώντας αντικείμενα με συγκεκριμένα δυναμικά χαρακτηριστικά, π.χ συγκεκριμένη θέση κέντρου βάρους κλπ.
- CAM: Το σύστημα CAM είναι ενσωματωμένο στο σύστημα CAD. Το χαρακτηριστικό αυτό παρέχεται από ελάχιστα συστήματα. (Πετούσης, 2003)



Εικόνα 7.1. Το μενού σχεδίασης του Pro Engineer



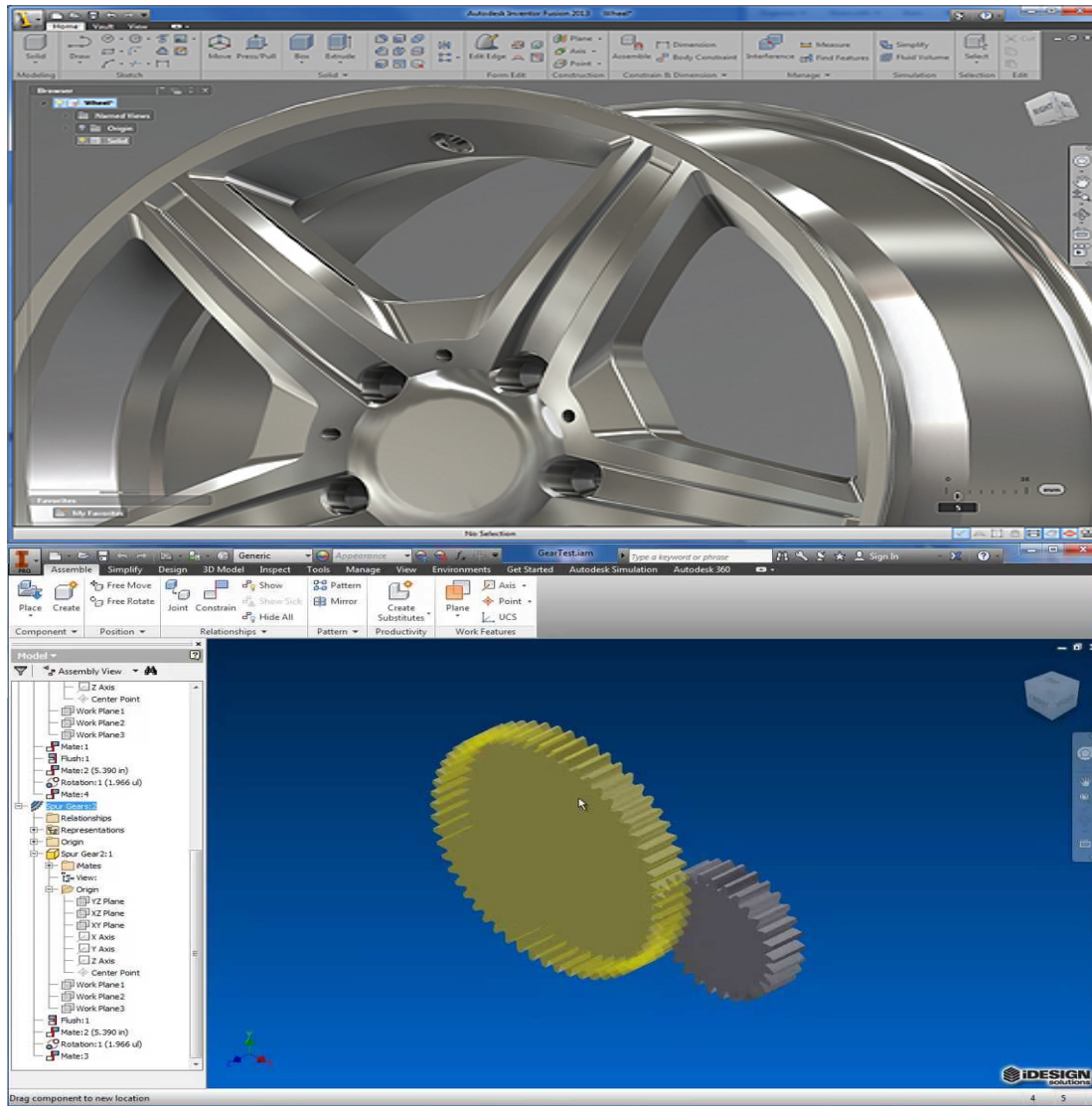
Εικόνα 7.2. Αντικείμενο σχεδιασμένο από το Pro Engineer

7.2.2. Autodesk Inventor

Αποτελεί τον αντικαταστάτη του Mechanical Desktop. Το λογισμικό έχει αναπτυχθεί λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο σκέψης του χρήστη και έχει ως στόχο τη δημιουργία ως ολοκληρωμένου συστήματος σχεδιασμού, αξιοποιώντας κατά το σχεδιασμό, πληροφορίες για τις δυνατότητες παραγωγής κάθε βιομηχανίας. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια βασικά επιμέρους χαρακτηριστικά:

- Assembly Centric Design
- Concept Layout Design
- Sheet Metal
- Production Drafting
- Collaboration and Communication module
- Information Management

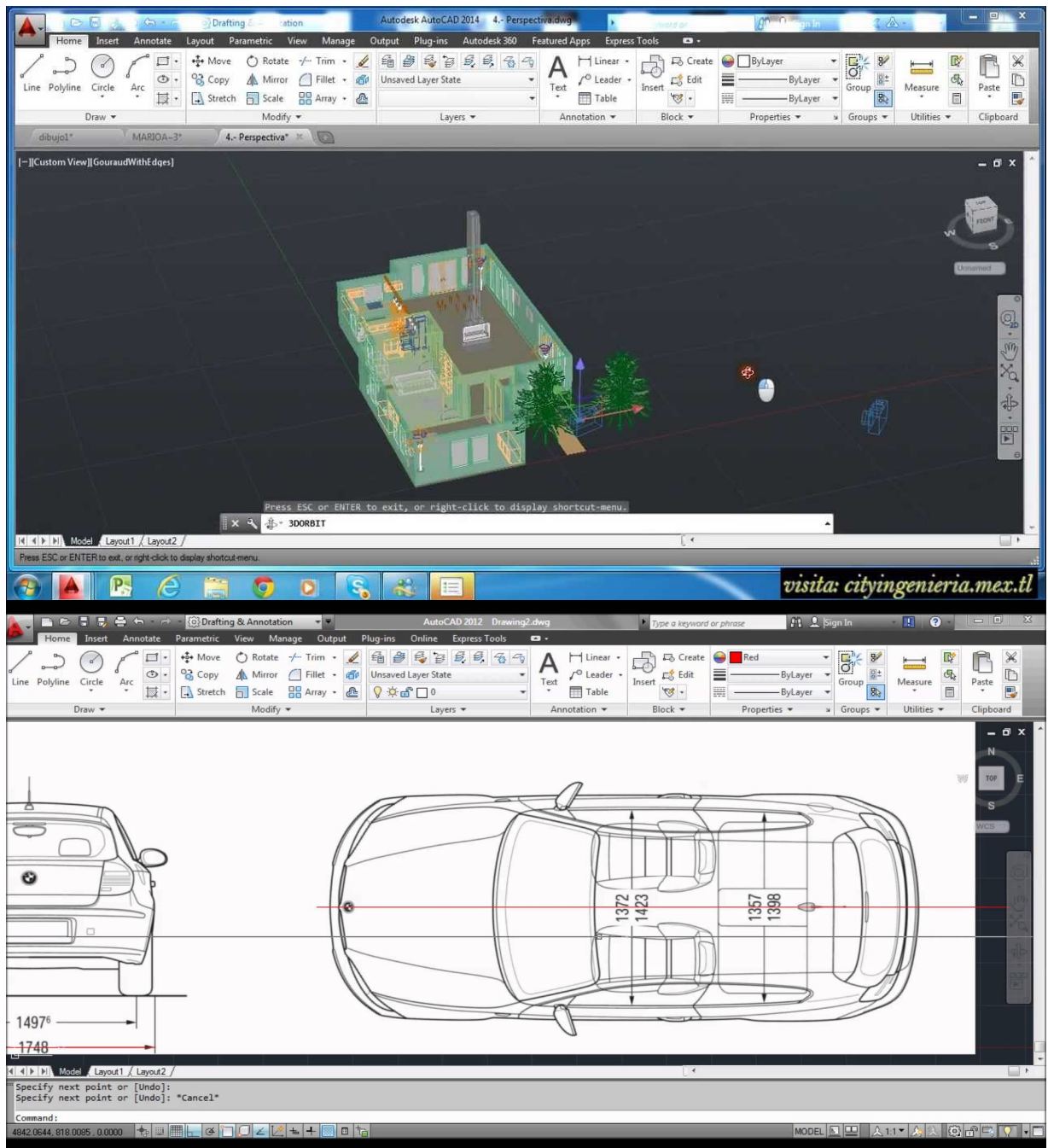
Μία άλλη έκδοση του Inventor είναι το **Inventor Fusion** το οποίο επιτρέπει να επεξεργαστεί κανείς τα περισσότερα 3D CAD αρχεία, στερεάς ή επιφανειακής μοντελοποίησης. Το πρόγραμμα υποστηρίζει την ανάγνωση ενός εξαιρετικά ευρύ φάσματος των 3D CAD μορφών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προέρχονται από τους περισσότερους και πιο σημαντικούς παράγοντες, όπως των CATIA V5, NX, Pro / E, SolidWorks, Alias, Parasolid, ACIS, STEP, IGES, ακόμα και Rhino. Το Inventor Fusion έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε συνδυασμό με το Autodesk Inventor (την αρχική έκδοση), έχει τα δικά του προτερήματα. Αρχικά, το Inventor Fusion έχει ένα καλά εκλεπτυσμένο περιβάλλον. Διατηρεί τις πληροφορίες που χρειάζεται κάποιος κοντά στο σημείο όπου εργάζεται. Τα εργαλεία σχεδίασης και μοντελοποίησης του είναι σε ένα γνώριμο πλαίσιο. Συνολικά, πρόκειται για ένα πολύ καλύτερο περιβάλλον εργασίας του χρήστη από ό, τι οι περισσότεροι χρήστες CAD θα περίμεναν. Επίσης περιλαμβάνει ένα ζευγάρι εργαλείων που καθιστούν πραγματικά ενδιαφέρον το λογισμικό για την προετοιμασία των μοντέλων για τα συστήματα CAE. Έχει έναν οδηγό μοντέλο απλοποίησης, να αφαιρεί τις μικρές προεξοχές.



Εικόνα 7.3. Παραδείγματα σχεδίασης σε Inventor

7.2.3.AutoCAD

Ένα άλλο λογισμικό CAD της Autodesk είναι το AutoCAD το οποίο αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές γενικής σχεδίασης που χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Το AutoCAD κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το Δεκέμβριο του 1982. Ο χειρισμός της εφαρμογής επιτρέπει τόσο τη σχεδίαση σε δύο διαστάσεις για τη δημιουργία τεχνικών σχεδίων, όσο και τη σχεδίαση σε τρεις διαστάσεις για την επεξεργασία εικονικών μοντέλων. Χρησιμοποιείται παγκοσμίως από αρχιτέκτονες, διακοσμητές, σχεδιαστές, μηχανολόγους, ηλεκτρολόγους, πολιτικούς μηχανικούς, τοπογράφους, και γενικότερα για όλους όσους θέλουν να κάνουν ψηφιακή σχεδίαση σχεδίων με υψηλή ακρίβεια. Η εγγενής μορφή αρχείων του AutoCAD είναι Dwg.



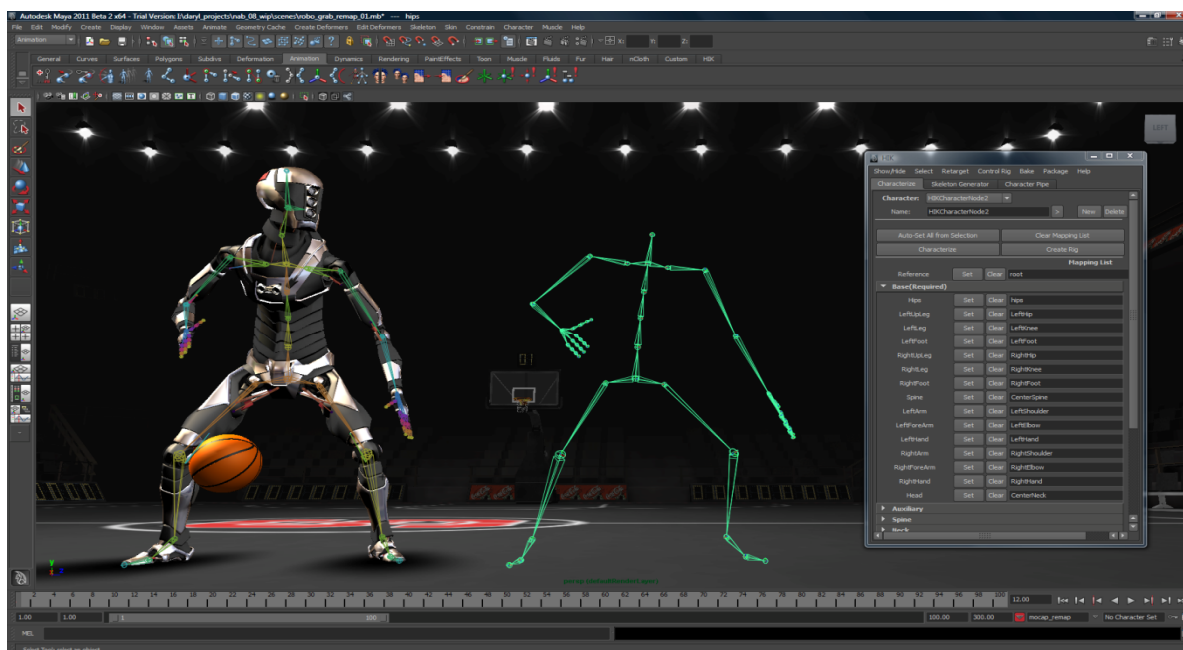
Εικόνα 7.4. Παραδείγματα σχεδίασης σε AutoCAD

7.2.4. Maya

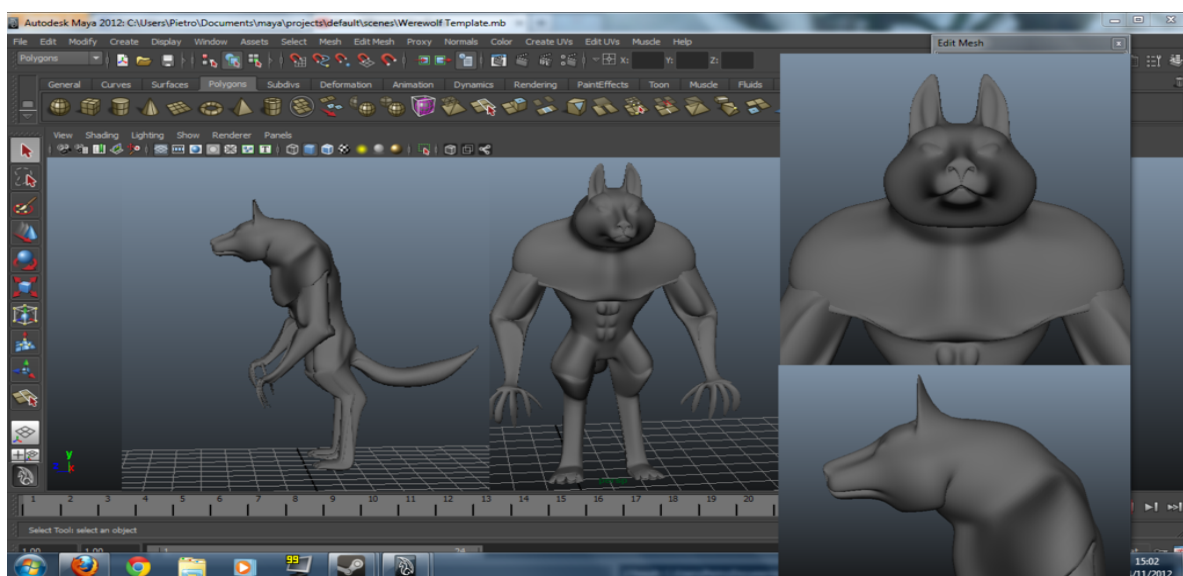
Είναι ένα λογισμικό 3D γραφικών που τρέχει σε Windows και OS X, αναπτύχθηκε αρχικά από την Alias Systems Corporation και επί του παρόντος ανήκει στην Autodesk και αναπτύχθηκε από αυτήν. Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία διαδραστικών 3D εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των βιντεοπαιχνιδιών, ταινιών, κινουμένων σχεδίων, τηλεοπτικών σειρών ή οπτικών εφέ.

Κάποια χαρακτηριστικά τους είναι: Dynamics and effects: Προσομοιώνουν και καθιστούν φωτορεαλιστικά υγρά, δημιουργούν καμπύλες, σφαίρες, ρεαλιστικές, άκαμπτες και μαλακές προσομοιώσεις, δημιουργούν μαλλιά με δυναμική καμπυλωτή βάση, γούνες, γρασίδι,

προσομοιώνουν πολύπλοκα οπτικά 3D εφέ, δημιουργούν ρεαλιστικά παραμορφώσιμα υλικά, εξομοιώνει πολλαπλά άκαμπτα και εύκαμπτα αντικείμενα. 3D Animation: υψηλή ποιότητα δερμάτινων αποτελεσμάτων σε λίγο χρόνο, ποικίλα εργαλεία animation, επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων χαρακτήρων για εξοικονόμηση χρόνου, ταχύτητα εικόνων κινηματογράφου. 3D Modeling: Απλοποίηση της ροής των εργασιών, ταχύτερα μοντέλα και πιο αξιόπιστα, επιτάχυνση της απόδοσης με διαδραστικές ροές εργασίας, δημιουργία μαθηματικά λείων επιφανειών. Pipeline integration: Διαχείριση μεγάλων δεδομένων και σύνθετων σκηνών, γρήγορη διάγνωση και διόρθωση σπασμένων διαδρομών αρχείων. 3D Rendering and imaging: Εύκολη δημιουργία 3D εφέ σκίασης, δημιουργία κινούμενων σχεδίων από 3D σκηνές, εργασία σε ένα διαδραστικό περιβάλλον υψηλότερης πιστότητας, παραγωγή υψηλής ποιότητας εικόνων, εισαγωγή στοιχείων CG σε μία σκηνή ζωντανής δράσης.



Εικόνα 7.5. Το μενού σχεδίασης του Maya



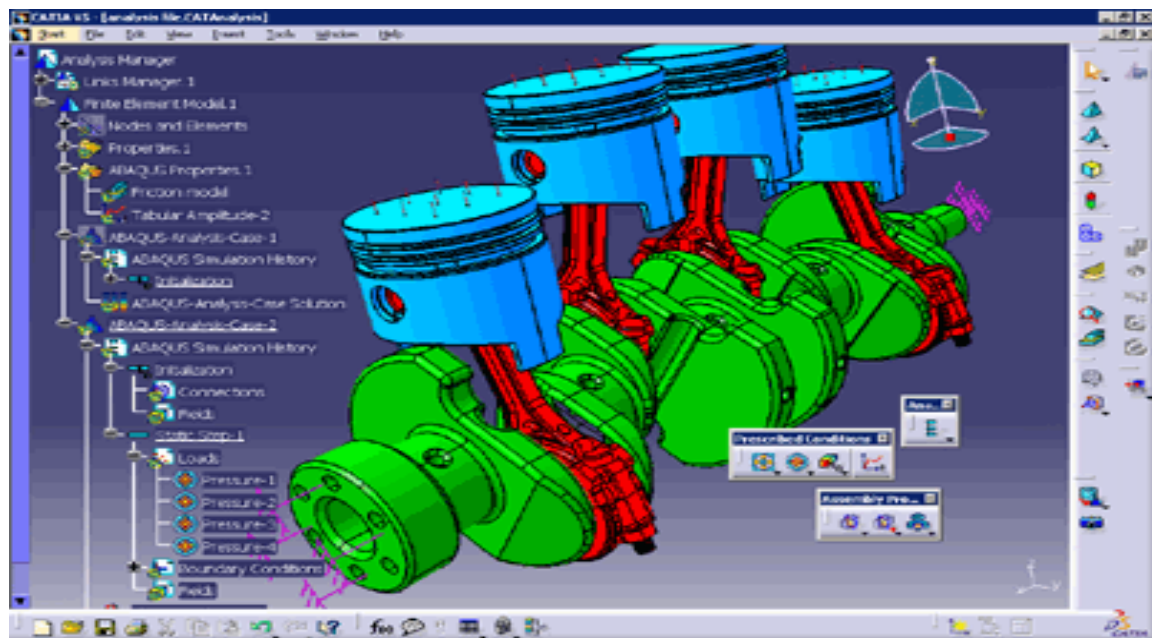
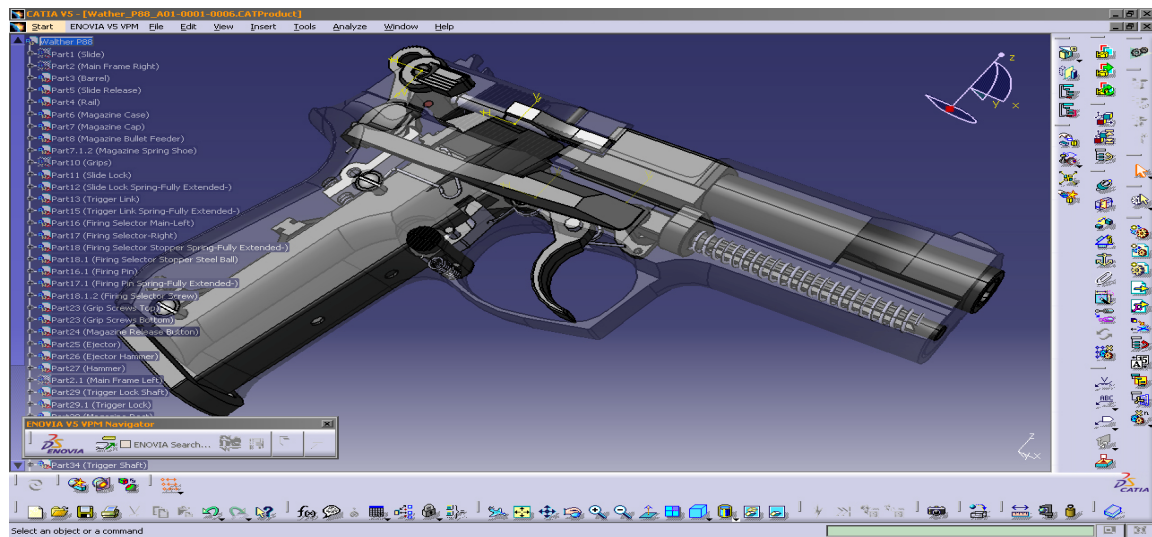
Εικόνα 7.6. Μία άλλη έκδοση του λογισμικού Maya

7.2.5.Dassault Systems Catia

Από τα μεγαλύτερα CAD συστήματα στην αγορά. Το στάνταρ σχεδιασμού στις αεροπορικές βιομηχανίες και στην αυτοκινητοβιομηχανία. Αρκετά δύστροπο, αλλά με μεγάλες δυνατότητες σχεδιασμού, ειδικά σε εύκαμπτα μέρη (καλώδια, σωληνώσεις) και σε πολύπλοκες επιφάνειες. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποιες εφαρμογές σχεδιασμού (υπάρχουν εφαρμογές της εταιρείας σε συνεργασία με την IBM για διαχείριση δεδομένων και προγραμματισμό εργασιών):

- Mechanical Design Solutions
- Drafting Solutions
- Shape Design & Styling Solutions
- Equipment and Systems Engineering Solutions
- Analysis and Simulations Solutions
- Manufacturing Solutions
- Plant Design
- Shipbuilding Solutions
- CATIA application architecture

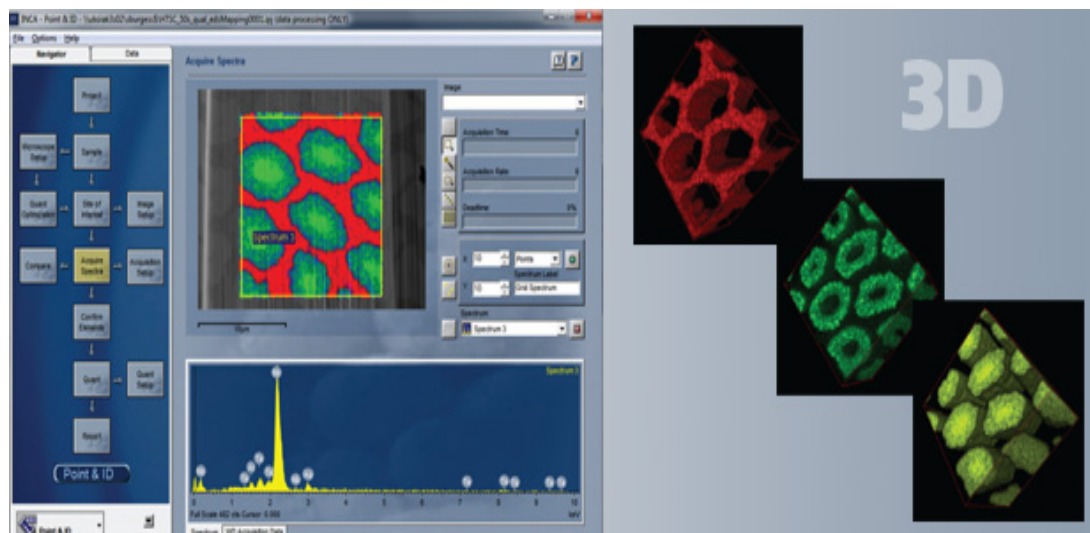
Το CATIA εμπλέκεται στον τομέα της μηχανολογίας επιτρέποντας την δημιουργία κάθε είδους 3D συναρμογών για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών της μηχανικής. Οι μηχανικοί μπορούν να βασίζονται στα εργαλεία μοντελοποίησης του CATIA για να προσδιορίσουν πλήρη μηχανολογικά προϊόντα συμπεριλαμβανομένων των λειτουργικών ανοχών. Οι μηχανικοί λοιπόν με το CATIA έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν σημαντικά βελτιωμένη παραγωγικότητα, όχι μόνο στην ολοκλήρωση του μηχανολογικού σχεδιασμού πιο γρήγορα αλλά και σε μεγάλο βαθμό στην μείωση του χρόνου στην εκτέλεση των αλλαγών στα τρισδιάστατα μοντέλα. Ο μηχανικός μπορεί να έχει πρόσβαση σε παραγωγικά εργαλεία, όπως το αυτόματο σχέδιο ή να λάβει μια λειτουργική προσέγγιση μοντελοποίησης. Το CATIA καλύπτει επίσης τις διαδικασίες συγκόλλησης μετάλλων, σύνθετων υλικών, τις δομές και τη στερέωση. Επίσης προσφέρει μία ειδική ηλεκτρομηχανική λύση για το σχεδιασμό και την τεκμηρίωση ηλεκτρικών καλωδίων σε όλα τα προϊόντα που περιλαμβάνουν ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά και ηλεκτρομηχανικά συστατικά. Δημιουργεί ηλεκτρικές μονάδες απευθείας στην ψηφιακή μακέτα μειώνοντας το χρόνο και το κόστος. Επίσης, επιτρέπει την αυτόματη δημιουργία της τεκμηρίωσης κατασκευής. Για τη δημιουργία προϊόντων υψηλής ποιότητας γρήγορα, το CATIA διαθέτει την δυνατότητα ενσωμάτωσης ρεαλιστικών εκτυπωμένων κυκλωμάτων (PCB) μέσα σε ένα εικονικό προϊόν για να απλουστευθεί η συνεργασία μεταξύ των μηχανικών και ειδικών ηλεκτρονικών ειδών



Εικόνα 7.7. Παραδείγματα σχεδίασης σε Catia

7.2.6.EDS

Η EDS είναι από τις πρώτες εταιρείες που ασχολήθηκαν με συστήματα μηχανολογικών εφαρμογών σε υπολογιστή. Μετά από μια περίοδο ύφεσης, η εταιρεία με το σύστημα CAD Unigraphics αποτελεί ένα τμήμα από τα διαθέσιμα λογισμικά της εταιρείας, η οποία στοχεύει στην παροχή ολοκληρωμένων και ειδικευμένων εφαρμογών για όλα τα στάδια σχεδιασμού και παραγωγής προϊόντος.



