

Η

ΤΑΧΕΙΑ ΠΡΩΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

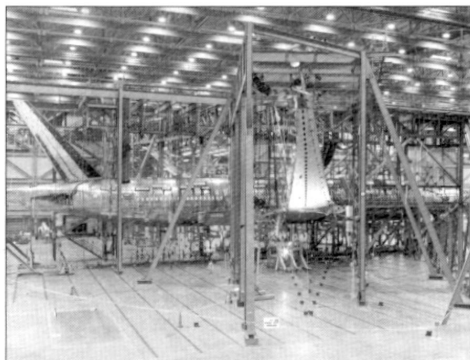
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ορίζεται ως πρωτότυπο, μια προσέγγιση του τελικού προϊόντος, σε μια ή περισσότερες από τις διαστάσεις του. Συνεπώς, κάθε αντικείμενο που μπορεί να παρουσιάσει ομοιότητα με κάποια χαρακτηριστικά του αρχικού προϊόντος μπορεί να θεωρηθεί ως πρωτότυπο. Δεν περιέχεται σε αυτόν τον ορισμό τα τυχόν σκίτσα του προϊόντος, τα μαθηματικά μοντέλα, και οι λειτουργικές αναπαραγωγές του.

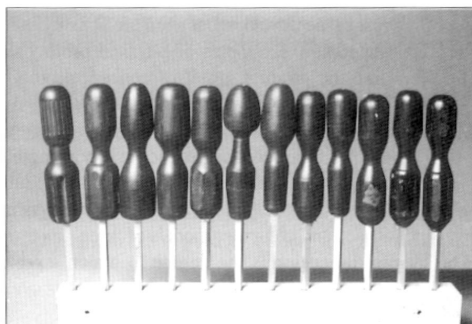
7.1 Είδη Πρωτοτύπων

Τα πρωτότυπα κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι ο βαθμός στον οποίο το πρωτότυπο είναι φυσικό σε αντίθεση με το αναλυτικό. Τα φυσικά πρωτότυπα είναι δημιουργήματα που προσεγγίζουν το πραγματικό προϊόν και δημιουργούνται για δοκιμές και πειράματα. Τέτοια πρωτότυπα είναι τα μοντέλα που μοιάζουν πολύ με το τελικό προϊόν (look and feel). Πρωτότυπα για την δοκιμή μιας ιδέας που χρησιμοποιούνται για να ελεγχθεί γρήγορα μια ιδέα, και πειραματικά πρωτότυπα που χρησιμοποιούνται για την επικύρωση μιας ιδέας. Τέτοια φυσικά πρωτότυπα φαίνονται στο σχήμα 7.1.

Η δεύτερη κατηγοριοποίηση είναι ο βαθμός της περιεκτικότητας σε αντίθεση με την εστίαση. Τα πρώτα περιλαμβάνουν, αν όχι όλα, τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και είναι αυτό που θα λεγόταν ότι ανταποκρίνεται περισσότερο στον ορισμό του πρωτότυπου. Ένα τέτοιο λειτουργικό πρωτότυπο είναι αυτό που παραδίδεται σε ορισμένους πελάτες για να ανακαλύψουν τυχόν λάθη σχεδίασης πριν αρχίσει κανονικά η παραγωγή του προϊόντος. Σε αντίθεση με τα περιεκτικά πρωτότυπα υπάρχουν τα εστιακά πρωτότυπα, τα οποία περιέχουν ένα ή λίγα από τα χαρακτηριστικά του προϊόντος. Τέτοια είναι τα πρωτότυπα από μαλακό υλικό (αφρώδες) που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της μορφής (look like), ή πλακέτες σε συσκευασία από σύρμα που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτρονική απόδοση του προϊόντος (works-like). Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο ή τρία πρωτότυπα αυτού του είδους για να εξεταστεί η συμπεριφορά του προϊόντος.



(Courtesy of Boeing Company.)



