

# **Ταχεία Πρωτοτυποποίηση**

## **Τεχνικές και Βιομηχανικές εφαρμογές**



Σπουδαστές : **ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ**

**ΠΑΠΑΝΙΚΟΥ ΑΘΗΝΑ**

Εισηγητής : **ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2004

*Ευχαριστούμε τον εισηγητή της πτυχιακής μας  
εργασίας Κο. Γεώργιο Αναστασόπουλο για  
τη σωστή καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά  
του.*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Α.Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΩΝ.

Το αντικείμενο αυτής είναι η Τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης. Μια σχετικά νέα τεχνολογία που συνεχώς εξελίσσεται. Είναι ένα πεδίο με εξαιρετικό εμπορικό, βιομηχανικό και ερευνητικό ενδιαφέρον. Σήμερα, πολλά εργαστήρια σε όλο τον κόσμο σχεδιάζουν και πραγματοποιούν ερευνητικά προγράμματα που αφορούν την συγκεκριμένη τεχνολογία.

Η πτυχιακή αυτή η εργασία περιλαμβάνει έξι κεφαλαία. Το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και αποσκοπεί στο να οριοθετήσει τις τεχνολογίες CAD/CAM/CAE και να παρουσιάσει τη σχέση τους με την τεχνολογία της ταχείας πρωτοτυποποίησης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται βασικά στοιχεία της ταχείας πρωτοτυποποίησης και τα στάδια της διαδικασίας της. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα συστήματα και οι τεχνικές της, ενώ στο τέταρτο παρουσιάζεται η ροή της πληροφορίας μέσα σε ένα σύστημα ταχείας πρωτοτυποποίησης. Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις εφαρμογές της τεχνολογίας στους σημαντικότερους τομείς. Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται σε στατιστικά στοιχεία, καθώς και στη μελλοντική ανάπτυξη της τεχνολογίας της ταχείας πρωτοτυποποίησης.

**Α. ΠΑΠΑΝΙΚΟΥ -- Η. ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ**



# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ CAD / CAM / CAE ΚΑΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ.**

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απαίτηση για αύξηση της παραγωγικότητας και της ποιότητας των προϊόντων στις σύγχρονες κοινωνίες έστρεψε τους παραγωγικούς φορείς στην υιοθέτηση μεθόδων παραγωγής με τη χρήση υπολογιστών. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την ολοκληρωτική, σχεδόν , μεταβολή στην φιλοσοφία σχεδίασης της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς οι εφαρμοζόμενες σήμερα παραγωγικές μέθοδοι έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικής ικανότητας των συντελεστών της παραγωγής, την αύξηση της παραγωγικότητας των οικονομιών και την αλματώδη άνοδο της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων.

Η μείωση του κόστους των υπολογιστών, ιδιαίτερα των προσωπικών και των μίνι-υπολογιστών, αλλάζει τον τρόπο εργασίας ενός εργοστασίου. Η αύξηση στη χρήση των υπολογιστών είχε ως αποτέλεσμα την εξέλιξη σε πολλούς τομείς συνδεδεμένους με υπολογιστές όπως CAD,CAM,CNC. Συγκεκριμένα, η εμφάνιση των RP συστημάτων δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την ύπαρξη του CAD. Η τεχνολογία RP παρέχει τη σύνδεση, από τη θεωρία της παραγωγής στην παραγωγική πραγματικότητα σε μια, λογικά, γρήγορη έκφραση.

Όταν κανείς εξετάσει το πλήθος των συστημάτων ταχείας πρωτοτυποποίησης που υπάρχουν σήμερα, μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητό ότι εκτός του CAD, πολλές άλλες τεχνολογίες και πρόοδοι σε άλλους τομείς όπως συστήματα, κατασκευαστικά στοιχεία και υλικά είναι εξίσου βασικά στην ανάπτυξη των συστημάτων ταχείας πρωτοτυποποίησης. Ο πίνακας 1 που ακολουθεί καταγράφει την ιστορική ανάπτυξη διαφόρων τεχνολογιών.

Έτος έναρξης	Τεχνολογία
1770	Μηχανοποίηση
1946	Ο πρώτος υπολογιστής
1952	Η πρώτη μηχανή αριθμητικού ελέγχου NC
1960	Το πρώτο εμπορικό Laser
1961	Το πρώτο εμπορικό Robot
1963	Το πρώτο αμφίδρομο γραφικό σύστημα (GUI)
1988	Το πρώτο εμπορικό σύστημα <b>ταχείας πρωτοτυποποίησης</b>

Πίνακας 1.

## 1.2 CAD / CAM

Ο όρος CAD/CAM σημαίνει σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer – Aided Design)/βιομηχανική παραγωγή με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer – Aided Manufacturing). Είναι μια τεχνολογία που συνδυάζει δυο δραστηριότητες, τη σχεδίαση και την παραγωγή, που παραδοσιακά θεωρούνταν ξεχωριστές, σε ένα ενιαίο σύνολο, με προοπτική την ολοκληρωμένη αυτοματοποίηση των διαδικασιών της παραγωγής (Computer Integrated Manufacturing – CIM ) στις βιομηχανίες.

Ο όρος CAM αναφέρεται στη χρήση υπολογιστικών συστημάτων για τον προγραμματισμό (plan) , διαχείριση και έλεγχο των λειτουργιών σε μια βιομηχανική μονάδα, με άμεση ή έμμεση σύνδεση του υπολογιστή με τους συντελεστές της παραγωγής. Στην περίπτωση της άμεσης σύνδεσης (computer monitoring and control) ο υπολογιστής συμμετέχει άμεσα στην παραγωγική

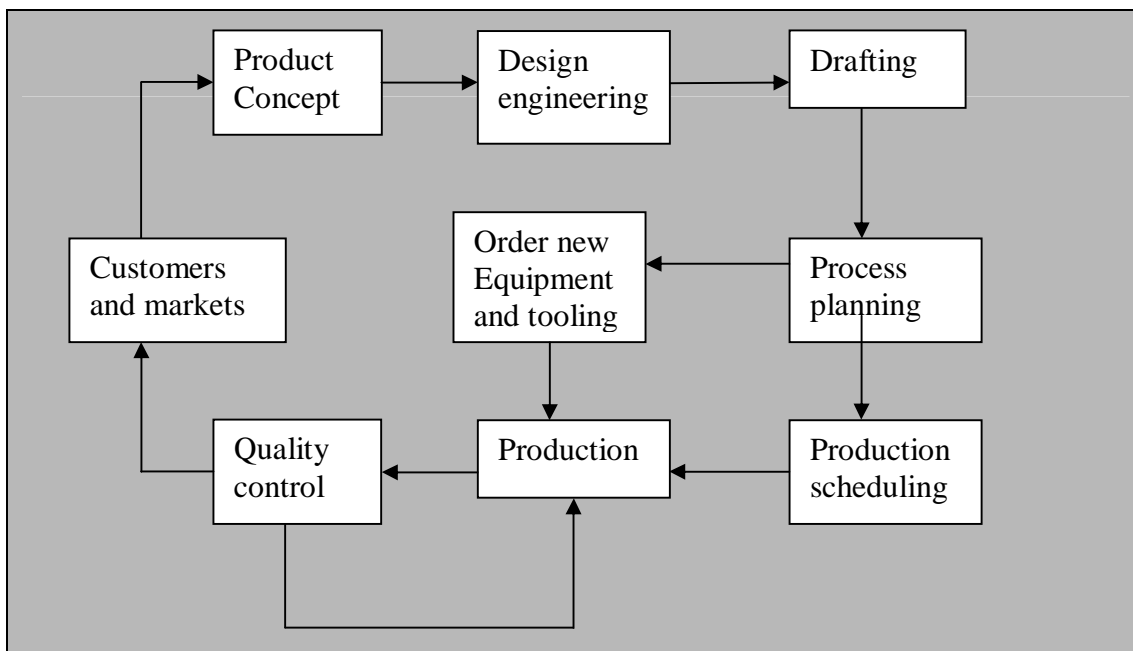
διαδικασία, παρακολουθώντας την εξέλιξη της και ελέγχοντας την, ενώ στην περίπτωση της έμμεσης σύνδεσης (manufacturing support applications ) ο υπολογιστής χρησιμεύει στην υποστήριξη της παραγωγικής διαδικασίας. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογιστής λειτουργεί «off – line» για τη δημιουργία πλάνων, εντολών, πληροφοριών κ.α., με τη βοήθεια των οποίων η διαχείριση του παραγωγικού συστήματος γίνεται αποδοτικότερη σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους. Τέτοιες λειτουργίες είναι ο προγραμματισμός των εργαλειομηχανών, της γραμμής παραγωγής και των ακατέργαστων πρώτων υλών, η συλλογή στοιχείων για τον έλεγχο της πορείας της παραγωγικής διαδικασίας κ.α. Σ' αυτές τις λειτουργίες είναι φανερή η ανάγκη ανθρώπινης παρουσίας για την εισαγωγή στοιχείων στον υπολογιστή ή για τη λήψη των αποτελεσμάτων και τη διεξαγωγή των απαραίτητων λειτουργιών.

Η χρήση συστημάτων CAD/CAM συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας σχεδιασμού, διαχείρισης της παραγωγικής διαδικασίας, ευκολία στην έγκαιρη διάγνωση λαθών και επανόρθωση, μείωση του χρόνου παραγωγής, ευκολία εκπαίδευσης σε νέα παραγωγικά συστήματα κ.α.

### **1.3 CAD / CAM ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Για τον προσδιορισμό της έννοιας CAD/CAM περιγράφεται ο κύκλος παραγωγής ενός προϊόντος που διακρίνεται παρακάτω.



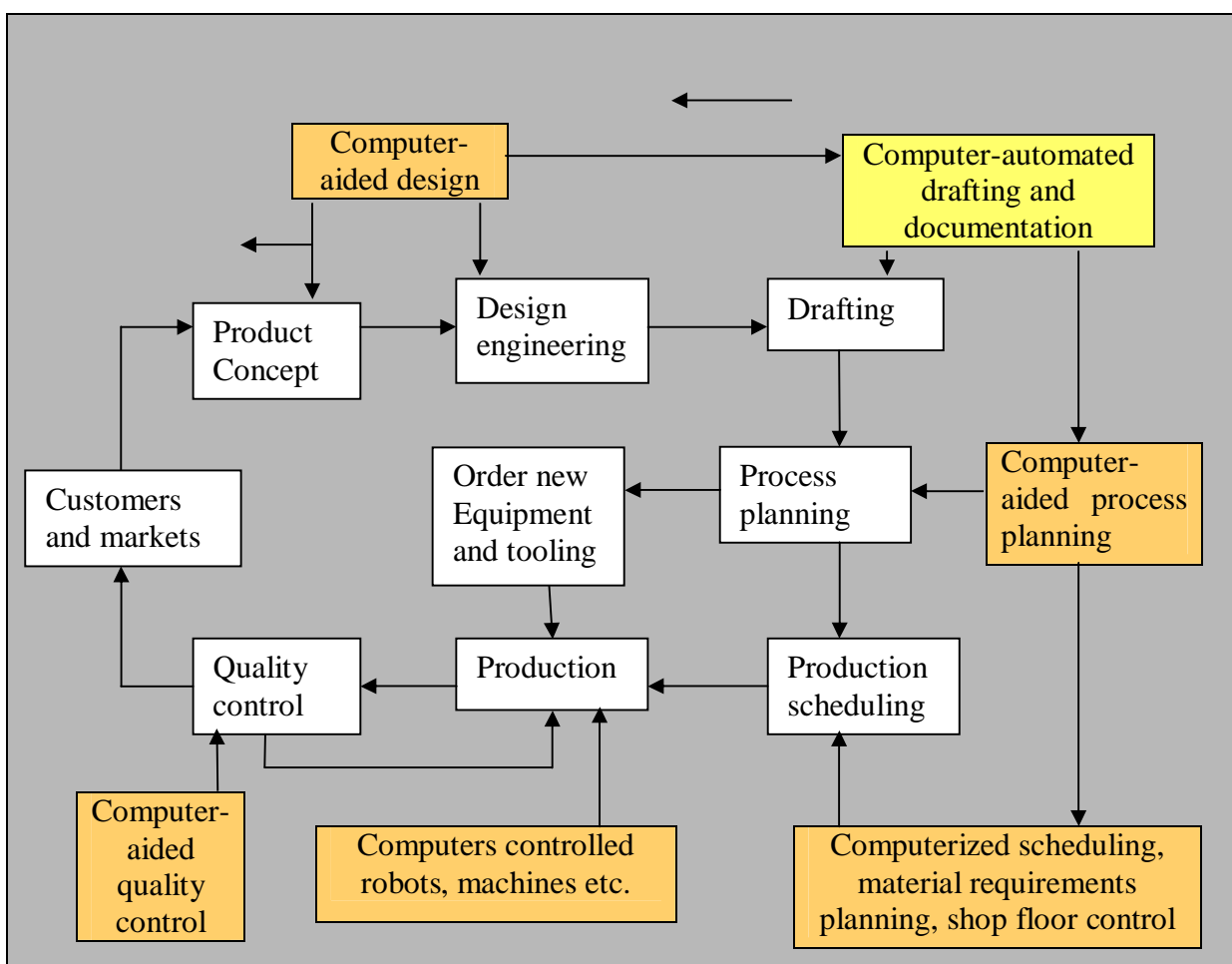


Σχ.1.1 ο κύκλος παραγωγής

Ο κύκλος αρχίζει με την απαίτηση της αγοράς για παραγωγή ενός προϊόντος (Customers and markets). Η ιδέα για το προϊόν (concept) που δημιουργείται, μετασχηματίζεται σε μοντέλο μέσω της σχεδίασης (Design engineering) και καταλήγει σε πρωτόλειο σχέδιο (Drafting). Στη συνέχεια καθορίζεται η διαδικασία προγραμματισμού (Process Planning) μέσω του χρονοδιαγράμματος της παραγωγής (Production scheduling) και της προμήθειας κατάλληλου εξοπλισμού (Order equipment and tooling). Τελικά το προϊόν επιστρέφει στην αγορά, αφού περάσει από ποιοτικό έλεγχο (Quality control), κλείνοντας τον κύκλο παραγωγής.

Η επίδραση των λειτουργιών CAD/CAM στον κύκλο παραγωγής διακρίνονται στο σχ. 1. Η εξωτερική αλυσίδα είναι μια σειρά από τεχνολογίες CAD/CAM : σχεδίαση με υπολογιστή (Computer-aided design), τελικό στάδιο σχεδίασης και έλεγχος (Computer-automated drafting and documentation), διαδικασία προγραμματισμού μέσω υπολογιστή (Computer-aided process planning),

υπολογισμό των απαιτούμενων υλικών (material requirements), έλεγχος των εργαλειομηχανών(Computers controlled robots, machines), ποιοτικός έλεγχος με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer-aided quality control). Αυτό έχει σαν συνέπεια την αύξηση της παραγωγικότητας των παραγωγικών μονάδων , την ορθή λειτουργία των παραγωγικών διαδικασιών και την αύξηση της απόδοσης των πόρων και των συντελεστών της παραγωγής.