Εικόνα 7.8. Το μενού σχεδίασης του EDS

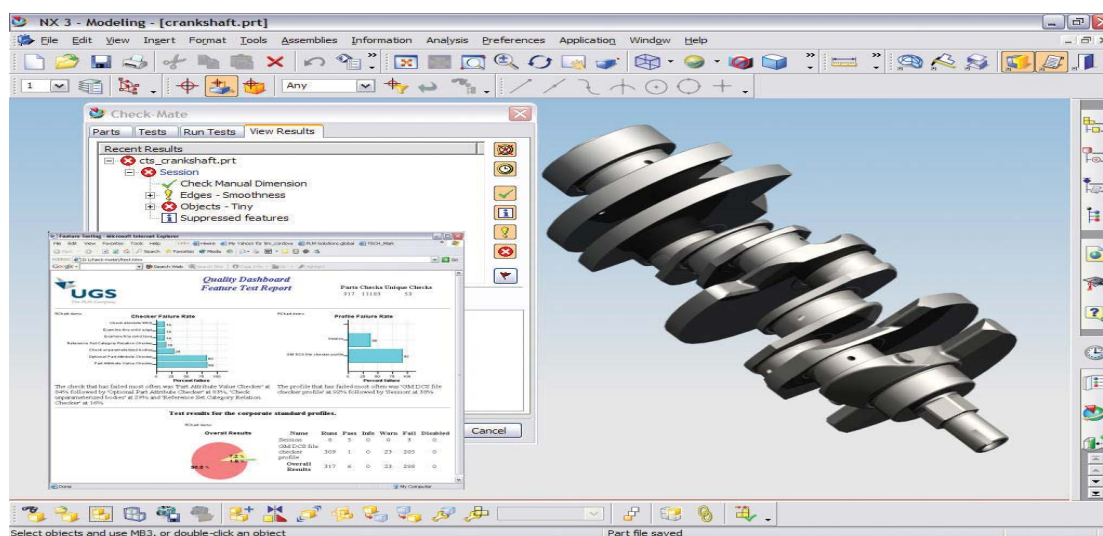
7.2.7.UGS NX

Το NX παλαιότερα γνωστό ως NX Unigraphics, είναι ένα προηγμένο πακέτο λογισμικού CAD / CAE / CAM που αναπτύχθηκε από τη Siemens PLM Software.

Χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων καθηκόντων, για:

- Σχεδιασμό (παραμετρική και άμεση στερεά / επιφανειακή μοντελοποίηση)
- Τεχνική ανάλυση (στατική, δυναμική, ηλεκτρο-μαγνητική, θερμική, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και υγρών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πεπερασμένων όγκων).
- Ολοκλήρωση βιομηχανικού σχεδιασμού χρησιμοποιώντας μονάδες κατεργασίας.

Το NX είναι άμεσος ανταγωνιστής Creo Elements / Pro και CATIA.



Εικόνα 7.9. Το μενού σχεδίασης του UGS NX

7.2.8.Solidworks

Παρουσιάστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 90 από μια ομάδα, η οποία συμμετείχε στην ανάπτυξη του Pro Engineer και έχει διεισδύσει σε σημαντικό πλήθος εταιρειών. Ένα από τα μειονεκτήματα του είναι ότι δεν παρέχει CAM. Επίσης το κόστος αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, λόγω της διάδοσης λογισμικού. Το SolidWorks είναι ένα πλήρες 3D μηχανολογικό εργαλείο για σχεδιασμό προϊόντων, προσφέροντας στη σχεδιαστική ομάδα όλα τα απαραίτητα εργαλεία για μηχανολογικό σχεδιασμό, επικύρωση, προσομοίωση κίνησης μηχανισμών, ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (αντοχής και ροής), φωτορεαλισμό, διαχείριση δεδομένων από ομάδες και τα πολλά εργαλεία επικοινωνίας. Εξάγει τα γεωμετρικά δεδομένα σε πληθώρα ουδέτερων πρωτοκόλλων επικοινωνίας (IGES, STEP, PARASOLID, VRML, STL κ.α.), δίνοντας τη δυνατότητα για περαιτέρω επεξεργασία τους και με άλλα λογισμικά εργαλεία, ή ακόμα και κατασκευής τους σε διατάξεις ΤΚΠ.

Με το SolidWorks όλα τα σχεδιαστικά δεδομένα του υπό σχεδίαση αντικειμένου ή μηχανολογικού συνόλου είναι 100% παραμετρικά, επεξεργάσιμα και τροποποιήσιμα, η δε διασύνδεση ανάμεσα στα 3D μοντέλα (parts), συναρμολογήματα (assemblies) και 2D σχέδια (drawings) που τα απαρτίζουν είναι πάντα άμεση και ανταποκρίνεται σε κάθε αλλαγή που γίνεται. Επίσης, η διασύνδεση με λογισμικά εργαλεία τρίτων εταιριών λογισμικού (π.χ. CAE, CAM), είναι δυνατή και άμεση μέσα από το ίδιο το γραφικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης του ίδιου του προγράμματος. Μειώνονται τα βήματα σχεδιασμού και οι περιττές κινήσεις μέσα από μία πληθώρα καινοτόμων εργαλείων «εξοικονόμησης χρόνου». Η αναζήτηση παλιότερων σχεδίων είναι πολύ εύκολη και η επαναχρησιμοποίηση τμημάτων των σχεδίων αυτών μας επιτρέπει να σχεδιάζουμε πιο αποδοτικά.

Το περιβάλλον SolidWorks παρέχει συνοπτικά και κωδικοποιημένα τις εξής δυνατότητες :

1. Αυτόματη δημιουργία κατασκευαστικών σχεδίων (2D drawings).
2. Συμφωνία με τα πρότυπα και την υπάρχουσα τυποποίηση μηχανολογικού σχεδιασμού (DIN, ISO κλπ).
3. Αυτόματες λίστες υλικών (BOM) με τα χαρακτηριστικά τους.
4. Αμφίδρομη συμβατότητα και ενημέρωση με το αντίστοιχο 3D συναρμολόγημα.
5. Πλήρη και αυτόματη διαστασιολόγηση.
6. Σύγκριση μοντέλων και κατασκευαστικών σχεδίων.
7. Δυνατότητα κίνησης σε 2D σκαριφήματα (sketch blocks) και εξακρίβωση της σωστής λειτουργίας ενός μηχανισμού, πριν η σχεδίαση προχωρήσει στον τρισδιάστατο σχεδιασμό.
8. Συνδυασμός ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών από διαφορετικά SolidWorks αρχεία και διατήρηση των «παλιών» ρυθμίσεων κατά τη δημιουργία νέων αντικειμένων.
9. Γρήγορη δημιουργία συναρμολογημάτων με τη χρήση έξυπνων κανόνων συναρμογών και γειτνίασης (smart mates). Με κάθε αλλαγή ενός εξαρτήματος στο συναρμολόγημα (assembly) τα υπόλοιπα εξαρτήματα προσαρμόζονται αυτόματα στις νέες διαστάσεις των εξαρτημάτων.
10. Προσομοίωση ρεαλιστικής μετάδοσης κίνησης και μηχανικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στερεών σωμάτων με μοναδικές δυνατότητες φυσικών συνθηκών. Προσομοίωση κινήσεων ιμάντων, αλυσίδων και οδοντωτών τροχών.

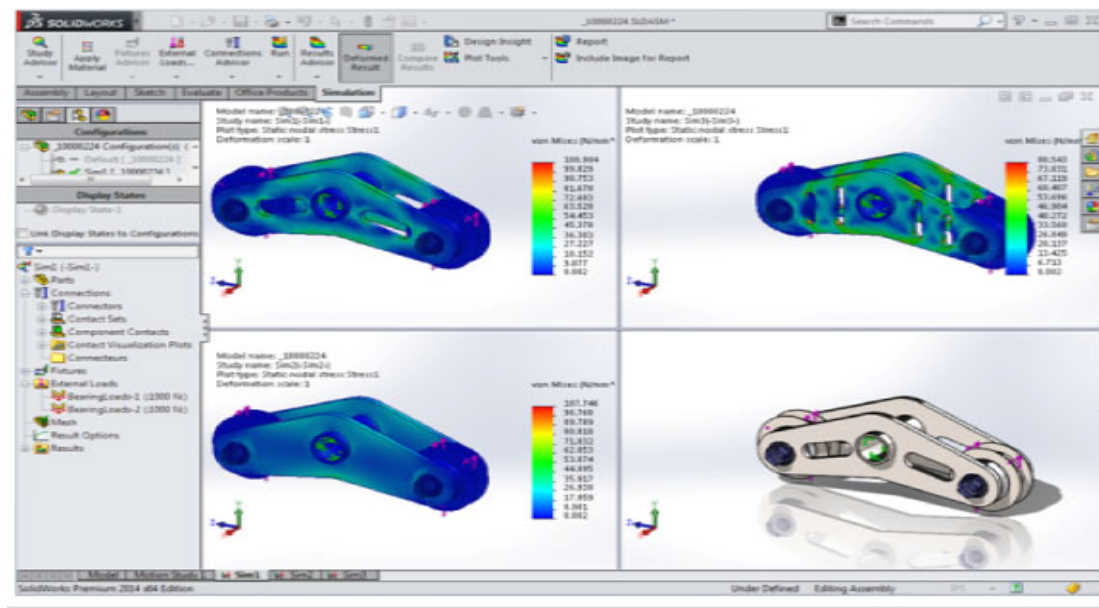
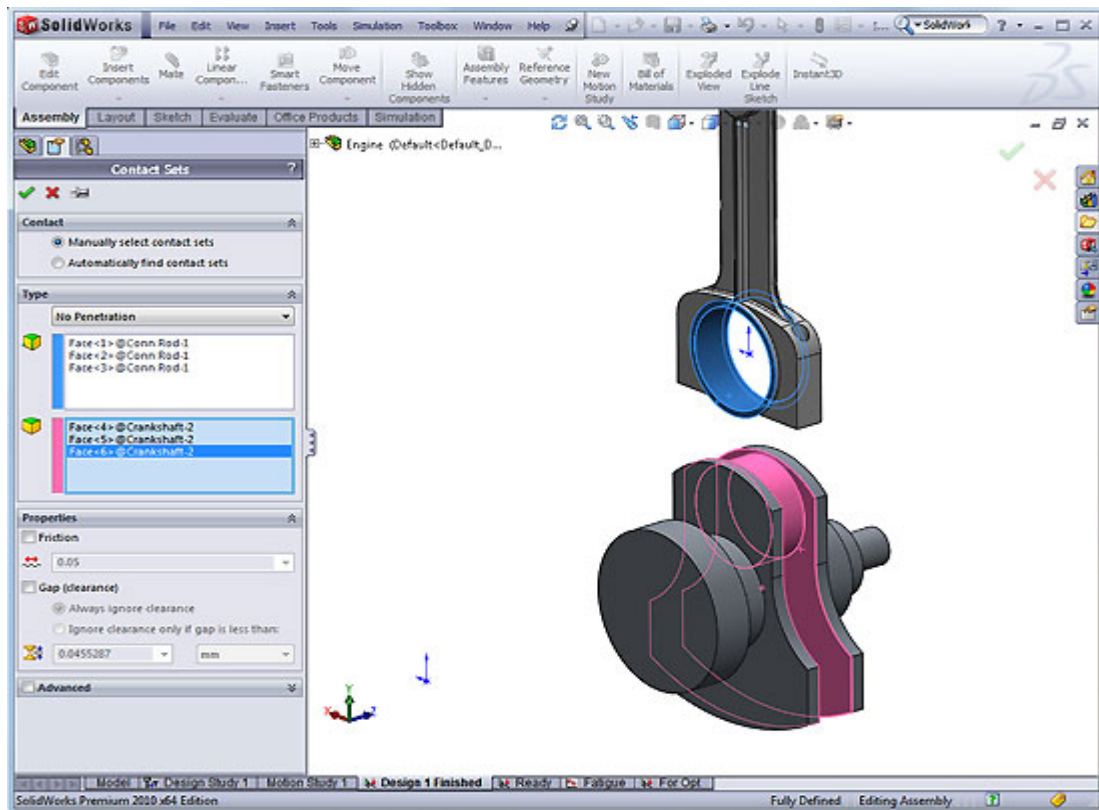
Εξειδικευμένα εργαλεία και χαρακτηριστικά στο SolidWorks:

Με το SolidWorks μπορεί να αποτυπωθεί και να τροποποιηθεί μια αρχική ιδέα με τις προχωρημένες δυνατότητες 3D sketching (Τρισδιάστατο σκαρίφημα). Με την εντολή Freeform (ελεύθερη διαχείριση επιφανειών), μπορούν να δημιουργηθούν πολύπλοκες επιφάνειες σύροντας προκαθορισμένα σημεία τους στο χώρο, κατασκευάζοντας καθ' αυτό τον τρόπο αντικείμενα ανώτερης αισθητικής ποιότητας και μηχανολογικής ακρίβειας.

Το SolidWorks προσφέρει επίσης την τεχνολογία SWIFT , η οποία απλοποιεί το σχεδιασμό με προχωρημένες τεχνικές σχεδιασμού. Για παράδειγμα, η εντολή Instant 3D, επιτρέπει την αλλαγή διαστάσεων σε πραγματικό χρόνο επιλέγοντας και σύροντας επιφάνειες του μοντέλου. Επίσης μας παρέχει ενσωματωμένα εργαλεία συγκολλήσεων και μεταλλικών κατασκευών , ενσωματωμένα εργαλεία σχεδίασης μεταλλικών επιφανειών (sheet metal) και δημιουργία αναπτυγμάτων με ένα κλικ. Επιπλέον ενσωματώνει εργαλεία για σχεδίαση καλουπιών με πολύπλοκες επιφάνειες. Τα εργαλεία αυτά αυτοματοποιούν τη δημιουργία μητρών καλουπιού με βάση τη γεωμετρία του τελικού προϊόντος.

Το SolidWorks ενσωματώνει το λογισμικό Simulation για ανάλυση κατασκευών με πεπερασμένα στοιχεία. Το λογισμικό αυτό περιλαμβάνει εργαλεία για στατική & δυναμική ανάλυση, υπολογισμό θερμικών καταπονήσεων, ανάλυση κραδασμών, βελτιστοποίηση κατασκευών, υπολογισμό αντοχής κατασκευών σε κόπωση, προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων στα κινητά μέρη ενός μηχανισμού και υπολογισμός των δυνάμεων που αναπτύσσονται κλπ. Επίσης είναι ένα πλήρως ενσωματωμένο λογισμικό για ρευστομηχανική και θερμική ανάλυση. Υποστηρίζει μια μεγάλη γκάμα ρευστών τόσο για εξωτερικές όσο και για εσωτερικές ροές.

Το SolidWorks περιλαμβάνει επίσης το προϊόν 3Dvia Product Doc , το οποίο αυτοματοποιεί εύκολα και γρήγορα τη δημιουργία εγγράφων για οδηγίες χρήσης προϊόντων. Ενδεικτικά μπορεί κανείς να δημιουργήσει οδηγίες συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης, τεχνικές λεπτομέρειες σε συνδυασμό με 3D απεικονίσεις - animations , εκπαιδευτικό υλικό, παρουσιάσεις για marketing, τις πωλήσεις κτλ. Κατ' αυτό τον τρόπο εξοικονομείται χρόνος και χρήμα ενώ παράλληλα βελτιώνονται οι τεχνικές πληροφορίες που δίνονται στον πελάτη. Το 3Dvia Composer διαβάζει αρχεία SolidWorks, CATIA, Pro-E κ.α.



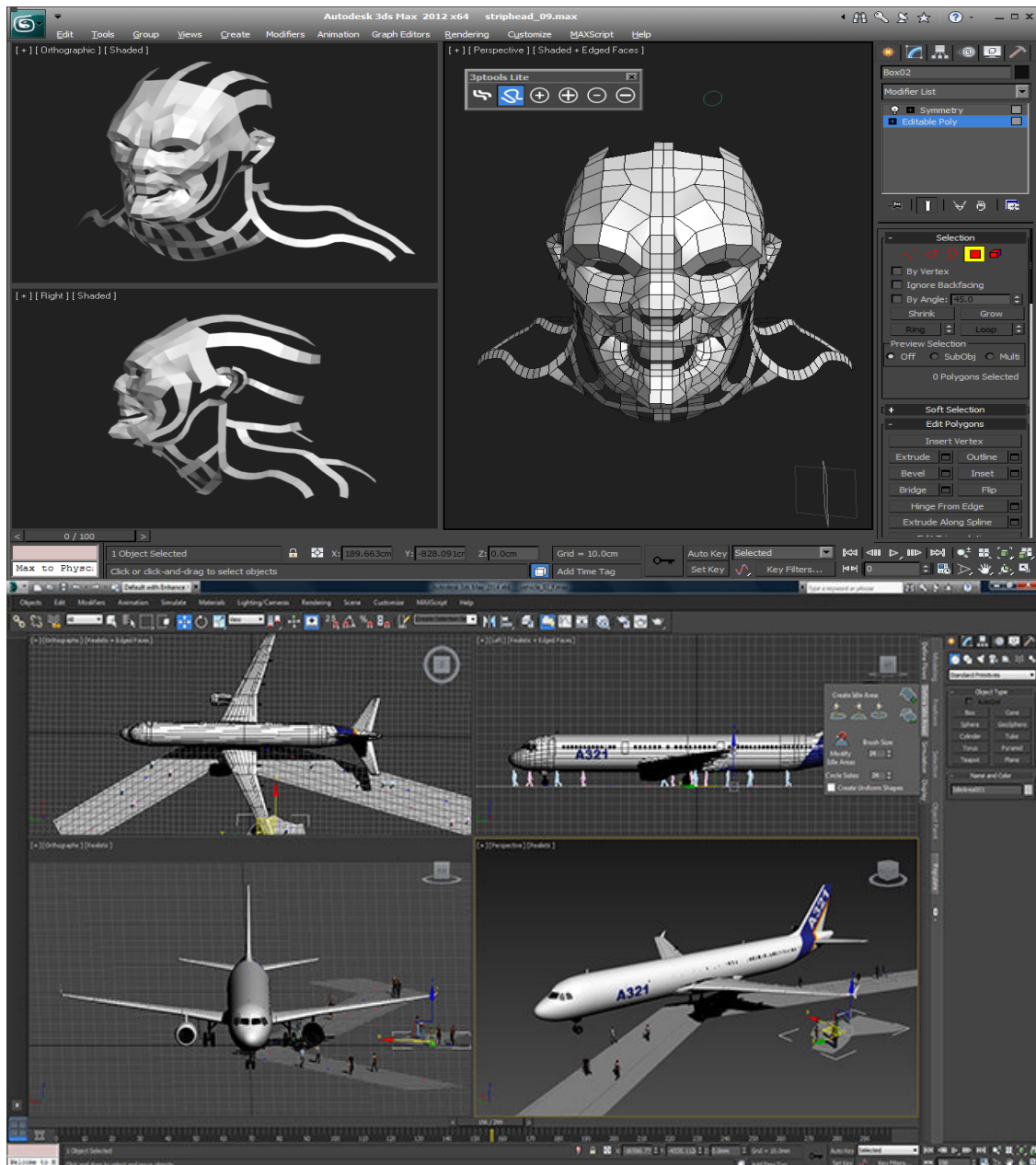
Εικόνα 7.10. Παραδείγματα σχεδίασης σε SolidWorks

7.2.9. 3D Studio MAX

Το 3D Studio MAX είναι ένα πρόγραμμα δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων και animation (κίνησης). Χρησιμοποιεί ένα ενσωματωμένο περιβάλλον εργασίας, κοινό για όλες τις λειτουργίες του. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται μετάβαση από μια λειτουργία σε μια άλλη χωρίς να αλλάζει το περιβάλλον εργασίας. Μέσα από αυτό το περιβάλλον μπορούμε να κάνουμε :

- Μοντελοποίηση και επεξεργασία, δημιουργία δισδιάστατων σχημάτων, τρισδιάστατων μοντέλων και κίνηση.
- Προσδιορισμό υλικών. Χρησιμοποιώντας τον εξελεγμένο επεξεργαστή υλικών του 3D Studio, δημιουργούμε ρεαλιστικά υλικά, με τα οποία επενδύουμε αντικείμενα της σκηνής μας προσομοιώνοντας μια στατική απεικόνιση ή μια κίνηση.
- Rendering (Απόδοση). Καλείται η διαδικασία, η οποία επεξεργάζεται κάθε πληροφορία που αφορά στα αντικείμενα, στις επιφανειακές τους ιδιότητες και στην αλληλεπίδραση τους με τις φωτεινές πηγές, και την μετατρέπει σε εικόνα δύο διαστάσεων με βάση τις παραμέτρους που περιγράφουν την όψη ή την κάμερα.

Σε αρκετές εφαρμογές με υπολογιστές μας χρειάζεται η τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός αντικειμένου και κατά το δυνατόν ακριβής προσδιορισμός των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, με την βοήθεια τέτοιων αναπαραστάσεων μπορούμε να αναπτύξουμε εφαρμογές 3D εκτύπωσης ή να εφαρμόσουμε ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (finite element analysis), για να υπολογίσουμε τις χαρακτηριστικές ιδιότητες ενός στερεού, όπως την αντίδραση του σε δεδομένο φορτίο ή τον αεροδυναμικό του συντελεστή. Ακόμα, σε εφαρμογές που προσομοιώνουμε φυσικά φαινόμενα, όπως η διαφάνεια ενός αντικειμένου και η διάθλαση του φωτός που περνάει μέσα από αυτό, οι τρισδιάστατες αυτές αναπαραστάσεις μας βοηθούν να υπολογίσουμε τα σημεία εισόδου και εξόδου μιας ακτίνας φωτός από τον όγκο του στερεού. Τέτοιες αναπαραστάσεις δημιουργούνται στον υπολογιστή με την βοήθεια των στερεών μοντέλων (solid models), τα οποία μπορούμε να μεταχειριστούμε σαν αντικείμενα του πραγματικού κόσμου και να τα αποδώσουμε χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από τις γνωστές τεχνικές.



Εικόνα 7.11. Παραδείγματα σχεδίασης σε 3D Studio MAX

Χαρακτηριστικά του 3D Studio MAX: Με το 3D animation επιτυγχάνεται η δημιουργία πιο πειστικών πληθών, ανθρώπινης κίνησης, ρεαλιστικών χαρακτήρων. Το 3D modeling and texturing περιλαμβάνει την εύκολη τοποθέτηση των εργαλείων και τον προσανατολισμό του περιεχομένου τους, την δημιουργία λοξότμησης (chamfer) μεταξύ των επιφανειών τύπου τετραγώνου (quad), την δημιουργία αποτελεσματικών παραμετρικών και οργανικών αντικειμένων, εκχώρηση προηγμένης υφής εργαλείων και επεξεργασία, σκίαση και σχεδιασμό υλικού. Το 3D Rendering περιλαμβάνει την γρήγορη επανάληψη με διαδραστική απόδοση όπου επιταχύνεται η ροή εργασίας. Dynamics and effects: δημιουργία εξελεγμένων προσομοιώσεων των σωματιδίων, δημιουργία προσομοιώσεων με ενιαίους διαλύτες προσομοιωτές. Τέλος το UI, workflow and pipeline: βελτιωμένη σκηνή διαχείρισης, ευέλικτη κάμερα, μεταφορά δεδομένων και ολοκλήρωση του αγωγού, χρησιμοποίηση δοχείων, εμπορευματοκιβωτίων για την παράκαμψη των ιδιοτήτων αντικείμενου.

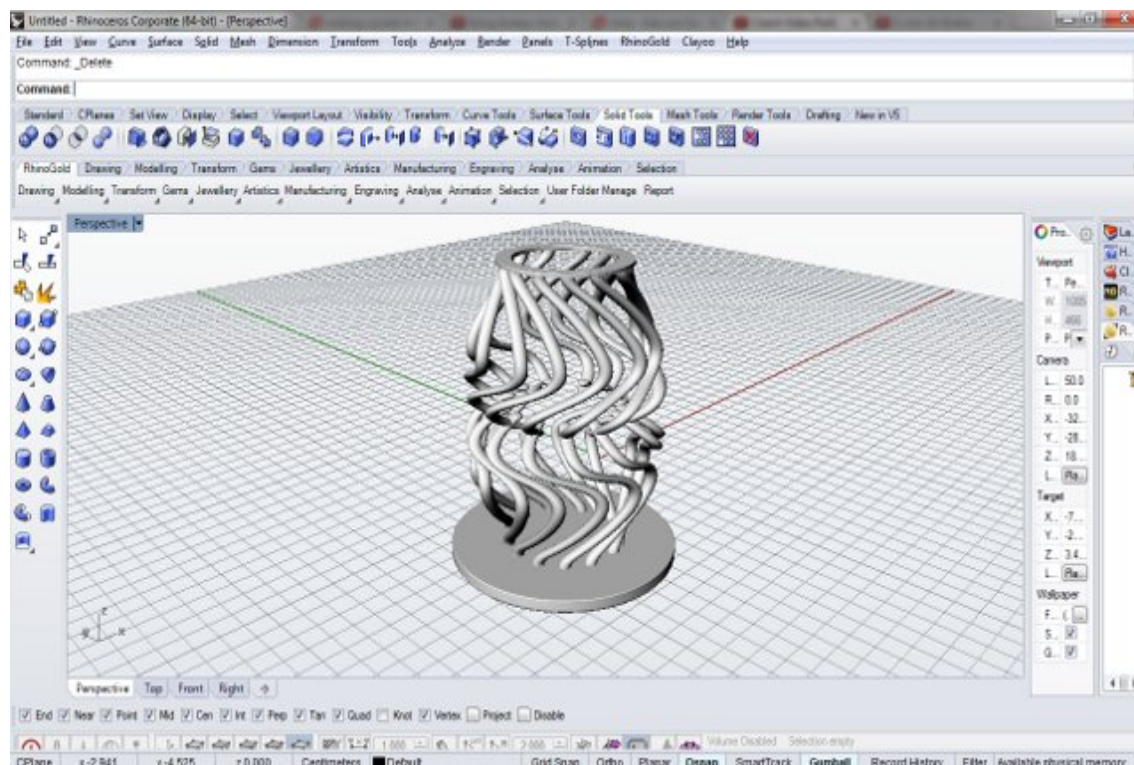
7.2.10.Rhino 3D

Το Rhinoceros – Rhino 3D είναι από τα πιο γνωστά προγράμματα τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης, αναπτύχθηκε από τον Robert McNeel & Associates και χρησιμοποιείται ως εργαλείο CAD (Computer Aided Design) στους τομείς του βιομηχανικού σχεδιασμού, του σχεδιασμού σκαφών, του σχεδιασμού αυτοκινήτων, της τρισδιάστατης εκτύπωσης, της αντίστροφης μηχανικής, της ναυπηγικής και αεροναυπηγικής, των αρχιτεκτονικών ψηφιακών αναπαραστάσεων, της διαφήμισης κ.α.