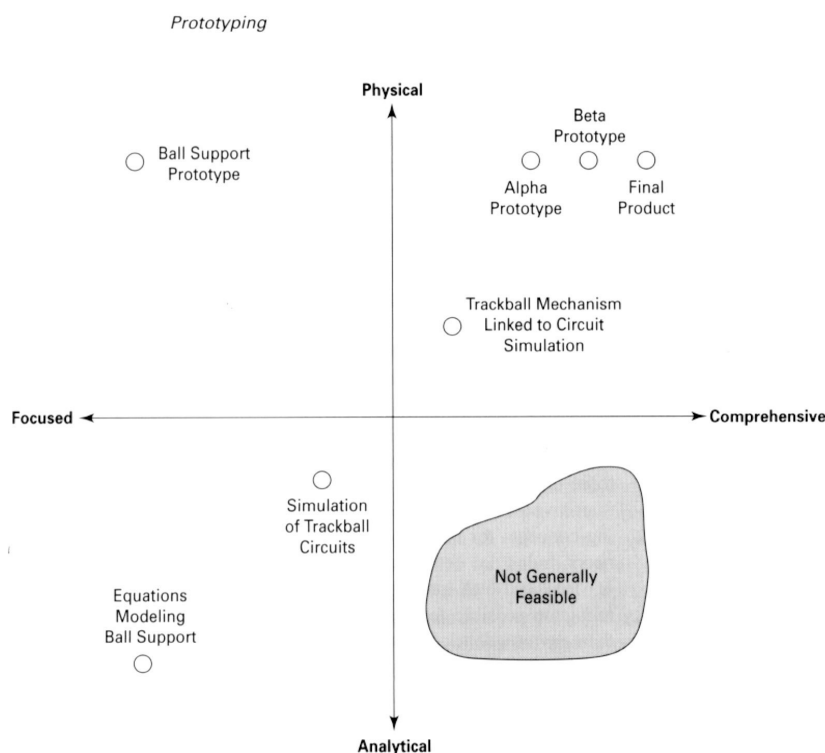
(Courtesy of Design Management Institute.)



(Courtesy of Lunar Design.)

Σχήμα 7.1 : Διάφορα φυσικά πρωτότυπα, (α) για τη δοκιμή της αντοχής των πτερυγίων αεροπλάνων, (β) για την αξιολόγηση της ευχρηστίας της λαβής σε ένα κατσαβίδι, (γ) για την αξιολόγηση της αισθητικής εμφάνισης του προβολέα.

Στο σχήμα 7.2 φαίνεται η κατάταξη των διαφόρων πρωτοτύπων για την μελέτη συστήματος trackball για φορητό υπολογιστή.



Σχήμα 7.2 : Είδη πρωτοτύπων. Κατατάσσονται ανάλογα με το πόσο φυσικά είναι και τον βαθμό στον οποίο περιλαμβάνουν τις λειτουργίες του τελικού προϊόντος.

7.2 Ταχεία Πρωτυποποίηση

Αποτελεί μια νέα τεχνολογία κατασκευής μοντέλων, στρώμα-στρώμα (layer by layer), που μείωσε το χρόνο κατασκευής μοντέλων κάθε πολυπλοκότητας σε ώρες αντί για ημέρες, εβδομάδες ή ακόμα και μήνες. Αποτελεί πλέον για πολλές εταιρείες έναν απαραίτητο κρίκο στη διαδικασία εξέλιξης των προϊόντων. Η πρώτη εμπορική διαδικασία παρουσιάστηκε στην Έκθεση **Autofact** στο **Detroit**, το **Νοέμβριο** του **1987**, από την εταιρεία **3D Systems Inc.** Σήμερα υπάρχουν πάνω από 30 διαδικασίες, μερικές από τις οποίες είναι εμπορικές, ενώ άλλες βρίσκονται υπό εξέλιξη σε εργαστήρια έρευνας. Η ακρίβεια έχει βελτιωθεί σημαντικά και οι επιλογές των υλικών είναι σχετικά πολλές. Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται όλο και πιο συχνά για λειτουργικές δοκιμές ή για να παράγονται εργαλεία. Είναι αλήθεια πως μπορεί να επιτευχθεί Ταχεία Πρωτυποποίηση (RP-Rapid Prototyping) και με συμβατικές μεθόδους, όπως με μηχανές NC. Παρ' όλα αυτά, ο όρος RP έχει καθιερωθεί να περιγράφει τις νέες τεχνολογίες που κατασκευάζουν μοντέλα **προσθέτοντας υλικό και όχι αφαιρώντας**.