Σχ.1.2. : Ο κύκλος παραγωγής όπως επηρεάζεται από την τεχνολογία CAD/CAM.

#### 1.4 CAD/CAM ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ

Ανάλογα με το προϊόν που παρασκευάζεται, την ποσότητα των προϊόντων, το είδος κατεργασίας κ.λ.π., διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες παραγωγικών διαδικασιών :

- (α) Διαδικασίες συνεχούς ροής (Continuous – flow processes) : είναι οι διαδικασίες επεξεργασίας μεγάλων ποσοτήτων ρευστών, συνήθως, πρώτων υλών, όπως στις χημικές βιομηχανίες.
- (β) Μαζική παραγωγή (Mass production of discrete products) : παραγωγή σε μεγάλες ποσότητες ενός μόνο προϊόντος, όπως στις αυτοκινητοβιομηχανίες, βιομηχανίες παραγωγής μηχανών κ.λ.π.
- (γ) Παραγωγή περιορισμένων ποσοτήτων (Batch production) που μπορεί να επαναλαμβάνεται περιοδικά, όπως παραγωγή βιβλίων, ρούχων κ.α.
- (δ) Παραγωγή μικρών ποσοτήτων (Job shop production): συχνά ενός μόνο προϊόντος, στο οποίο ειδικεύονται οι κατασκευαστές και είναι, συνήθως, σύνθετο τεχνολογικά. Αυτά, κυρίως, κατασκευάζονται κατά παραγγελία, όπως τα αεροπλάνα, εργαλειομηχανές κ.λ.π.

#### 1.4.1 CAD

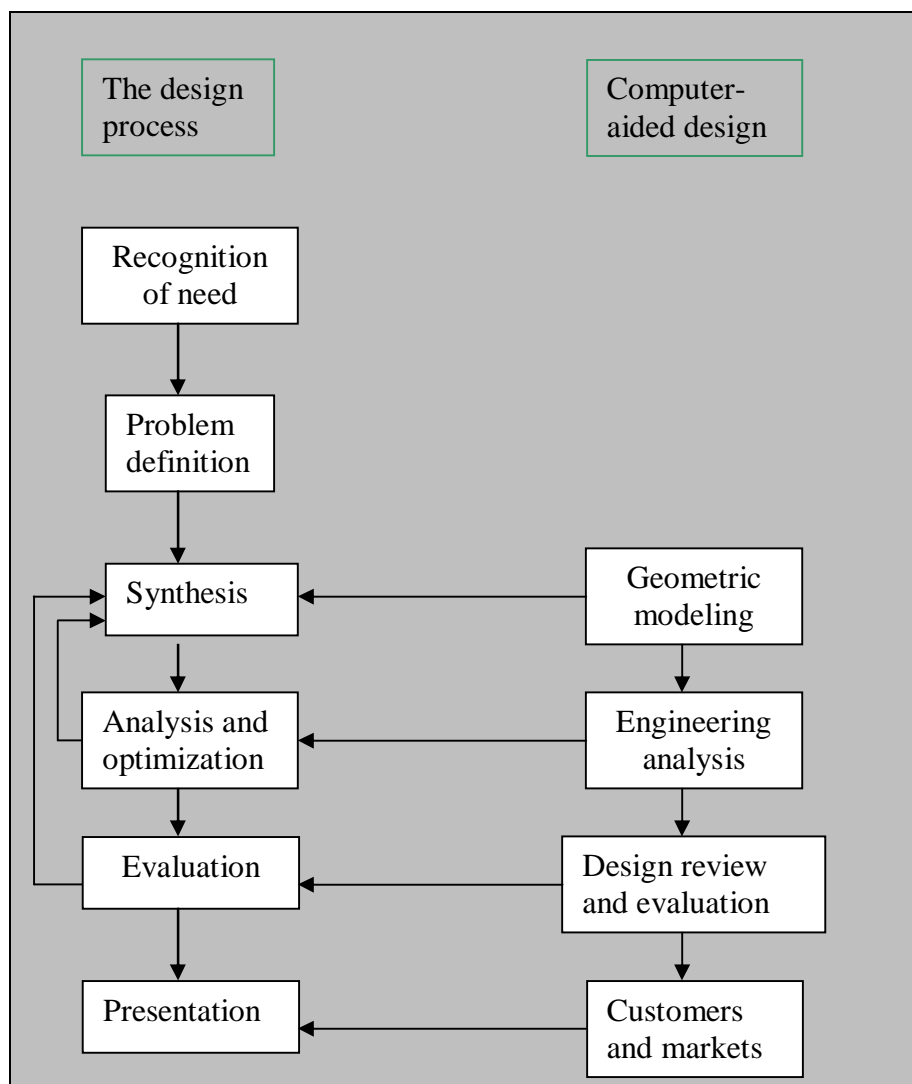
Οι λόγοι χρησιμοποίησης μεθόδων CAD είναι πολλοί και μεταξύ τους οι εξής :

- (α) Αύξηση της παραγωγικότητας του σχεδιαστή, με τη δυνατότητα που του δίνεται να μειώσει το χρόνο για ανάλυση, σύνθεση και τεκμηρίωση, κατά τη σχεδίαση.
- (β) Βελτίωση της ποιότητας σχεδίασης.
- (γ) Βελτίωση της τεκμηρίωσης κατά τη σχεδίαση, με ακριβή και εμπειριστατωμένα σχέδια.
- (δ) Δημιουργία βιομηχανικής βάσης δεδομένων με πλήρη στοιχεία για τις προδιαγραφές των προϊόντων.

Η σχεδίαση, όπως έχει προσδιορισθεί, είναι μια βηματική διαδικασία, στην οποία διακρίνονται έξι στάδια :

- § Αναγνώριση της ανάγκης (Recognition of need).
- § Διατύπωση του προβλήματος (Definition of the problem).
- § Σύνθεση (Synthesis).
- § Ανάλυση και Βελτιστοποίηση (Analysis and Optimization).
- § Αποτίμηση – Αξιολόγηση (Evaluation).
- § Παρουσίαση (Presentation).

Σύμφωνα με το σχήμα 1.3, η μέθοδος CAD επιδρά σε τέσσερα στάδια της σχεδίασης.

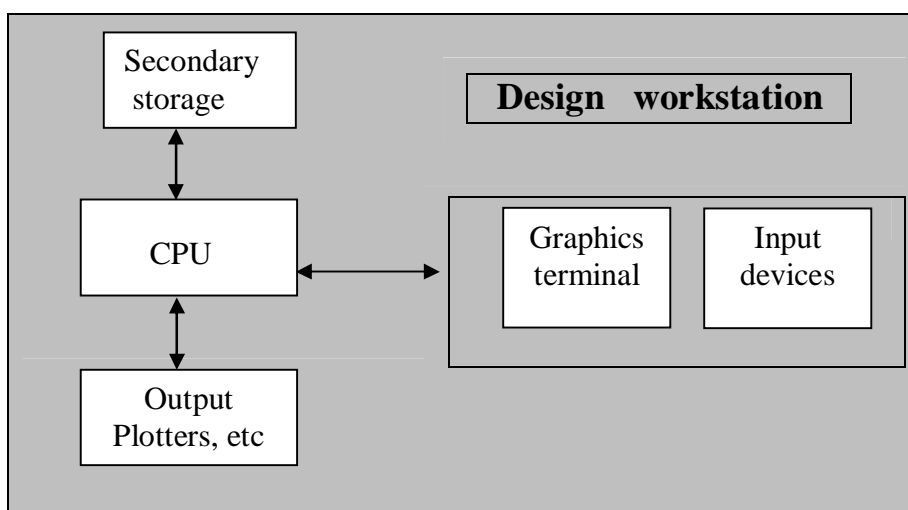


Σχ. 1.3. : Διαδικασία σχεδίασης με τη χρήση μεθόδων CAD

- (α) Στο στάδιο της σύνθεσης, όπου και δημιουργείται το γεωμετρικό πρότυπο του προϊόντος (Geometric modeling). Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιείται το σύστημα CAD για την ανάπτυξη μιας μαθηματικής περιγραφής της γεωμετρίας του αντικειμένου, που ονομάζεται πρότυπο (μοντέλο). Για την οπτική απεικόνιση του προτύπου χρησιμεύει ένα σύστημα γραφικών (graphics terminal κ.α.), που μπορεί να παρουσιάσει το πρότυπο υπό μορφή περιγράμματος (wire – frame model) ή με τη μορφή στερεού σώματος (solid model). Στα σημερινά συστήματα CAD είναι συνήθης η πρόσθεση χρώματος και η δυνατότητα «ζωντανής» παρουσίασης με την προσθήκη κίνησης (animation) κ.α.
- (β) Στο στάδιο της ανάλυσης και της βελτιστοποίησης η συμβολή του συστήματος CAD είναι καθοριστική, γιατί περιλαμβάνει επίπονες διαδικασίες επιστημονικής ανάλυσης με υπολογισμούς, γραφικές παραστάσεις κ.α. Η ανάπτυξη ειδικών πακέτων κατά κατηγορία αντικειμένων, επιστημονικών πεδίων, επιστημονικών μεθόδων κ.λ.π. έχει συμβάλλει ουσιαστικά στην απλοποίηση, συντόμευση και βελτίωση της διαδικασίας, ενώ ο χώρος τείνει να αποκτήσει ξεχωριστή οντότητα με την ονομασία Computer – Aided Engineering – CAE. Ίσως η μεγαλύτερη συμβολή είναι ακριβώς η βελτίωση της διαδικασίας, γιατί πλέον, λόγω των μέσων, δεν χρειάζεται να γίνεται απλοποίηση των προτύπων για ευκολία στους υπολογισμούς, οπότε προκύπτουν ακριβέστερες περιγραφές με λιγότερο κόπο και σε λιγότερο χρόνο.
- (γ) Στο στάδιο της αποτίμησης (Design evaluation and review) χρησιμεύουν προγράμματα που κάνουν μετρήσεις αποστάσεων στο γεωμετρικό πρότυπο (automatic dimensioning routines), μελέτη της αλληλεπίδρασης

των αντικειμένων (interference checking routines), και μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς των αντικειμένων (kinematics routines).

- (δ) Στο στάδιο της παρουσίασης το σύστημα CAD λειτουργεί σαν μηχανή παραγωγής στοιχείων και σχεδίων (automated drafting machines) με πολύ υψηλή ποιότητα.



Σχ.1.4 Τυπικός σταθμός εργασίας CAD

Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζεται ένα τυπικό σύστημα CAD, όπου ο σταθμός εργασίας (design workstation) χρησιμεύει για την επικοινωνία σχεδιαστή – συστήματος και περιλαμβάνει συσκευές για την είσοδο δεδομένων (keyboard, electronic keypad, light pen, mouse, joystick, electronic tablet κ.α.). Ο επεξεργαστής του συστήματος είναι ο υπολογιστής (συνήθως σήμερα των 32-bits), που διαθέτει συχνά μαθηματικό συνεπεξεργαστή και εκτελεί τους υπολογισμούς. Η βοηθητική μνήμη μπορεί να είναι μαγνητικοί δίσκοι, μαγνητικές ταινίες κ.α., για την αποθήκευση των προγραμμάτων εφαρμογών και των δεδομένων σχεδίασης (application programs and design data).

Για την σχεδίαση χρησιμεύουν ειδικές συσκευές, όπως printers, x-y plotters, electrostatic plotters κ.α. Με την ανάπτυξη των προσωπικών υπολογιστών και των σταθμών εργασίας (PC – workstations) υπάρχουν στην διάθεση των σχεδιαστών αποδοτικά συστήματα CAD σε προσιτές τιμές. Αυτά μπορούν να λειτουργούν ξεχωριστά ή να συνδέονται μεταξύ τους με τοπικό δίκτυο (στα πλαίσια μιας επιχείρησης ή εργοστασίου) ή με ένα μεγάλο υπολογιστή (mainframe) με σκοπό την αύξηση των δυνατοτήτων ανά σταθμό σχεδίασης, ανταλλαγή δεδομένων, συνεργασία στη σχεδίαση κ.α.

Έτσι από την πλευρά του υλικού διακρίνουμε αυτοτελή (stand-alone) συστήματα και τερματικά συστήματα, που συνδέονται προς ένα μεγαλύτερο υπολογιστή (host computer) και τη βάση δεδομένων και μεθόδων του. Από την πλευρά του λογισμικού διακρίνουμε

§ συστήματα με προκαθορισμένη δυνατότητα λειτουργιών (πολλές φορές με προκαθορισμένο hardware) και περιορισμένη δυνατότητα διασύνδεσης με άλλα συστήματα και

§ ελεύθερα προγραμματιζόμενα συστήματα, με δυνατότητα διασύνδεσης και φορητότητας των δεδομένων και των εφαρμογών.

Από την πλευρά του συστήματος, διακρίνουμε συστήματα με κοινή χρήση χρόνου (time-sharing), όπου διάφορα προγράμματα εφαρμογών εκτελούνται ταυτόχρονα στον ίδιο υπολογιστή, ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και συστήματα με κοινή χρήση του συστήματος (system-sharing) όπου διάφοροι χρήστες εργάζονται σε ένα κοινό πρόγραμμα εφαρμογών στον ίδιο υπολογιστή και βάση δεδομένων και μεθόδων, διαμοιραζόμενοι τους πόρους του συστήματος.

### 1.4.2 CAM

Οι μέθοδοι CAM μπορούν να διακριθούν σε μεθόδους προγραμματισμού της παραγωγής (manufacturing planning) και μεθόδους ελέγχου (manufacturing control). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν μέθοδοι off-line, που αναφέρονται:

- § στον προσδιορισμό του κόστους (cost estimating) των νέων προϊόντων
- § στον προγραμματισμό της παραγωγικής διαδικασίας (Computer-Aided Process Planning – CAPP)
- § στον προγραμματισμό των μηχανών (computerized machinability data systems)
- § στον έλεγχο των εργαλειομηχανών (computer – assisted NC programming)
- § στη δημιουργία πρωτοτύπων εργασίας (development of work standards) για τον προσδιορισμό του χρόνου εργασίας των υπαλλήλων σε κάθε φάση της παραγωγής
- § στη διευθέτηση της γραμμής παραγωγής (computer – aided line balancing)
- § στον προγραμματισμό προμηθειών (production and inventory planning) για την αριστοποίηση της ροής πρώτων υλών και την διατήρηση αποθεμάτων στα οικονομικότερα επίπεδα.

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν μέθοδοι on-line, κυρίως, που αναφέρονται στα πεδία:

- § του ελέγχου διαδικασιών (process control)
- § του ποιοτικού ελέγχου (quality control)
- § της συλλογής δεδομένων (shop floor control) κ.α.



Στο πεδίο του ελέγχου διαδικασιών περιλαμβάνονται τα αντικείμενα:

- § των γραμμών παραγωγής (transfer lines)
- § των συστημάτων συναρμολόγησης (assembly systems)
- § του αριθμητικού ελέγχου (NC – DNC – CNC)
- § του χειρισμού των υλικών (material handling) και
- § των ευέλικτων συστημάτων βιομηχανικής παραγωγής (Flexible Manufacturing Systems – FMS).