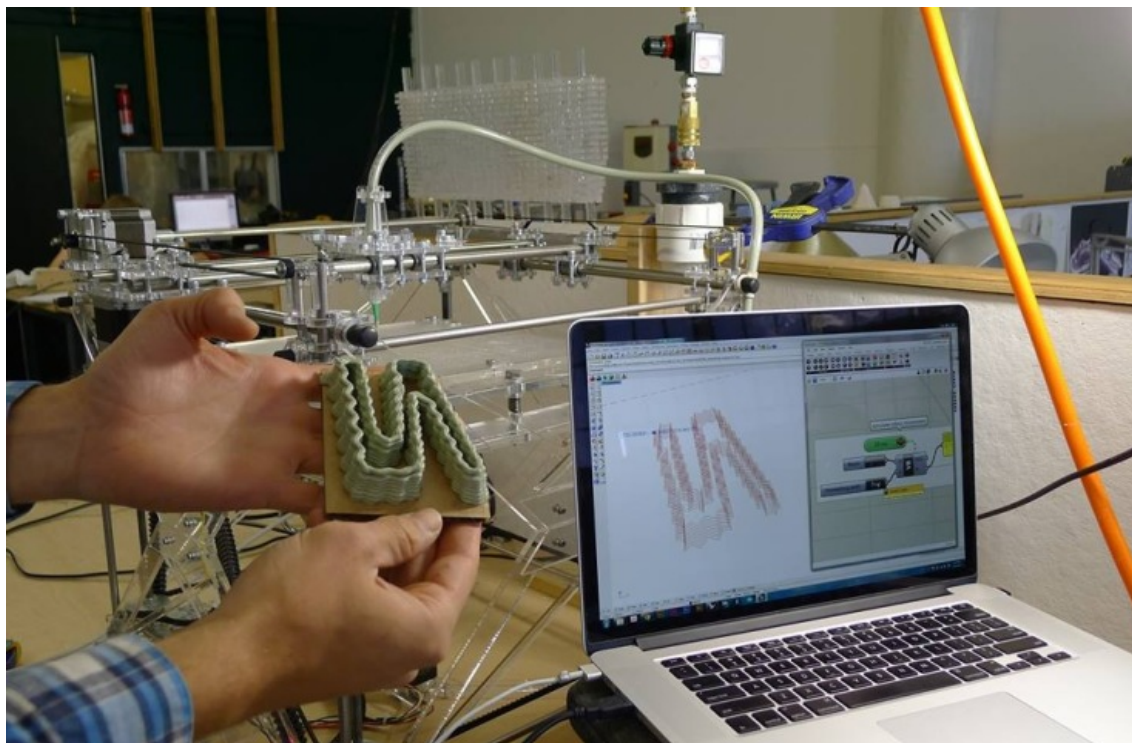
Η εφαρμογή προσφέρει όλες τις προχωρημένες δυνατότητες δημιουργίας μοντέλων στον ψηφιακό χώρο, υποστηρίζοντας πολύπλοκες επιφάνειες και φόρμες όπως π.χ. τις σύνθετες καμπύλες NURBS. Τα τρισδιάστατα αντικείμενα που δημιουργούνται από το Rhinoceros, μπορούν να εξαχθούν σε διάφορες μορφές αρχείων με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η περαιτέρω φωτορεαλιστική επεξεργασία σε όλες τις γνωστές εφαρμογές rendering όπως το 3DS Max, Maya κ.ά.

Το Rhino 3D επίσης είναι η βάση και συνδυάζεται με την εφαρμογή Grasshopper για την παραγωγή αλγοριθμικών μοντέλων τρισδιάστατου σχεδιασμού τα οποία βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στον σχεδιασμό πολύπλοκων μορφών και ειδικής μορφής concept design για αρχιτεκτονικά έργα.

Το Rhino αναπτύχθηκε για τα λειτουργικά συστήματα Microsoft Windows. Τώρα γίνεται προσαρμογή του λογισμικού για το OS X.



Εικόνα 7.12. Το μενού σχεδίασης του Rhino 3D

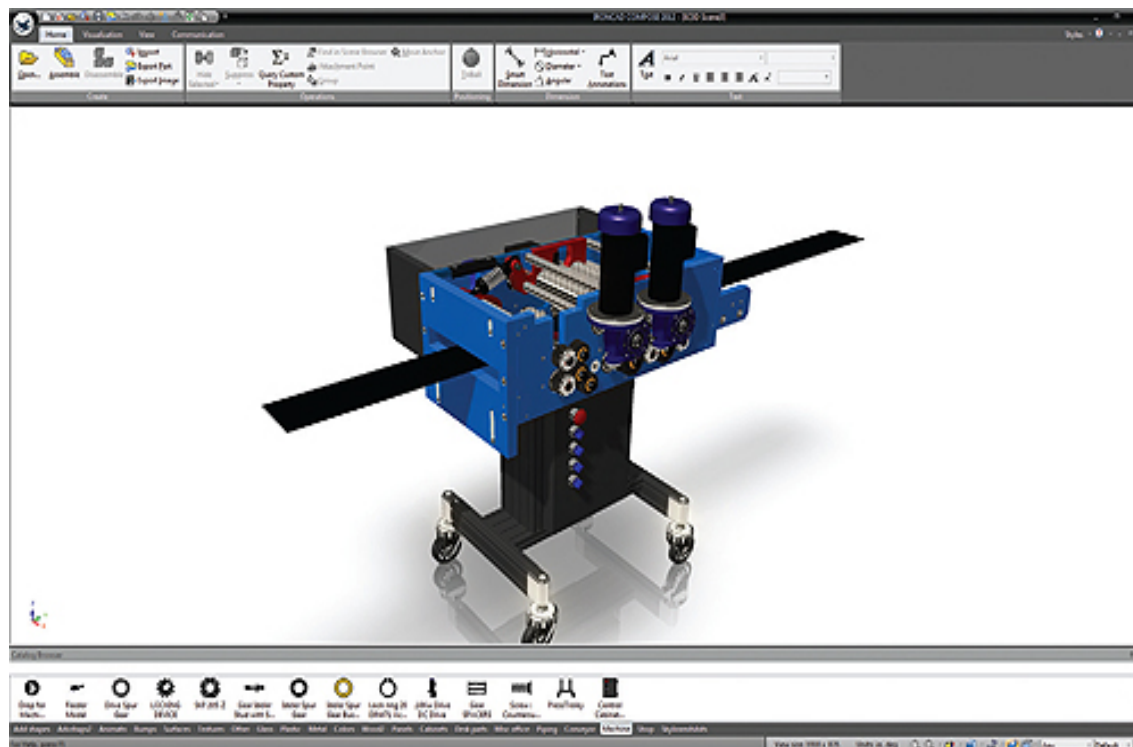


Εικόνα 7.13. Από τη σχεδίαση του αντικειμένου στον υπολογιστή μέχρι και τη κατασκευή του

7.2.11. IronCAD COMPOSE

Το IronCAD COMPOSE είναι ουσιαστικά ένα πρόγραμμα CAD για τη δημιουργία συναρμολογούμενων τμημάτων. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι ο εξής: Ανοίγει ένα κενό αρχείο στο πεδίο IronCAD COMPOSE και στη συνέχεια, κάνει drag and drop τα μοντέλα και συναρμολογούμενα τμήματα από άλλα συστήματα CAD σε αυτό το πεδίο. Μπορεί στη συνέχεια να προχωρήσει τα μοντέλα και τα συναρμολογούμενα τμήματα, όπως μας αρέσει, μέχρι να πάρει μια ρύθμιση που προτιμάμε και αν θέλουμε προσθέτει animation. Αυτή είναι η απλοϊκή εξήγηση για το πώς λειτουργεί το IronCAD COMPOSE. Το σημαντικό ερώτημα είναι το εξής: Για ποιες εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιηθεί; Η απάντηση είναι σε μια ποικιλία εφαρμογών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει τις οδηγίες συναρμολόγησης(και σε μορφή animation) για το εργοστάσιο μας. Μπορεί να ρυθμίσει τις παραγγελίες των προϊόντων ανάλογα με τον κάθε πελάτη. Επίσης μπορεί να αποθηκεύσει τις εφαρμογές ως αρχεία animation, εικόνες ή 3D αρχεία PDF. Το IronCAD COMPOSE είναι δωρεάν. Μπορεί να κατέβει από την ιστοσελίδα του IronCAD χωρίς χρηματικό κόστος. Λειτουργεί με τα υπάρχοντα μέρη και συναρμολογούμενα τμήματα, και επιτρέπει τη σύνθεση ψηφιακών μακετών. Μπορεί να διαβάσει μια ποικιλία 3D αρχείων, συμπεριλαμβανομένων των STL, VRML, 3D Studio, AutoCAD 3D DXF, TrueSpace και Wavefront (OBJ). Δεν έχει σημασία ποια συστήματα CAD χρησιμοποιούνται, θα πρέπει να μπορούν να δημιουργήσουν μία ή περισσότερες από αυτές τις μορφές. Μόλις εισαχθούν τα αρχεία IronCAD COMPOSE, μπορούν να προστεθούν σημεία σύνδεσης τους και να αποθηκευτούν σε έναν κατάλογο για μελλοντική χρήση. Το λογισμικό περιλαμβάνει διάφορους καταλόγους με δείγματα συναρμολογούμενων τμημάτων. Για την τοποθέτηση ενός μεταφορέα, για παράδειγμα, μπορεί απλά να ανοίξει τον κατάλογο του μεταφορέα, και να «πετάξει» τα μέρη και τα

εξαρτήματα πάνω στο πεδίο. Όταν ρίχνει ένα κομμάτι πάνω σε ένα άλλο, τα ενώνει αυτόματα με το σωστό προσανατολισμό, με βάση τα σημεία στερέωσής τους. Το IronCAD, ωστόσο, είναι ένα χρήσιμο και ευέλικτο εργαλείο για πολλές βοηθητικές θέσεις εργασίας που τυπικά συστήματα CAD δεν είναι κατάλληλα. Ένα καλό παράδειγμα μιας εταιρείας που χρησιμοποιεί IronCAD καταλόγους είναι η Skyline Displays, μία πολύ γνωστή εμπορική έκθεση επίπλων. Η Skyline έχει λάβει τα CAD μοντέλα των προϊόντων της, και τα αποθηκεύει ως IronCAD καταλόγους.

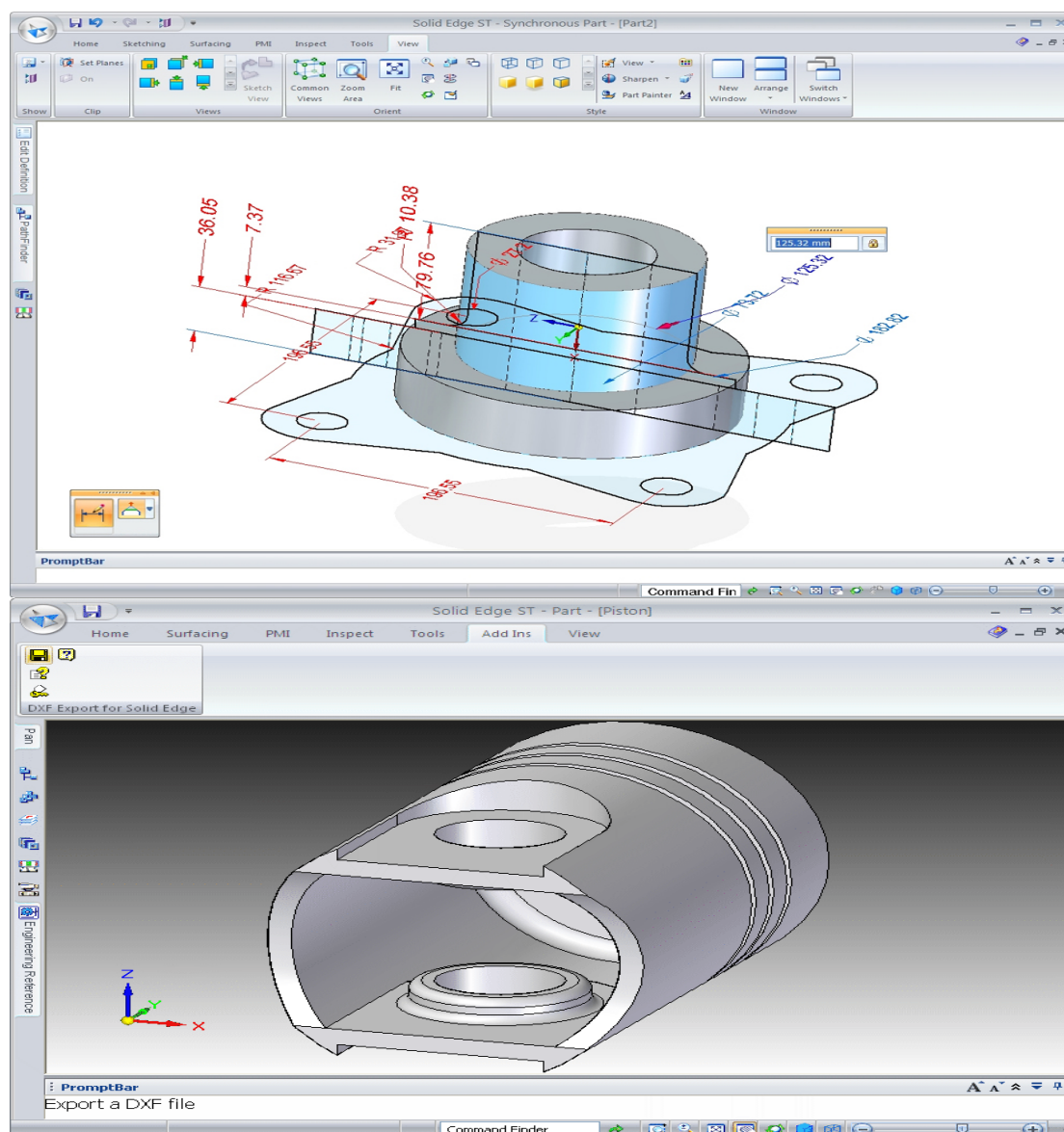


Εικόνα 7.14. Παράδειγμα σχεδίασης στο IronCAD

7.2.12.Solid Edge

Είναι ένα σύστημα σχεδιασμού CAD στερεάς μοντελοποίησης με εξαιρετικά εργαλεία για τη δημιουργία και τη διαχείριση των 3D ψηφιακών πρωτοτύπων. Αρχικά αναπτύχθηκε και κυκλοφόρησε από την Intergraph το 1996, χρησιμοποιώντας το γεωμετρικό πυρήνα μοντελοποίησης ACIS, αργότερα άλλαξε χρησιμοποιώντας Parasolid πυρήνα. Το 1998 αγοράστηκε και αναπτύχθηκε περαιτέρω από την UGS Corp. Το 2007 η UGS εξαγοράστηκε από την Automation & Drives Division της Siemens AG. Η UGS εταιρεία μετονομάστηκε σε Siemens PLM Software. Το Solid Edge είναι άμεσος ανταγωνιστής του SolidWorks και Autodesk Inventor. Επιτρέπει στους μηχανικούς με τα κατάλληλα εργαλεία να αναπτύξουν μία πλήρη γκάμα προϊόντων από μεμονωμένα τμήματα σε συναρμολογούμενα. Κάποιες από τις λειτουργίες του είναι: Η μετάβαση από 2D σε 3D, πλήρης ψηφιακή προτυποποίηση, υποστήριξη μαζικής συναρμολόγησης, παραγωγή 2D σύνταξης, κλιμακωτή προσομοίωση και κλιμακωτός σχεδιασμός διαχείρισης. Το Solid Edge προσφέρει μία πολύ ισχυρή, εύκολη και σταθερή μοντελοποίηση στην στερεά κατάσταση, όπου η τεχνολογία "Rapid Blue" βοηθά το χρήστη να δημιουργήσει πολύπλοκα σχήματα με ένα διαισθητικό και εύκολο τρόπο. Οι άμεσες δυνατότητες μοντελοποίησης επιτρέπουν στο χρήστη να αλλάξει την γεωμετρία του

μοντέλου χωρίς να παρεμποδίζονται από ένα υφιστάμενο μοντέλο ή από την έλλειψη ενός εισαγόμενου μοντέλου των ιστορικών δεδομένων. Τα άμεσα χαρακτηριστικά μοντελοποίησης είναι διαθέσιμα σε δύο λειτουργίες, στο Ordered και Synchronous mode. Αν χρησιμοποιείται η λειτουργία Ordered, οι άμεσες αλλαγές μοντέλων επισυνάπτονται στο δέντρο εντολών ακριβώς όπως οποιαδήποτε άλλη εντολή. Το λογισμικό συνδυάζει την άμεση μοντελοποίηση με γνώμονα το σχεδιασμό(Synchronous Technology). Παραμετρικές σχέσεις μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα στα στερεά χαρακτηριστικά χωρίς να χρειάζεται να εξαρτάται από την γεωμετρία του 2D σχεδίου και οι κοινές παραμετρικές σχέσεις εφαρμόζονται αυτόματα. Ένα αρχείο σχεδίου αποτελείται από το 3D μοντέλο που προβάλλεται σε μία ή περισσότερες προβολές 2D ενός μέρους αρχείου ή συναρμολογούμενου αρχείου. Το Solid Edge ενσωματώνει με το Sharepoint και Teamcenter την παροχή της διαχείρισης του κύκλου ζωής του προϊόντος. Ακόμη το Solid Edge παρέχει υποστήριξη για ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA), αρχής γενομένης με την έκδοση Solid Edge ST2 που κυκλοφόρησε το 2009.



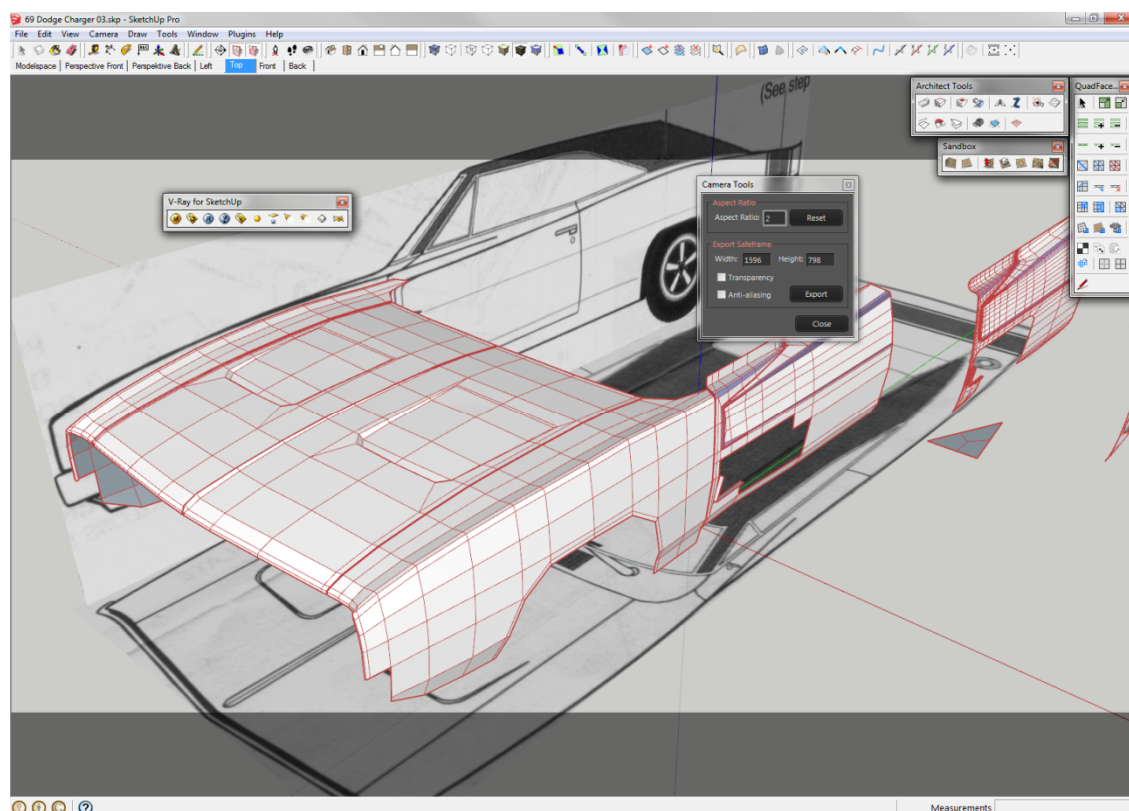
Εικόνα 7.15. Παραδείγματα σχεδίασης σε Solid Edge λογισμικό

7.2.13. SketchUp

Το SketchUp είναι ένα 3D πρόγραμμα μοντελοποίησης για εφαρμογές όπως την αρχιτεκτονική, μηχανολογία, τον κινηματογράφο και το σχεδιασμό βιντεοπαιχνιδιών. Μια δωρεάν έκδοση είναι το SketchUp Make και μια έκδοση επί πληρωμής με επιπλέον λειτουργικότητα, είναι το SketchUp Pro. Το SketchUp ανήκει σήμερα στην Trimble Navigation, μια εταιρεία με εξοπλισμό χαρτογράφησης, πλοήγησης. Το SketchUp ήταν ανεξάρτητο από το 2000-2006 και στη συνέχεια άνηκε στην Google (2006-2012).

Συμπεριλαμβάνει ολοκληρωμένα εργαλεία για την αποστολή περιεχομένου από το Google Earth και την 3D αποθήκη της Google. Η SketchUp 3D αποθήκη (Warehouse) είναι μια δημόσια συλλογή από χιλιάδες δωρεάν μοντέλα που κυμαίνονται από μία οδοντόβουρτσα μέχρι και το Κολοσσαίο της Ρώμης. Όλα αυτά τα μοντέλα είναι άμεσα διαθέσιμα μέσα από το περιβάλλον SketchUp. Η δωρεάν έκδοση του Google Sketchup μπορεί να εξάγει 3D μοντέλα σε μορφή .dae και σε μορφή αρχείου kmz του Google Earth. Η έκδοση Pro επεκτείνει την εξαγωγή υποστηρίζοντας και τις μορφές όπως .3ds, .dwg, .dxf, .fbx, .obj, .xsi, και το αρχείο .wrl.

Όταν ξεκινάει κάποιος να χρησιμοποιεί για πρώτη φορά το SketchUp, ένα παράθυρο ανοίγει επάνω με κινούμενη καθοδήγηση και γρήγορες συμβουλές για κάθε εργαλείο που θα επιλέξει. Αυτό καθιστά το πρόγραμμα ακόμα πιο εύκολο στην χρήση του.



Εικόνα 7.16. Το μενού σχεδίασης του SketchUp



Εικόνα 7.17. Μια άλλη όψη από το μενού του λογισμικού SketchUp

7.2.14. Blender

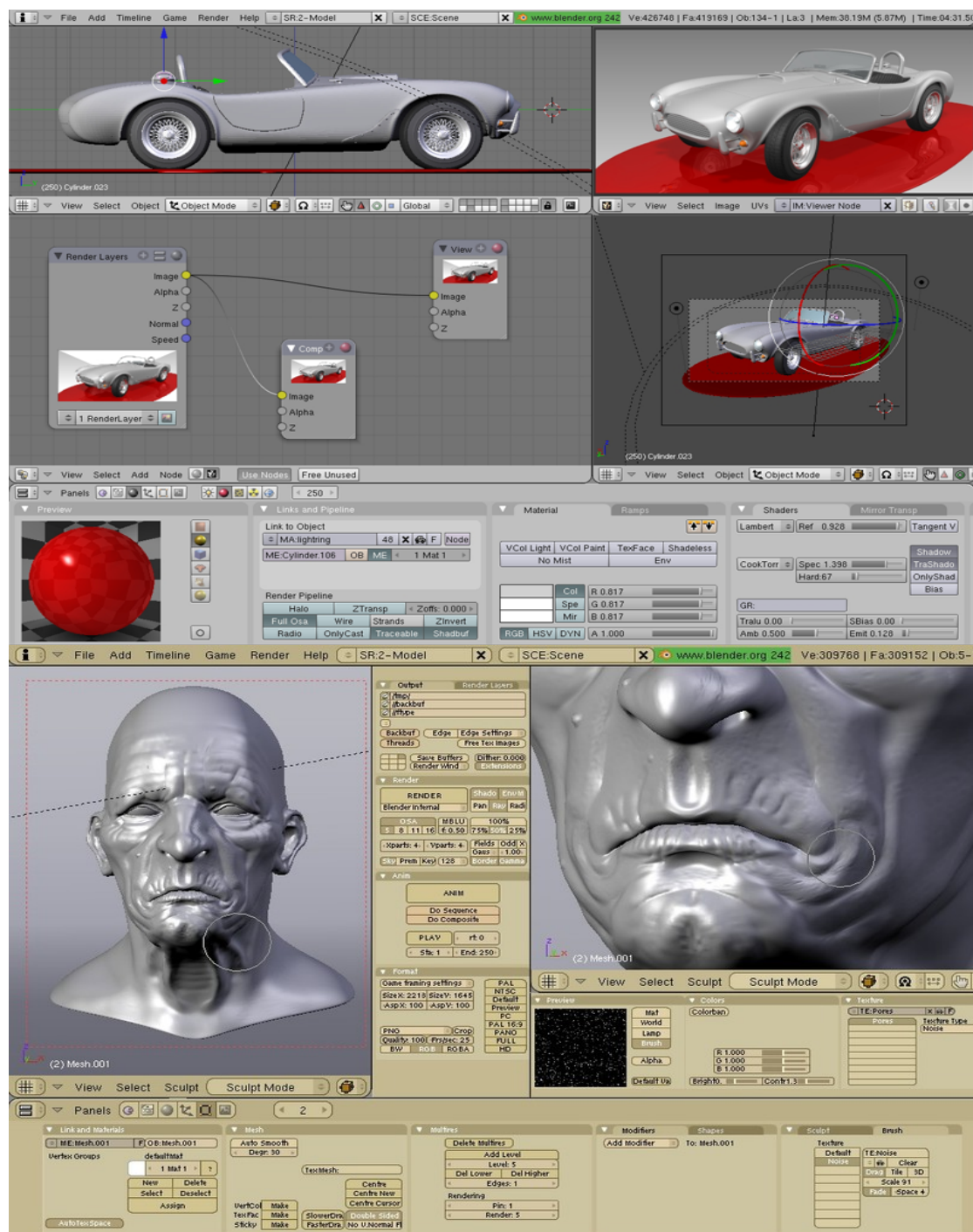
Το Blender είναι ένα δωρεάν και open-source 3D πρόγραμμα γραφικών που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ταινιών κινουμένων σχεδίων, οπτικών εφέ, 3D εκτυπωμένων μοντέλων, την τέχνη, διαδραστικές εφαρμογές 3D και video games. Τα χαρακτηριστικά του Blender περιλαμβάνουν: 3D μοντελοποίηση, ύφανση, επεξεργασία γραφικών, προσομοίωση καπνού και υγρών, προσομοίωση των σωματιδίων, μαλακή προσομοίωση του σώματος, γλυπτική, εμφύχωση των χαρακτήρων, σκόπευση της κάμερας, επεξεργασία βίντεο κ.α. Παράλληλα με τις δυνατότητες μοντελοποίησης, διαθέτει επίσης μια ενσωματωμένη μηχανή παιχνιδιού.