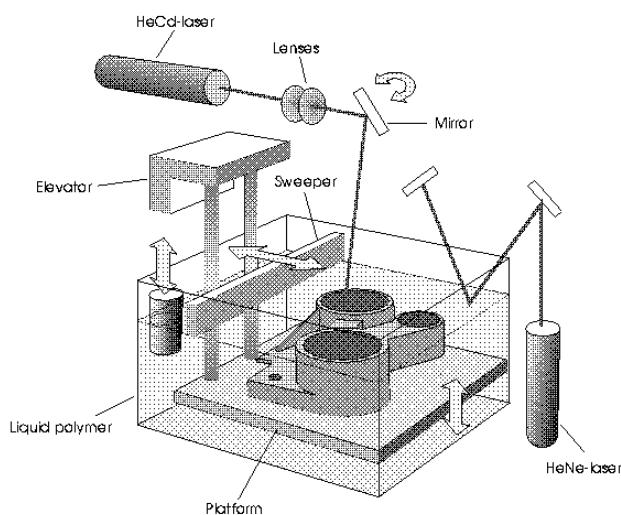
7.2.1 Τρόπος λειτουργίας

Από τα συστήματα στερεάς μοντελοποίησης λαμβάνεται ένα αρχείο τύπου **STL**. Αυτό τροφοδοτείται στο σύστημα RP που κόβει **λεπτές οριζόντιες διατομές** διαμέσου του αρχείου STL, στο επιθυμητό πάχος (πχ. 0.2mm). Το εξάρτημα δημιουργείται σε στρώματα. Το σύστημα RP χειρίζεται τη σποίβα των ψηφιακών διατομών για να παράγει το κάθε επίπεδο υλικού, το έναν πάνω από το άλλο.

7.3 Τεχνολογίες Ταχείας Πρωτυποποίησης

7.3.1 Στερεολιθογραφία - Sterolithography

Αναπτύχθηκε και εκμεταλλεύθηκε εμπορικά από την εταιρεία 3D Systems Inc.



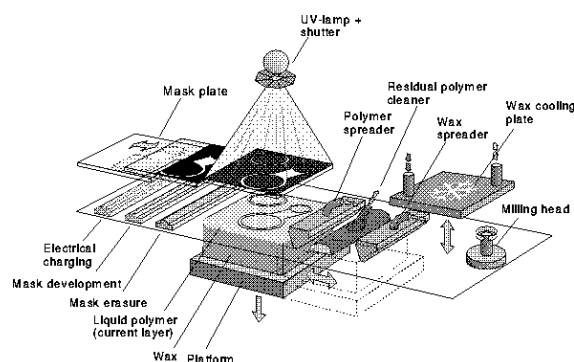
Σχήμα 7.3 : (α). Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της στερεολιθογραφίας – (β). SLA5000, από τις τελευταίες SLA μηχανές της 3D Systems Inc

Αρχικά, ο ανελκυστήρας βρίσκεται σε μια απόσταση από την επιφάνεια του ρευστού ίση με το πάχος του πρώτου στρώματος. Η ακτίνα laser σαρώνει την επιφάνεια. Το ρευστό είναι φωτο-πολυμερές και με τις υπεριώδεις ακτίνες laser στερεοποιείται. Ο ανελκυστήρας μετακινείται προς τα κάτω και με την ίδια διαδικασία παράγεται το επόμενο επίπεδο. Στο τέλος το μοντέλο αφαιρείται από το διάλυμα και το παγιδευμένο στο εσωτερικό του μοντέλου ρευστό, αφαιρείται σε ειδικό φούρνο.

Η ακτίνα laser που στερεοποιεί το ρευστό είναι η ακτίνα HeCd. 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 πετυχαίνεται επίπεδη επιφάνεια και ελαχιστοποιεί το χρόνο διαδικασίας για κάθε layer. Απαιτούνται υποστηρικτικές κατασκευές που αφαιρούνται συνήθως χειροκίνητα στο τέλος. Ο χρόνος σάρωσης εξαρτάται από την γεωμετρία των περιγραμμάτων και την ταχύτητα του laser. Το πάχος των επιπέδων μπορεί να είναι 0.1 mm, κατασκευάζει μοντέλα βάρους μέχρι και 68 kg, λειτουργεί σε Windows NT, και έχει βάρος σχεδόν 1700 kg.