### **1.4.3 CIM**

Η ολοκληρωμένη αυτοματοποίηση των διαδικασιών της παραγωγής (CIM) είναι μια καινούργια αντιμετώπιση του προβλήματος οργάνωσης των παραγωγικών διαδικασιών, που σαν όρος είναι ευρύτερος του CAD / CAM. Ένα σύστημα CIM, περιλαμβάνει σαν επιμέρους τμήματα τα CAD, CAM και το επιπλέον τμήμα που αφορά τις εμπορικές δραστηριότητες. Τα τμήματα αυτά αλληλεπιδρούν με στόχο την επιτάχυνση της παραγωγικής λειτουργίας, την αύξηση της απόδοσης του συνολικού συστήματος, δηλαδή την αύξηση της παραγωγικότητας, η οποία είναι ο βασικός δείκτης στη σύγχρονη οικονομία.

### **1.5 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Οι αρχές του CAD / CAM εντοπίζονται στα αριθμητικά συστήματα ελέγχου (Numerical Control-NC) που είναι ένα είδος προγραμματιζόμενων συστημάτων ελέγχου, όπου οι διαδικασίες ελέγχονται με την βοήθεια αριθμών, γραμμάτων και συμβόλων, τα οποία συνθέτουν πρόγραμμα κατεργασίας αντικειμένου. Για διαφορετική κατεργασία συντίθεται διαφορετικό πρόγραμμα.

Ένα σύστημα αριθμητικού ελέγχου (NC) απαρτίζεται από το πρόγραμμα, τη μονάδα ελέγχου (Machine Control Unit – MCU) και τα εργαλεία (machine tools). Το πρόγραμμα εισάγεται ή από τον χρήστη (Manual Data Input – MDI) ή αυτόματα, με τη βοήθεια υπολογιστή (Direct Numerical Control – DNC). Η μονάδα ελέγχου μπορεί να είναι ένα ψηφιακό σύστημα ή ένας μικροϋπολογιστής, που προσφέρει μεγάλη ευελιξία στο σύστημα (Computer Numerical Control – CNC) και χρησιμοποιείται συχνότερα.

Για την εφαρμογή αριθμητικού ελέγχου απαιτείται

- § ο προγραμματισμός της διαδικασίας,
- § ο προγραμματισμός των κατεργασιών (part programming),
- § η εγγραφή του προγράμματος και ο έλεγχός του και
- § η εκτέλεση του προγράμματος παραγωγής.

Ο αριθμητικός έλεγχος μειώνει το χρόνο αδράνειας των εγκαταστάσεων, αυξάνει την ευελιξία τους και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, αλλά απαιτεί μεγαλύτερη αρχική επένδυση, έχει μεγαλύτερο κόστος συντήρησης, λόγω πολυπλοκότητας, και απαιτεί πιο εξειδικευμένο προσωπικό.

Έχουν αναπτυχθεί ειδικές γλώσσες προγραμματισμού (Automatically Programmed Tool – APT, ADAPT, EXAPT κ.α.) ο οποίος είναι δυνατόν να γίνεται με «ζωντανό» ή διαδραστικό (interactive) τρόπο, ακόμη και με την χρήση φωνής.

## **1.6 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ CAD / CAM**

Η ανάπτυξη ενός συστήματος CAD / CAM (CIM) προϋποθέτει την προμήθειά του από κάποιο προμηθευτή, την επέκταση ενός υπάρχοντος υπολογιστικού

συστήματος με συσκευές γραφικών και CAD / CAM software ή την πλήρη ανάπτυξη του συστήματος από την αρχή. Το τελευταίο, βέβαια, απαιτεί την προμήθεια του σχετικού υλικού και την ανάπτυξη του σχετικού λογισμικού από τον χρήστη, πράγμα ασύνηθες. Η πλέον συνήθης εκδοχή είναι η προμήθεια ενός συστήματος από την αγορά (turnkey system) και γι' αυτή τίθενται κριτήρια, που αναφέρονται στις απαιτήσεις της εταιρείας, η οποία θέλει να το προμηθευτεί, όπως ο όγκος εργασίας, ο αριθμός λειτουργιών κ.α.

Πριν την προμήθεια κρίνεται σκόπιμη η επίσκεψη σε ομοειδείς εταιρείες, που χρησιμοποιούν συστήματα CAD / CAM για την άντληση εμπειρίας και η προσεκτική μελέτη των προσφερόμενων συστημάτων. Με τις ενέργειες αυτές ο αριθμός των πιθανών προμηθευτών θα έχει περιοριστεί σε πολύ λίγους, για τα συστήματα των οποίων προσδιορίζεται ο λόγος κόστους / απόδοσης. Ο προμηθευτής με τον καλύτερο λόγο είναι ο πρώτος στη σειρά προτίμησης. Σκόπιμο είναι να κληθεί να επιτελέσει μια δοκιμασία του συστήματος για τις συγκεκριμένες λειτουργίες (benchmark) της επιχείρησης. Αν η δοκιμασία λήξει επιτυχώς, ανοίγει ο δρόμος της προμήθειας. Αν όχι, εξετάζεται ο δεύτερος σε σειρά προμηθευτής κ.ο.κ.

Μετά την προμήθεια του συστήματος υπάρχει δυνατότητα εμπλουτισμού των προγραμμάτων εφαρμογών σε ειδική γραφική γλώσσα (Graphics Programming Language – GPL) ή σε μια γλώσσα ανώτερου επιπέδου. Εδώ υπάρχει ο κίνδυνος επίδρασης στον πηγαίο κώδικα (source code) του συστήματος, πράγμα που πρέπει να αποφεύγεται.

Οι τιμές όμοιων συστημάτων CAD / CAM δε διαφέρουν αισθητά, έτσι η διαδικασία καθορισμού κριτηρίων επιλογής είναι συνήθως ένα δύσκολο πρόβλημα, που απαιτεί ειδικές γνώσεις της αγοράς. Έκτος του κόστους,

σημαντικοί είναι και πολλοί άλλοι παράγοντες, όπως το προσφερόμενη υποστήριξη, η αξιοπιστία των συσκευών, του λογισμικού και της προμηθεύτριας εταιρείας, ο πλούτος του συστήματος (λογιστικά, system management, γλώσσες προγραμματισμού, συμβατότητα κ.α.), η καταλληλότητα για τις εφαρμογές (ηλεκτρικές / ηλεκτρονικές, μηχανολογικές κ.α.), που στηρίζεται στην ύπαρξη κατάλληλων περιφερειακών, βάσεων δεδομένων κ.α.

## 1.7 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Οι προοπτικές της τεχνολογίας CAD / CAM / CIM είναι συνυφασμένες με τις εξελίξεις σε πολλούς τομείς της παραγωγής. Είναι γνωστό ότι ο κύκλος ζωής των προϊόντων συνεχώς μικραίνει, όχι τόσο γιατί αυτά δεν έχουν αντοχή, όσο διότι τα νέα προϊόντα προσφέρουν περισσότερες ευκολίες, υπό καλύτερους λόγους κόστους / απόδοσης (π.χ. αυτοκίνητα, αεροπλάνα κ.α.) ....ενώ η εμφάνισή τους καθιστά τα προηγούμενα ξεπερασμένα τεχνολογικά.

Αυτό ωθεί σε ολοένα αυξανόμενη απαίτηση για επιτάχυνση της διαδικασίας σχεδίασης / παραγωγής που, ασφαλώς, συντελεί στην εφαρμογή μεθόδων CAD / CAM / CIM. Από την άλλη πλευρά, οι απαιτήσεις ποιότητας και αξιοπιστίας των προϊόντων ωθούν στην ανάπτυξη όλο και πιο εξελιγμένων μεθόδων παραγωγής.

Η χρήση νέων υλικών (π.χ. στα αυτοκίνητα) και η παραγωγή προϊόντων για όλες τις επιμέρους απαιτήσεις, η παραγωγή τμηματικά των προϊόντων από διάφορες βιομηχανίες (π.χ. chips από μια εταιρεία, υπολογιστές από άλλη, λογισμικό από άλλη κ.ο.κ.), καθιστούν την παραγωγική διαδικασία ένα πολύπλοκο σύστημα που για να ελεγχθεί απαιτεί τη χρήση μεθόδων CAD / CAM / CIM.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ.**

## 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ρυθμοί με τους οποίους συντελούνται οι εξελίξεις, δεν έχουν αφήσει ανεπηρέαστη τη βιομηχανική παραγωγή. Καθώς ο καταναλωτής ζει μέσα σε ένα κλίμα συνεχών αλλαγών, αναζητεί την ανανέωση μέσα από νέα προϊόντα. Έτσι προκύπτουν αλλαγές στα προϊόντα, είτε στην εξωτερική τους εμφάνιση, είτε στα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Οι συχνές αλλαγές απαιτούν ελαχιστοποίηση του χρόνου απόσβεσης των επενδύσεων.

Πέρα από το καθαρά οικονομικό σκέλος, το μεγαλύτερο πρόβλημα εμφανίζεται στο νεκρό χρόνο που απαιτείται για να προσαρμοστεί η γραμμή παραγωγής στο νέο προϊόν. Ο μόνος τρόπος αντίδρασης είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου δοκιμών, με την όσο το δυνατόν ευκολότερη και ταχύτερη παραγωγή πρωτοτύπων, που θα συνδυάζουν όχι μόνο χαμηλό κόστος και ταχεία κατασκευή, αλλά θα προσφέρουν και τις απαιτούμενες παραμέτρους αντοχής. Οι δυνατότητες που προσφέρουν αυτά τα πρωτότυπα δίνουν σχετική ευελιξία στη βιομηχανία και συντελούν στην ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής.

Ένα από τα κύρια ενδιαφέροντα των βιομηχανιών σε όλο τον κόσμο από τις αρχές του 1990 αποτελεί και η εστίαση στην παραγωγικότητα. Με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας, οι βιομηχανίες έχουν προσπαθήσει να εφαρμόσουν περισσότερο αυτοματισμό στην κατασκευή. Μεταξύ των τελευταίων τεχνολογιών που κατακτούν την βιομηχανία είναι και η τεχνολογία της **Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (Solid Freeform Fabrication ή Desktop Manufacturing ή Layer Manufacturing Technologies)**.

## 2.2 ΤΑΧΕΙΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

Είναι μία σχετικά νέα τεχνολογία κατασκευής μοντέλων στρώμα-στρώμα (layer by layer) που μειώνει 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 και ανάπτυξης 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 ερευνητικά εργαστήρια. 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.

Οι μηχανουργικές μέθοδοι πρωτοτυποποίησης δεν πρέπει να υποεκτιμούνται. Οι νέες εξελίξεις που έγιναν στον τομέα κυρίως με την εισαγωγή εργαλειομηχανών CNC τριών και περισσοτέρων αξόνων αύξησαν σημαντικά τις δυνατότητές τους. Οι πιο απλές εργαλειομηχανές τριών αξόνων αποτελούνται από ένα τραπέζιο το οποίο μετακινείται σε δύο κατευθύνσεις  $x$  και  $y$  και έναν κάθετο περιστρεφόμενο  $z$  άξονα. Οι πιο πολύπλοκες εργαλειομηχανές πέντε αξόνων έχουν επιπλέον περιστροφική δυνατότητα από άξονες που είναι είτε παράλληλοι με τον  $x$  είτε τον  $y$  άξονα μετατόπισης αυξάνοντας σημαντικά τις δυνατότητες κατεργασίας μοντέλων με πολύπλοκη γεωμετρία.

Μπορούν να κατεργαστούν διάφορα υλικά όπως πλαστικό (ABS), ξύλο, κερί, αλουμίνιο, ορείχαλκο, κ.α. Ωστόσο, ο όρος Rapid Prototyping Technology έχει

καθιερωθεί να περιγράφει τις νέες τεχνολογίες που κατασκευάζουν μοντέλα με προσθήκη υλικού και όχι με αφαίρεση.

### **2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ**

Ο όρος Ταχεία Πρωτοτυποποίηση (Rapid Prototyping) αναφέρεται σε μια κατηγορία τεχνολογιών που μπορούν αυτόματα να κατασκευάσουν φυσικά μοντέλα από CAD δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν στους σχεδιαστές να δημιουργούν, πολύ γρήγορα, υλικά πρωτότυπα από τα σχέδια τους.

Μερικά μοντέλα έχουν πολλές χρήσεις. Αυτά λειτουργούν άριστα, ως εποπτικά μέσα διδασκαλίας για διαβιβαστικές ιδέες με συναδέλφους εργαζόμενους ή πελάτες. Επιπλέον, τα πρωτότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σχεδιαστικό έλεγχο, καθώς και προσομοίωση της στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς του μοντέλου.

Οι σχεδιαστές πάντα αξιοποιούσαν τα πρωτότυπα. Η ταχεία πρωτοτυποποίηση τους επιτρέπει να τα κατασκευάζουν γρηγορότερα και λιγότερο ακριβά.

Επιπροσθέτως, οι τεχνικές ταχείας πρωτοτυποποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή (αναφέρεται ως ταχεία παραγωγή- Rapid Tooling) και ακόμη κατασκευή (αναφέρεται ως ταχεία κατασκευή- Rapid Manufacturing). Για μικρή παραγωγή καλουπιών και πολύπλοκων αντικειμένων, η ταχεία πρωτοτυποποίηση είναι συχνά η καλύτερη διαδικασία κατασκευής που διατίθεται. Φυσικά, “ταχεία” είναι ένας σχετικός όρος. Τα περισσότερα πρωτότυπα χρειάζονται από 3 έως 72 ώρες για να κατασκευαστούν, αυτό εξαρτάται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του αντικειμένου.

Αυτή η διαδικασία κατασκευής μπορεί να φαίνεται χρονοβόρα, αλλά σίγουρα είναι πολύ πιο γρήγορη από την κατασκευή ενός πρωτοτύπου με παραδοσιακό



τρόπο όπως μηχανουργικά (machining), που μπορεί να χρειαστεί εβδομάδες ή και μήνες για να ολοκληρωθεί. Αυτά τα αποθέματα χρόνου, που εξοικονομούνται, επιτρέπουν στους κατασκευαστές να παράγουν και να προωθούν προϊόντα στην αγορά γρηγορότερα και περισσότερο οικονομικά.

Τουλάχιστον έξι διαφορετικές Τεχνικές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης είναι εμπορικά διαθέσιμες, η καθεμία με εξαιρετικές δυνατότητες. Επειδή οι τεχνολογίες Ταχείας Πρωτοτυποποίησης χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο σε μη-πρωτοτυποποιημένες εφαρμογές, οι τεχνικές συνήθως αναφέρονται συλλογικά ως Solid Freeform Fabrication, Computer Automated Manufacturing or layered Manufacturing. Ο πιο πρόσφατος όρος είναι ιδιαίτερα περιγραφικός για τη διαδικασία κατασκευής, συνηθισμένη από εμπορικές τεχνικές.