Αναλυτικότερα οι ιδιότητες:

- Υποστήριξη για μια ποικιλία πρωτόγονων γεωμετρικών σχημάτων, συμπεριλαμβανομένων πολυγωνικά πλέγματα, γρήγορη μοντελοποίηση υποδιαίρεσης επιφάνειας, καμπύλες Bezier, επιφάνειες NURBS, πολυδιάστατες μπάλες, ψηφιακή γλυπτική.
- Εργαλεία animation, συμπεριλαμβανομένων της αντίστροφης κινηματικής, σπλισμός, μη γραμμική κίνηση.
- Εργαλεία προσομοίωσης για δυναμική του σώματος συμπεριλαμβανομένης της ρευστοδυναμικής, προσομοίωση καπνού, γεννήτρια του ωκεανού με τα κύματα.
- Τροποποιητές εφαρμόζουν μη καταστρεπτικές συνέπειες.
- Βασική επεξεργασία video / ήχου(μοντάζ).
- Το Blender Game Engine, ένα υπο-έργο, προσφέρει δυνατότητες αλληλεπίδρασης, όπως η ανίχνευση σύγκρουσης, η δυναμική του κινητήρα κ.α..
- Ζωγραφική υφή, ζωγραφική προβολής και δυναμική ζωγραφική.

- Δυνατότητα ελέγχου σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της φυσικής προσομοίωσης και της απόδοσης.
- Παρακολούθηση και βιντεοσκόπηση αντικειμένων.

Το Blender διαθέτει ένα εσωτερικό σύστημα αρχείων που μπορεί να συσκευάσει πολλές σκηνές, αντικείμενα, υλικά, υφές, ήχους, εικόνες, εφέ σε ένα ενιαίο αρχείο που ονομάζεται “.blend”. Τα δεδομένα φορτώνονται από εξωτερικές πηγές, όπως εικόνες και ήχους και μπορούν να αποθηκευτούν εξωτερικά. Τα αρχεία “.blend” μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετέπειτα ως βιβλιοθήκες περιουσιακών στοιχείων του Blender.



Εικόνα 7.18. Παραδείγματα σχεδίασης στο Blender

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΒΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΑΡΧΕΙΩΝ CAD ΣΕ ΑΡΧΕΙΑ STL

8.1. Διαδικασία

Μετά από το σχεδιασμό ενός μοντέλου σε ένα πρόγραμμα CAD, μπορεί να αποθηκεύεται το σχέδιο ως αρχείο STL. (τα περισσότερα προγράμματα CAD έχουν αυτή τη λειτουργία.) Ένα αρχείο STL καθιστά τις επιφάνειες στο σχέδιο CAD ως ένα πλέγμα τριγώνων. Ο αριθμός και το μέγεθος των τριγώνων καθορίζουν με τι ακρίβεια έχουν τυπωθεί οι καμπύλες επιφάνειες. Μπορεί να ελεγχθεί ο αριθμός και το μέγεθος των τριγώνων, καθορίζοντας τις ακόλουθες παραμέτρους κατά τη δημιουργία του αρχείου STL από το σχεδιασμό CAD:

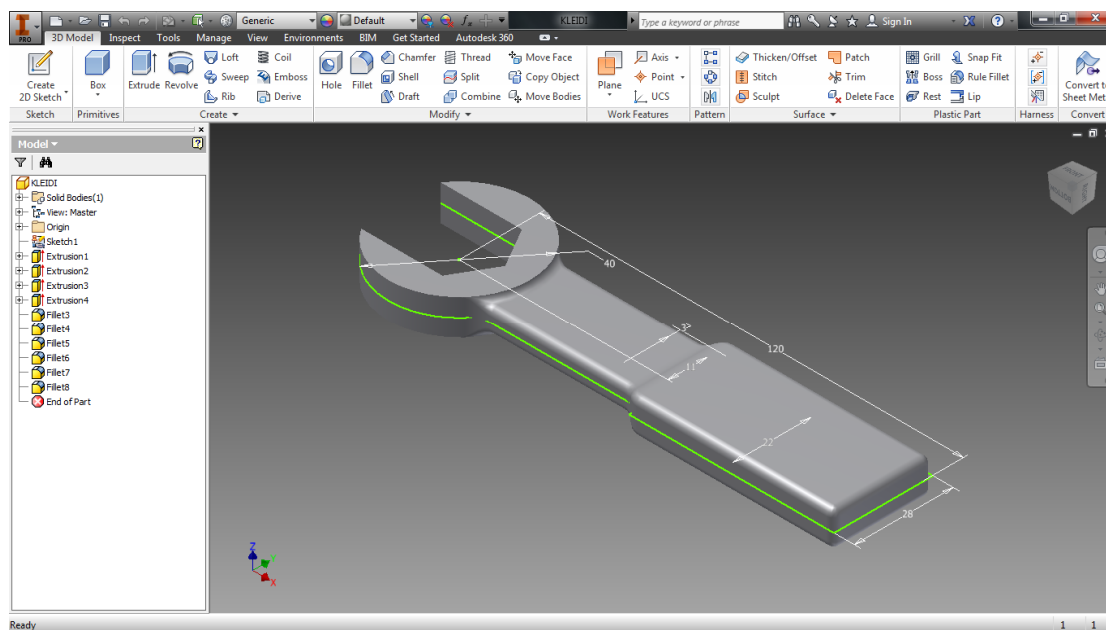
- Ανοχή / Απόκλιση (Ύψος χορδής)
Η μέγιστη απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του αρχικού σχεδιασμού και της επιφάνειας του τριγώνου STL.
- Γωνία Ελέγχου
Η γωνιακή απόκλιση επιτρέπεται μεταξύ γειτονικών τριγώνων. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει να αυξηθεί η ψηφίδωση, που είναι αναγκαία για επιφάνειες με μικρές ακτίνες. (Όσο μικρότερες οι ακτίνες, τόσα περισσότερα τρίγωνα χρειάζεται).
- Μορφή αρχείου STL
Συνήθως υπάρχει η δυνατότητα να αποθηκεύονται τα αρχεία STL είτε σε δυαδική ή ASCII μορφή. Τα δυαδικά αρχεία είναι μικρότερα, έτσι ώστε αυτή η μορφή συνήθως να προτιμάται. Ωστόσο, τα αρχεία ASCII μπορούν να διαβαστούν και να ελεγχθούν οπτικά.
- Έλεγχος γεωμετρίας αρχείων STL
Μοντέλα που περιέχουν τρύπες και κενά επηρεάζουν δυσμενώς την ποιότητα του έντυπου υποδείγματος. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να διενεργείται έλεγχος της γεωμετρίας των αρχείων STL πριν συνεχιστεί η διαδικασία. Πολλοί κατασκευαστές λογισμικών για το σκοπό αυτό επιχειρούν να διορθώσουν τη γεωμετρία των προβληματικών αρχείων STL.

8.2. Προγράμματα

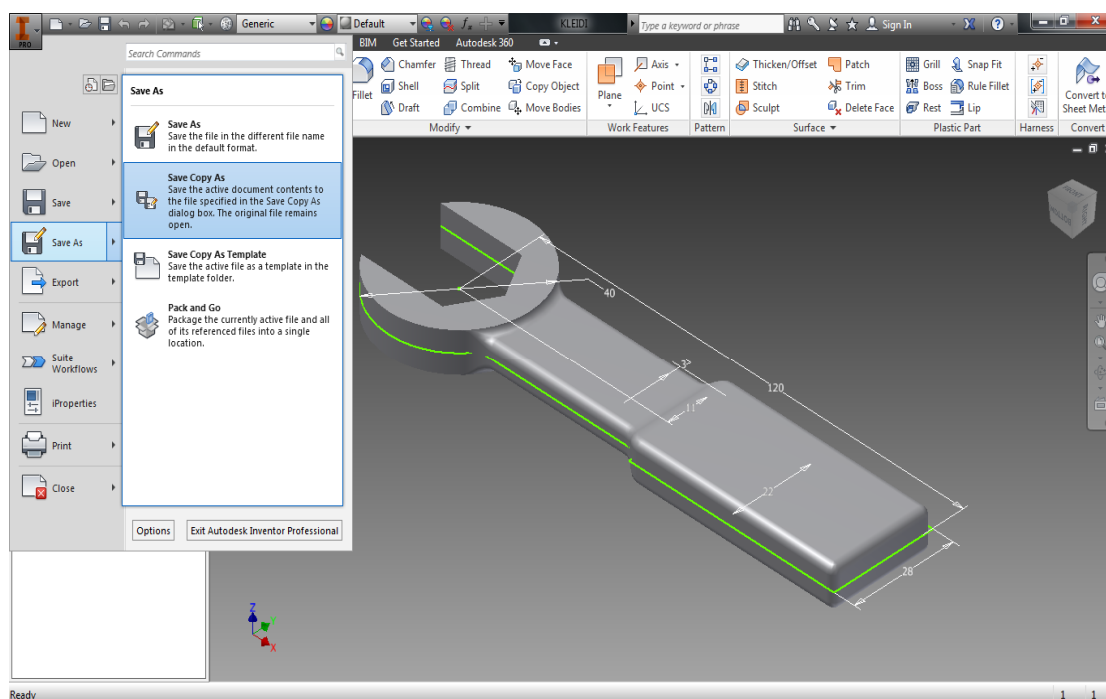
8.2.1. Autodesk Inventor

Θα παρουσιαστούν τα βήματα μετατροπής για το συγκεκριμένο λογισμικό αναλυτικά με την μορφή εικόνων.

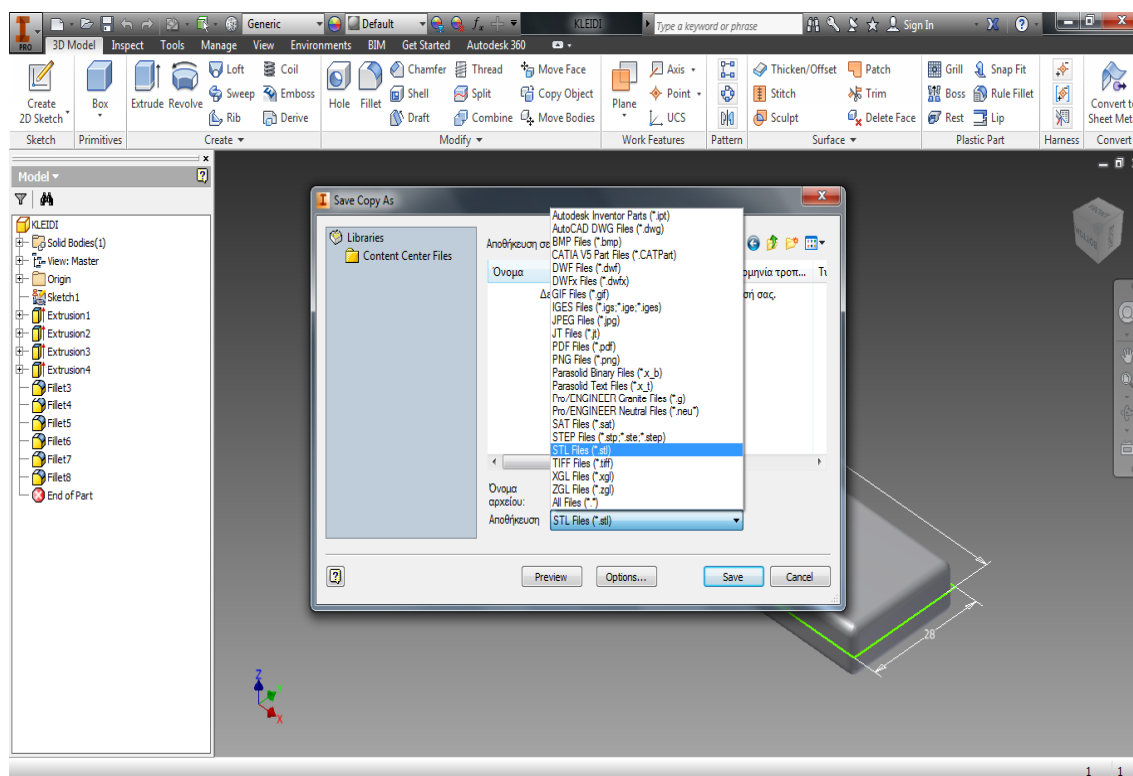
1. Άνοιγμα προγράμματος και εισαγωγή CAD μοντέλου.



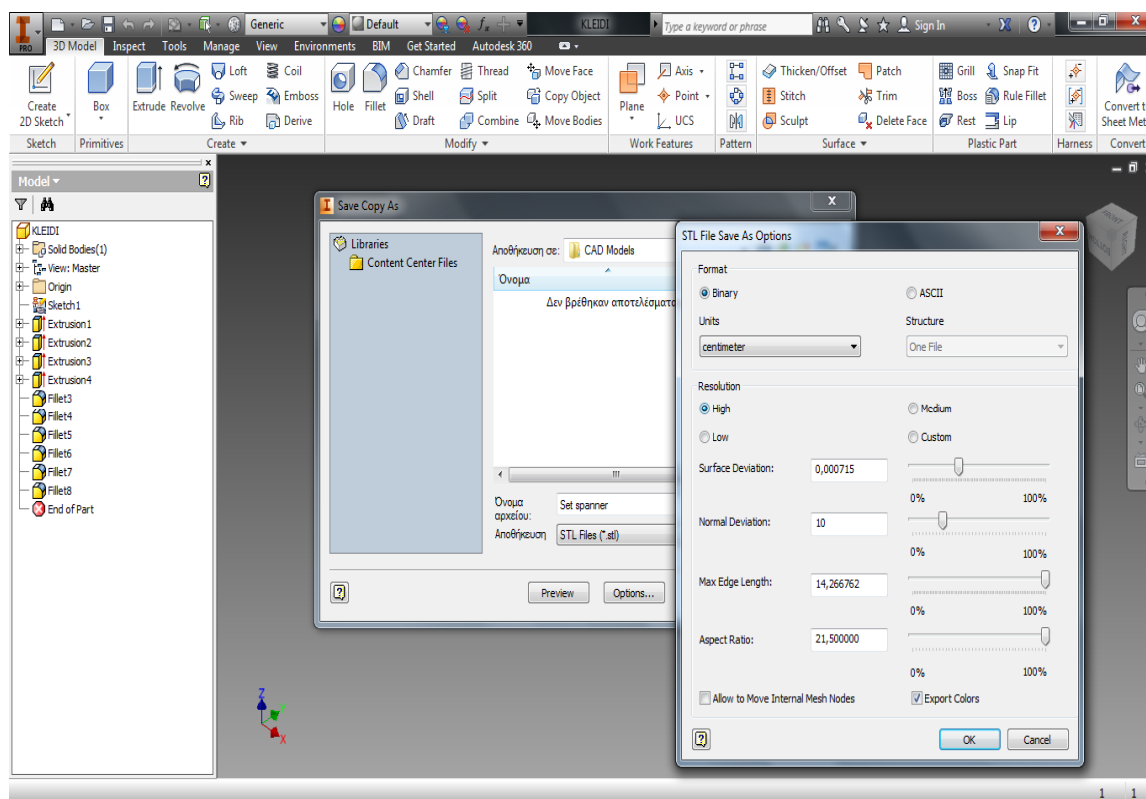
2. Είσοδος στο μενού «Αρχείο» και στη συνέχεια επιλογή "Save Copy As"



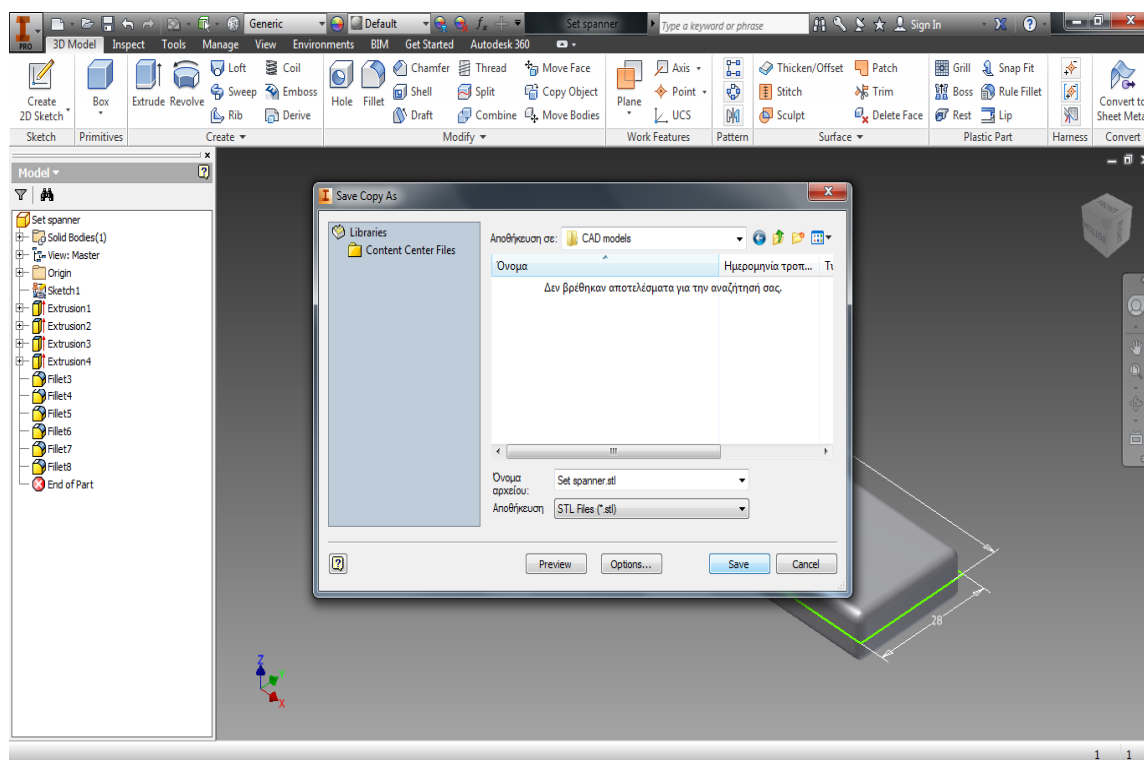
3. Επιλογή “STL File” από τους Τύπους “drop-down”



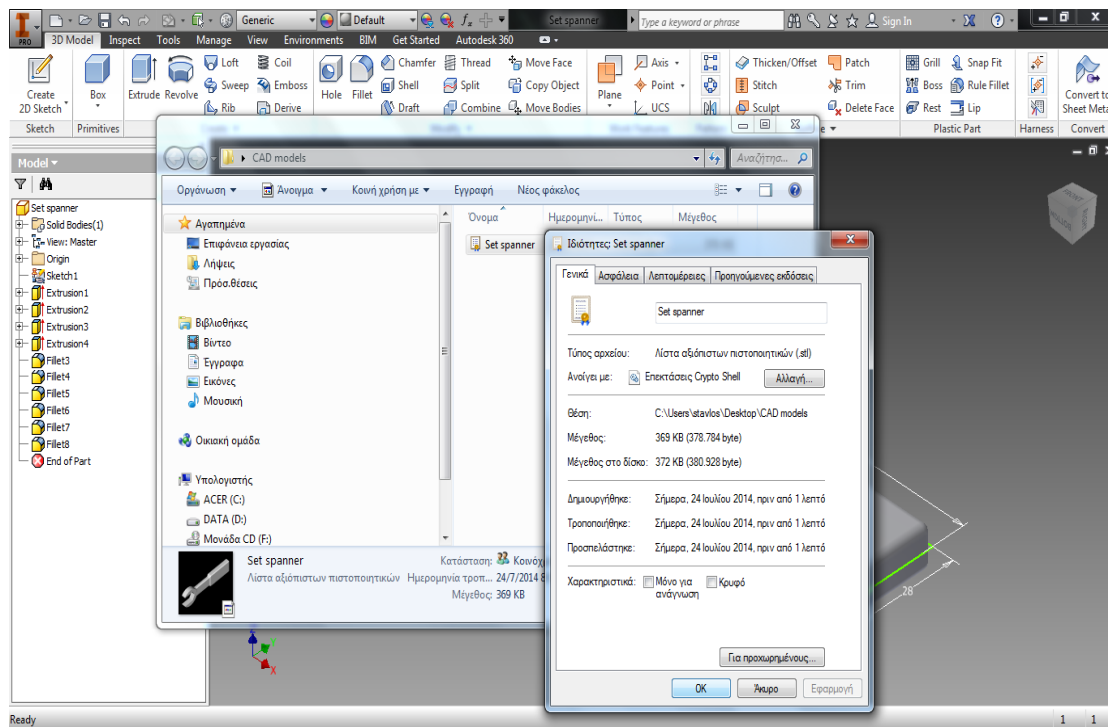
4. Κλικ στο κουμπί «Επιλογές» και επιλογή το υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας



5. Κλικ στο κουμπί «Αποθήκευση».



6. Τέλος το μοντέλο είναι έτοιμο σε STL μορφή.



Το Autodesk Inventor επιτρέπει να αποθηκευτούν τόσο μεμονωμένα αλλά και συναρμολογούμενα μέρη σε μορφή STL, σε όλα τα επίπεδα σχεδιασμού.

8.2.2.Catia

Το Catia μπορεί να εισάγει σχεδόν οποιαδήποτε μορφή σχεδιασμού του αρχείου, αλλά μόνο εκείνες που περιλαμβάνουν στερεά στοιχεία (IGES, STEP, Parasolid, κλπ.) Τα STL αρχεία μπορούν να αποθηκευτούν με μια ειδική ενότητα add-on. Το Catia V5 είναι ικανό να δημιουργήσει τα αρχεία STL από ολοκληρωμένα κομμάτια (αρχεία CatiaPART), αλλά όχι από τα συναρμολογούμενα (αρχεία CatiaPRODUCT) ή τις γεωμετρικές αναπαραστάσεις. Ως εκ τούτου, τα αρχεία προέλευσης, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αποθηκεύονται σε μια ουδέτερη μορφή (STEP ή IGES, για παράδειγμα), πρέπει να αποθηκευτούν ως ολοκληρωμένα κομμάτια. Εάν η πηγή του σχεδιασμού αποθηκεύτηκε ως συναρμολογούμενο μέρος, εισάγεται στο Catia ως προϊόν.

Για να δημιουργηθεί ένα αρχείο STL από αυτό το λογισμικό, θα πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε ένα πολυ-σώμα μέρος. Η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω είναι μια από τις πολλές μεθόδους για να γίνει αυτό.

Φάση 1: Αποθήκευση μοντέλου σε μορφή STL

1. Από το μενού Αρχείο, επιλέξτε Άνοιγμα και ανοίξτε το αρχείο προέλευσης. Εάν η πηγή του σχεδιασμού έχει αποθηκευτεί ως ένα συγκρότημα, αυτό εισάγεται ως πρότυπο CatiaPRODUCT.
2. Αποθηκεύστε το αρχείο του προϊόντος.
3. Από το μενού File, επιλέξτε New> Part και δώστε του το όνομα ενός από τα συστατικά.
4. Στο παράθυρο του προϊόντος, επιλέξτε αυτό το στοιχείο και να το αντιγράψετε (με το μενού Edit ή το αναδυόμενο μενού στο δεξί κλικ).
5. Στο παράθυρο του αρχείου, επικολλήσετε το στοιχείο.
6. Επαναλάβετε τα βήματα μέχρι να αντιγράψετε όλα τα στοιχεία και τα επικολλήσετε ως μεμονωμένα εξαρτήματα. Η εικόνα στα δεξιά δείχνει το αποτέλεσμα της επικόλλησης των μερών του προϊόντος σε μεμονωμένα αρχεία.
7. Από το μενού File, επιλέξτε New> Part, και να του δώσετε ένα όνομα κατάλληλο για το συνδυασμένο μοντέλο.
8. Αντιγράψτε κάθε ένα από τα μεμονωμένα μέρη από τα αρχεία εργασίας και να τα επικολλήσετε στο νέο μοντέλο αρχείου.

Δεδομένου ότι οι γεωμετρίες σε όλα τα μέρη που διατηρούνται, θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν σωστά στο συνδυασμένο τμήμα. Το νέο μοντέλο είναι τώρα έτοιμο για να εξαχθεί ως αρχείο STL.

Φάση 2: Ευθυγράμμιση των εξαρτημάτων (εάν είναι απαραίτητο)

Λόγω του τρόπου του αρχικού μοντέλου που σχεδιάστηκε, μερικά από τα εξαρτήματα δεν μπορούν να ευθυγραμμιστούν σωστά στο συνδυασμένο κομμάτι. Τότε θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν, χρησιμοποιώντας τα Constraints feature, από το μενού Εισαγωγή.

Πριν την αποθήκευση του αρχείου, είναι σκόπιμο να επανεξετάζονται οι ρυθμίσεις που καθορίζουν την ακρίβεια του μοντέλου και το μέγεθος του αρχείου.

1. Από το μενού Εργαλεία, επιλέξτε Επιλογές.
2. Στο παράθυρο Options dialog box, ανοίξτε την καρτέλα Performance.
3. Σύμφωνα με τη Γενική κατηγορία (αριστερά), επιλέξτε Εμφάνιση(Display).
4. Δώστε προσοχή στις ρυθμίσεις 3D ακρίβειας.

Μια πολύ μικρή ρύθμιση οδηγεί σε ένα πολύ μεγάλο αρχείο STL. Όσο υψηλότερη είναι η ρύθμιση, τόσο πιο ομαλή η επιφάνεια θα είναι, όταν ασχολείται με πολύπλοκες γεωμετρίες, ειδικά εάν περιέχουν οι επιφάνειες μικρές αλλαγές με μικρές ακτίνες (όπως οι προσκρούσεις

σε μια μπάλα του γκολφ).

Φάση 3: Αποθήκευση αρχείου ως STL

Μετά την προετοιμασία του μοντέλου, όπως περιγράφεται παραπάνω, προχωρήστε ως εξής:

1. Από το μενού Αρχείο, επιλέξτε Αποθήκευση ως.
2. Στο παράθυρο Save As dialog box, επιλέξτε stl από το Save as type pull-down list.
3. Κάντε κλικ στο κουμπί Αποθήκευση.

8.2.3.Google Sketchup

1. Βεβαιωθείτε ότι το μοντέλο είναι στεγανό και έχει πάχος.
2. Μετατροπή σε. STL χρησιμοποιώντας ένα υποστηριζόμενο plugin.

8.2.4.IronCAD

Με το IronCAD, μπορείτε να αποθηκεύσετε μόνο τα μέρη ως αρχεία STL. Όταν εργάζεστε σε λειτουργία συναρμολόγησης, θα πρέπει να αποθηκεύσετε τα συναρμολογούμενα της μέρη ως μεμονωμένα αρχεία STL. Αυτή η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω.