7.3.2 Solid Ground Curing

Το σύστημα SOLIDER αναπτύχθηκε από την εταιρεία Cubital. Έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με την στερεολιθογραφία, με σημαντικά όμως διαφορετική διαδικασία.



Σχήμα 7.4 : (α). Η διαδικασία Solid Ground Curing - (β). Το σύστημα SGC 5600 της CUBITAL

Πρώτη διαφορά : Το διάλυμα μετακινείται και οριζόντια μεταφέροντας τον ενεργό χώρο διαδικασίας σε διαφορετικούς σταθμούς στη μηχανή.

Δεύτερη διαφορά : Η πηγή φωτός και η διαδικασία. Χρησιμοποιείται λάμπα υπεριώδους φωτός που φωτίζει το θάλαμο και στερεοποιείται όλο η στρώση. Για να επιλεγεί η περιοχή που πρέπει να στερεοποιηθεί,

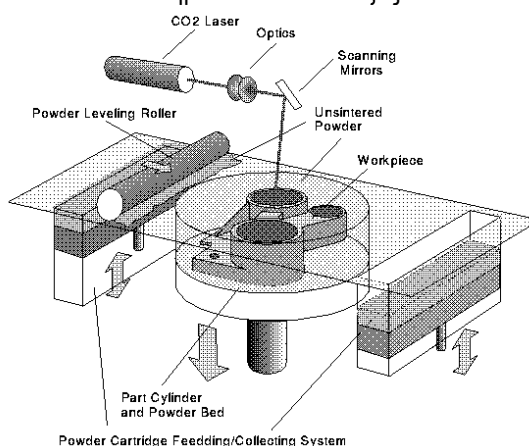
δημιουργείται μια μάσκα σε μια γυάλινη επιφάνεια και σβήνεται διαδοχικά μετά τη χρήση της. Η γυάλινη πλάκα με τη μάσκα τοποθετείται μεταξύ της λάμπας και της επιφάνειας του χώρου εργασίας.

Τρίτη διαφορά : Τα μοντέλα χτίζονται περικυκλωμένα από κερί, περιορίζοντας την ανάγκη χρήσης κατασκευών για υποστήριξη. Μόλις μια στρώση έχει εκτεθεί στο υπεριώδες φως της λάμπας, οι περιοχές που δεν έχουν στερεοποιηθεί, αυτές που γεμίζουν με υπολείμματα, αντικαθίστανται με κερί. Αυτό επιτυγχάνεται με εξάλειψη των καταλοίπων και στρώνοντας έναν layer από κερί. Πετυχαίνεται σκλήρυνση του κεριού με μια παγωμένη μεταλλική πλάκα και διαδοχικά ο layer επεξεργάζεται στο σωστό ύψος. Επίσης, ο σταθμός κατεργασίας δίνει τη δυνατότητα να αφαιρεθούν layers. Ο νέος layer του πολυμερούς έχει εφαρμοστεί όταν ο χώρος εργασίας μετακινείται από το χώρο κατεργασίας πίσω στο θάλαμο έκθεσης φωτός.

Οι τελευταίες βελτιώσεις που ανακοινώθηκαν από την Cubital είναι η δυνατότητα να αλλάζει το μέγεθος του χώρου κατεργασίας και μια επιπλέον λάμπα υπεριώδους φωτός. Το σύστημα αυτό της Cubital μπορεί να πετύχει πάχος layer ίσο με 0.1-0.2 mm, μπορεί να κατασκευάσει έναν layer σε 70 sec και κοστίζει 470.000 \$.

7.3.3 Selective Laser Sintering

Η μέθοδος SLS αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο Austin του Τέξας.