Η Ταχεία Πρωτοτυποποίηση είναι μια “προσθετική” διαδικασία ενώνοντας επίπεδα από χαρτί, κερί ή πλαστικό για να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο.

Σε αντίθεση, οι περισσότερες μηχανικές διαδικασίες (οδόντωση, διάτρηση, λείανση) είναι διαδικασίες “αφαίρεσης” που αφαιρούν υλικό από ένα στερεό σώμα. Η προσθετική φύση της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης επιτρέπει σε αυτή να δημιουργήσει αντικείμενα με περίπλοκα εσωτερικά χαρακτηριστικά που δεν μπορούν να κατασκευαστούν με άλλους τρόπους.

## 2.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ

### 2.4.1 Βασικές αυτοματοποιημένες διαδικασίες

Υπάρχουν τρεις θεμελιώδεις διαδικασίες επεξεργασίας. Αυτές είναι: **αφαίρεσης** (subtractive), **προσθετικές** (additive) και **συμπιεστικές** (compressive).

Στην πρώτη κατηγορία χρησιμοποιείται μπλοκ υλικού από το οποίο αφαιρείται κατάλληλη ποσότητα υλικού διαμορφώνοντας το τελικό σχήμα του προϊόντος. Στις προσθετικές διαδικασίες, το προϊόν χτίζεται μέσω της ενοποίησης σωματιδίων ή της πρόσθεσης στρώσεων υλικού. Στις συμπιεστικές μεθόδους ένα ημίρρευστο ή ρευστό υλικό υπόκειται σε κατάλληλες πιέσεις ώστε να πάρει την επιθυμητή μορφή στην οποία στερεοποιείται.

Οι περισσότερες συμβατικές μέθοδοι πρωτοτυποποίησης ανήκουν στην κατηγορία των αφαιρετικών μεθόδων. Αυτές περιλαμβάνουν μηχανουργικές διαδικασίες όπως η τόννευση και το φρεζάρισμα. Οι μηχανουργικές μέθοδοι είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν σε πολύ μικρά μοντέλα ή σε περιπτώσεις που υπάρχουν μικρές οπές ή «κρυφές» περιοχές και πολύπλοκες γεωμετρίες. Οι συμπιεστικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την απλή και την υπό πίεση χύτευση.

Οι νέες τεχνολογίες Ταχείας Πρωτοτυποποίησης βασίζονται σε προσθετικές διαδικασίες. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούν σε : φωτοπολυμερή, θερμοπλαστικό και κολλώδη.

Στα φωτοπολυμερή συστήματα τοποθετούνται μικρές δόσεις υγρής ρητίνης η οποία στην συνέχεια στερεοποιείται μέσω της έκθεσής της σε ακτινοβολία με συγκεκριμένο μήκος κύματος. Τα θερμοπλαστικά συστήματα ξεκινούν από στερεά υλικά τα οποία λειώνουν και συγχωνεύονται με ψύξη. Τα κολλώδη

συστήματα χρησιμοποιούν κατάλληλες συγκολλητικές ουσίες για να συγκρατήσουν το κατασκευαστικό υλικό.

Τα συστήματα RP έχουν την δυνατότητα να κατασκευάσουν πολύ μικρά μοντέλα με πολύπλοκες γεωμετρίες, οπές ή κρυφές περιοχές. Επίσης η ολοκλήρωση της τεχνολογίας RP με συμβατικές συμπιεστικές μεθόδους έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη ανάπτυξη καλουπιών. Η τεχνολογία RP ξεκίνησε να διατίθεται εμπορικά από το 1987 με την παρουσίαση του πρώτου συστήματος Στερεολιθογραφίας.

#### **2.4.2 Αλυσίδα διαδικασίας**

Όλες οι τεχνικές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης ακολουθούν την ίδια αλυσίδα διαδικασίας. Η αλυσίδα αυτή αποτελείται από τα εξής πέντε βασικά βήματα :

1. Τρισδιάστατη σχεδίαση - 3D Modeling.
2. Μετατροπή και μετάδοση δεδομένων – Data conversion and transmission.
3. Έλεγχος και προετοιμασία – Checking and preparing.
4. Κατασκευή – Building.
5. Μετά-επεξεργασία του μοντέλου (καθαρισμός) – Postprocessing.

Ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα του μοντέλου, στα βήματα τρία και πέντε αντίστοιχα, η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί έως ότου επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

## 1. Τρισδιάστατη σχεδίαση

Η προηγμένη τρισδιάστατη σχεδίαση CAD είναι μια γενική προϋπόθεση στις διαδικασίες Ταχείας Πρωτοτυποποίησης και είναι συνήθως το πιο χρονοβόρο μέρος ολόκληρης της αλυσίδας διαδικασίας. Είναι πολύ σημαντικό ότι τέτοια τρισδιάστατα γεωμετρικά πρότυπα μπορούν να μοιραστούν από ολόκληρη την ομάδα σχεδιασμού για πολλούς διαφορετικούς σκοπούς, όπως οι μελέτες παρεμβάσεις, αναλύσεις πίεσης, σχέδιο λεπτομέρειας και απεικόνισης, προγραμματισμός της κατασκευής, συμπεριλαμβανομένου του προγραμματισμού NC.

Πολλά συστήματα CAD/CAM έχουν τρισδιάστατη γεωμετρική σχεδιαστική δυνατότητα με αυτές τις ειδικές ενότητες. Υπάρχουν δυο κοινές παρερμηνείες μεταξύ των νέων χρηστών Ταχείας Πρωτοτυποποίησης. Αρχικά, αντίθετα από τον NC προγραμματισμό, η Ταχεία Πρωτοτυποποίησης απαιτεί ένα κλειστό όγκο του προτύπου, είτε τα βασικά στοιχεία είναι επιφανειακά είτε στερεά. Αυτή η σύγχυση προκύπτει επειδή οι νέοι χρήστες είναι συνήθως εξοικειωμένοι με τη χρήση του NC προγραμματισμού, όπου μια ενιαία επιφάνεια ή ακόμα και μια γραμμή στοιχείου μπορεί να γίνει ένα στοιχείο NC. Αυτές οι παρερμηνείες οδηγούν συχνά σε κακή απόδοση και μη βέλτιστη χρησιμοποίηση του συστήματος.

Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιαστικό κομμάτι, όπου και πρέπει να ληφθούν υπόψη : ο προσανατολισμός των μερών, η ανάγκη για τις στηρίξεις, οι δυσκολίες που παρουσιάζονται στη δομή κομματιών όπως λεπτοί τοίχοι, μικρές αυλακώσεις ή τρύπες και επικρεμάμενα στοιχεία. Επομένως, όσοι χρησιμοποιούν την ταχεία πρωτοτυποποίηση πρέπει να μάθουν και να αποκτήσουν εμπειρία από την εργασία στο σύστημα. Το πρόβλημα είναι

περισσότερο σύνθετο απ'ότι κάποιος μπορεί να φανταστεί επειδή υπάρχουν πολλές διαφορετικές μηχανές ταχείας πρωτοτυποποίησης που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και ικανότητες.

## **2. Μετατροπή και μετάδοση δεδομένων**

Το στερεό ή επιφανειακό μοντέλο για να δομηθεί μετατρέπεται σε στερεολιθογραφικό αρχείο (STL). Τα στερεολιθογραφικά αρχεία προσεγγίζουν τις επιφάνειες του μοντέλου με πολύ μικρά τρίγωνα. Στις ιδιαίτερα κυρτές επιφάνειες είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν πολλά τρίγωνα για καλύτερη προσέγγιση , με αποτέλεσμα να μεγαλώσει ο όγκος του αρχείου.

Αυτό το στάδιο μετατροπής είναι ίσως το απλούστερο και το συντομότερο από ολόκληρη την αλυσίδα διαδικασίας. Εν τούτοις, για πολύπλοκα μοντέλα που συνδέονται με μια εξαιρετικά χαμηλή απόδοση ενός σταθμού εργασίας ή ενός προσωπικού υπολογιστή, σε κανονικές συνθήκες η μετατροπή δε διαρκεί περισσότερο από λίγα λεπτά της ώρας. Όπου είναι απαραίτητο, οι στηρίξεις μετατρέπονται επίσης σ' ένα χωριστό στερεολιθογραφικό αρχείο. Οι στηρίξεις μπορούν εναλλακτικά να δημιουργηθούν ή να τροποποιηθούν στο επόμενο στάδιο από το λογισμικό τρίτων που επιτρέπει την επαλήθευση και τις τροποποιήσεις των μοντέλων και των στηρίξεων, με σκοπό τον έλεγχο της εγκυρότητας του μοντέλου.

Το στάδιο μετάδοσης είναι επίσης αρκετά απλό. Σκοπός του είναι να μεταφερθούν τα αρχεία STL που βρίσκονται στο σταθμό εργασίας του υπολογιστή προς το σύστημα ταχείας πρωτοτυποποίησης. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο σταθμός εργασίας και το σύστημα ταχείας πρωτοτυποποίησης είναι τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις. Ο σταθμός εργασίας που είναι ένα

εργαλείο σχεδίου, βρίσκεται σε ένα γραφείο σχεδίου. Το σύστημα ταχείας πρωτοτυποποίησης, είναι μια διαδικασία ή μια μηχανή παραγωγής, η οποία βρίσκεται συνήθως σε διαφορετικό χώρο.

Η μετάδοση στοιχείων μέσω έγκυρων μορφών αρχείων (STL, IGES) μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω μιας δισκέτας, ενός e-mail (ηλεκτρονικό ταχυδρομείο) ή του τοπικού δικτύου. Καμία επικύρωση της ποιότητας των αρχείων STL δεν πραγματοποιείται σε αυτή τη φάση.

### **3. Έλεγχος και προετοιμασία**

Αυτό είναι το τρίτο βήμα της αλυσίδας. Σε αυτό το βήμα τα STL αρχεία μπορεί να είναι ελαττωματικά. Αυτό οφείλεται συνήθως στα λάθη που περιέχουν τα σχέδια CAD και στη μη πληρότητα της διασύνδεσης CAD-STL. Προς το παρόν, τα λάθη των μοντέλων CAD διορθώνονται από χρήστες εξειδικευμένου λογισμικού (όπως το MAGIC'S, αναπτυγμένο λογισμικό της Materialize N.V ).

Μόλις τα αρχεία STL ελεγχθούν ότι δεν περιέχουν λάθη, ο υπολογιστής του συστήματος ταχείας πρωτοτυποποίησης αναλύει τα αρχεία που καθορίζουν το μοντέλο που κατασκευάζεται και κατόπιν το τεμαχίζει σε διατομές. Οι διατομές αναδημιουργούνται συστηματικά μέσω της στερεοποίησης είτε των υγρών είτε των στερεών υλικών (σκόνες), είτε ακόμα της τήξης των στερεών, για να διαμορφώσουν έτσι ένα τρισδιάστατο μοντέλο.

Στη Στερεολιθογραφία κάθε αρχείο εξαγωγής τεμαχίζεται σε διατομές πάχους από 0.12 mm έως 0.50 mm. Γενικά, το μοντέλο τεμαχίζεται στο λεπτότερο στρώμα (0.12 ) για να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η *προετοιμασία* των παραμέτρων δόμησης για τον προσδιορισμό θέσης και σταδιακής κατασκευής μπορεί να είναι δύσκολη εάν δεν συνοδεύεται από

κατάλληλη τεκμηρίωση. Αυτό σημαίνει ότι το λογισμικό πρέπει να είναι φιλικό προς το χρήστη για ευκολία χρήσης και χειρισμού. Πρέπει να υπάρχει υποστήριξη χρηστών με εγχειρίδια και τέλος θα πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένη γραφική μορφή διαλόγου ανάμεσα στο χρήστη και το σύστημα ταχείας πρωτοτυποποίησης, με σκοπό τη βελτίωση του συστήματος σε αυτή την κατεύθυνση.

#### **4. Κατασκευή**

Για τα περισσότερα συστήματα ταχείας πρωτοτυποποίησης, αυτό το στάδιο είναι πλήρως αυτοματοποιημένο. Κατά συνέπεια, είναι συνηθισμένο για τους χειριστές να αφήσουν τη μηχανή να χτίσει ένα μέρος κατά τη διάρκεια της νύκτας. Η διαδικασία δόμησης μπορεί να πάρει αρκετές ώρες ανάλογα με το μέγεθος και τον αριθμό των κομματιών που απαιτούνται. Ο αριθμός πανομοιότυπων κομματιών που μπορούν να κατασκευαστούν υπόκειται στο γενικό μέγεθος κατασκευής που περιορίζεται από τον κατασκευαστή του συστήματος ταχείας πρωτοτυποποίησης.

#### **5. Μετά-επεξεργασία**

Το τελευταίο βήμα είναι η μετά-επεξεργασία. Σε αυτή τη φάση, γενικά μερικές χειρωνακτικές διαδικασίες είναι απαραίτητες. Κατά συνέπεια, ο κίνδυνος καταστροφής ή κατάρρευσης ενός τμήματος είναι πολύ υψηλός. Επομένως ο χειριστής σε αυτό το τελευταίο στάδιο διαδικασίας έχει την υψηλή ευθύνη για την επιτυχή πραγματοποίηση της διαδικασίας.