Αποθήκευση μοντέλου σε μορφή STL

1. Ανοίξτε το μοντέλο σχεδιασμού σε IronCAD.
2. Κάντε δεξί κλικ στο πλαίσιο και, από το αναδυόμενο μενού, επιλέξτε Ιδιότητες τμήματος(Part properties) ... Εμφανίζεται το παράθυρο dialog box.
3. Βεβαιωθείτε ότι εμφανίζεται η καρτέλα Rendering.
4. Αλλαγή της ομαλότητας επιφάνειας, ρύθμιση σε μια κατάλληλη τιμή για το μοντέλο. Εάν δεν έχετε δημιουργήσει μια κατάλληλη τιμή, προτείνεται το 150. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός, τόσο πιο ομαλή είναι η επιφάνεια του μοντέλου.
5. Αλλάξτε τη ρύθμιση Μέγιστο μήκος σε μια κατάλληλη τιμή για το μοντέλο σας. Εάν δεν έχετε δημιουργήσει μια κατάλληλη τιμή, προτείνεται το 0,05. Αυτή η ρύθμιση παράγει καλά αποτελέσματα, αλλά αυξάνει το μέγεθος του αρχείου και μπορεί να απαιτήσει αρκετά λεπτά για να καταστήσει το μοντέλο σε μορφή STL.
6. Για να δημιουργήσετε πιο λείες επιφάνειες στο μοντέλο, κατά το σχεδιασμό γεωμετριών, επιλέξτε το πλαίσιο Triangulated mesh check box. Επιλέγοντας αυτό το πλαίσιο ελέγχου έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερα αρχεία STL, αλλά μπορεί να παράγει ομαλότερες καμπύλες σε μοντέλα. Εάν οι επιφάνειες του σχεδιασμού μοντέλου είναι πολύ μεγάλα, αυτή η ρύθμιση δεν βελτιώνει τα αποτελέσματα.
7. Κάντε κλικ στο OK για να αποθηκεύσετε τις ρυθμίσεις και να κλείσετε το παράθυρο διαλόγου.
8. Από το μενού του Αρχείου, επιλέξτε Εξαγωγή> STL.
9. Στο παράθυρο διαλόγου Stereolithography επιλέξτε το Binary output check box.
10. Κάντε κλικ στο OK για να αποθηκεύσετε τις ρυθμίσεις και να δημιουργήσετε το αρχείο STL.

8.2.5. McNeel Rhino

Το Rhino επιτρέπει τον εκτεταμένο έλεγχο των ιδιοτήτων STL κατά την αποθήκευση σχεδίων ως αρχεία STL.

Επειδή το λογισμικό Rhino είναι με βάση την επιφάνεια, ο πλήρης σχεδιασμός του μοντέλου (ακόμη και αν είναι συναρμολόγηση) αποθηκεύεται ως ένα ενιαίο μέρος STL.

Αποθήκευση μοντέλου σε μορφή STL

1. Ανοίξτε το μοντέλο σχεδιασμού στο Rhino.
2. Από το μενού Αρχείο, επιλέξτε Αποθήκευση ως. Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου.
3. Στο πλαίσιο Όνομα αρχείου, πληκτρολογήστε ένα όνομα για το νέο αρχείο STL.
4. Στο πλαίσιο Αποθήκευση ως, επιλέξτε Stereolithography [* Stl].
5. Κάντε κλικ στο κουμπί Αποθήκευση.
6. Στο STL Mesh Export Options dialog box, θέτουμε την ανοχή STL η οποία είναι η μέγιστη απόσταση που μεσολαβεί μεταξύ της επιφάνειας του σχεδιασμού και του πολύγωνου πλέγματος του αρχείου STL. Στο Polygon Mesh Detailed Options dialog box, ρυθμίστε την ανοχή STL στο πεδίο με μέγιστη απόσταση την άκρη στην επιφάνεια. Αν δεν γνωρίζετε τις άλλες ρυθμίσεις κατάλληλα για το σχεδιασμό του μοντέλου σας, δοκιμάστε τα παρακάτω:
Μέγιστη γωνία.
Μέγιστη αναλογία διαστάσεων.
Μέγιστη απόσταση από το άκρο της επιφάνειας (Ανοχή).
7. Κάντε κλικ στο OK.
8. Στο παράθυρο διαλόγου Επιλογές εξαγωγής STL, ορίστε τον τύπο αρχείου, όπως Binary και κάντε κλικ στο OK.

Εάν το Export open objects check box είναι επιλεγμένο, θα δημιουργηθούν STL αρχεία για κάθε ένα από τα ανοιχτά αντικείμενα. Εάν δεν είναι επιλεγμένο αυτό το πλαίσιο ελέγχου, ένα αρχείο STL θα δημιουργηθεί για το επιλεγμένο αντικείμενο.

Αντιμετώπιση προβλημάτων Μοντέλων

Αν ένα μοντέλο σχεδιασμού περιέχει οπές ή κενά, δεν είναι κατάλληλο για 3D εκτύπωση. Πριν από την αποθήκευση ως αρχείο STL, θα πρέπει να κάνετε το μοντέλο "στεγανό".

Για να κλείσετε τις τρύπες και τα κενά σε ένα μοντέλο σχεδιασμού:

1. Επιλέξτε ολόκληρο το αντικείμενο.
2. Από το μενού Edit, επιλέξτε Εγγραφή ή κάντε κλικ στο εικονίδιο Εγγραφή στην πλευρά της γραμμής εργαλείων. Η εντολή αυτή μειώνει τον αριθμό των επιφανειών και τους ταιριάζει μαζί
3. Επιλέξτε το αντικείμενο. Μπορείτε να επιλέξετε ολόκληρο το αντικείμενο, αλλά για να εξοικονομήσετε χρόνο, μπορείτε να επιλέξετε μόνο την προβληματική οντότητα.

4. Από το μενού Εργαλεία, επιλέξτε Πολύγωνο Mesh> Από NURBS αντικειμένου ή κάντε κλικ στο Mesh from Surface/ Polysurface από την πλευρά της γραμμής εργαλείων. Ανοίγει το Polygon Mesh Options dialog box.
5. Κάντε κλικ λεπτομερείς έλεγχοι ... Ανοίγει το Polygon Mesh Detailed Options dialog box.
6. Εισάγετε τις ίδιες ρυθμίσεις όπως και πριν και κάντε κλικ στο OK.
7. Επιλέξτε ολόκληρο το αντικείμενο.
8. Από το μενού Εργαλεία, επιλέξτε Polygon Mesh > Weld.
9. Στη γραμμή εντολών, πληκτρολογήστε 180⁰ για την ανοχή γωνίας, και πατήστε Enter. Με την ανοχή γωνίας 180⁰, η εντολή Weld συγχωνεύει τα γειτονικά σημεία του τριγώνου.
10. Από το μενού Εργαλεία, επιλέξτε Polygon Mesh> Unify Normals.
11. Για να επικυρώσετε ότι το αντικείμενο είναι στεγανό, πληκτρολογήστε SelNakedMeshEdgePt στη γραμμή εντολών και πατήστε Enter. Εάν το νέο αντικείμενο περιέχει οπές ή κενά, το mesh point τονίζεται στην οθόνη.
12. Επαναλάβετε τη διαδικασία Save As

8.2.6.Pro / Engineer

Αποθήκευση μοντέλου Pro/ Engineer ως αρχείο STL:

1. Βεβαιωθείτε ότι ο σχεδιασμός του μοντέλου είναι συνεχής και «στεγανός». Το βήμα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν το σχέδιο εισήχθη από μια ουδέτερη μορφή του σχεδιασμού. Μη συνεχείς φορείς είναι πιθανό να οδηγήσουν σε ελαττωματικά μοντέλα. Δεν μπορείτε πάντα να ελέγξετε τη συνοχή του μοντέλου που εμφανίζεται στο σκιασμένο πεδίο. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιήστε την ακόλουθη μέθοδο:

- Παρατηρήστε τις κρυφές γραμμές που εμφανίζονται στο μοντέλο.
- Από το μενού Προβολή, επιλέξτε Ρύθμιση προβολής> Σχέδιο> PreWildfire. Οι επιφάνειες του μοντέλου εμφανίζονται στο magenta. Αν ο σχεδιασμός είναι συνεχής, οι γραμμές περιγράμματος είναι λευκές. Εάν υπάρχουν κενά, οι γραμμές είναι κίτρινες.
- Στερεώστε το μοντέλο, αν είναι απαραίτητο, πριν το αποθηκεύσετε ως αρχείο STL.

2. Από το μενού Αρχείο, επιλέξτε Αποθήκευση αντιγράφου. Στο Save εμφανίζεται ένα Copy dialog box.

3. Από το Type pull-down menu επιλέξτε STL.

Απόκλιση Ελέγχου

Οι ρυθμίσεις Απόκλιση ελέγχου στο παράθυρο Export STL dialog box επηρεάζουν την ακρίβεια του μοντέλου και το μέγεθος του αρχείου. Το ύψος χορδής καθορίζει τη μέγιστη απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του αρχικού σχεδιασμού και της ψηφιδωτής επιφάνειας του τριγώνου STL (η χορδή). Ως εκ τούτου, το ύψος χορδής ελέγχει το βαθμό ψηφίδωσης της επιφάνειας του μοντέλου. Όσο μικρότερο είναι το ύψος χορδών, τόσο μικρότερη είναι η

απόκλιση από την πραγματική επιφάνεια. Επομένως ρυθμίζουμε το ύψος της χορδής στο 0. Το πεδίο θα αντικατασταθεί από την ελάχιστη αποδεκτή τιμή.

Γωνία Ελέγχου

Αυτή η λειτουργία ρυθμίζει πόση πρόσθετη ψηφίδωση εμφανίζεται κατά μήκος των επιφανειών με μικρές ακτίνες. Όσο μικρότερες είναι οι ακτίνες, τόσο περισσότερα τρίγωνα χρησιμοποιούνται. Η ρύθμιση μπορεί να είναι μεταξύ 0 και 1. Για την επίτευξη πιο λείων επιφανειών, συνιστάται το 0.

Όταν έχετε κάνει όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις, κάντε κλικ στο Apply και OK για να δημιουργήσετε το αρχείο STL.

8.2.7.Solid Edge

Αποθήκευση μοντέλου σε μορφή STL

1. Από το μενού Αρχείο, κάντε κλικ στην εντολή Αποθήκευση ως. Ανοίγει το Save As dialog box.
2. Από το Save as type drop-down menu επιλέξτε τα έγγραφα STL (*. Stl) και κάντε κλικ στο Options ... Ανοίγει το STL Export Options dialog box.
3. Ρυθμίστε την ανοχή και τις επίπεδες γωνίες επιφάνειας για τις κατάλληλες τιμές για το μοντέλο σας. Όσο χαμηλότερη είναι η ανοχή(συνιστάται 0,015 mm), τόσο λεπτότερη η ψηφίδωση. Όσο χαμηλότερη είναι η επίπεδη γωνία επιφάνειας(συνιστάται >45°), τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια (αισθητή σε μικρές λεπτομέρειες). Κατά κανόνα, όσο λεπτότερη είναι η ψηφίδωση τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια ενώ όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του αρχείου STL, τόσο περισσότερος χρόνος χρειάζεται για να δημιουργηθεί.
4. Στην ενότητα αρχείο εξόδου, επιλέξτε Binary. Δυαδικά αρχεία STL είναι πολύ μικρότερα από τα αρχεία STL και αποθηκεύονται σε μορφή ASCII.
5. Κάντε κλικ στο OK.
6. Στο παράθυρο διαλόγου Αποθήκευση ως, κάντε κλικ στο κουμπί Αποθήκευση.

Το Solid Edge μπορεί να δημιουργήσει μεμονωμένα αρχεία STL από τα στοιχεία ενός συνόλου, αλλά αυτή η λειτουργία δεν είναι ενσωματωμένη στο πρόγραμμα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τη διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (API), με τη χρήση της Visual Basic scripts. Η λύση αυτή δεν επιτρέπει την οπτική προεπισκόπηση του πλέγματος πολυγώνου(polygon mesh) πριν από την αποθήκευση των αρχείων STL.

8.2.8.SolidWorks

Το SolidWorks σας επιτρέπει να αποθηκεύσετε το μοντέλο σχεδιασμού σε μορφή STL, σε όλα τα επίπεδα του σχεδιασμού, τόσο για μεμονωμένα μέρη όσο και για συναρμολογούμενα. Για να αποθηκεύσετε ένα μοντέλο ή ένα μοντέλο συναρμολόγησης σε αρχείο STL ακολουθείται την εξής διαδικασία:

1. Από το μενού Αρχείο, επιλέξτε Αποθήκευση ως. Ανοίγει το Save As dialog box.
2. Από το Save as type drop-down menu, επιλέξτε STL (*. Stl).
3. Κάντε κλικ στο Επιλογές ... Εμφανίζεται το Export Options dialog box, και το μοντέλο εμφανίζεται σε ψηφιδωτή μορφή. Το STL είναι η επιλογή Μορφή αρχείου.
4. Στο παράθυρο Export Options dialog box, στο " Output as", επιλέξτε Binary. (Το μέγεθος του αρχείου θα είναι πολύ μικρότερο από ό, τι ένα αρχείο που είναι αποθηκευμένο σε μορφή ASCII.)
5. Στην ενότητα "Επίλυση", επιλέξτε την κατάλληλη επιλογή. Αν επιλέξετε Προσαρμοσμένη, μπορείτε να ρυθμίσετε χειροκίνητα τις ρυθμίσεις Απόκλιση και γωνία, όπως απαιτείται. Αυτές οι ρυθμίσεις επηρεάζουν την ανοχή των μη επίπεδων επιφανειών, ως εξής:
 - Χαμηλότερες ρυθμίσεις Απόκλισης(συνιστάται 0,01 mm) έχουν ως αποτέλεσμα λεπτότερες ανοχές.
 - Χαμηλότερες ρυθμίσεις Γωνίας(συνιστάται 5⁰) έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ακρίβεια, αισθητή σε μικρές λεπτομέρειες. Με μικρότερες αποκλίσεις οι γωνίες θα παράγουν ένα ομαλότερο αρχείο, αλλά το μέγεθος του αρχείου θα γίνει μεγαλύτερο.Κατά κανόνα, όσο υψηλότερη είναι η ανάλυση, τόσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του αρχείου, και τόσο περισσότερος χρόνος χρειάζεται για να δημιουργηθεί.
6. Για Single Material Builds βεβαιωθείτε ότι είναι επιλεγμένο το ακόλουθο πλαίσιο ελέγχου: Αποθήκευση όλων των εξαρτημάτων ενός συναρμολογούμενου κομματιού σε ένα ενιαίο αρχείο. Αυτό εξασφαλίζει ότι όλα τα στοιχεία αποθηκεύονται ως ένα ενιαίο αρχείο STL.
7. Για Dual Material Builds βεβαιωθείτε ότι το παρακάτω πλαίσιο ελέγχου ΔΕΝ είναι επιλεγμένο: Αποθήκευση όλων των εξαρτημάτων ενός συναρμολογούμενου κομματιού σε ένα ενιαίο αρχείο. Αυτό εξασφαλίζει ότι όλα τα στοιχεία αποθηκεύονται ως ξεχωριστά αρχεία STL.
8. Κάντε κλικ στο OK.
9. Στο παράθυρο διαλόγου Αποθήκευση ως, κάντε κλικ στο κουμπί Αποθήκευση.
10. Στο μήνυμα επιβεβαίωσης, κάντε κλικ στο κουμπί Ναι.

8.2.9.UGS NX

Το λογισμικό NX από την Siemens PLM (πρώην USG), υποστηρίζει έξοδο STL σε επίπεδο πυρήνα, δίνοντάς τη δυνατότητα να σώσει όχι μόνο ολόκληρα μέρη, όπως τα αρχεία STL, αλλά και επιλεγμένες επιφάνειες ενός τμήματος. Αυτό δίνει μεγάλη ευελιξία κατά την προετοιμασία των αντικειμένων για 3D εκτύπωση. Επιπλέον, η παραγωγή συναρμολόγησης σας επιτρέπει να αποθηκεύσετε πολλά στοιχεία του, ως μία ενιαία μονάδα, διατηρώντας παράλληλα κάθε συστατικό ως ξεχωριστό κομμάτι (shell).

Φάση 1: Αποθήκευση μοντέλου σε μορφή STL

1. Από το μενού Αρχείο, επιλέξτε Εξαγωγή> STL ... Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου Rapid Prototyping.
2. Ορισμός Τύπος εξόδου σε δυαδική μορφή. Δυαδικά αρχεία STL είναι πολύ μικρότερα από τα αρχεία STL και αποθηκεύονται σε μορφή ASCII.
3. Προσαρμόστε τη ρύθμιση Triangle Tol σε μια κατάλληλη τιμή για το μοντέλο σας. Αυτή είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του αρχικού σχεδιασμού και την ψηφιδωτής επιφάνειας του τριγώνου STL, και επηρεάζει την ομαλότητα της επιφάνειας του μοντέλου.
4. Προσαρμόστε τη ρύθμιση Adjacency Tol. Αυτό καθορίζει αν δύο παρακείμενες επιφάνειες "αποδίδουν". Εάν η απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών είναι μικρότερη από αυτή τη ρύθμιση, θεωρούνται επισυναπτόμενες. Αυτή η ρύθμιση πρέπει να είναι μικρότερη από την ανάλυση εκτύπωσης. Για παράδειγμα, κατά την εκτύπωση μοντέλα με ανάλυση 30 μικρόμετρα (micron), η ρύθμιση πρέπει να είναι όχι περισσότερο από 0,03.
5. Ρύθμιση Ανοχής: 0,015 mm, ρύθμιση Auto normal Gen στη θέση ON, ρύθμιση Normal Display σε ON, ρύθμιση Triangle Display στο ON και στο File Header Information πατήστε OK.
6. Κάντε κλικ στο OK.
7. Στο παράθυρο διαλόγου Rapid Prototyping Export, εισάγετε το όνομα του αρχείου και κάντε κλικ στο OK.

Φάση 2: Άνοιγμα αρχείων μοντέλων σε Λογισμικό Objet Studio

Για να τοποθετήσετε ένα αντικείμενο στο δίσκο κατασκευής:

1. Ανοίξτε το παράθυρο διαλόγου Εισαγωγή. Από το μενού Object, επιλέξτε Εισαγωγή ή Στη γραμμή εργαλείων, κάντε κλικ στο εικονίδιο Εισαγωγή Μοντέλου ή Δεξιά - κάντε κλικ στο δίσκο κατασκευής, και επιλέξτε Εισαγωγή. Εμφανίζεται το πλαίσιο διαλόγου Εισαγωγή.
2. Επιλέξτε το επιθυμητό αρχείο και βεβαιωθείτε ότι εμφανίζεται στο πεδίο Όνομα αρχείου. Εάν είναι επιλεγμένο το πλαίσιο ελέγχου Preview, το αντικείμενο εμφανίζεται στο παράθυρο διαλόγου.
3. Κάντε κλικ στο κουμπί Άνοιγμα. Το Objet Studio τοποθετεί το αντικείμενο στο δίσκο κατασκευής, και στη λίστα ιεραρχίας του παραθύρου.

Μπορείτε να τοποθετήσετε τα πρόσθετα αντικείμενα στο δίσκο κατασκευής επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία.

Φάση 3: Εκτύπωση του μοντέλου

Όταν ο δίσκος κατασκευής (σε Objet Studio) είναι έτοιμος να εκτυπωθεί, μπορείτε να τον στείλετε στο Job Manager, όπου έχει τοποθετηθεί στην ουρά εκτύπωσης. Από το μενού Αρχείο, επιλέξτε Build Tray. Κάντε κλικ στο εικονίδιο Δημιουργία δίσκου.

Τέλος ο εκτυπωτής Objet κατασκευάζει το μοντέλο.

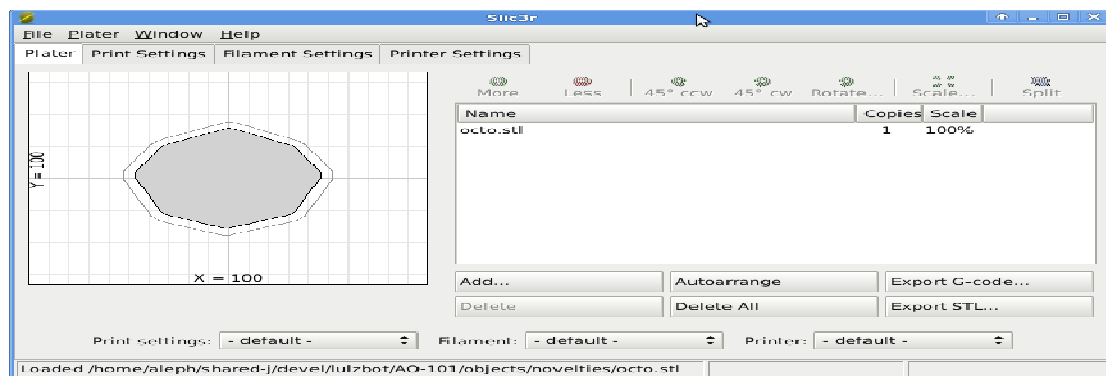
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΤΩΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ

Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στα λογισμικά που χρησιμοποιούνται στη κατηγορία των εκτυπωτών F.D.M. η οποία είναι η πιο διαδεδομένη και εύχρηστη. Για τον χειρισμό και τον έλεγχο αυτής της τεχνολογίας χρησιμοποιούνται 2 βασικά προγράμματα. Το πρώτο, λέγεται **Slic3r** και είναι το πρόγραμμα **C.A.M.** που βγάζει τον κώδικα G (G code) και M από τα αρχεία STL για την εκτύπωση του ψηφιακού σχεδίου. Το δεύτερο, λέγεται **Pronterface** και είναι το πρόγραμμα που αναλαμβάνει τον χειρισμό της μηχανής καθώς και την πληροφόρηση του χρήστη με τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργίες της μηχανής, όπως θερμοκρασία κτλ. Επίσης αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του λογισμικού Makerware το οποίο χρησιμοποιείται για τους εκτυπωτές της εταιρείας Makerbot.

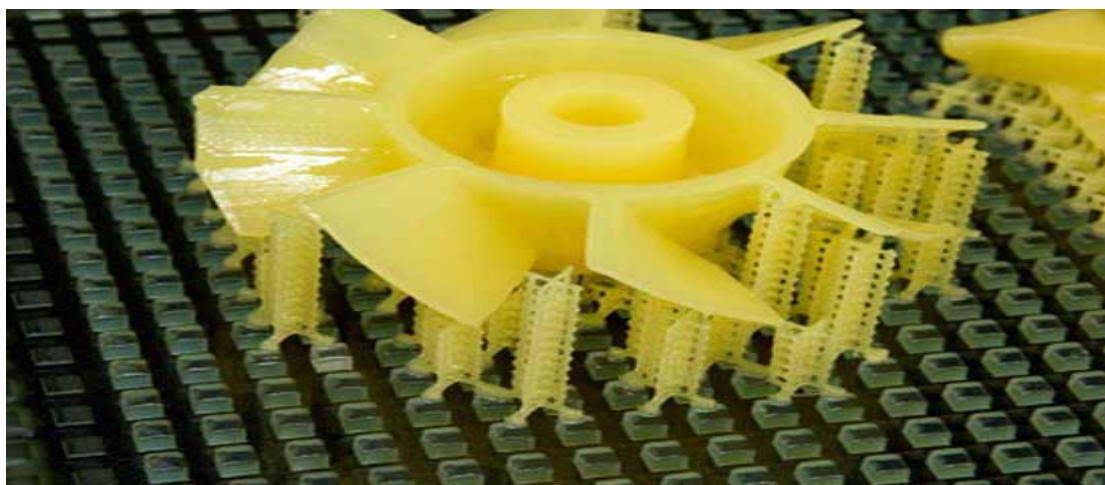
9.1.Slic3r

Το Slic3r, είναι ένα λογισμικό «τεμαχισμού» που δημιουργήθηκε από την κοινότητα ανοικτού κώδικα και είναι το πρόγραμμα το οποίο βγάζει το κώδικα G και M από οποιοδήποτε σχέδιο σε μορφή .STL, ο οποίος είναι αξιοποιήσιμος από την μηχανή. Για να είναι εφικτό να εκτυπωθεί κάποιο αντικείμενο, πρέπει να προμηθευτεί το πρόγραμμα με τις απαραίτητες πληροφορίες για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της μηχανής. Το πρόγραμμα αυτό, παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να αποθηκεύσει τις ρυθμίσεις που έκανε σε ένα αρχείο ώστε να μπορεί εύκολα να τις χρησιμοποιήσει και στο μέλλον. Στην καρτέλα «Print Settings» μπορεί να εισάγει τις επιλογές της. Στο πρώτο πεδίο εισαγωγής βάζει το επιθυμητό πάχος της κάθε στρώσης μετρημένο σε mm. Στην συνέχεια, στο επόμενο πεδίο ζητείται ο αριθμός τον ελαχίστων περιμέτρων που θέλουμε να σχεδιάσει η μηχανή, μέσα στις οποίες θα κάνει το γέμισμα με υλικό. Τέλος, υπάρχει το πεδίο εισαγωγής του αριθμού των στρωμάτων που πρέπει να είναι γεμισμένα στο 100%. Συνήθως 3 με 4 είναι αρκετά. Το ύψος του στρώματος (Layer height) είναι ουσιαστικά ισοδύναμο με την κάθετη ανάλυση σε 3D εκτυπωμένα αντικείμενα. Είναι σαν pixel σε μια ψηφιακή εικόνα. Όσο πιο λεπτό είναι το στρώμα, τόσα περισσότερα στρώματα κατασκευάζονται ανά χιλιοστό και η υφή του εκτυπωμένου αντικείμενου γίνεται ομαλότερη. Το μόνο πρόβλημα με τα μικρά στρώματα είναι ότι λαμβάνουν περισσότερο χρόνο και για κάθε στρώση που εκτυπώνετε σε ύψος 0.3 mm, θα πρέπει να εκτυπωθούν τρία στρώματα, που το καθένα λαμβάνει εξίσου πολύ χρόνο, σε ύψος 0.1 mm.



Εικόνα 9.1. Το μενού του λογισμικού Slic3r

Στο πεδίο «Infill», και στην πρώτη επιλογή, μπαίνει το ποσοστό που θέλετε να γεμίσει το κομμάτι σε μορφή δεκαδικού αριθμού. Για παράδειγμα, για γέμισμα 25%, θα εισάγετε τον νούμερο 0,25, για γέμισμα 50% θα εισάγετε 0,50 κτλ. Συνήθως για κομμάτια που δεν είναι σχεδιασμένα να φέρουν κάποιου είδους φόρτια ή προορίζονται για εκθεσιακούς σκοπούς, δεν χρειάζονται περισσότερο από 10%. Μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν σε εργασίες καταπόνησης σπάνια απαιτούν περισσότερο από 80 %. Ακριβώς κάτω έχει την επιλογή του μοτίβου γεμίματος, το οποίο είναι στην κρίση του χειριστή, η επιλογή «rectilinear» είναι από τις πιο γρήγορες. Για κάποιο σύνθετο και περίεργο σχέδιο, το οποίο είναι δύσκολο να εκτυπωθεί λόγω της γεωμετρίας του, έχει την επιλογή χτισίματος δόμων υποστήριξης με αυτόματο τρόπο όπου το πρόγραμμα κρίνει απαραίτητο ότι χρειάζονται. Κάθε επίπεδο υλικού ενός αντικειμένου διαιρείται σε δύο μέρη. Τα περιγράμματα (shells) και την πλήρωση των επιπέδων (infill). Τα πρώτα καθορίζουν το σχήμα του στρώματος με επιπλέον περιγράμματα να βοηθούν στην ενίσχυση των μοντέλων. Η διαδικασία της πλήρωσης είναι ότι συμβαίνει στο χώρο που απομένει εντός του αντικειμένου. Τα λογισμικά Makerobt Slicer και Skeinforge χρησιμοποιούν ένα εξαγωνικό σχήμα, μοτίβο για την πλήρωση από προεπιλογή. Η κύρια ρύθμιση είναι το ποσοστό της πλήρωσης όπως προαναφέραμε. Περισσότερο ποσοστό πλήρωσης καθιστά το μοντέλο ισχυρότερο. Λιγότερο θα κάνει το μοντέλο ελαφρύτερο αλλά σαφώς και πιο γρήγορο στην εκτύπωση. Πριν την εκτύπωση, θα πρέπει να βρεθεί το ποσοστό πλήρωσης που θα κατασκευαστεί το αντικείμενο. Όσο λιγότερο ποσοστό πλήρωσης χρησιμοποιείται, τόσο εξοικονομείται χρόνος και υλικά.