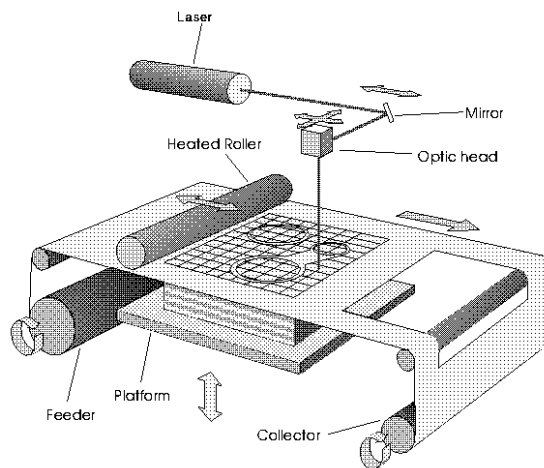
Σχήμα 7.5 : Η διαδικασία SLS.

Στη θέση του ρευστού πολυμερούς, σκόνης από διάφορα υλικά απλώνονται σε μια πλατφόρμα από έναν κύλινδρο. Ένα laser συμπυκνώνει επιλεγμένες περιοχές, αναγκάζοντας τα σωματίδια να λιώσουν και να στερεοποιηθούν. Αντίθετα με τις μεθόδους που παρουσιάστηκαν πιο πριν, όπου υπάρχει μόνο μια μεταβατική φάση, στην διαδικασία SLS υπάρχουν δύο : από στερεό σε ρευστό και πίσω πάλι σε στερεό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται και διερευνούνται είναι: πλαστικό, κερί, μέταλλο και επικαλυμμένα κεραμικά. Πιστεύεται πως θα είναι εφικτό να κατασκευάζονται μοντέλα και από άλλα υλικά, εκτός από πλαστικό, που να έχουν τις απαιτούμενες ιδιότητες με αυτές τις μεθόδους.

Η διαδικασία που αναπτύχθηκε στο Austin εκμεταλλεύεται εμπορικά η εταιρεία DTM Corp. Επίσης η εταιρεία EOS GmbH έχει παρουσιάσει στην αγορά μια διαδικασία που διεξάγεται με τις ίδιες αρχές.

7.3.4 Laminated Object Manufacturing - LOM

Η εταιρεία HELISYS ανέπτυξε και εκμεταλλεύεται εμπορικά ένα σύστημα το οποίο 'κόβει' και 'ενοποιεί' ελάσματα.

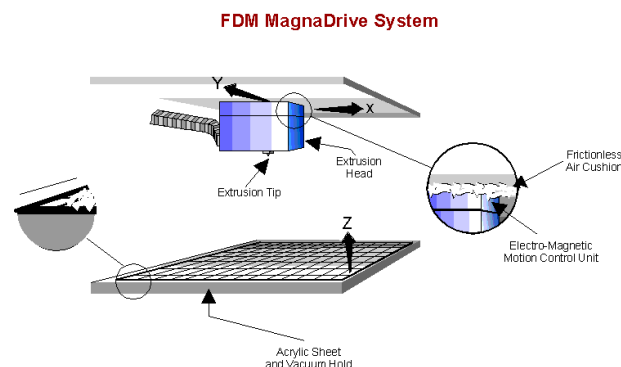


Σχήμα 7.6 : Η διαδικασία LOM

Το κάτω μέρος της επιφάνειας του ελάσματος έχει μια συγκολλητική ουσία, η οποία όταν πιεσθεί και θερμανθεί από έναν κύλινδρο, την αναγκάζει να κολλήσει πάνω στο προηγούμενο έλασμα. Το έλασμα κόβεται από ένα laser ακολουθώντας το περίγραμμα της τομής. Το πάχος του ελάσματος δεν είναι σταθερό. Συνεπώς, ένας αισθητήρας μετράει το πάχος του παρόντος ελάσματος και το μοντέλο κόβεται ανάλογα.

7.3.5 Fused Deposition Modeling

Η διαδικασία FDM αναπτύχθηκε από την εταιρεία Stratasys Inc. Υλοποιείται εξωθώντας λιωμένο υλικό διαμέσου ενός x-y ελεγχόμενου στομίου, πάνω σε ένα αφρώδες υπόστρωμα. Το υλικό έρχεται σε νηματώδη μορφή σε ένα καρούλι, το οποίο τροφοδοτείται στο πίσω μέρος της μηχανής. Το νήμα σπρώχνεται μέσω θερμαινόμενων άκρων στο στόμιο καθώς κινείται και εξωθείται. Η κίνηση και προέκταση ελέγχονται έτσι ώστε το υλικό να κατατίθεται παίρνοντας τη μορφή διαδοχικών layers ενός τρισδιάστατου μοντέλου.