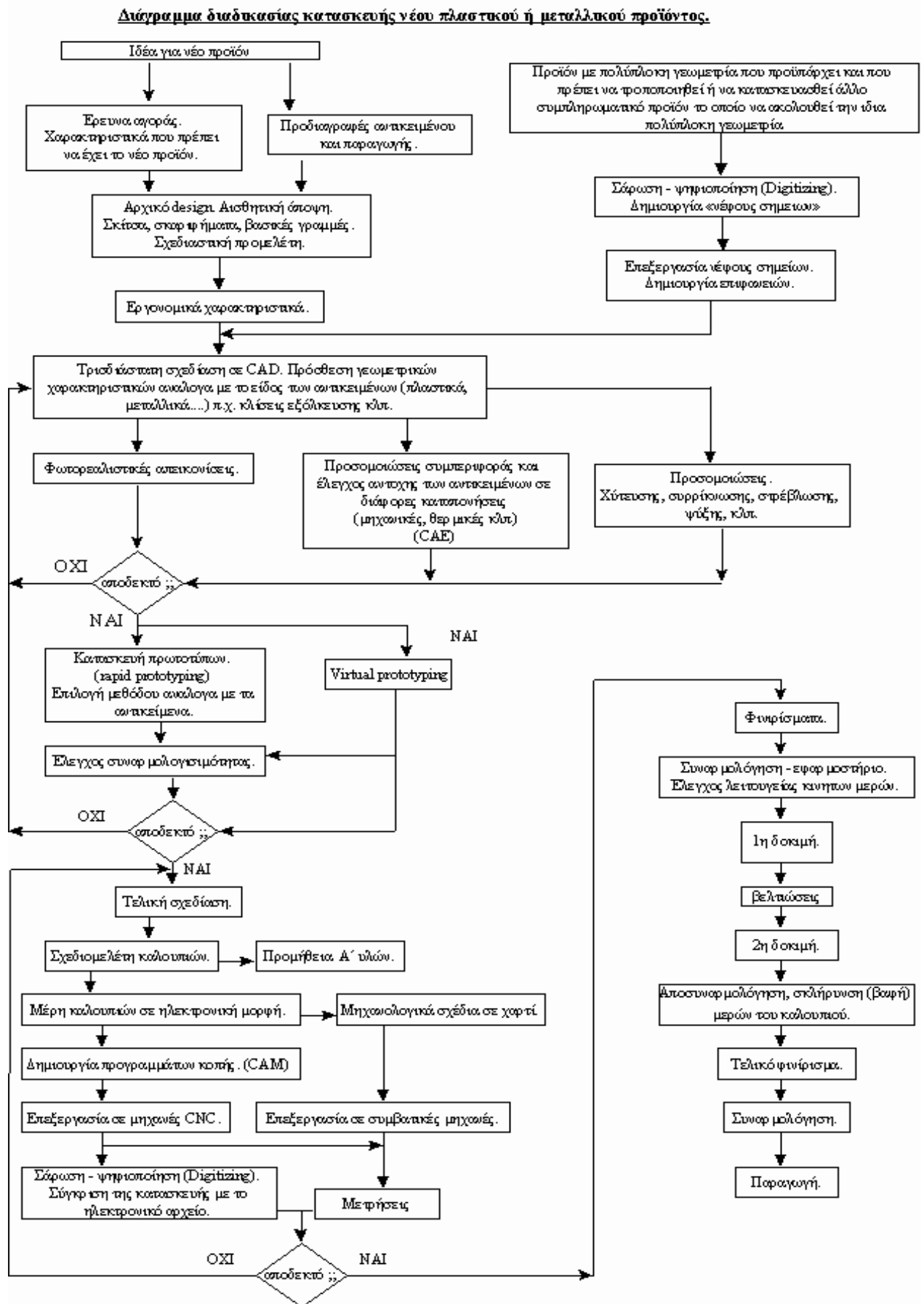
### 2.4.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Για να φτάσει ένα προϊόν στο σημείο της μαζικής παραγωγής, και για να μπορέσει κανείς να εξασφαλίσει ότι ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις χρήσης και ποιότητας και ότι όλα αυτά γίνονται στον ταχύτερο χρόνο και με το βέλτιστο κόστος, πρέπει να ακολουθηθεί το παρακάτω διάγραμμα (σχ 2.1) διαδικασιών.

Με μια πρώτη ματιά θα νομίσει κανείς ότι πρόκειται για μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία η οποία αντί να λύνει, δημιουργεί προβλήματα. Όμως στην πραγματικότητα συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Αν ακολουθηθεί η διαδικασία, το αποτέλεσμα θα είναι σίγουρα αυτό που επιδιώκεται και όχι ότι μας προκύψει. Η όλη διαδικασία εξασφαλίζει την ακρίβεια του σχήματος και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Το διάγραμμα που ακολουθεί αναφέρεται σε πλαστικά ή μεταλλικά αντικείμενα που αποτελούν και την πλειονότητα των προϊόντων.





Σχ. 2.1

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ.**

### 3.1 Συστήματα Ταχείας Πρωτοτυποποίησης

Με τα συστήματα ταχείας πρωτοτυποποίησης σχεδιαστές και μηχανικοί μπορούν να παράγουν τρομερά περίπλοκα σχήματα πρωτοτύπων σε μια μεγάλη ποικιλία υλικών: πλαστικό, κερί, ξύλο, άμμο και μέταλλο. Για να αγοράσει κάποιος μια τέτοια συσκευή θα πρέπει, αρχικά, να ενημερωθεί για τις ποικίλες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τη μείωση του χρόνου παραγωγής ενός φυσικού πρωτότυπου και τμημάτων πρωτότυπου από ένα τρισδιάστατο υπολογιστικό μοντέλο.

Όλα τα συστήματα ταχείας πρωτοτυποποίησης, τα οποία διατίθενται προς πώληση στην αγορά, χρησιμοποιούν ψηφιακής διατομής δεδομένα από τρισδιάστατο μοντέλο για να παράγουν κομμάτια στρώση-στρώση. Ειδικότερα, χρησιμοποιούν πλήθος τεχνικών.

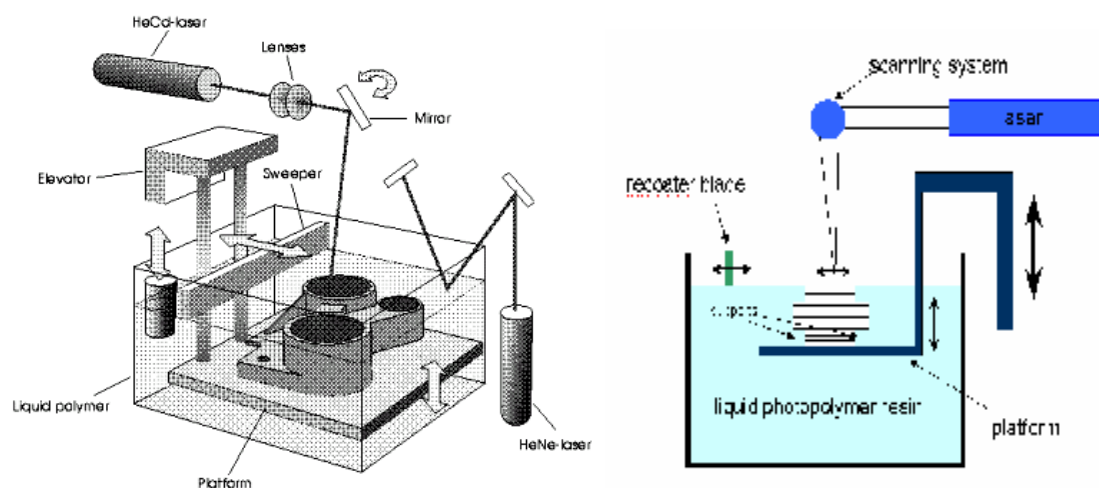
### 3.2 Τεχνολογίες Ταχείας Πρωτοτυποποίησης

- § Στερεολιθογραφία (SL), μια τεχνική που χρησιμοποιείται από τη 3D Systems και τη AAROFLEX, χρησιμοποιεί μια δέσμη λέιζερ για να στερεοποιήσει λεπτά στρώματα πολυμερούς υγρού, ευαίσθητα σε ακτινοβολία UV.
- § Selective Laser Sintering (SLS), μια τεχνική από τη DTM corp, χρησιμοποιεί ρητινούχα θερμοπλαστικά και πλαστικά επικαλυμμένα με άμμο και με μέταλλο.
- § Fused Deposition Modeling (FDM) μια τεχνική που χρησιμοποιείται από την εταιρεία Stratasys Inc, εξωθεί λιωμένο υλικό διαμέσου ενός ελεγχόμενου στομίου, πάνω σε ένα αφρώδες υπόστρωμα.

- § Laminated Object Manufacturing (LOM), χρησιμοποιείται από την εταιρεία Helisys, πλεονεκτεί στο ότι λέιζερ “κόβει” και “ενοποιεί” ελάσματα.
- § Solid Ground Curing (SGC), μια τεχνική που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Cubital και έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με τη στερεολιθογραφία.
- § Three Dimensional Printing (3D Printing) χρησιμοποιεί τεχνολογία ink-jet και “τυπώνει” το μοντέλο στρώμα-στρώμα.

### 3.2.1 Στερεολιθογραφία – Stereo lithography

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



Σχ.3.1 Η διαδικασία της Στερεολιθογραφίας

Αρχικά, ο ανεγκυστήρας 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 φώτο-πολυμερές και με τις υπεριώδης ακτίνες laser στερεοποιείται. Ο ανεγκυστήρας 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 ακτίνα HeCd (Ήλιο-Κάδμιο). 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 layer.



Σχ.3.2 μηχανή Στερεολιθογραφίας



Σχ.3.3 παραγωγή μοντέλου

Απαιτούνται κατασκευές στηρίξεων που αφαιρούνται συνήθως χειροκίνητα στο τέλος. Ο χρόνος σάρωσης εξαρτάται από τη γεωμετρία των περιγραμμάτων και την ταχύτητα του laser.

Το πάχος των επιπέδων μπορεί να είναι 0.1 mm, ενώ κατασκευάζονται μοντέλα βάρους μέχρι και 68 kg. Οι μηχανές λειτουργούν σε περιβάλλον Windows NT και έχουν βάρος σχεδόν 1700 kg.

### 3.2.2 SOLID GROUND CURING

Το σύστημα SOLIDER αναπτύχθηκε από την εταιρεία Cubital. Έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με την στερεολιθογραφία, με σημαντικές διαφορές.



Σχ.3.4 σύστημα SOLIDER



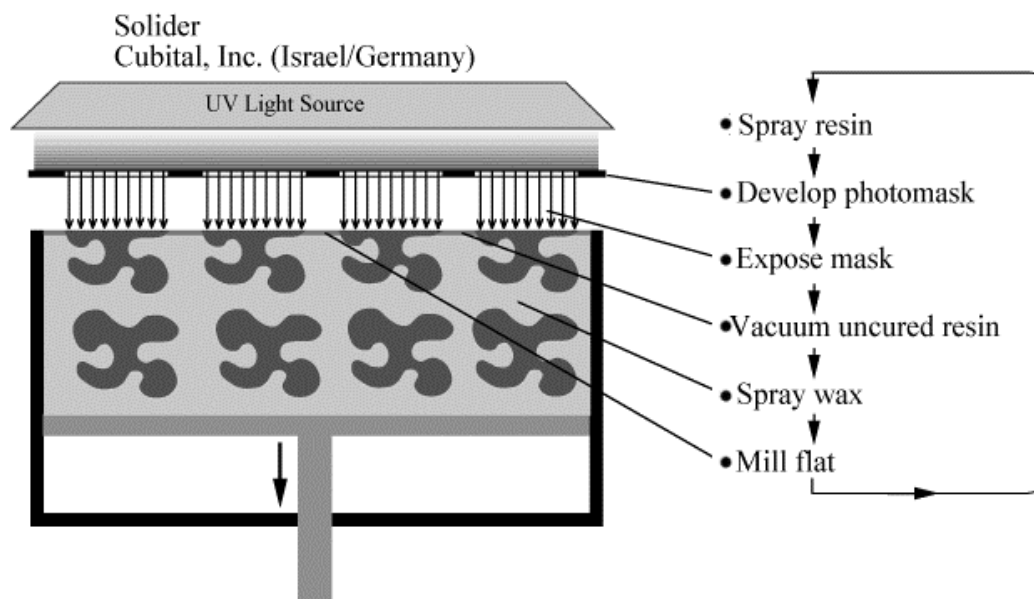
Σχ.3.5 παραγόμενο αντικείμενο

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

2. Η πηγή φωτός και η διαδικασία. Χρησιμοποιείται λάμπα υπεριώδους φωτός που φωτίζει το θάλαμο και στερεοποιείται όλη η στρώση. Για να διαλέξουμε την 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.

3. Τα μοντέλα χιτίζονται 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 ένα layer από κερί. Η σκλήρυνση του κεριού επιτυγχάνεται με μία παγωμένη μεταλλική πλάκα και διαδοχικά το layer επεξεργάζεται στο σωστό ύψος. Επίσης, ο σταθμός κατεργασίας δίνει τη δυνατότητα να αφαιρεθούν επίπεδα- layers. Το νέο layer του πολυμερούς έχει εφαρμοστεί όταν ο χώρος εργασίας μετακινείται από το χώρο κατεργασίας πίσω στο θάλαμο έκθεσης φωτός.

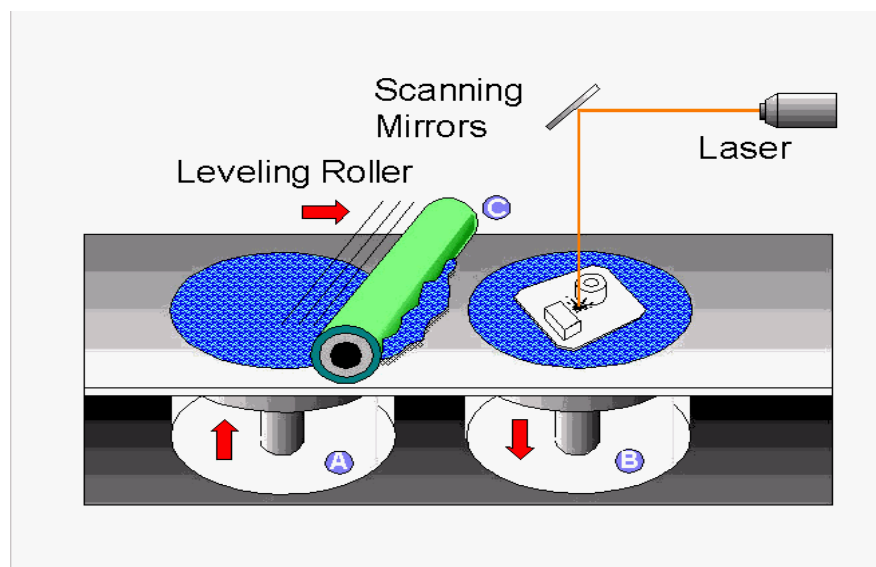


Σχ.3.6 σύστημα Solid Ground Curing

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 ένα layer σε 70 sec και κοστίζει 470.000 \$.

### 3.2.3 SELECTIVE LASER SINTERING

Η μέθοδος SLS αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο Austin του Τέξας.



Σχ.3.7 Η διαδικασία SLS.

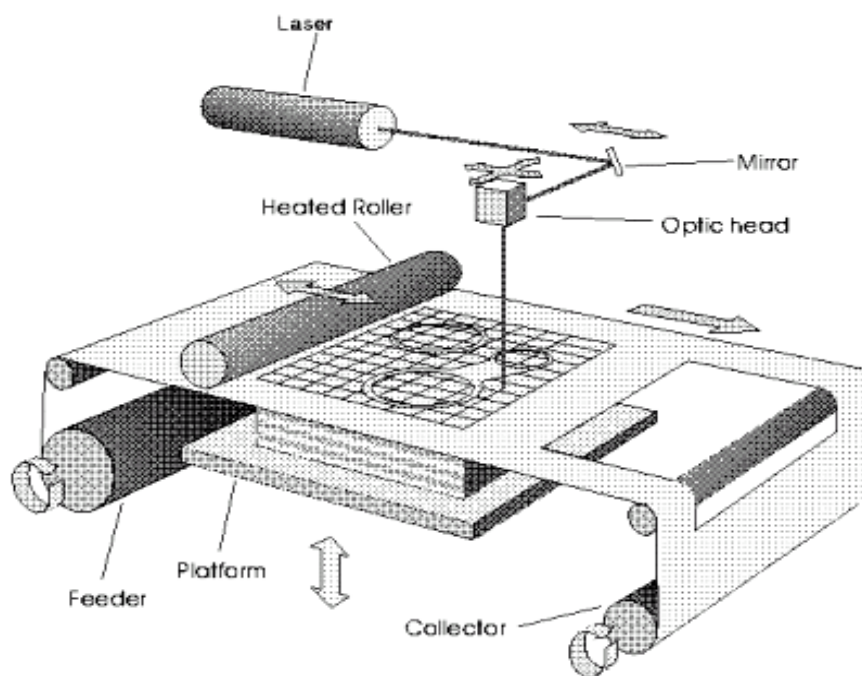
Στη θέση του ρευστού πολυμερούς, σκόνες από διάφορα υλικά απλώνονται σε μία πλατφόρμα από ένα κύλινδρο. Ένα λέιζερ συμπυκνώνει επιλεγμένες περιοχές, αναγκάζοντας τα σωματίδια να λιώσουν και να στερεοποιηθούν. Αντίθετα με τις μεθόδους που παρουσιάστηκαν πιο πριν, όπου υπάρχει μόνο μία μεταβατική φάση, 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.