Εικόνα 9.2. Αντικείμενο με τα στηρίγματα έτοιμα προς αφαίρεση

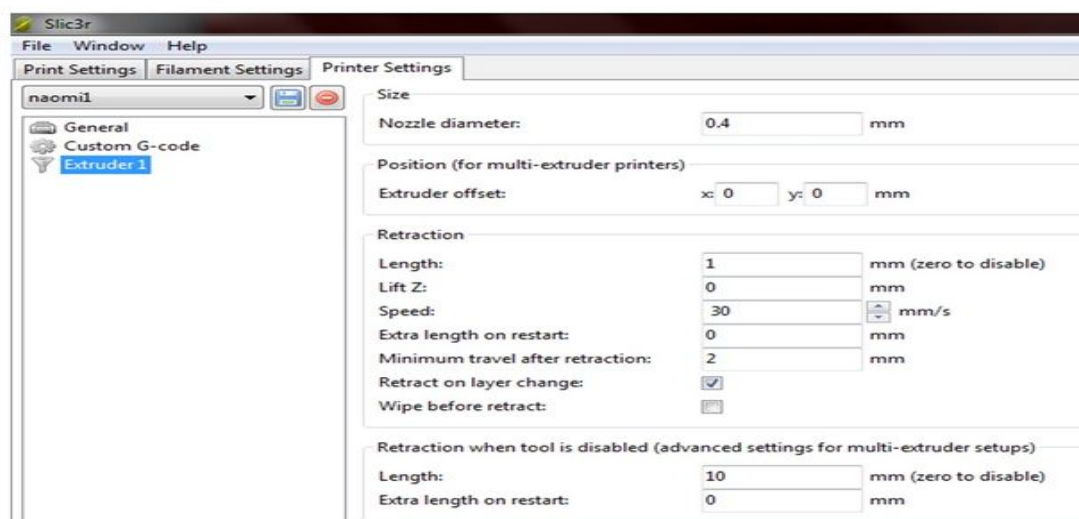
Επίσης, είναι δυνατή η ρύθμιση της ταχύτητας πρόωσης, για συγκεκριμένες επιλογές, στην εκτύπωση περιμέτρων, στο γέμισμα, καθώς και στον νεκρό χρόνο κατά τον οποίο το ακροφύσιο (hotend) διανύει απλά κάποια απόσταση χωρίς να τυπώνει. Στην καρτέλα «Filament Settings», ο χρήστης καλείται να εισάγει τα χαρακτηριστικά του υλικού κατεργασίας. Η διάμετρος είναι η πρώτη επιλογή που ζητείται και πρέπει να δοθεί μετρημένη σε mm. Το υλικό κατεργασίας έρχεται με τυποποιημένη διάμετρο σε διαστάσεις 1,75mm και 3mm. Στο πρόγραμμα πρέπει να εισάγετε την διάμετρο μετρημένη με μεγάλη ακρίβεια (0.01 mm) διότι το νούμερο αυτό χρησιμοποιείται για να γίνει υπολογισμός βάση του όγκου του σχεδίου, πόσο υλικό πρέπει να καταναλωθεί.

Η ταχύτητα εκτύπωσης είναι ένας συνδυασμός από δύο διαφορετικές παραμέτρους: από την ταχύτητα τροφοδοσίας η οποία είναι η ταχύτητα με την οποία ο εξωθητής κινείται και από τον ρυθμό ροής που είναι η τιμή με την οποία το πλαστικό εξωθείται. Η ταχύτητα εκτύπωσης έχει αντίστροφη σχέση με την υψηλή ποιότητα των αντικειμένων διότι ο πολύ γρήγορος χρόνος κατασκευής μπορεί να προκαλέσει τραχιά υφή και κενά στην εξώθηση των υλικών.

Στο πεδίο «Temperature», εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου (oC), για το θερμαινόμενο ακροφύσιο (hotend) και την θερμαινόμενη πλατφόρμα εκτύπωσης (heated bed), με ξεχωριστές επιλογές θερμοκρασίας για το πρώτο στρώμα εκτύπωσης. Το πρώτο στρώμα εκτύπωσης έχει ξεχωριστή επιλογή θερμοκρασίας γιατί είναι το πιο σημαντικό στρώμα καθ' όλη την εκτύπωση καθώς πρέπει να κολλήσει πολύ καλά πάνω στην πλατφόρμα για να έχουμε επιτυχημένη εκτύπωση.

Η θερμοκρασία εξώθησης είναι η θερμοκρασία που ο εξωθητής θερμαίνεται κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Εξαρτάται από μερικές άλλες μεταβλητές, κυρίως από τις ιδιότητες του πλαστικού νήματος και την ταχύτητα κατασκευής. Υψηλότερες ταχύτητες κατασκευής απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες εξώθησης. Αυτό συμβαίνει γιατί τα πλαστικά υλικά χρειάζονται χρόνο για να λιώσουν, καθώς και υψηλές θερμοκρασίες. Για την ταχύτερη εξώθηση του πλαστικού, χρειάζεται υψηλότερη θερμοκρασία εξώθησης ώστε να λιώσει αρκετά γρήγορα. Υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας της πλατφόρμας εκτύπωσης, αν ο εκτυπωτής διαθέτει θερμαινόμενη πλατφόρμα.

Τέλος, στην καρτέλα «Printer Settings» εισάγει στο πρώτο πεδίο τα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας εκτύπωσης του εκτυπωτή που θα χρησιμοποιήσει, το μέγεθος σε mm και το κέντρο της. Στο παρακάτω πεδίο έχει την δυνατότητα επιλογής της μορφής του κώδικα G. Αυτή η επιλογή χρησιμεύει για την κατανόηση του κώδικα από το λογισμικό του 3D εκτυπωτή.



Εικόνα 9.3. Οι τελευταίες εντολές πριν την εκτύπωση

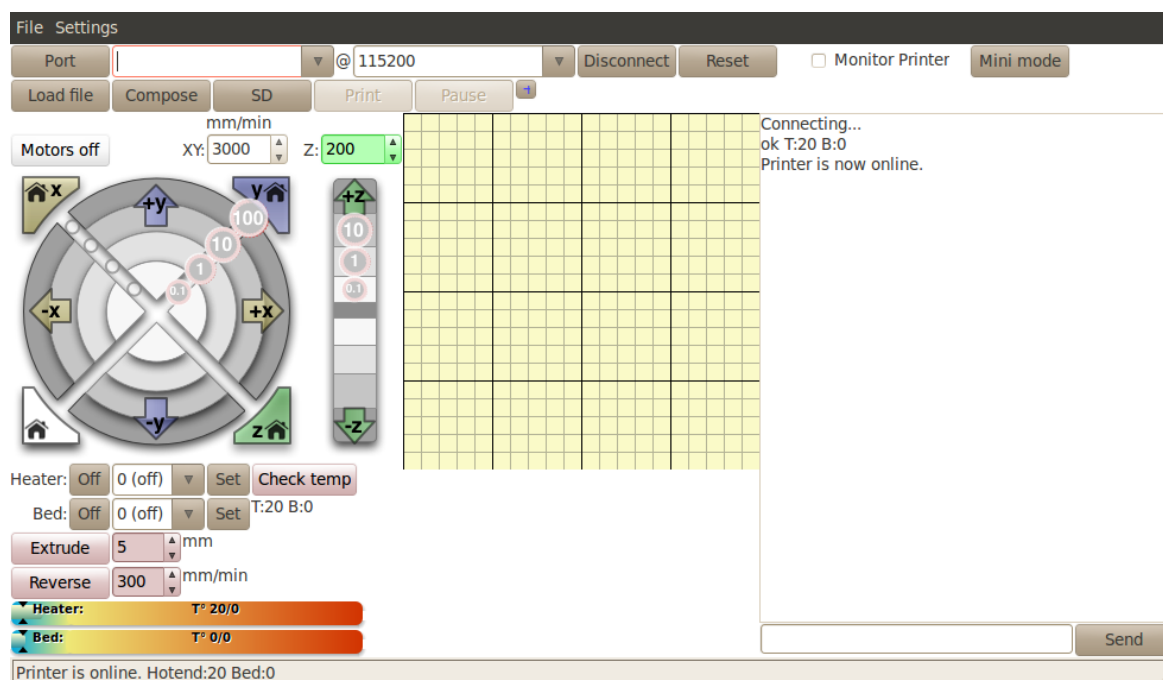
Κάτω από την επιλογή αυτή, υπάρχει ρύθμιση για την διάμετρο του ακροφυσίου μετρημένη σε mm. Αφού έχει ρυθμίσει τις παραπάνω παραμέτρους, μπορεί να εξάγει τον κώδικα G από ένα σχέδιο σε μορφή STL.

Αυτό γίνεται με τον εξής τρόπο:

Στην κεντρική οθόνη του προγράμματος Slic3r, ρίχνει το αρχείο STL που θέλει να τεμαχίσει (slicing), με “drag and drop”. Στην συνέχεια, έχει την επιλογή να διαμορφώσει τα σχέδια STL ανάλογα με το μέγεθος, τον προσανατολισμό και αλλά. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιήσει την επιλογή για αυτόματο προσανατολισμό του κομματιού. Η εξαγωγή του κώδικα G γίνεται πατώντας το κουμπί «Export G-Code».

9.2.Pronterface

Το γραφικό περιβάλλον του Pronterface, είναι αρκετά απλό και εύχρηστο. Στο επάνω μέρος, βρίσκονται τα κουμπιά σύνδεσης με την μηχανή, καθώς και τα κουμπιά για την φόρτωση του κώδικα G και την εκτέλεση του. Στην αριστερή πλευρά, υπάρχει μια συστοιχία από κουμπιά για την κίνηση των αξόνων, στο κέντρο υπάρχει ένας χώρος στον οποίο παρατηρείται σε πραγματικό χρόνο η κίνηση της μηχανής. Στα αριστερά υπάρχει η κονσόλα με την οποία υπάρχει επικοινωνία μεταξύ του χρηστή και της μηχανής, με την μορφή εντολών και κώδικα G και M. Στην κάτω αριστερή πλευρά, βρίσκονται τα κουμπιά διαχείρισης της θερμοκρασίας, καθώς και ένα γράφημα της θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο. Το πρόγραμμα δίνει την επιλογή στον χειριστή να δημιουργήσει δικά του κουμπιά με κάποιες εντολές G και M, για εύκολη πρόσβαση σε συχνές ενέργειες, όπως για παράδειγμα το άνοιγμα και το κλείσιμο του ανεμιστήρα ψύξης και άλλα.



Εικόνα 9.4. Το μενού του λογισμικού Pronterface

Κάποια επιπλέον παραδείγματα slicing προγραμμάτων που μετατρέπουν τα αρχεία CAD που βρίσκονται ήδη σε μορφή .stl σε αρχείο τύπου G code για την μετέπειτα κατανόηση του από το λογισμικό του 3D εκτυπωτή είναι: το Skeinforge το οποίο είναι ένα εξαιρετικά προσαρμόσιμο λογισμικό «τεμαχισμού» που δίνει ποιοτικές εκτυπώσεις, αλλά είναι αργό και είναι δύσκολο στην εκμάθησή του. Επίσης είναι το Makerware της εταιρείας των 3D εκτυπωτών Makerbot όπου αποτελεί το λογισμικό που χρησιμοποιούν οι εκτυπωτές της

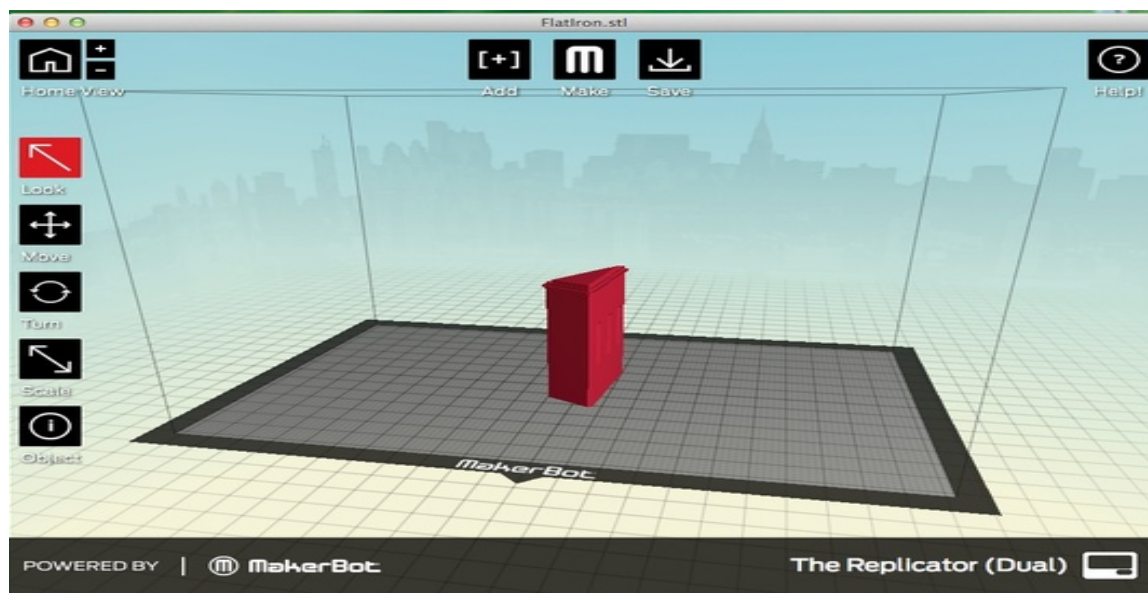
εταιρείας για την διαδικασία της κατασκευής των μοντέλων και διαθέτει εσωτερικά την δυνατότητα τεμαχισμού. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το παράδειγμα αυτό αναλυτικά βήμα-βήμα, η διαδικασία που ακολουθείται από την προετοιμασία του μοντέλου που είναι για την εκτύπωση μέχρι την μετατροπή του αρχείου και την αποστολή του στον 3D εκτυπωτή.

9.3. Makerware (Makerbot)

Το MakerWare είναι ένα λογισμικό που δίνει τη δυνατότητα να προετοιμαστούν 3D μοντέλα για την εκτύπωση και να τα σταλούν στον MakerBot εκτυπωτή. Το MakerWare υποστηρίζει τον Replicator 2 και 2X, τον αρχικό Replicator, καθώς και ορισμένους Thing-O-Matics και διατίθεται δωρεάν από [makerbot.com / makerware](http://makerbot.com/makerware).

Ας υποθετηθεί ότι μετά από επίσκεψη στο site <http://www.thingiverse.com> έχει «κατέβει» ένα έτοιμο CAD αρχείο σε STL μορφή ώστε να εισαχθεί στο λογισμικό Makerware.

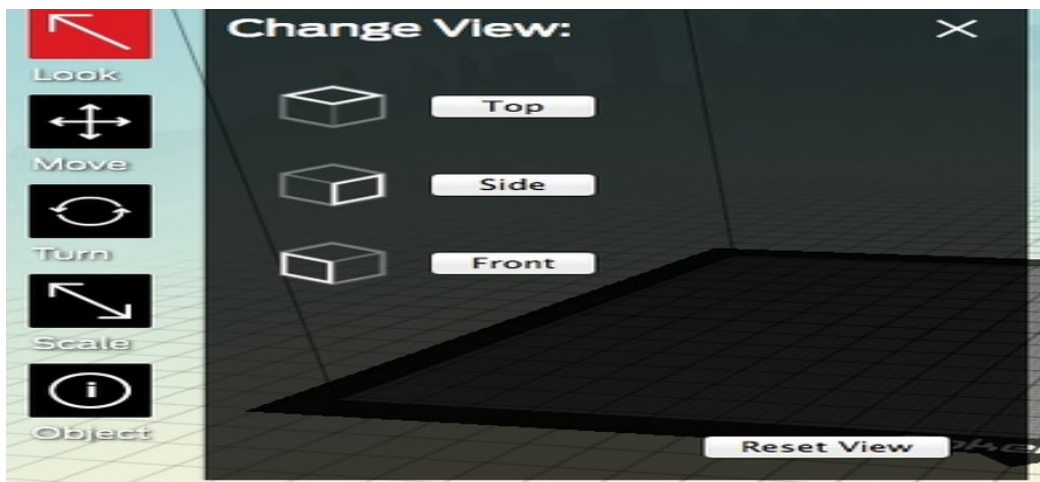
Αφού εισαχθεί το μοντέλο, εμφανίζεται στο κέντρο της γκριζας ζώνης η οποία αποτελεί την εκπροσώπηση της πλατφόρμας του 3D εκτυπωτή Makerbot.



Εικόνα 9.5. Μια προσομοίωση της πλατφόρμας του εκτυπωτή

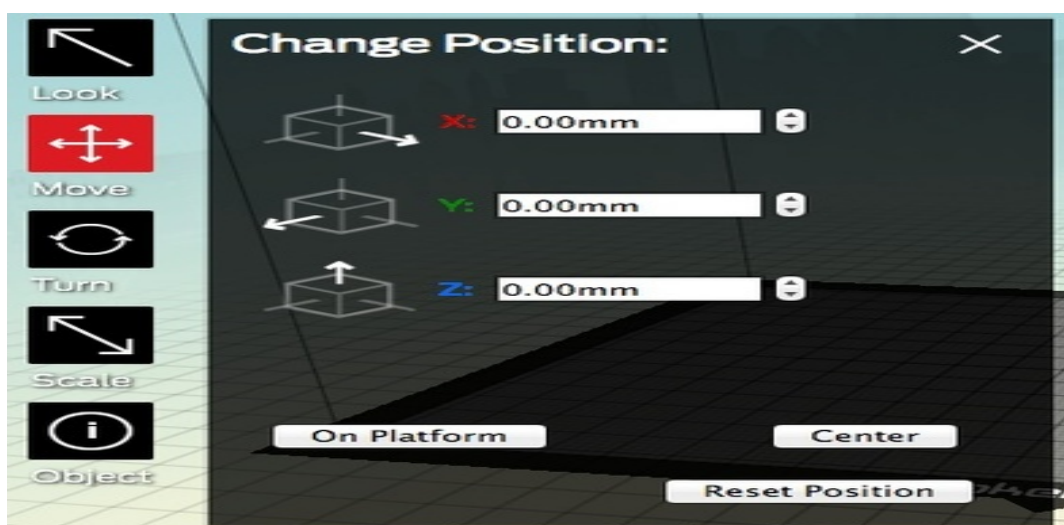
Τώρα έχει μια σειρά από επιλογές για την προβολή και το χειρισμό του αντικειμένου:

- Camera Home: Επαναφέρει το MakerWare στην προεπιλεγμένη προβολή του αντικειμένου.
- + / -. Zoom in και out: Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ο τροχός κύλισης του ποντικιού για να γίνει ζουμ μέσα και έξω.
- Look: Κάντε κλικ στο κουμπί “Look” ή πατήστε το πλήκτρο L για να εισέλθετε στη λειτουργία Look. Σε αυτή τη λειτουργία, κάντε κλικ και σύρετε με το ποντίκι σας για να περιστρέψετε την πλατφόρμα και το αντικείμενο. Χρησιμοποιήστε το βέλος στο πλάι του επιλεγμένου κουμπιού “Look” για να ανοίξετε το υπομενού Change View submenu (αλλαγή προβολής) για τις διαφορετικές όψεις Top, Front Side κ.α.



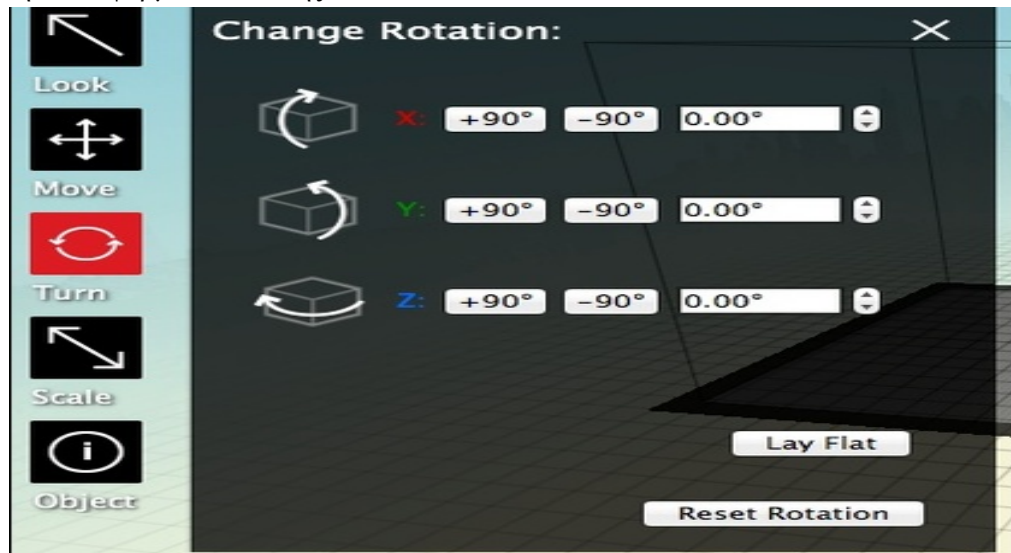
Εικόνα 9.6. Η επιλογή Change View

- Move: Κάντε κλικ στο κουμπί “Move” ή πατήστε το πλήκτρο M για να εισέλθετε στη λειτουργία μετακίνησης. Σε αυτή τη λειτουργία, κάντε κλικ και σύρετε με το ποντίκι σας για να μετακινήσετε ένα αντικείμενο γύρω από την πλατφόρμα. Χρησιμοποιήστε το βέλος στην πλευρά της επιλεγμένης εντολής “Move” για να ανοίξετε το υπομενού “Change Position submenu” (αλλαγή θέσης) και να μετακινήσετε ένα αντικείμενο με συγκεκριμένη απόσταση. Μπορείτε επίσης να χρησιμοποιήσετε τα κουμπιά “Center” και “On platform” για να τοποθετήσετε στο κέντρο αυτόματα το αντικείμενό σας ή να το μετακινήσετε πάνω στην πλατφόρμα.



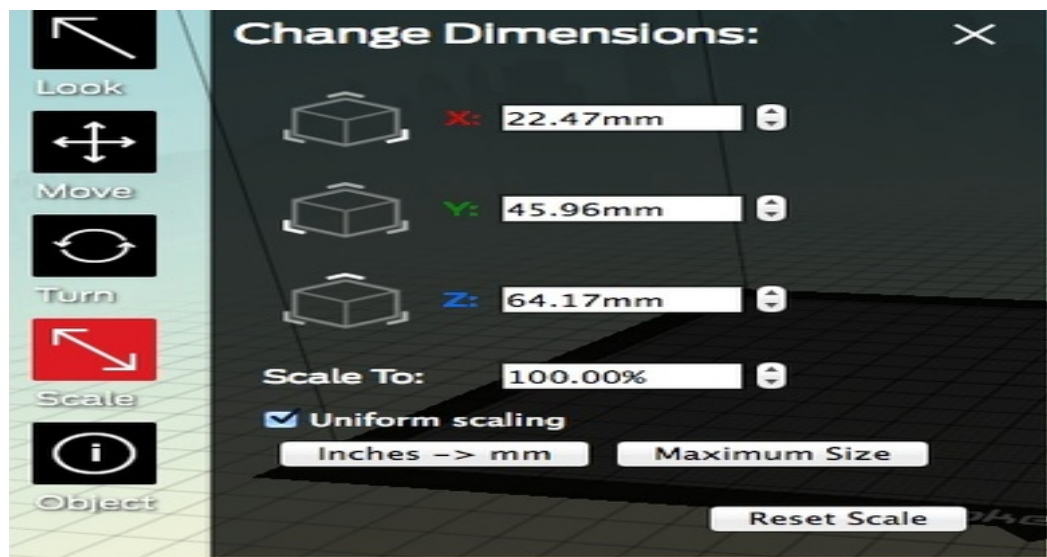
Εικόνα 9.7. Η επιλογή Change Position

- Turn: Κάντε κλικ στο κουμπί “Turn” ή πατήστε το πλήκτρο T για να εισέλθετε στη λειτουργία Turn. Σε αυτή τη λειτουργία, κάντε κλικ και σύρετε με το ποντίκι σας για να περιστρέψετε το αντικείμενο. Μπορείτε επίσης να χρησιμοποιήσετε το κουμπί “Flat Lay” για να έχετε την επίπεδη πλευρά του αντικειμένου που πλησιέστερα προς την πλατφόρμα εκτύπωσης.



Εικόνα 9.8. Η επιλογή Change Rotation

- Scale: Σε αυτή τη λειτουργία, κάντε κλικ και σύρετε με το ποντίκι σας για να μεγεθύνετε ή να σμικρύνετε το αντικείμενό σας. Μπορείτε επίσης να αλλάξετε τις μονάδες αντικειμένου σας από ίντσες σε χιλιοστά και αυτόματα την κλίμακα του αντικειμένου σας στο μεγαλύτερο μέγεθος εκτύπωσης του MakerBot εκτυπωτή σας.



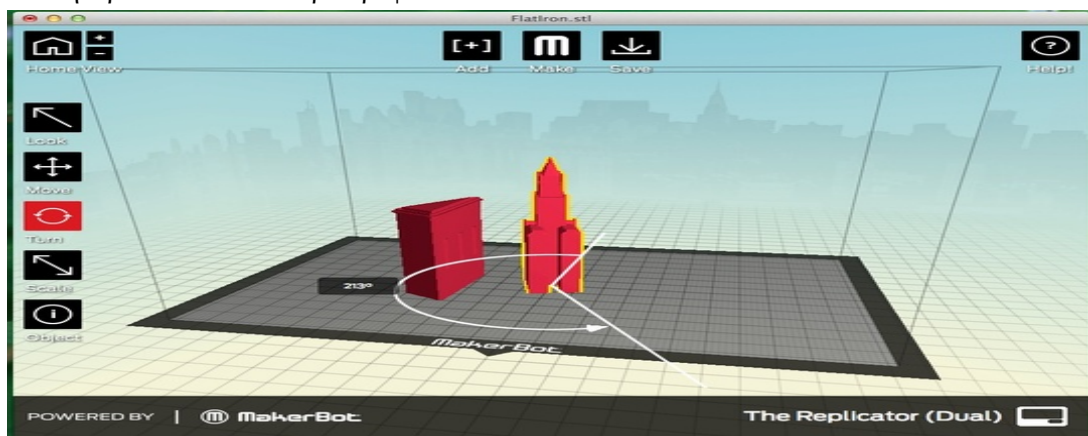
Εικόνα 9.9. Η επιλογή Change Dimensions

- Object: Κάντε κλικ δύο φορές για να ανοίξετε το υπομενού με τις πληροφορίες αντικειμένων. Σε αυτό το μενού, μπορείτε να ορίσετε ένα εξωθητή σε κάθε αντικείμενο στην πλατφόρμα. Το κουμπί “Object” θα εμφανιστεί μόνο αν ο υπολογιστής σας είναι συνδεδεμένος με ένα MakerBot με διπλούς εξωθητές ή αν έχετε έναν με διπλό εξωθητή επιλεγμένο στο μενού MakerBots.