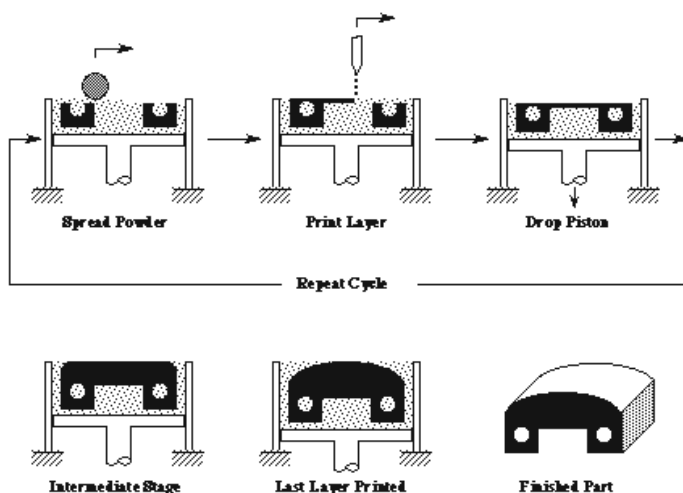


Σχήμα 7.7 : Το νέο σύστημα της Stratasys, Quantum με MagnaDrive Τεχνολογία

Η κεφαλή εξώθησης του συστήματος, περιέχει μια μονάδα ελέγχου Ηλεκτρο-μαγνητικής κίνησης και κινείται πάνω από την μεταλλική πλάκα. Η κεφαλή απωθείται από την πλάκα από ένα κύμα αέρα για να διατηρείται στο επιθυμητό ύψος. Αυτός ο τρόπος επιτρέπει στην κεφαλή να κινείται με μεγάλες ταχύτητες, όταν οι προστριβές τείνουν στο μηδέν. Το σύστημα Quantum έχει τη δυνατότητα να κατασκευάζει μοντέλα με διαστάσεις ως 600x500x600 mm.

7.3.6 Three Dimensional Printing

Η διαδικασία 3D Printing είναι μια διαδικασία Ταχείας Πρωτοτυποποίησης η οποία αναπτύχθηκε από την IBM και στη συνέχεια πουλήθηκε στην εταιρεία Stratasys Inc. Και αυτή η διαδικασία κατασκευάζει μοντέλα 'χτίζοντας' layer by layer'.



Σχήμα 7.8 : (α) Μια αναπαράσταση της διαδικασίας 3D Printing σε 5 φάσεις, (β) Το σύστημα Genisys και (γ) μερικά πρωτότυπα που κατασκευάστηκαν με 3D Printing

Αρχικά, στρώνεται ένα μικρό στρώμα από σκόνη στην επιφάνεια του εμβόλου. Από ένα μοντέλο σχεδιασμένο σε σύστημα CAD, υπολογίζονται οι απαραίτητες πληροφορίες για τα στρώματα, μέσω ενός αλγορίθμου. Χρησιμοποιώντας τεχνολογία παρόμοια με αυτή των ink-jet εκτυπωτών, ένα υλικό ενοποιεί τα σωματίδια στα σημεία εκείνα όπου το αντικείμενο πρέπει να είναι ένα σώμα. Το έμβολο τότε, χαμηλώνει τόσο ώστε να απλωθεί η νέα σκόνη και να ενοποιηθεί επιλεκτικά. Αυτή η διαδικασία, στρώμα-στρώμα επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί το μοντέλο. Με μια κατάλληλη θερμική διαδικασία, αφαιρείται η ελεύθερη σκόνη αφήνοντας πίσω το μοντέλο. Πολλοί επιμένουν πως η διαδικασία 3D Printing είναι πιο ευέλικτη από όλες τις τεχνολογίες.