Γενικά εκτιμάται πως είναι εφικτό να κατασκευαστούν 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 εταιρία EOS GmbH έχει παρουσιάσει στην αγορά μια διαδικασία που διεξάγεται με τις ίδιες αρχές.



### 3.2.4 LAMINATED OBJECT MANUFACTURING – LOM

Η εταιρεία HELISYS ανέπτυξε και εκμεταλλεύεται εμπορικά ένα σύστημα το οποίο "κόβει" και "ενοποιεί" ελάσματα. Το κάτω μέρος της επιφάνειας του ελάσματος έχει μια συγκολλητική ουσία, η οποία όταν πιεσθεί και θερμανθεί από ένα κύλινδρο, την αναγκάζει να κολλήσει πάνω στο προηγούμενο έλασμα.

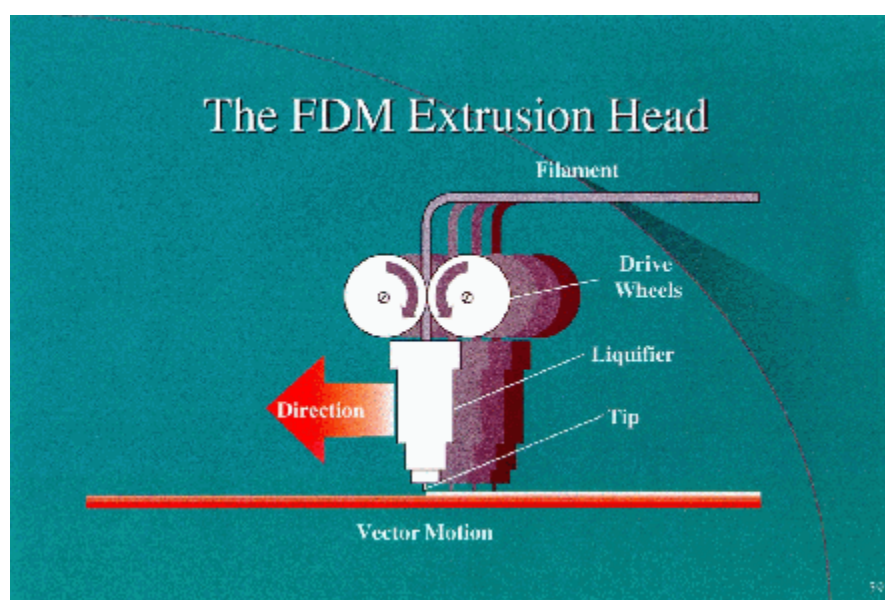


**Σχ.3.8** Η διαδικασία Laminated Object Manufacturing ( LOM )

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. Έτσι η κατασκευή του μοντέλου γίνεται στρωματικά και η ενοποίηση του επιτυγχάνεται χάρη στη συγκολλητική ουσία.

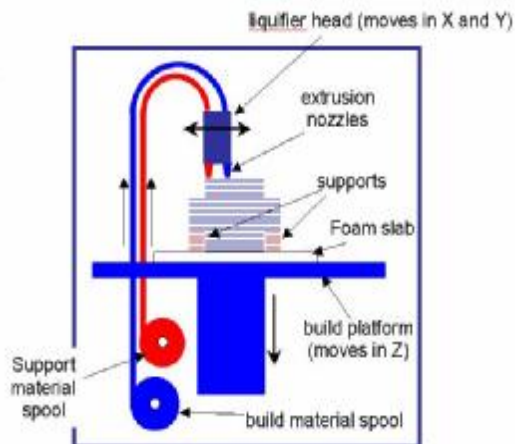
### 3.2.5 FUSED DEPOSITION MODELING

Η διαδικασία FDM αναπτύχθηκε από την εταιρεία Stratasys Inc. Υλοποιείται εξωθώντας λιωμένο υλικό διαμέσου ενός χ-ψ 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 ακρών στο στόμιο καθώς κινείται και εξωθείται.



Σχ.3.9 Η διαδικασία Fused Deposition Modeling ( FDM )

Η κίνηση και προέκταση ελέγχονται έτσι ώστε το υλικό να κατατίθεται παίρνοντας τη μορφή διαδοχικών layer ενός τρισδιάστατου μοντέλου.



Σχ.3.10 Η διαδικασία ( FDM )

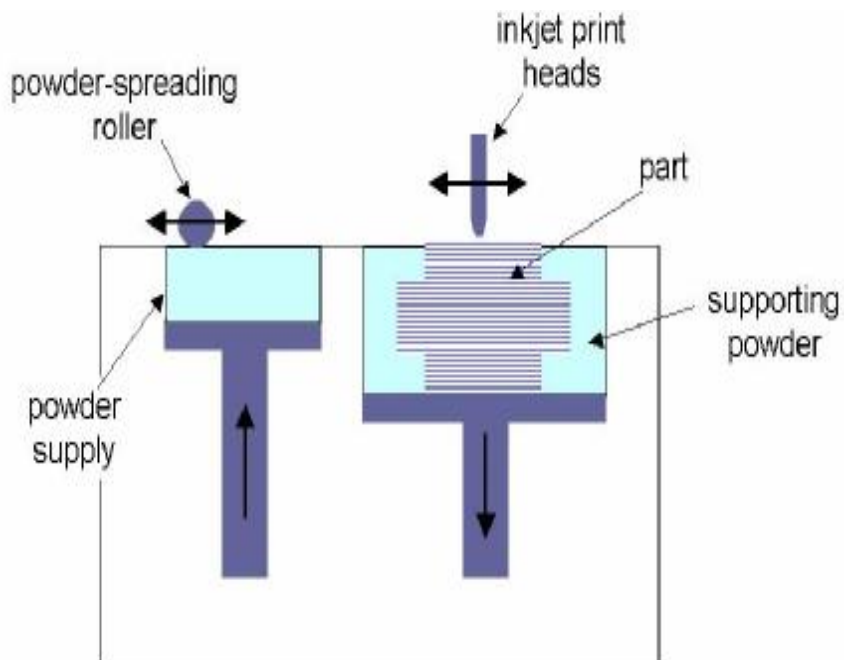


Σχ.3.11 μηχανή FDM

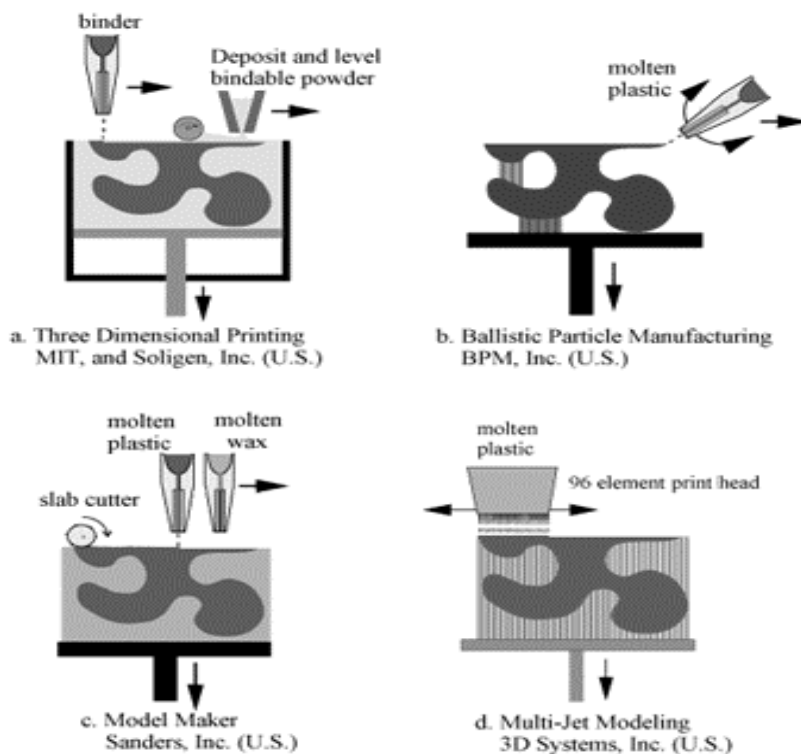
Η κεφαλή εξώθησης του συστήματος περιέχει μια μονάδα έλεγχου ηλεκτρομαγνητικής κίνησης και κινείται πάνω από την μεταλλική πλάκα. Η κεφαλή απωθείται από την πλάκα από ένα κύμα αέρα για να διατηρείται στο επιθυμητό ύψος. Αυτός ο τρόπος επιτρέπει στην κεφαλή να κινείται με μεγάλες ταχύτητες με μεγάλες ταχύτητες, όταν οι προστριβές τείνουν στο μηδέν. Το σύστημα Quantum έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει μοντέλα με διαστάσεις ως 600×500×600 mm.

### 3.2.6 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.

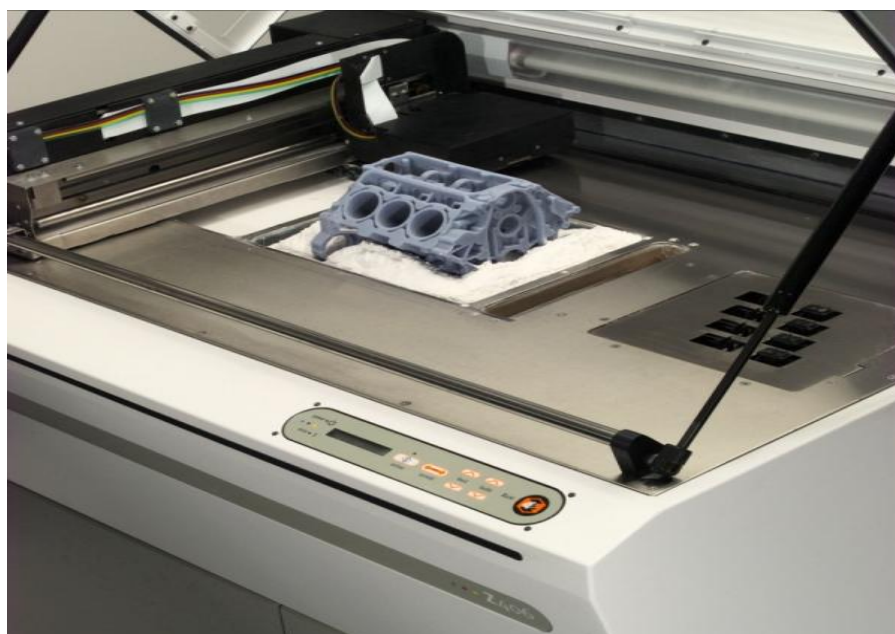


Σχ. 3.12 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας 3D Printing



Σχ.3.13 Η διαδικασία 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 που το αντικείμενο πρέπει να είναι ένα σώμα.



**Σχ.3.14** μηχανή 3D Printing



**Σχ.3.15** παραγόμενα μοντέλα

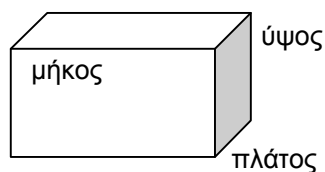
Το έμβολο χαμηλώνει τόσο ώστε να απλωθεί η νέα σκόνη και να ενοποιηθεί επιλεκτικά. Αυτή η διαδικασία, στρώμα-στρώμα επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί το μοντέλο. Με κατάλληλη θερμική διαδικασία, αφαιρείται η ελεύθερη σκόνη αφήνοντας πίσω το μοντέλο.

Έχει διατυπωθεί ότι η διαδικασία 3D Printing είναι πιο ευέλικτη από όλες τις τεχνολογίες, ιδιαίτερα από πλευράς ταχύτητας.

### 3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Η σύγκριση των μεθόδων, που αναπτύχθηκαν παραπάνω, στηρίζεται στον χρόνο κατασκευής, το κόστος και τη λειτουργικότητα. Όλες οι τεχνικές έχουν περιορισμούς που επιβάλλονται από το κόστος, την ακρίβεια, τα υλικά, τη γεωμετρία και το μέγεθος του μοντέλου.

Στον πίνακα 2 δίνεται μια περίληψη των διαφορών μεταξύ των διαδικασιών που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα. Η σύγκριση είναι ελλιπής γιατί λείπουν αρκετά σημαντικά στοιχεία όπως οι τιμές των εξοπλισμών, το κόστος υποστήριξης και το κόστος των υλικών, παρόλα αυτά είναι ενδεικτική.



επεξήγηση συμβόλων

$\pi$  = πλάτος

$\mu$  = μήκος

$u$  = ύψος

Διαδικασία	SLA	SOLID GROUND CURING	SLS	LOM	3D PRINTING	FDM
Μέγεθος μοντέλου π/μ/υ mm	254*254 *254	508*508 *355	305*381 *305	330*2540 *381	203*203 *203	600*500 *600
Πάχος στρώματος	0.1-0.9	0.05-0.15	0.13	0.005-0.05	-	0.1
Ταχύτητα	Εξαρτάται Από τη γεωμετρία	60-100 στρώμ /ώρα	Εξαρτάται Από τη γεωμετρία	10mm/ώρα	101mm/δευτ.	Εξαρτάται Από τη γεωμετρία
Ακρίβεια	0.2 mm	0.1 %	0.05- 0.25mm	(+/-) 0.127 mm	(+/-) 0.127 mm	0.1 mm
Υλικά	Ρητίνες φωτοπολυμερείς	Ρητίνες πολυμερείς , κερί	PVC, Nylon, abs, κερί	Nylon, χαρτί, πολυεστέρας	Πολυεστέρας (στερεός)	Ρητίνες πολυμερείς

**Πίνακας 2.** : Σύγκριση των χαρακτηριστικών των διαδικασιών.

Όταν το κομμάτι δε χωρά στον χώρο της μηχανής, μπορεί να χωριστεί σε τμήματα, τα οποία κατασκευάζονται ξεχωριστά και συναρμολογούνται στο τέλος.

Τα δεδομένα παρέχονται σε τριγωντοποιημένα μοντέλα, STL format. Όλοι οι προμηθευτές παρέχουν εργαλεία λογισμικού για την επιβεβαίωση, διόρθωση και τεμάχισμα των μοντέλων. Η αρχιτεκτονική του λογισμικού και η ποιότητα τους ποικίλει σημαντικά.