- Add: Κάντε κλικ σε αυτό το κουμπί για να προσθέσετε ένα αντικείμενο στην πλατφόρμα εκτύπωσης σας. Μπορείτε να προσθέσετε όσα αντικείμενα, μπορεί να χωρέσει η πλατφόρμα του εκτυπωτή.
- Make It: Κάντε κλικ σε αυτό το κουμπί για να ανοίξετε το παράθυρο Make, όπου μπορείτε να καθορίσετε την ανάλυση εκτύπωσης και άλλες επιλογές εκτύπωσης και να στείλετε το αντικείμενο στον εκτυπωτή για την κατασκευή του.
- Save: Σας επιτρέπει να αποθηκεύσετε την τρέχουσα πλατφόρμα ως ένα αρχείο για μελλοντική χρήση.
- Help: Ανοίγει έναν οδηγό για τις βασικές λειτουργίες του MakerWare.
- Statusbar: Αυτή η γραμμή στο κάτω μέρος του παραθύρου MakerWare εμφανίζει την κατάσταση της σύνδεσής σας με εκτυπωτή και την κατάσταση της κάθε εκτύπωσης σε εξέλιξη.

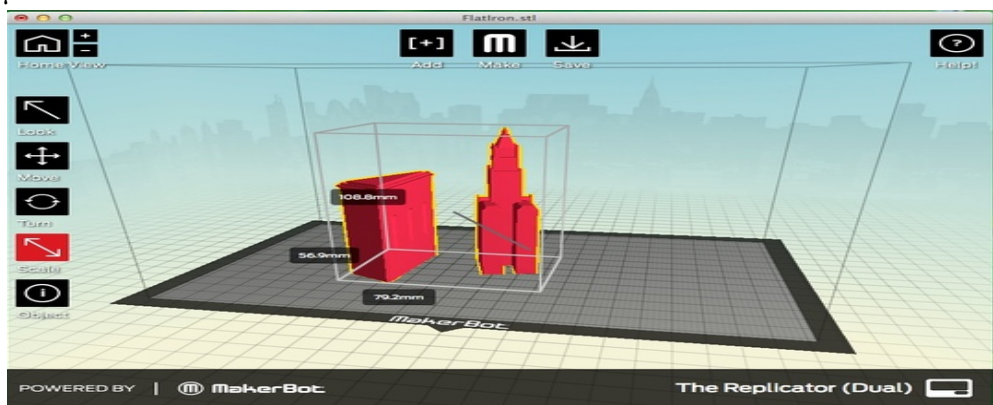
Για να προσθέσετε ένα δεύτερο αρχείο, θα πρέπει να μετακινήσετε το πρώτο.

- Περισσότερα από ένα ανοιχτά μοντέλα, μπορείτε να τα χειριστείτε ξεχωριστά ή μαζί. Επιλέξτε ένα από τα μοντέλα, στη συνέχεια, κάντε κλικ στο κουμπί “Turn” ή πατήστε το πλήκτρο T και να το περιστρέψετε .



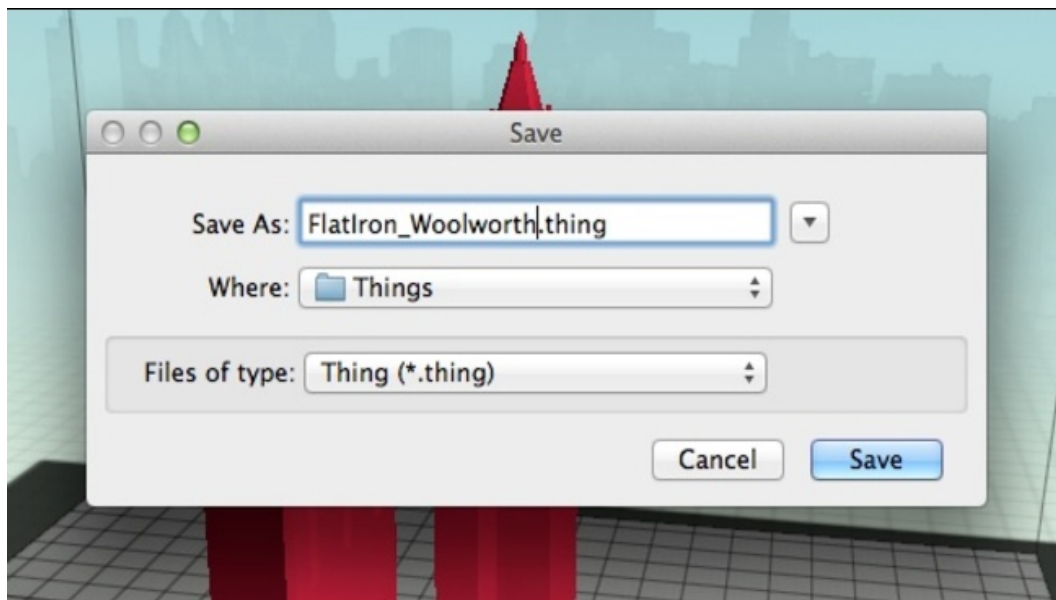
Εικόνα 9.10. Επιλογή προσθήκης δεύτερου αρχείου στη πλατφόρμα

- Τώρα μπορείτε να επιλέξετε και τα δύο αντικείμενα μαζί και να τα επεξεργαστείτε ταυτόχρονα. Επιλέγοντας το ένα αντικείμενο και στη συνέχεια πατώντας Shift επιλέγετε και το άλλο. Για να αλλάξετε π.χ. την κλίμακα και των δύο, κάντε κλικ στο κουμπί “Scale”. Έπειτα κλικ και σύρετε για να αλλάξετε το μέγεθος των δύο μοντέλων από κοινού.



Εικόνα 9.11. Επεξεργασία και των δύο αντικειμένων ταυτόχρονα

- Κάντε κλικ στο “Save” για την αποθήκευση. Σας δίνεται η δυνατότητα να αποθηκεύσετε την πλατφόρμα που δημιουργήσατε ως ένα STL αρχείο ή ένα .thing αρχείο. Το STL μπορεί να ανοίξει από ένα ευρύ φάσμα προγραμμάτων, αλλά τα αρχεία .thing σας επιτρέπουν να συνεχίσετε να επεξεργάζεστε τα στοιχεία μιας πλατφόρμας ξεχωριστά



Εικόνα 9.12. Η επιλογή Save

- Κάντε κλικ στο κουμπί “Make It”. Σας εμφανίζονται οι ακόλουθες εντολές: Make it Now/Export to File: Εάν θέλετε να στείλετε το αρχείο σας απευθείας στον εκτυπωτή μέσω ενός καλωδίου USB, επιλέξτε “Make it Now”. Εάν θέλετε να εκτυπώσετε μέσω κάρτας SD ή να αποθηκεύσετε ένα αρχείο για αργότερα, επιλέξτε “Export to File”. Αν ο εκτυπωτής δεν είναι συνδεδεμένη στον υπολογιστή σας, θα επιλεγεί αυτόματα η εντολή “Export to File”.



Εικόνα 9.13. Τελευταίο βήμα πριν την εκτύπωση

- Επιλέγετε τον τύπο του εκτυπωτή σας, το υλικό εκτύπωσης που θα χρησιμοποιήσετε PLA, ABS, κ.α.. Επίσης επιλέγετε την ανάλυση που επιθυμείτε, όσο υψηλότερη είναι τόσο πιο λεπτομερή θα είναι τα μοντέλα αλλά η εκτύπωση τους θα διαρκέσει περισσότερο.
- Ακόμη η επιλογή “Raft” αφορά την κατασκευή μιας βάσης (σχεδίας) για τα στηρίγματα για να βοηθήσουν το αντικείμενο σας να κολλήσει στην πλατφόρμα εκτύπωσης αν αυτή δεν είναι επίπεδη. Μπορείτε εύκολα να αφαιρέσετε την σχεδία αυτή μετά την κατασκευή του αντικειμένου. Εάν εκτυπώνετε σε εκτυπωτή με ένα έναν εξωθητή και αυτή η επιλογή είναι επιλεγμένη, τότε το αντικείμενό σας θα κατασκευαστεί πάνω σε μια σχεδία. Όταν δεν είναι επιλεγμένη, το αντικείμενό σας θα κατασκευαστεί απευθείας πάνω στην πλατφόρμα εκτύπωσης. Εάν εκτυπώνετε σε εκτυπωτή με δύο εξωθητές, θα δείτε ένα μενού με πρόσθετες επιλογές.
- Επιλέξτε “Off” για να έχετε το αντικείμενο σας χτισμένο απευθείας στη πλατφόρμα κατασκευής.
- Επιλέξτε “Color Matched” για να έχετε το αντικείμενο σας χτισμένο σε μια σχεδία από το ίδιο υλικό με το αντικείμενο. Αν το αντικείμενο σας είναι εκτυπωμένο από ένα υλικό, η σχεδία αυτόματα θα κατασκευαστεί από το ίδιο υλικό. Αν το μοντέλο είναι κατασκευασμένο από δύο υλικά, κάθε μέρος της σχεδίας σας θα κατασκευαστεί από το ίδιο υλικό όπως και το μέρος του μοντέλου με το οποίο είναι σε επαφή.
- Επιλέξτε “Left extruder” ή “Right extruder” για να έχετε πάντα τη σχεδία που χτίστηκε από το υλικό στον αριστερό ή στον δεξιό εξωθητή.
- Supports: Καθορίστε εάν θέλετε το αντικείμενο να περιλαμβάνει αυτόματα δομές υποστήριξης για προεξέχοντα μέρη. Μπορείτε εύκολα να αφαιρέσετε τα στηρίγματα αυτά μετά την εκτύπωση του αντικειμένου.
- Εάν είστε συνδεδεμένοι σε ένα εκτυπωτή με δύο εξωθητήρες, θα δείτε μια ρύθμιση η οποία προσδιορίζει ποιον εξωθητή θα επιλέξετε να εκτυπώσει το αντικείμενό σας. Για να αλλάξετε αυτή τη ρύθμιση, κάντε έξοδο, επιλέξτε το αντικείμενο και χρησιμοποιήστε το μενού “Object information”, ώστε να επιλέξετε την άλλη συσκευή εξώθησης.
- Advanced Options: Αυτό ανοίγει ένα μενού με πιο λεπτομερείς επιλογές. Μια προηγμένη επιλογή που ίσως να θέλετε να ελέγξετε είναι η Προεπισκόπηση εκτύπωσης (“Print Preview”), η οποία σας επιτρέπει να ρίξετε μια ματιά στο αρχείο εκτύπωσης πριν αποφασίσετε να το εκτυπώσετε. Απλά επιλέξτε την Preview before printing και κάντε κλικ στην επιλογή “Make It” ή “Export” για να ρίξετε μια ματιά.
- Στη συνέχεια στείλτε το αρχείο για την εκτύπωση. Το λογισμικό θα «τεμαχίσει» το μοντέλο και θα αρχίσει η διαδικασία της εκτύπωσης.

9.4.GCodeSimulator (3D Print Simulator)

Αυτή η εφαρμογή μπορεί να απεικονίσει τα Gcodes και να προσομοιώσει μια πραγματική 3D εκτύπωση. Η εφαρμογή είναι σε θέση να δείξει πώς θα εκτελεστεί η εκτύπωση και σας επιτρέπει να ελέγξετε τον τρόπο της διαδικασίας πράγμα που καθιστά ευκολότερο να εντοπιστούν τα λάθη και να αποφευχθεί η άσκοπη σπατάλη νήματος υλικού.

Το "Gcode" είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που λέει στους 3D εκτυπωτές πώς να κάνουν ένα μοντέλο. Το Gcode Simulator αναγνωρίζει τις ταχύτητες εκτύπωσης και μπορεί να προσομοιώσει την εκτύπωση σε πραγματικό χρόνο, αλλά μπορείτε επίσης να επιταχύνετε τις εκτυπώσεις (fast forward). Κάθε στρώμα είναι βαμμένο σε διαφορετικό χρώμα για να δείτε πώς ένα στρώμα συμπίπτει με την κάτω στρώση.

Επιπλέον, η νέα έκδοση έχει ένα πίνακα ελέγχου του εκτυπωτή που σας επιτρέπει να συνδεθείτε και να ελέγχετε ένα πραγματικό 3D εκτυπωτή χρησιμοποιώντας το καλώδιο USB ή Bluetooth. Προσφέρει βασικά κουμπιά ελέγχου του εκτυπωτή (XYZ Movement, Extruder Heat,..) για τη χειροκίνητη λειτουργία. Πλήρης εκτύπωση υποστηρίζεται μόνο στην πλήρη GCodePrintr εφαρμογή.



Εικόνα 9.14. Το μενού εφαρμογής του GCodeSimulator

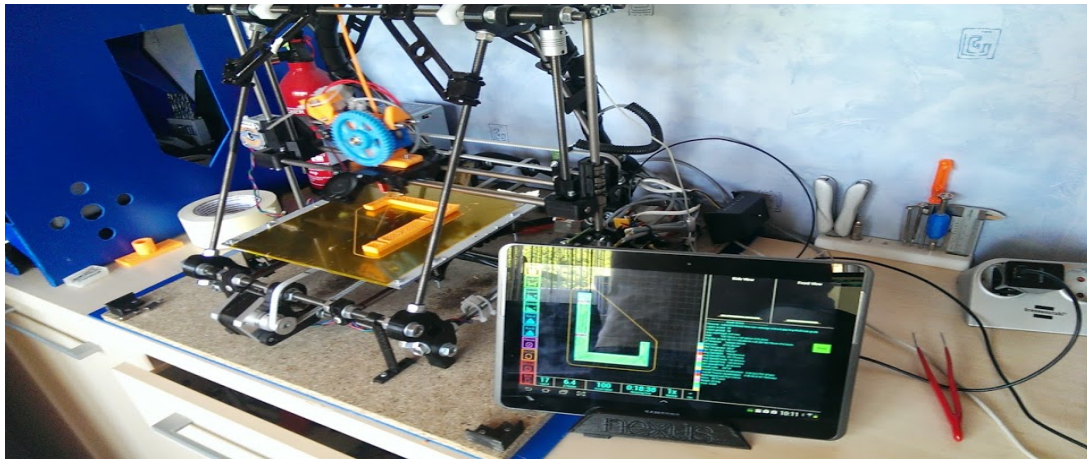
Το GCodeSimulator αναλύει το αρχείο Gcode καθώς και πρόσθετες πληροφορίες εκτύπωσης, όπως:

- Χρόνος εκτύπωσης
- Χρησιμοποιούμενο νήμα
- Απόσταση κίνησης κατά τους άξονες XY
- Διάσταση εκτύπωσης αντικειμένου
- Μέσες ταχύτητες εκτύπωσης
- Αριθμός στρωμάτων
- Λεπτομέρειες στρώματος
- Ταχύτητα διανομής / Επιτάχυνση
- Το βάρος και την τιμή του τυπωμένου αντικειμένου

Η Gcode προσομοίωση εκτύπωσης(GCode Print simulator) επιτρέπει τις ακόλουθες ενέργειες:

- Φόρτωση αρχείου Gcode
- Λεπτομέρειες σχετικά με το φορτωμένο Gcode
- Επιτάχυνση/ Επιβράδυνση
- Μεγέθυνση/ Σμίκρυνση
- Μετάβαση στο επόμενο στρώμα
- Μετάβαση στο προηγούμενο στρώμα
- Επανεκκίνηση από το πρώτο στρώμα
- Παύση
- Τερματισμός

Το GCode Print simulator αναπτύχθηκε για Rep-Rap εκτυπωτές, αλλά συνεργάζεται και με άλλους εκτυπωτές (π.χ. MakerBot, ultimaker, ...) καθώς επίσης, δοκιμάστηκε με Silc3r και skeinforge gcodes.



Εικόνα 9.15. Παράδειγμα Simulation κατά τη διαδικασία εκτύπωσης

9.5.PuzzleCut OpenSCAD

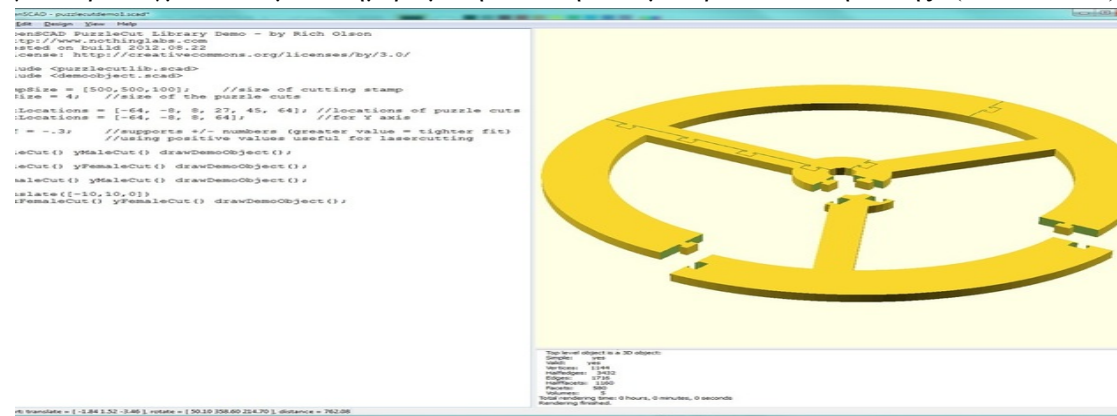
Το λογισμικό PuzzleCut OpenSCAD κόβει αντικείμενα σε συναρμολογούμενα κομμάτια. Το OpenSCAD επιτρέπει να κόβετε εύκολα αντικείμενα σε συναρμολογούμενα κομμάτια για 3D εκτύπωση ή κοπή με λέιζερ.

Μπορεί να χειριστεί αντικείμενα μεγαλύτερα από ότι ο εκτυπωτής, σπάζοντας ένα μεγάλο έργο σε μικρότερα κομμάτια.

Χαρακτηριστικά

- Περικοπές πάζλ σπουδήποτε κατά μήκος του X ή και Y άξονα.
- Εάν θέλετε να αλλάξετε τη θέση των κύριων γραμμών κοπής μετακινήστε και περιστρέψετε το αντικείμενο εκ των προτέρων.
- Το μέγεθος των περικοπών πάζλ μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα.
- Μπορείτε επίσης να ρυθμίσετε την "εγκοπή" για ένα αυστηρότερο ή χαλαρότερο ταιρίασμα.
- Καθιστούν εύκολα μεμονωμένα κομμάτια του πάζλ για εξαγωγή STL

Σύνθετα αντικείμενα μπορούν να οδηγήσουν σε σφάλματα ή προβλήματα απόδοσης. Αυτά μπορούν να διορθωθούν απλά πατώντας το F6. Το PuzzleCut τώρα υποστηρίζει πολλαπλές γραμμές κοπής ανά άξονα. Το multicutdemo.scad για παράδειγμα είναι μια ενημερωμένη έκδοση που μεταβάλλει θέση κοπής. (Olson, 2012)



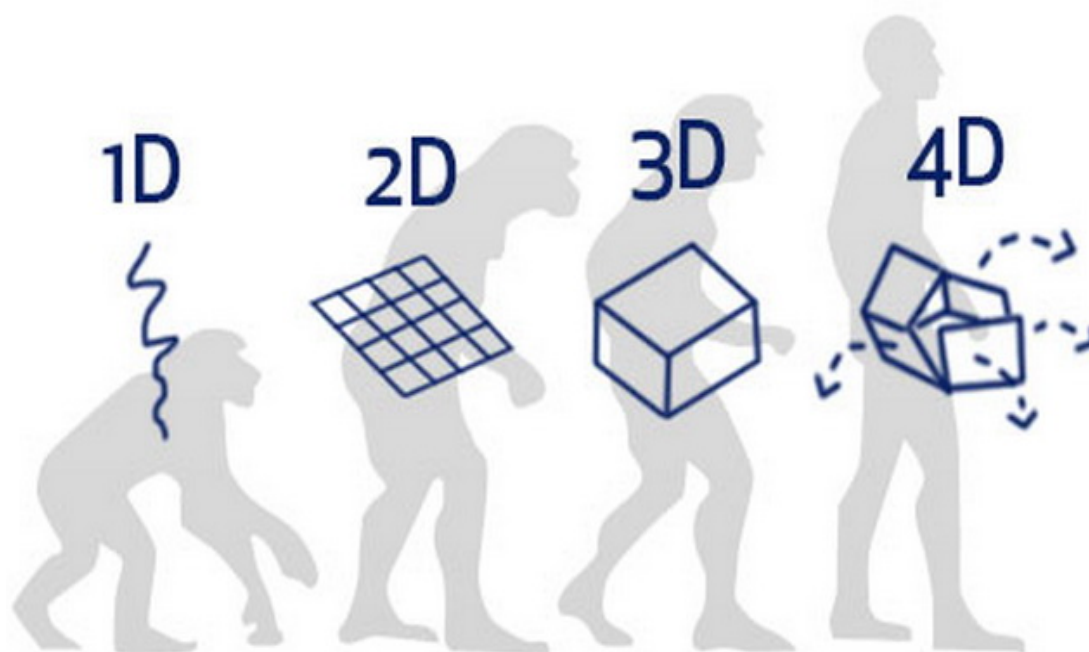
Εικόνα 9.16. Το μενού εφαρμογής του λογισμικού PuzzleCut OpenSCAD

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ 4D ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Η Ερευνητική Υπηρεσία του αμερικανικού στρατού χρηματοδοτεί με 855.000 δολάρια το Χάρβαρντ και δύο ακόμη πανεπιστήμια για την ανάπτυξη τεχνολογιών εκτύπωσης τεσσάρων διαστάσεων, οι οποίες θα επέτρεπαν την παραγωγή αντικειμένων που αλλάζουν σχήμα ή ιδιότητες στην πορεία του χρόνου (ο οποίος είναι η τέταρτη διάσταση).

Ένας από τους περιορισμούς των 3D εκτυπωτών, οι οποίοι «τυπώνουν» αντικείμενα από αλληπάλληλα στρώματα ενός υλικού που στερεοποιείται, είναι ότι τα παραγόμενα εξαρτήματα συχνά απαιτούν συναρμολόγηση.

Η 4D εκτύπωση θα μπορούσε μεταξύ άλλων να δώσει αντικείμενα που κυριολεκτικά αυτοσυναρμολογούνται. Στο συνέδριο RED ο αρχιτέκτονας Skylar Tibbits, Διευθυντής του Εργαστηρίου Συναρμολόγησης και Εκπαιδευόμενων Αρχιτέκτων, Επιστημόνων και Καλλιτεχνών του MIT παρουσίασε έναν κύβο που παίρνει αυτόματα το τελικό σχήμα του όταν βυθιστεί στο νερό.



Εικόνα 10.1. Η εξέλιξη των διαστάσεων

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν μια ριζική στροφή στην ταχεία πρωτοτυποποίηση, όπου τα αντικείμενα αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου για να εκτελέσουν προγραμματισμένες λειτουργίες, που έχουν ενσωματωθεί από την κατασκευή τους και βασίζονται απλά στις ιδιότητες των υλικών τους.

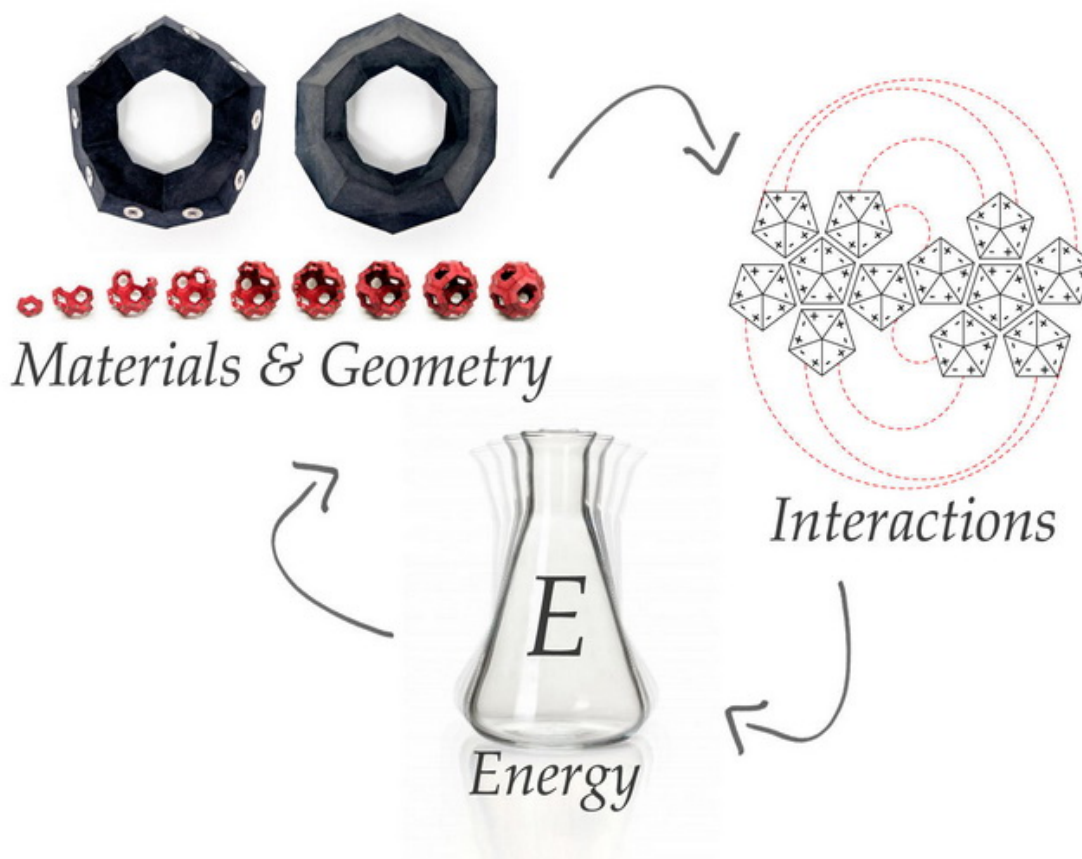
Με επικεφαλής τον Skylar Tibbits, αυτή η μοναδική έρευνα εστιάζει στην ανάπτυξη τεχνολογιών αυτο-οργάνωσης για τις δομές μεγάλης κλίμακας στο φυσικό μας περιβάλλον.

Το πρότζεκτ “4D εκτύπωση” του Tibbits ενεργοποιήθηκε από το “Connex multi-material 3D printing technology” της Stratasys με την πρόσθετη δυνατότητα ενσωματωμένου μετασχηματισμού από το ένα σχήμα στο άλλο, απευθείας από τον εκτυπωτή 3D στην κατασκευή αντικειμένων.

Η τεχνολογία πολλαπλών υλικών Connex επιτρέπει στους ερευνητές να προγραμματίσουν τις διαφορετικές ιδιότητες του υλικού σε καθένα από τα διάφορα σωματίδια που το αποτελούν πάνω στην γεωμετρία σχεδιασμού και να αξιοποιήσουν τις διαφορετικές ιδιότητες των υλικών στην απορρόφηση του νερού για να ενεργοποιήσουν μια διαδικασία αυτο-οργάνωσης του υλικού.

Με το νερό ως τον καταλύτη ενεργοποίησης, η τεχνική αυτή υπόσχεται νέες δυνατότητες για την ενσωμάτωση προγραμματισμού και την απλή διαδικασία λήψης αποφάσεων πάνω στα μη ηλεκτρονικά υλικά βάσης. Φανταστείτε μια ρομποτική συμπεριφορά χωρίς την εξάρτηση από πολύπλοκες ηλεκτρομηχανικές συσκευές όπου το ίδιο το υλικό κατασκευής εκτελεί την ρομποτική συμπεριφορά από μόνο του, όταν βρίσκεται κάτω από ορισμένες συνθήκες, π.χ. βύθιση σε νερό. Αναμένεται να εκτυπωθούν αντικείμενα που θα έχουν την δυνατότητα να μεταμορφωθούν υπό την επίδραση της θερμότητας και του φωτός.