7.4 Σύγκριση των μεθόδων

Στηρίζεται στον χρόνο κατασκευής, το κόστος και τη λειτουργικότητα. Καμία από τις τεχνολογία Ταχείας Πρωτοτυποποίησης, δεν υπερέρχει σε όλα. Κάθε μία έχει περιορισμούς που επιβάλλονται από το κόστος, την ακρίβεια, τα υλικά, την γεωμετρία και το μέγεθος του μοντέλου. Στον Πίνακα 7.1 δίνεται μια περίληψη των διαφορών μεταξύ των διαδικασιών που αναφέραμε πιο πριν. Η σύγκριση είναι ελλιπής γιατί λείπουν αρκετά σημαντικά στοιχεία, όπως οι τιμές των εξοπλισμών, το κόστος υποστήριξης και το κόστος των υλικών.

Process	SLA 250	SOLIDER 5600	SLS 2000	LOM 1015	3D PRINTING
Company	3D Systems	Cubital	DTM	Helisys	Stratasys
Max Part Size (mm)	254x254x254	508x508x355	305x381, ØxHeight	330x2540x381	203x203x203
Layer Thickness (mm)	0.1-0.9	0.05-0.15	0.13	0.005-0.05	-
Speed (Vertical)	Geometry Dependent	60-100 layer/hour	Geometry Dependent	10mm/hour	101mm/sec
Accuracy	0.2 mm	0.1 % all directions	(+/-)0.05-(+/-) 0.25 mm	(+/-) 0.127mm	(+/-) 0.127mm
Materials	Photocurable Resins	Photoc. Resins, Wax	PVC,Nylon,ABS/S AN,Wax	Paper,Nylon, Polyester	Durable Polyester

Πίνακας 7.1: Σύγκριση των χαρακτηριστικών των διαδικασιών

Όταν το κομμάτι δεν χωρά στον χώρο της μηχανής, μπορούμε να το χωρίσουμε σε τμήματα, τα κατασκευάζουμε ξεχωριστά και τα συναρμολογούμε στο τέλος. Τα δεδομένα παρέχονται σε τριγωνοποιημένα μοντέλα, STL format. Όλοι οι προμηθευτές παρέχουν εργαλεία λογισμικού για την επιβεβαίωση, διόρθωση και τεμαχισμό των μοντέλων. Η αρχιτεκτονική του λογισμικού και η ποιότητα τους ποικίλει σημαντικά. Υπάρχουν και διαδικασίες 'φθηνής πρωτοτυποποίησης'. Αυτές οι μέθοδοι φαίνονται στον Πίνακα 7.2.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ				
ΜΗΧΑΝΗ	Actua 2100	Genisys	Model MakerII	JP System 5
ΕΤΑΙΡΕΙΑ	3D Systems	Stratasys	Sanders Prototype	Schroff Development
ΧΩΡΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	250 X 200 X 200 mm	203 X 203 X 203 mm	152 X 304 X 228 mm	Standard Edition: 305 mm width cutter Premier edition: 305 mm width cutter
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Print head with 96 jets delivers thermopoly-mer material layer by layer	A 3D printer with ma-terial fed through an extrusion head layer by layer	Liquid-to-solid inkjet plotter deposits two materials layer by layer	Cutting slices with cutter of plotter and manually position the sheets layer by layer
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	Allegro Software and TCP/IP socket	Allegro Software and TCP/IP socket	ModelWorks (opera tes with SLC, STL, AutoCAD DXF, HPGL and OBJ files).	Imports STL.
ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	----	---	0.013 – 0.13 mm	0.1 –0.3 mm
ΑΚΡΙΒΕΙΑ	-/ 300 DPI	0.356mm/0.33 mm	0.025 mm (x,y) 0.013 (z)	No particular level of accuracy is guaranteed.
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ	Cartridge holding ther-mopolymer material (fragile plastic polymer)	Cassettes holding wafers of plastic polymer (durable plastic polymer)	Thermoplastic beads and wax beads sepa-rately poured into the reservoir become molten thermoplastic and wax	Paper
ΜΕΓΕΘΟΣ	1370 X 760 X 1120 (mm)	914 X 737 X 813 (mm)	685 X 381 X 685 (mm)	610 X 1220 (mm) area
ΒΑΡΟΣ	415 kg	84 kg	40.8 kg	

Πίνακας 7.2 : Χαρακτηριστικά μηχανών ταχείας πρωτοτυποποίησης 'χαμηλού κόστους'.