### 3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Όλα τα συστήματα ταχείας πρωτοτυποποίησης μπορούν να παράγουν φυσικά αντικείμενα. Μια εταιρεία για να καταλήξει στο ποια τεχνική είναι κατάλληλη για την κατασκευή μοντέλων που επιθυμεί και για να την εφαρμόσει, προηγουμένως θα ακολουθήσει το εξής σκεπτικό. Εάν σκοπός της είναι να παράγει μικρά ή μεσαίου μεγέθους κομμάτια έχοντας ακρίβεια και μια καλά φινιρισμένη επιφάνεια σε ένα αρκετά στερεό πλαστικό υλικό, όπως είναι η *εποξική ρητίνη*, τότε θα επιλέξει την τεχνολογία της Στερεολιθογραφίας.

Εάν η απλότητα, οι μηχανές μικρού μεγέθους, η επιμέρους δύναμη και η αρχή συμβατότητας είναι τα σημαντικά στοιχεία που μια εταιρεία έχει ως στόχο να εφαρμόσει στην παραγωγή της, τότε η ζητούμενη τεχνολογία είναι η FDM και το δικό της *ABS πλαστικό υλικό*.

Εάν η επιμέρους δύναμη είναι η βασική αρχή και προτεραιότητα της εταιρείας, θα πρέπει να επιλέξει το πολυεστερικό υλικό με ίνες γυαλιού (the glass-filled nylon) που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία της SLS: διαθέσιμη είναι η *άμμος SLS* για την παραγωγή καλουπιών και πυρήνων, καθώς επίσης το *μέταλλο* για την παραγωγή πρωτοτύπων σε θερμοπρεσαριστά καλούπια. Η τεχνολογία 3D Printing ενδείκνυται για την κατασκευή περίπλοκων μοντέλων από κερί, ενώ η LOM ενδείκνυται για την κατασκευή μεγάλων και ογκώδεις κομματιών αποτελούμενα από πολλά υλικά.

Τελικά, εάν η εταιρεία θέλει να παράγει πολλά πρωτότυπα αμέσως, τότε θα δουλέψει την SGC, καθώς αυτή η τεχνολογία, αναμφίβολα, παράγει τα περισσότερα πλαστικά κομμάτια σε λιγότερο χρόνο.

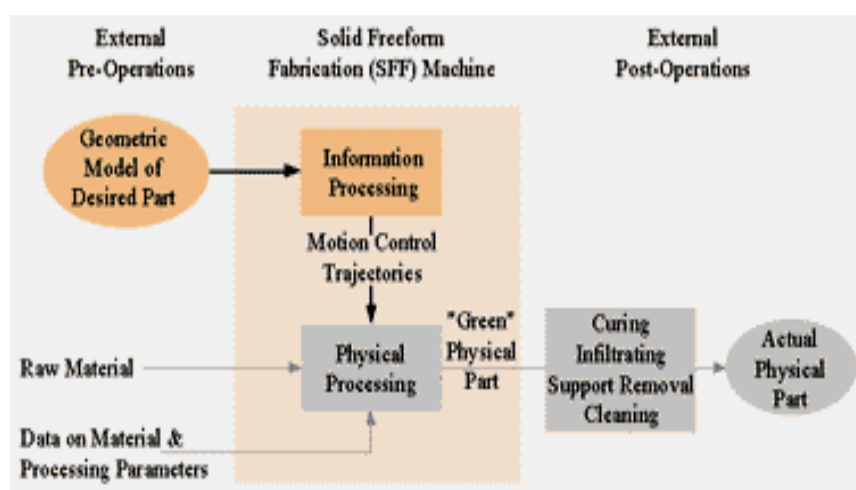


## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **Η ΡΟΗ ΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ.**

#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα RP, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 επεκτείνεται πέρα από τη μηχανή στερεάς διαμόρφωσης (SFF) και περιλαμβάνει τις προ-λειτουργίες των μηχανών, όπως η προετοιμασία των στοιχείων γεωμετρίας, και τις μετά-λειτουργίες μηχανών, όπως η επούλωση, αφαίρεση στηρίξεων και ο καθαρισμός.



Σχ. 4.1 τυπικό διάγραμμα Ταχείας Πρωτοτυποποίησης

Η εστίαση σε αυτό το κεφάλαιο είναι σε εκείνα τα στοιχεία συστημάτων που έχουν επιπτώσεις στη μορφή του μοντέλου : τις διασυνδέσεις δεδομένων (data interfaces) των μηχανών SFF (δισδιάστατα, τρισδιάστατα), στα προγράμματα που δημιουργούν την εξωτερική γεωμετρία του μοντέλου (MRI, CAD), στις μαθηματικές αντιπροσωπεύσεις (τρίγωνα- triangles) αλλά και στις αντιπροσωπεύσεις δεδομένων (αρχείο STL) του γεωμετρικού προτύπου.

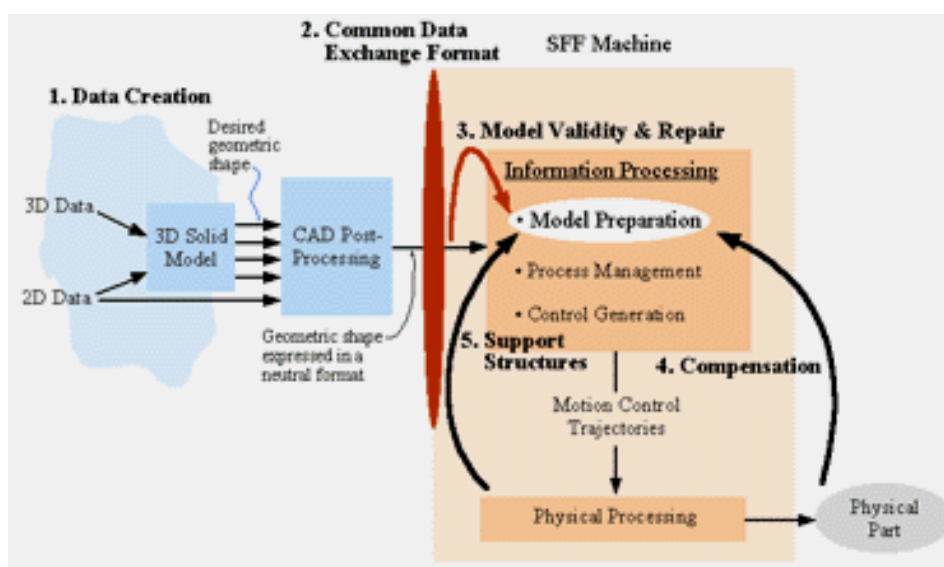
Και οι επόμενες τροποποιήσεις και προσθήκες στο αρχικό γεωμετρικό πρότυπο, από την άποψη του προσανατολισμού, της κλιμάκωσης, της

αποκατάστασης των διαστρεβλώσεων, και των δομών στήριξης, χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν στη διαδικασία συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Αυτό το έτοιμο πρότυπο χρησιμοποιείται για να παράγει τα κατάλληλα σήματα ελέγχου κινήσεων στον εξοπλισμό (τεμαχισμός, ανίχνευση), τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν στη συνέχεια σε μια φυσική διαδικασία επεξεργασίας.

#### 4.2 ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (SYSTEMS OVERVIEW)

Η εικόνα 4.2 παρουσιάζει πέντε βασικά στοιχεία συστημάτων Ταχείας Πρωτοτυποποίησης που έχουν επιπτώσεις στη μορφή του μοντέλου:

- § δημιουργία αρχείων
- § κοινή μορφή ανταλλαγής αρχείων
- § εγκυρότητα μοντέλου και επισκευή - επανόρθωση
- § δομές στήριξης
- § διασύνδεση αρχείων



Σχ. 4.2. Διάγραμμα των στοιχείων που επηρεάζουν το σχήμα του μοντέλου.

#### 4.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΕΙΩΝ

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (RP) είναι η δημιουργία των γεωμετρικών δεδομένων, είτε ως τρισδιάστατο (3D) στερεό που χρησιμοποιεί έναν τερματικό σταθμό CAD, είτε ως δισδιάστατες (2D) τομές που χρησιμοποιούν μια συσκευή ανίχνευσης (scanning). Σε καθεμία περίπτωση, τα στοιχεία πρέπει να αντιπροσωπεύσουν ένα έγκυρο γεωμετρικό μοντέλο, δηλαδή ένα μοντέλο του οποίου οι επιφάνειες ορίου εσωκλείουν έναν πεπερασμένο όγκο, που δεν περιέχει καμία οπή που "εκθέτει" το εσωτερικό.

Με άλλα λόγια, το αντικείμενο πρέπει να έχει "εσωτερικό". Ακόμη και τα λεπτά περιβλήματα έχουν πεπερασμένους όγκους. Το μοντέλο ισχύει εάν για κάθε σημείο στον τρισδιάστατο χώρο ο υπολογιστής μπορεί να καθορίσει μεμονωμένα εκείνο το σημείο είτε βρίσκεται εντός, είτε εκτός από την επιφάνεια ορίου του μοντέλου. Το γεγονός αποτελεί απαραίτητο στοιχείο ώστε οι μηχανές SFF αυτοματοποιημένα.

Στην περίπτωση άμεσης αποστολής των δισδιάστατων στοιχείων στη μηχανή SFF οι πληροφορίες πρέπει να είναι ικανές να περιγράψουν έναν έγκυρο τρισδιάστατο όγκο.

#### 4.2.2 ΚΟΙΝΗ ΜΟΡΦΗ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΑΡΧΕΙΩΝ

Για λόγους ανταγωνιστικότητας και απόδοσης, τα συστήματα CAD χρησιμοποιούν ποικίλες γεωμετρικές-μαθηματικές μορφές και πρότυπα αρχείων. Οι προμηθευτές μηχανών SFF προσαρμόζουν αυτήν την ποικιλία με την προϋπόθεση ότι όλα τα εξωτερικά γεωμετρικά πρότυπα εισαγωγής εκφράζονται με ένα ουδέτερο σχήμα. Οι προμηθευτές CAD έχουν την δυνατότητα να

παρέχουν μετά – επεξεργαστικά λογισμικά CAD που μεταφράζουν τις εσωτερικές αναπαραστάσεις CAD σε αυτό το κοινό σχήμα.

#### 4.2.3 ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ – ΕΠΑΝΟΡΘΩΣΗ

Για να είναι ακριβέστερα τα μοντέλα, οι CAD μετά-επεξεργαστές στην πραγματικότητα προσεγγίζουν τις εσωτερικές γεωμετρικές μορφές CAD των προμηθευτών (π.χ. τοξοειδείς τμήματα) με μια απλουστευμένη μαθηματική μορφή (τρίγωνα), η οποία στη συνέχεια εκφράζεται με ένα σχήμα στοιχείων: (**STereolithography Language**) STL. Δυστυχώς, αυτή η λειτουργία προσέγγισης, εάν δεν γίνεται με ακρίβεια, εισάγει μερικές φορές τις ανεπιθύμητες γεωμετρικές ανωμαλίες, όπως είναι οι οπές ή υπέρθετα τμήματα στην επιφάνεια ορίου. Συνεπώς, οι περισσότερες μηχανές SFF έχουν το λογισμικό για να ελέγξουν αν το πρότυπο εισαγωγής που εξασφαλίζει αυτό, είναι ένα έγκυρο στερεό, δηλαδή αν αυτό είναι ένα « καλά-συμπεριφερόμενο », κλειστό, και οριακό πρότυπο με ένα πεπερασμένο εσωτερικό. Εάν αυτό δεν ισχύει, οι ικανότητες του λογισμικού αλλά και του χειριστή είναι αναγκαίες για να επισκευάσουν το πρότυπο.

Λαμβάνοντας υπόψη ένα έγκυρο πρότυπο, μια σειρά γεωμετρικών διαδικασιών πρέπει να εκτελεσθεί στο πρότυπο (προετοιμασία προτύπου) για να εξασφαλίσει ότι το φυσικό μέρος θα ανταποκριθεί στις προδιαγραφές εισαγωγής. Για παράδειγμα, το πρότυπο πρέπει να προσαρμοστεί και να κλιμακωθεί για το χώρο εργασίας μηχανών SFF. Η προσαρμογή εξαρτάται από τους παράγοντες σχετικά με την ποιότητα επιφάνειας, το χρόνο κατασκευής, τις υποστηρικτικές δομές, τα επεξεργαστικά χαρακτηριστικά που καθυστερούν την διαδικασία (συρρίκνωση, ελίκωση, διαστρέβλωση, έγχυση ρητίνης), καθώς και ανοχή μερών, μεταξύ των άλλων [1].

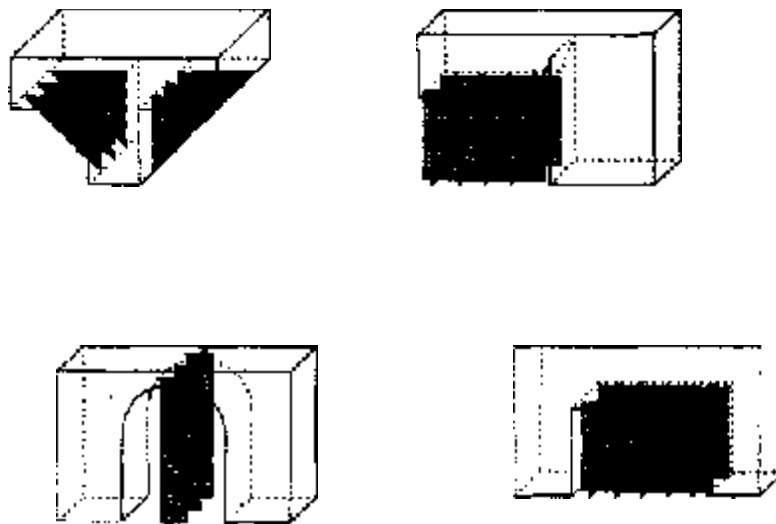
#### 4.2.4 ΔΟΜΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ (Support structures)

Οι δομές στήριξης απαιτούνται σε διαδικασίες βασιζόμενες σε ρευστά ώστε να στηρίζουν τα αιωρούμενα τμήματα του τρισδιάστατου μέρους, για να συνδέσουν το τμήμα με την πλατφόρμα του χώρου εργασίας και να στηρίξουν εσωτερικά τα κοίλα μέρη. Τα μέρη και οι στηρίξεις μπορεί να χρειαστούν τις οπές αγωγών. Οι θέσεις υποστήριξης για τις προεξοχές μπορούν να καθοριστούν με τον έλεγχο της κατεύθυνσης των κανονικών κάθετων διανυσμάτων επιφανειών και από τις προβολές z-άξονα του προτύπου.