Η 4D εκτύπωση είναι πραγματικά μια ριζική αλλαγή πάνω στην κατανόηση των δομών, οι οποίες ενώ μέχρι σήμερα παρέμεναν στατικές και άκαμπτες (π.χ την αεροναυπηγική, την αυτοκινητοβιομηχανία, τις κατασκευαστικές βιομηχανίες, κλπ), σύντομα θα είναι δυναμικές, προσαρμόσιμες και συντονίσιμες.



Εικόνα 10.2. Η εφαρμογή της 4D διάστασης

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Φτάνοντας στο τέλος της εργασίας ,αναλογίζεται κανείς τι σημαντικά και ενδιαφέροντα πράγματα έχει αποκομίσει για τον τρόπο με τον οποίο διεξάγεται η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Γνώρισε πως λειτουργούν οι εκτυπωτές, τι ενέργειες πρέπει να κάνει ο άνθρωπος και τι εντολές πρέπει να δώσει στα συστήματα αυτά ώστε να λειτουργήσουν σωστά και ομαλά. Πιο αναλυτικά τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται όπως το Inventor, Catia κ.α είναι κάποια από τα σχεδιαστικά προγράμματα με τα οποία ο χρήστης σχεδιάζει το μοντέλο που επιθυμεί με την βοήθεια των πλούσιων δυνατοτήτων που διαθέτουν όπως αναφέραμε στα λογισμικά αυτά. Χρησιμοποιούνται επίσης και ανοιχτού λογισμικού, ελεύθερα προγράμματα όπως το Blender το οποίο έχει εξαιρετικές ιδιότητες 3D γραφικών. Αφού αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν οι ξεχωριστές ιδιότητες του καθενός, εξηγήθηκε το επόμενο στάδιο της διαδικασίας το οποίο είναι η μετατροπή των αρχείων των μοντέλων σε αρχεία τύπου STL ώστε να προετοιμαστεί το αντικείμενο για το λογισμικό του 3D εκτυπωτή. Βασικό ρόλο έχουν οι παράγοντες όπως το ύψος χορδής, έλεγχος γεωμετρίας με τον τελευταίο να εξασφαλίζει ότι το μοντέλο είναι έτοιμο και αποδεκτό από το σύστημα για την εκτύπωση. Αναφέρθηκαν τα βήματα μεθοδικά για τα πιο διαδεδομένα λογισμικά που κυκλοφορούν στην αγορά. Το επόμενο και τελικό βήμα στην τρισδιάστατη εκτύπωση είναι η εξαγωγή των αρχείων STL σε κώδικα G (G code) που αυτός ο κώδικας θα δημιουργηθεί από το λογισμικό που χρησιμοποιεί και συνεργάζεται ο εκτυπωτής ώστε να μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της εκτύπωσης. Βέβαια πρέπει να ρυθμιστούν πολλοί παράγοντες όπως το ύψος του στρώματος, το ποσοστό γεμίσματος του κομματιού, την επιθυμητή θερμοκρασία του ακροφυσίου κ.α., οι οποίοι αποτελούν ένα πολύ σημαντικό και καθοριστικό τμήμα για μια επιτυχή και ολοκληρωμένη εκτύπωση.

Έγινε λόγος για το πρόγραμμα προσομοίωσης της εκτύπωσης και τις πληροφορίες που παρέχει στον χρήστη για την πορεία και την εξέλιξη της. Το PuzzleCut OpenSCAD αποτελεί μια νέα εφαρμογή ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις μοντέλων που είναι αρκετά ογκώδης και απαιτείται η διάσπαση τους σε μικρότερα κομμάτια ώστε στη συνέχεια να μπορεί ο χρήστης να εκτυπώσει τα επιμέρους τμήματα και μετέπειτα να τα συναρμολογήσει. Αναζητήθηκε και βρέθηκε η θετική πλευρά των εκτυπωτών αλλά και η αρνητική που έχουν μέσα στη ζωή και το περιβάλλον μας. Πως μπορούν να κάνουν τον κόσμο της βιομηχανίας αποτελεσματικότερο αλλά και πώς τον καθιστούν επικίνδυνο και ανασφαλή. Η πολυπλοκότητα της παραγωγής απλοποιείται σε μεγάλο βαθμό όμως οι ανθυγιεινές συνθήκες και η ενδεχόμενη αύξηση της ανεργίας είναι ορισμένοι παράγοντες που προκαλούν ενδοιασμούς για την χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Τώρα πολύ σημαντικός και καθοριστικός παράγοντας της νέας αυτής τεχνολογίας για την εισχώρηση στην μαζική παραγωγή αποτελεί ο τομέας των υλικών. Πολλά είναι τα υλικά τα οποία έχουν εισαχθεί στον χώρο της 3D εκτύπωσης όπως τα πλαστικά υλικά (ABS, PLA κ.α), τα μεταλλικά υλικά (τιτάνιο, σίδηρος κ.α), τα ξύλινα υλικά κ.α. Το κάθε ένα υλικό έχει τις ιδιαιτερότητες του και τις εφαρμογές στις οποίες είναι κατάλληλο για χρήση. Για παράδειγμα το PolyMax PLA έχει την υψηλότερη αντοχή από το ABS οπότε είναι ανθεκτικότερο σε εφαρμογές που έχουν μεγάλες καταπονήσεις. Το ανθρακόνημα και το αλουμίνιο έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην κάμψη από το νάιλον και το ABS. Το ABS χρησιμοποιείται για προτυποποίηση μοντέλων με λειτουργικά μέρη, μέρη τα οποία κουμπώνουν μεταξύ τους και πρωτότυπα που προσομοιώνουν μηχανολογικά μέρη. Κάποιες τυπικές χρήσεις του PLA είναι είδη ένδυσης, κοσμηματοθήκες, φιαλίδια για καλλυντικά, μπουκάλια για νερό, πιατέλες και φλιτζάνια. Ένα άλλο πλαστικό όπως το πολυπροπυλένιο χρησιμοποιείται σε καθημερινές

εφαρμογές, όπως για παράδειγμα οι συσκευασίες νερού, τροφίμων και φαρμάκων, τα ιατρικά εμφυτεύματα και σκεύη, οι εφαρμογές ύδρευσης, θέρμανσης και αποχέτευσης και τα παιδικά παιχνίδια. Τα πλαστικά υλικά υψηλής θερμοκρασίας εφαρμόζονται για πρωτότυπα που θα υποστούν βαφή ή συγκόλληση, μοντελοποίηση σωλήνων και οικιακών συσκευών και δοκιμή μοντέλων με έκθεσή τους σε θερμό αέρα και νερό. Τα βιοσυμβατά υλικά χρησιμοποιούνται για ιατρικές και οδοντιατρικές εφαρμογές, 3D εκτύπωση οδοντικών και χειρουργικών οδηγών και βοηθήματα ακοής. Τα ελαστικά υλικά ενδείκνυνται για την κατασκευή μοντέλων που διαθέτουν μη ολισθηρές επιφάνειες και προσομοίωση χειρολαβών και παπουτσιών. Τα ξύλινα υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή επίπλων και για την εκτύπωση μεγάλων μοντέλων αρχιτεκτονικής. Τα μεταλλικά υλικά τοποθετούνται στη βιομηχανία, σε διάφορα εξαρτήματα κινητήρων, άλλων κατασκευών όπως επίσης κοσμήματα και ρολόγια. Τα ανθρακονήματα χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή μερών αεροπλάνων και διαστημόπλοιων, αγωνιστικά αμαξώματα, πλαίσια ποδηλάτων καλάμια ψαρέματος, ελατήρια αυτοκινήτων και ιστούς ιστιοφόρων. Ένα ακόμα ιδιαίτερο υλικό είναι το γραφένιο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ηλεκτρονικών συσκευών. Τέλος υπάρχει και ο πολύχρωμος αμμόλιθος που είναι το μόνο υλικό ικανό για έγχρωμη 3D εκτύπωση μοντέλων. Στη συνέχεια αναλύθηκαν οι τομείς στους οποίους έχουν εφαρμογή όπως την μηχανολογία, την ιατρική κ.α. με την τελευταία να έχει πραγματικά εντυπωσιακά και γεμάτα αισιοδοξία για το μέλλον αποτελέσματα.

Όλα αυτά προκύπτουν βάση των τεχνολογιών που έχουν ανακαλυφθεί ξεκινώντας από τα πρώτα βήματα της στερεολιθογραφίας, η οποία αποτελεί και την βάση για πολλές από τις υπόλοιπες τεχνικές όπως η solid ground curing. Μια κοινή μέθοδος και ιδιαίτερα προσιτή στους καταναλωτές είναι η FDM η οποία χρησιμοποιεί πλαστικό υλικό και εφαρμόζεται σε επιτραπέζιους εκτυπωτές. Η 3D inkjet printing που χρησιμοποιεί την τεχνολογία των εκτυπωτών inkjet που έχουμε στα σπίτια μας αποτελεί κατά πολλούς την πιο ευέλικτη τεχνική με μεγάλη αντοχή κομματιών.

Γίνονται προσπάθειες και ενέργειες ώστε η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης(Additive manufacturing) να αντικαταστήσει τις συμβατικές μεθόδους και τεχνολογίες όπως π.χ. η κατεργασία με CNC(Subtractive manufacturing). Μάλλον θα πρέπει να θεωρούν την 3D εκτύπωση σαν μια ακόμα επιλογή για την κατασκευή μοντέλων, διότι είναι πιθανόν να προκύψουν τα ίδια αποτελέσματα σε πολύ μικρότερο χρόνο και κόστος. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ “Additive manufacturing” και “Subtractive manufacturing” αφορά την πολυπλοκότητα των προϊόντων. Οι μέθοδοι της προσθετικής κατασκευής(Additive manufacturing) μπορούν να αποδώσουν καλύτερα σε τμήματα με πολύπλοκες γεωμετρίες και σχέδια. Χρειάζεται περισσότερη προετοιμασία, επιδεξιότητα και χρόνος για την κατασκευή των κομματιών με τις μηχανές αφαιρετικής κατεργασίας(Subtractive manufacturing) σε σύγκριση με την σχεδόν αυτοματοποιημένη διαδικασία εκτύπωσης ενός 3D κομματιού. Τα μοντέλα που παράγονται μέσω της 3D εκτύπωσης χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τεστ λειτουργικότητας και για την επίτευξη εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν για δοκιμές πριν την παραγωγή. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν τα λάθη να εντοπισθούν σε πιο πρώιμο στάδιο, όπου οι αλλαγές δεν κοστίζουν πολύ. Οι απαιτήσεις των προϊόντων είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν ευκολότερα. Η 3D εκτύπωση μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μέσο για την απόκτηση ενός σχεδίου πριν να γίνουν δαπανηρές δεσμεύσεις, οι οποίες θα επηρεάσουν το κόστος της μηχανικής κατεργασίας και το συνολικό κόστος του προϊόντος. Έτσι λοιπόν οι επιχειρήσεις χρησιμοποιώντας τους 3D εκτυπωτές στην παραγωγική τους

διαδικασία ίσως εξασφαλίσουν μικρότερο ρίσκο και μειώσουν το κόστος της εισαγωγής νέων προϊόντων στην αγορά. Οι πωλήσεις των 3D εκτυπωτών εμφανίζουν ραγδαία αύξηση τα τελευταία χρόνια και αναμένεται όλο και περισσότεροι επιχειρηματίες να επενδύσουν στην τρισδιάστατη εκτύπωση και να επωφεληθούν από τις δυνατότητες της. Στο μέλλον ο τομέας των υλικών και η εφαρμογή τους σε βιώσιμα βιομηχανικά πλάνα είναι οι λόγοι που θα έχουν τον κυρίαρχο ρόλο για αν καθοριστεί η τρισδιάστατη εκτύπωση ως μια καινούργια μορφή βιομηχανικής επανάστασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη βιβλιογραφία

- 3D modeling and animation software 2014, τελευταία επίσκεψη 9 Αυγούστου 2014, <<http://www.autodesk.com/products/3ds-max/features/all/gallery-view>>
- 3D Systems 2014, Process Comparison Table, τελευταία επίσκεψη 5 Αυγούστου 2014, <<http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/process-comparison>>
- Advantages and Disadvantages 2013, τελευταία επίσκεψη 10 Ιουλίου 2014, <<http://3ddesktopprinting.blogspot.gr/p/what-are-some-advantages-of-3d-printing.html>>
- AutoCAD 2014, τελευταία επίσκεψη 8 Αυγούστου 2014, <<http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>>
- Blender (software) 2014, τελευταία επίσκεψη 8 Αυγούστου 2014, <[http://en.wikipedia.org/wiki/Blender_\(software\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Blender_(software))>
- Clyde, 2013, Laywoo-D3 printing filament, τελευταία επίσκεψη 14 Αυγούστου 2014, <<http://3dfilaprint.com/laywood-d3/>>
- Clyde, 2014, Polymakr Filaments, τελευταία επίσκεψη 12 Αυγούστου 2014, <<http://3dfilaprint.com/polymakr-filaments/>>
- Dean, R 2014, Using Ink-Jet Technology to Print Organs and Tissue, τελευταία επίσκεψη 30 Ιουλίου 2014, <<http://www.wakehealth.edu/Research/WFIRM/Our-Story/Inside-the-Lab/Bioprinting.htm>>
- Denison, 2013, 3D Printer Access 2013, τελευταία επίσκεψη 20 Ιουνίου 2014, <<http://makezine.com/2013/11/22/maker-pro-newsletter-112113/>>
- Deutsch, S 2013, 'Beyond the extruder', Make:Ultimate guide for 3D printing, pp.24-25
- DMLS in Aluminum, Inconel or Titanium - Is it worth it? 2014, τελευταία επίσκεψη 15 Αυγούστου 2014, <<http://gpiprototype.com/blog/dmls-in-aluminum-inconel-or-titanium-is-it-worth-it.html>>
- Durden, T 2013, UBS On the of 3D printing, τελευταία επίσκεψη 5 Μαΐου 2014, <<http://www.zerohedge.com/news/2013-10-31/ubs-importance-3d-printing>>
- GCodeSimulator for PC 2014, τελευταία επίσκεψη 14 Αυγούστου 2014, <<http://www.dietzm.de/gcodesim/>>
- Get Ready to 3D Print your CAD File 2014, τελευταία επίσκεψη 7 Αυγούστου 2014, <<http://www.stratasys.com/customer-support/cad-to-stl/proengineer>>
- Holbrook, S 2013, 'The promise of 3D printing', Make:Ultimate guide for 3D printing, pp. 8

- How to Use MakerWare 2014, τελευταία επίσκεψη 12 Αυγούστου 2014, <<http://www.makerbot.com/support/makerware/documentation/usage/>>
- How to export files to STL for 3D printing 2014, τελευταία επίσκεψη 7 Αυγούστου 2014, <<http://maker6.freshdesk.com/support/articles/156114-how-to-export-files-to-stl-for-3d>>
- Kiniry, L 2013, ‘Desert Manufacturer’, Make:Ultimate guide for 3D printing, pp.82
- Krassentein, E 2014, Grafoid To Produce MesoGraf, Graphene Based 3D Printing Materials, τελευταία επίσκεψη 25 Ιουλίου 2014, <<http://3dprint.com/1967/grafoid-to-produce-mesograf-graphene-based-3d-printing-materials/>>
- LayBrick 3D printing filament 2013, τελευταία επίσκεψη 14 Αυγούστου 2014, <<http://3dfilaprint.com/laybrick-3d-printing-filament/>>
- Lipson, H & Kurman, M 2013, ‘The ten principles of 3D printing’, Fabricated: The new world of 3D printing, John Wiley & Sons, Inc, Indianapolis, pp. 20-24
- Lyndsey, G 2014, The dark side of 3D printing: 10 things to watch, τελευταία επίσκεψη 10 Ιουνίου 2014, <<http://www.techrepublic.com/article/the-dark-side-of-3d-printing-10-things-to-watch/>>
- Lyndsey, G 2014, 3D printing: 10 factors still holding it back, τελευταία επίσκεψη 25 Ιουνίου 2014, <<http://www.techrepublic.com/article/3d-printing-10-factors-still-holding-it-back/>>
- Lipson, H & Kurman, M 2013, ‘A future economy of printable products’, Fabricated: The new world of 3D printing, John Wiley & Sons, Inc, Indianapolis, pp. 56-57
- Mediawiki 2014, Polycarbonate, τελευταία επίσκεψη 23 Ιουλίου 2014, <<http://reprap.org/wiki/Polycarbonate>>
- Olson, R 2012, PuzzleCut OpenSCAD Library, τελευταία επίσκεψη 8 Αυγούστου 2014, <<http://www.thingiverse.com/thing:35834/#instructions>>
- Opening a new Field for Mechanical Engineers 2014, τελευταία επίσκεψη 8 Αυγούστου 2014, <<http://www.3ds.com/products-services/catia/capabilities/mechanical-engineering/>>
- Owad, T 2013, ‘When less is more’, Make:Ultimate guide for 3D printing, pp.10-11
- Print real parts at your desk 2014, τελευταία επίσκεψη 23 Ιουλίου 2014, <<https://markforged.com/>>
- Proto3000 Inc. 2013, Nylon Materials, τελευταία επίσκεψη 25 Ιουλίου 2014, <<http://proto3000.com/materials-type-nylons-and-additives.php>>
- Proto3000 Inc. 2013, TECHNICAL DATA, τελευταία επίσκεψη 25 Ιουλίου 2014, <<http://proto3000.com/assets/uploads/Materials-Brochures/DMLS-Aluminum.pdf>>
- Proto3000 Inc. 2013, GENERAL PROCESS DATA, τελευταία επίσκεψη 25 Ιουλίου 2014, <<http://proto3000.com/assets/uploads/Materials-Brochures/SLS-Nylon.pdf>>
- ProtoPlant INC. 2014, Carbon Fiber PLA and More Performance 3D Printer Filament, τελευταία επίσκεψη 10 Αυγούστου 2014, <<https://www.kickstarter.com/projects/1375236253/proto-pasta-gourmet-food-for-your-3d-printer>>
- Ragan, S 2013, ‘Plastics for 3D printing’, Make:Ultimate guide for 3D printing, pp.22
- Rhinoceros – Rhino 3D (Level I & II) 2014, τελευταία επίσκεψη 7 Αυγούστου 2014, <<http://main.loulakis.gr/?seminars=rhinoceros-rhino-3d>>

- Selsick, J 2013, 3D Systems: Food For Thought... And Concern, τελευταία επίσκεψη 17 Αυγούστου 2014, < <http://seekingalpha.com/article/1520662-3d-systems-food-for-thought-and-concern>>
- Shapeways 2014, 3D Printing Materials, τελευταία επίσκεψη 25 Ιουλίου 2014, < <http://www.shapeways.com/materials?li=nav>>
- SketchUp 2014, τελευταία επίσκεψη 9 Αυγούστου 2014, < <http://en.wikipedia.org/wiki/SketchUp>>
- Three Free CAD Programs for Engineers and Designers 2012, τελευταία επίσκεψη 7 Αυγούστου 2014, < <http://www.designworldonline.com/three-free-cad-programs-for-engineers-and-designers/>>
- Toolsets for character creation and digital animation 2014, τελευταία επίσκεψη 8 Αυγούστου 2014, < <http://www.autodesk.com/products/maya/features/all/gallery-view>>
- Wellington, M 2013, Graphene: 3D Printing Using This Amazing Material, τελευταία επίσκεψη 25 Ιουλίου 2014, < <http://3dprinthq.com/graphene-3d-printing-using-this-amazing-material/>>
- What is new in Rhino 5 2014, τελευταία επίσκεψη 8 Αυγούστου 2014, < <http://www.rhino3d.com/new>>

Ελληνική βιβλιογραφία

- Lagos, C 2014, Η τρίτη διάσταση στις αναμνήσεις, τελευταία επίσκεψη 5 Αυγούστου 2014, < <http://periopton.com/page/6/>>
- Metabag 2014, ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ, τελευταία επίσκεψη 22 Ιουλίου 2014, < http://metabag.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=53>
- Protothema 2014, Τί είναι ο 3D εκτυπωτής που «κατασκευάζει» καρδιές, τελευταία επίσκεψη 30 Ιουλίου 2014, < <http://www.protothema.gr/technology/article/377242/oi-3d-ektupotes-stin-upiresia-tis-anthropotitas/>>
- Resinex Group 2014, ABS - Συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρενίου, τελευταία επίσκεψη 22 Ιουλίου 2014, < <http://www.resinex.gr/typon-polymeroy/abs.html>>
- Strati: Αυτό είναι το πρώτο αυτοκίνητο από 3D εκτυπωτή 2014, τελευταία επίσκεψη 15 Αυγούστου 2014, < <http://www.koolnews.gr/tech/484834-strati-afto-einai-to-proto-aftokinito-apo-3d-ektypoti-video/>>
- Think Open 2014, ΥΑΛΟΪΦΑΣΜΑΤΑ – FIBERGLASS, τελευταία επίσκεψη 25 Ιουλίου 2014, < <http://www.aandreou.gr/38-ialo%CF%8Bfasmata-fiberglass.html>>
- Αναστασάκη, Ε 2014, Καινοτόμος 3D εκτυπωτής ενώνει την Τέχνη με τη φύση, τελευταία επίσκεψη 30 Ιουλίου 2014, < <http://perierga.gr/2014/01/%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%85%CF%80%CF%89%CF%84%CE%AE%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CF%8E%CE%BD%CE%B5%CE%B9-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CF%84%CE%AD%CF%87%CE%BD%CE%B7-%CE%BC%CE%B5-%CF%84%CE%B7-%CF%86%CF%8D%CF%83%CE%B7/>>
- Βάρελης, Χ 2009, Ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων (ΤΚΠ), τελευταία επίσκεψη 2 Αυγούστου 2014, < http://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrTcc3BSiFUZkYAKUdkmolQ;_ylu=X3oDMTB yaDNhc2JxBHNlYwNzcGRwb3MDMQRjb2xvA2dxMQR2dGkAw-->

[/RV=2/RE=1411496769/RO=10/RU=http%3a%2f%2fdspace.lib.ntua.gr%2fbitstream%2f123456789%2f3220%2f3%2fvarelis_prototypes.pdf/RK=0/RS=caCAcj_RNBaKJZuQnK6xtptRYwk->](http://RV=2/RE=1411496769/RO=10/RU=http%3a%2f%2fdspace.lib.ntua.gr%2fbitstream%2f123456789%2f3220%2f3%2fvarelis_prototypes.pdf/RK=0/RS=caCAcj_RNBaKJZuQnK6xtptRYwk-)

- Βασικά προγράμματα χειρισμού ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή 2014, τελευταία επίσκεψη 9 Αυγούστου 2014,
<<http://katergasies.eu/%ce%b2%ce%b1%cf%83%ce%b9%ce%ba%ce%ac-%cf%80%cf%81%ce%b1%ce%b3%cf%81%ce%ac%ce%bc%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%b1-%cf%87%ce%b5%ce%b9%cf%81%ce%b9%cf%83%ce%bc%ce%bf%cf%8d-%ce%b5%ce%bd%cf%8c%cf%82-%cf%84%cf%81/>>>
- Έρχεται ο πρώτος 3D εκτυπωτής για καταναλωτές 2014, τελευταία επίσκεψη 20 Απριλίου 2014, <<http://www.naftemporiki.gr/story/791999/erxetai-o-protos-3d-ektupotis-gia-katanalotes>>
- Εφαρμογές 2013, τελευταία επίσκεψη 28 Ιουλίου 2014,
<<http://solid3dprint.com/gr/%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AD%CF%82>>>
- Έσωσαν 22χρονη με μόσχευμα από 3D εκτυπωτή 2014, τελευταία επίσκεψη 28 Ιουλίου 2014, <<http://www.madata.gr/diafora/health/337664.html>>
- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ, τελευταία επίσκεψη 3 Αυγούστου 2014,
<http://www.cadlab.tuc.gr/webmaster/07_RP-rt.pdf>
- Καρπούζης, 2012, Το μέλλον του 3D printing εξαρτάται από τα υλικά, τελευταία επίσκεψη 20 Ιουλίου 2014, <<http://www.dafy.gr/2012/07/3d-printing.html>>
- Κουζέλης, Α 2008, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΔΟΣΙΑ, Αθανάσιος Κουζέλης, Αθήνα
- Λαΐνας, Θ 2014, Η εκτυπωτική 3D επανάσταση, τελευταία επίσκεψη 6 Αυγούστου 2014,
<<http://www.tovima.gr/science/article/?aid=578252&wordsinarticle=%ce%97%3b%ce%b5%ce%ba%cf%84%cf%85%cf%80%cf%89%cf%84%ce%b9%ce%ba%ce%ae%3b3D%3b%ce%b5%cf%80%ce%b1%ce%bd%ce%ac%cf%83%cf%84%ce%b1%cf%83%ce%b7>>>
- Λούβρου, Κ 2014, Τι είναι η 3D εκτύπωση και πως μπορεί να αναπαραγάγει κύτταρα και όργανα στην ιατρική, τελευταία επίσκεψη 2 Αυγούστου 2014,
<<http://medlabgr.blogspot.com/2014/01/3d-video.html>>
- Μεταπαρασκευαστικές εργασίες (Post processing) 2003, τελευταία επίσκεψη 3 Αυγούστου 2014, <http://eprints.teiwm.gr/165/1/BS41_2003.pdf>
- Μοσχίδης, Π 2013, Κάνουν οι 3D εκτυπωτές κακό στην υγεία?, τελευταία επίσκεψη 15 Ιουλίου 2014, <<http://www.chemist.gr/2013/07/9461/>>
- Παπαθανάσης, Η 2005, ‘Η Τεχνολογία της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης’, Περισκόπιο της Επιστήμης, τεύχος 297, τελευταία επίσκεψη 21 Ιουνίου 2014,
<www.livepedia.gr/content-providers/periskopio/32473D-PRINTING.pdf>
- Πετούσης, Μ 2003, Ανάπτυξη Μηχανολογικών Εφαρμογών με τη βοήθεια Η/Υ, τελευταία επίσκεψη 7 Αυγούστου 2014,
<<http://www.tm.teiher.gr/Portals/23/Shmeioseis/cad/cad.pdf>>
- Σκιάννης, Δ 2013, 3D printing, τελευταία επίσκεψη 30 Ιουνίου 2014,
<<http://www.galsnguys.gr/2013/06/3d-printing/>>
- Τεχνολογίες 3D Printing 2014, τελευταία επίσκεψη 4 Αυγούστου 2014,
<<http://katergasies.eu/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B5%CF%82-3d-printing/>>>

- Το επόμενο βήμα στην 3D εκτύπωση... η 4D εκτύπωση 2013, τελευταία επίσκεψη 6 Αυγούστου 2014, < <http://waves.pirateparty.gr/content/%CF%84%CE%BF-%CE%B5%CF%80%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF-%CE%B2%CE%AE%CE%BC%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-3d-%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7-%CE%B7-4d-%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7>>
- Τρισδιάστατη επανάσταση στην παραγωγή – Το τέλος της εργασίας; 2011, τελευταία επίσκεψη 3 Ιουλίου 2014, <<http://wp.me/pyR3u-5qV>>
- Υλικά Polyjet 2014, τελευταία επίσκεψη 23 Ιουλίου 2014, < <http://qcontrol.gr/3d-printer/polyjet/ulika.html>>