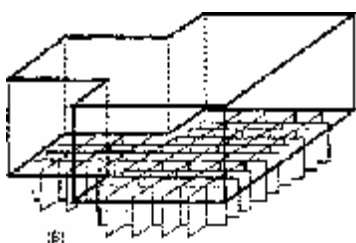
Το λογισμικό υπάρχει για να παράγει αυτόματα τις δομές υποστήριξης που προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν το λιγότερο πιθανό ποσό υλικού. Διαδικασίες βασισμένες σε σκόνη και σε ελάσματα χρησιμοποιούν ένα μη επεξεργασμένο υλικό που περιβάλλει το πρότυπο για στήριξη. Το κόστος της προετοιμασίας και της μετά-επεξεργασίας στοιχείων μπορεί να ανέλθει στα δύο τρίτα του συνολικού κόστους. [2] (Dolenc και Makela 1995).

Για τα μέρη με μεγάλη ακρίβεια όπως λεπτές προεξοχές, η επανόρθωση και οι διαδικασίες παραγωγής δομών στήριξης μπορεί να πρέπει να επαναληφθούν, επειδή η στήριξη μπορεί να διαστρεβλώσει το προηγουμένως αντισταθμισμένο μέρος. Στηρίζουν την διαδικασία με πολλούς τρόπους. Στηρίγματα απαιτούνται για περιπτώσεις που η άνω επιφάνεια που δημιουργείται είναι μεγαλύτερη από τη βάση (σχ. 4.3α) και για την αρχική στήριξη του αντικειμένου. (σχ.4.3β)

Η μορφή τους επηρεάζει σημαντικά το τελικό πρωτότυπο, και καλό θα είναι ο χρήστης να μοντελοποιεί αυτά τα στηρίγματα.



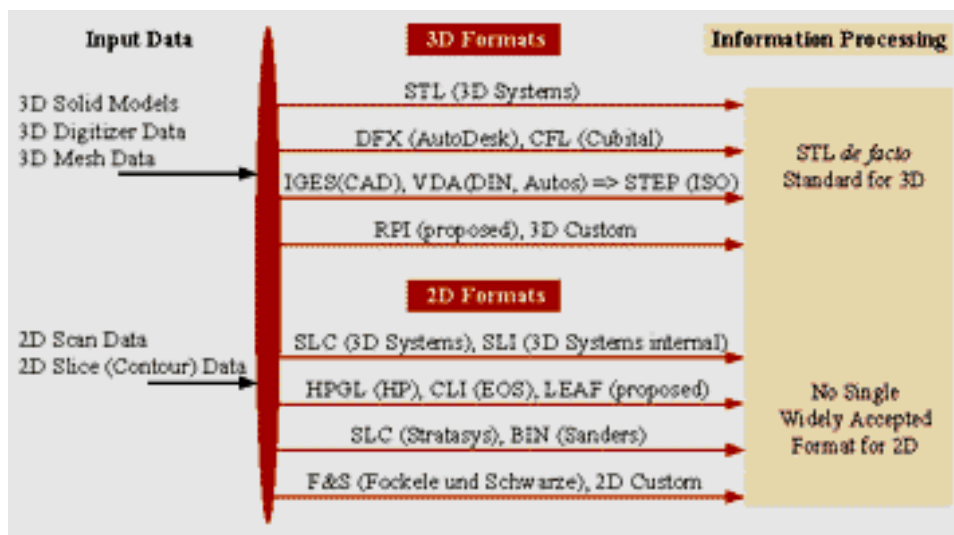
Σχ. 4.3 (α) Τέσσερις περιπτώσεις που τα στηρίγματα κρίνονται απαραίτητα.



Σχ. 4.3 (β) στήριξη βάσης τεμαχίου.

#### 4.2.5 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΑΡΧΕΙΩΝ (INTERFACE FORMATS)

Τα αρχεία που χρησιμοποιούνται από τις SFF μηχανές για να δεχτούν την εξωτερική γεωμετρία αποτελούνται από μαθηματική αναπαράσταση της γεωμετρίας και μια περιγραφή στοιχείων σε ένα αρχείο.



Σχ. 4.4 εισαγωγή αρχείων και διασύνδεση

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται η εισαγωγή τρισδιάστατων (3D) και δισδιάστατων (2D) αρχείων σε διάφορες μορφές οι οποίες είναι αποδεκτές στις εκάστοτε μηχανές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης. Στα τρισδιάστατα αρχεία (3D) παρατηρείται το κοινό αποδεκτό στερεολιθογραφικό σχήμα STL ενώ στα δισδιάστατα αρχεία (2D) δεν υφίσταται κοινή αποδεκτή μορφή αρχείων.

### 4.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

Η επιφάνεια ορίου ενός στερεού μπορεί να εκφραστεί με ποικίλες γεωμετρικές μορφές:

- § ανομοιόμορφες προσεγγιστικές καμπύλες (NURBS)
- § κωνικά τμήματα
- § επίπεδο τμήμα
- § κυλινδρικές και άλλες επιφάνειες συνδυασμού

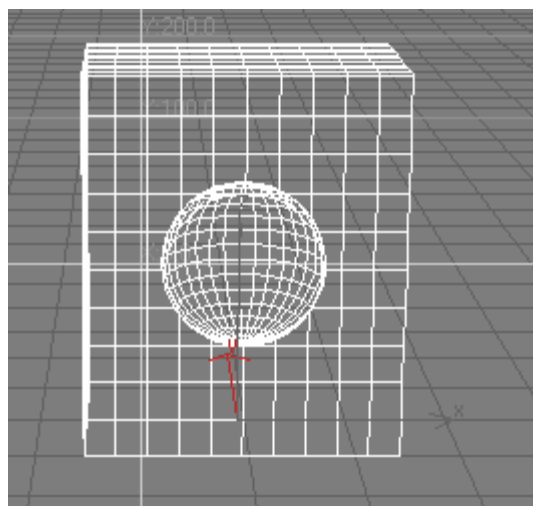


Ενώ οι εσωτερικές επιφάνειες καθορίζονται από συγκεκριμένες διαδικασίες και μορφές, καθώς απαιτείται ένα σύνολο διαμέρισης για τη μετάφραση του εσωτερικού τους. Έτσι η ανάγκη για κατάλληλες μαθηματικές προσαρμογές μετατοπίζεται στους κατασκευαστές λογισμικού σχεδίου CAD.

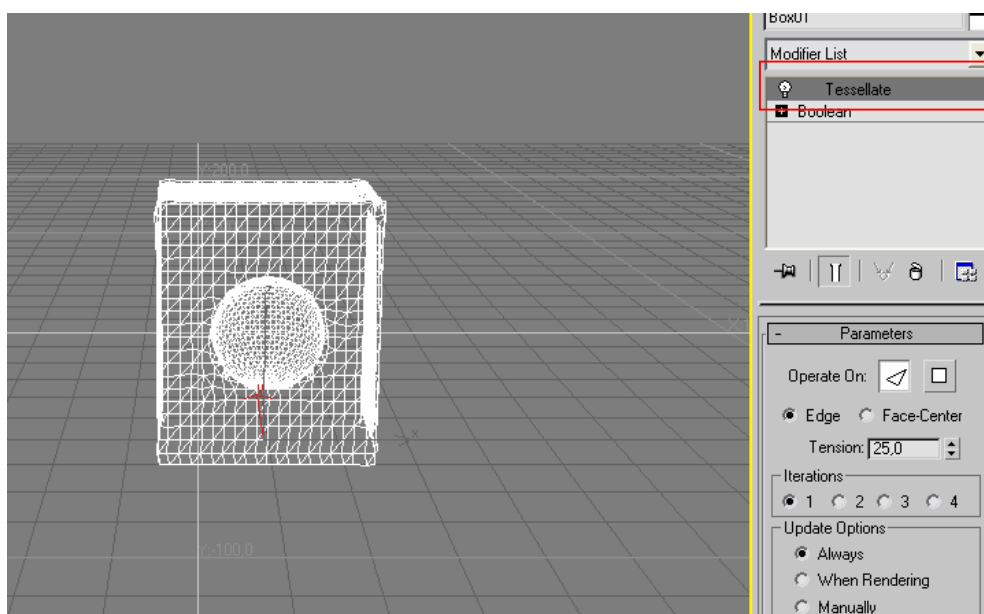
#### 4.3.1 ΤΡΙΓΩΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ (Triangular Facets)

Γενικά χρησιμοποιείται η τριγωνική προσέγγιση του γεωμετρικού μοντέλου που προέρχεται από σύνδεση όλων των σημείων της επιφάνειας του στερεού με απλά γεωμετρικά τρίγωνα.

Η διαδικασία προσέγγισης μιας επιφάνειας από τριγωνικές έδρες, μερικές φορές αναφέρεται ως **tessellation** (ψηφιδωτό) και χρησιμοποιείται εκτενώς στην ηλεκτρονική γραφιστική, όπου τα ειδικά σιππ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έχουν σχεδιαστεί για να εκτελέσουν αυτήν την λειτουργία.



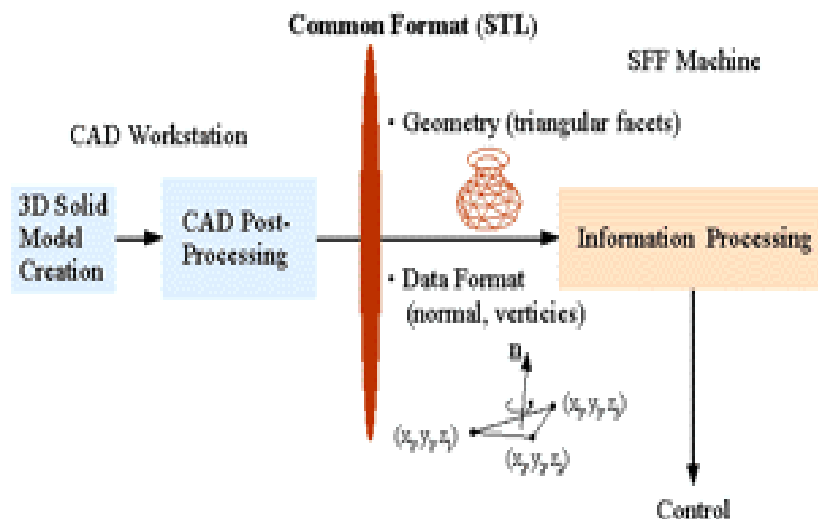
Σχ.4.5 μοντέλο πριν το tessellation



Σχ.4.6 μοντέλο μετά το tessellation

#### 4.4 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (Data Representation)

Το απλούστερο σχέδιο για ένα σχήμα δεδομένων είναι να αντιπροσωπευθεί το στερεό ως ακολουθία επιφανειών. Μια επιφάνεια αντιπροσωπεύεται ως ακολουθία στοιχείων τριγώνων, χωρίς να απαιτείται διαμόρφωση. Ένα στοιχείο τριγώνων αντιπροσωπεύεται ως ακολουθία των τριών κορυφών του και του εξωτερικού (από την επιφάνεια)- κανονικού σημειακού διανύσματος, που καθορίζεται σύμφωνα με το κανόνα του δεξιού χεριού. Αυτή η αντιπροσώπευση, μαζί με τους τύπους στοιχείων της όπως τους οριοθέτες, και άλλες πληροφορίες των αρχείων καλείται σχήμα STL, που παρουσίασε αρχικά η 3D Systems το 1988. Είναι τα *de facto* πρότυπα για τη μεταφορά των στερεών γεωμετρικών προτύπων στις μηχανές SFF.



Σχ. 4.7 Γεωμετρική μορφή των αρχείων STL

#### 4.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Απαιτείται μοντέλο στερεών ή μοντέλο επιφανειών. Τα δεδομένα που δέχονται οι μηχανές είναι τύπου STL. Το αντικείμενο αναπαρίστανται ως πλέγμα συνδεδεμένων τριγώνων, (tessellated object ή faceted object). Το STL αρχείο είναι σε ASCII (πίνακας 3).

Τα πλεονεκτήματα των STL αρχείων είναι:

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

```

solid example

facet normal 6.89114779E-02 -9.96219337E-01 -5.28978631E-02

Outer loop

vertex 2.73239994E+01 1.08957005E+01 4.57905006E+01
vertex 2.81019993E+01 1.09582005E+01 4.56250000E+01
vertex 2.75955009E+01 1.09116001E+01 4.58456993E+01

end loop

end facet

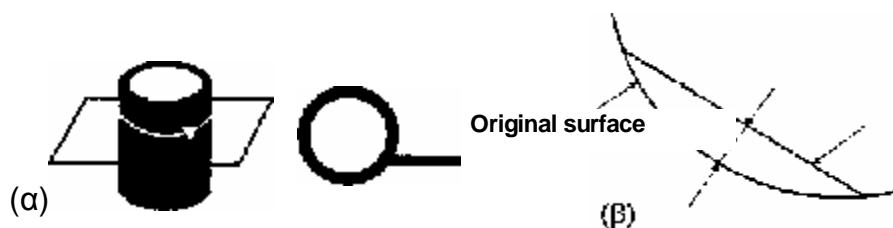
end solid
    
```

**Πίνακας 3.** Ένα αρχείο ASCII (STL)

Τα μειονεκτήματα των STL αρχείων είναι:

§ Πληθώρα και περίσσεια δεδομένων (Κάθετο διάνυσμα, πολλές φορές η ίδια κορυφή).
§ Σφάλμα προσέγγισης καμπυλών
§ Σφάλματα στρογγυλοποίησης
§ Έλλειψη πληροφόρησης

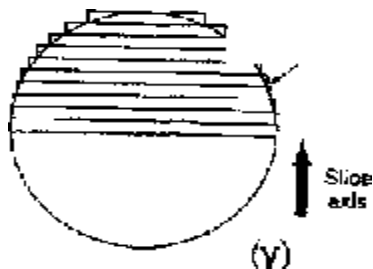
Η διαίρεση του μοντέλου σε τρίγωνα μπορεί να έχει προβλήματα, όπως φαίνεται στο σχ. 4.8α. Η διαίρεση αφήνει ένα κενό, που μας δίνει μια μη έγκυρη διατομή.



Σχ. 4.8. (α) Προβλήματα που προκαλούνται από την τριγωνοποίηση μοντέλου.

(β) Έλεγχος ακριβείας μοντέλου STL.

(γ) Η βηματική απόδοση των καμπύλων επιφανειών



## 4.6 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως αναφέρθηκε πριν, η ταχύτητα είναι ένα από τα πιο διακεκριμένα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας RP, όταν συγκρίνεται με συμβατικές μεθόδους. Στην πραγματικότητα, η χρήση της RPT δικαιολογείται μόνο αν το μοντέλο είναι δυνατόν να δημιουργηθεί γρήγορα. Πολύ συχνά ωστόσο, ο περιοριστικός παράγοντας είναι ο χρόνος που απαιτείται για να προετοιμαστούν τα δεδομένα. Εάν

τα δεδομένα είναι σωστά, ο χρόνος κατασκευής είναι προκαθορισμένος και σχετικά γρήγορος. Στο σχ. 4.9, φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα :



Σχ. 4.9 Επικοινωνία μεταξύ Σχεδιασμού και Κατασκευής

Μια από της πιο σημαντικές λειτουργίες είναι ο έλεγχος του μοντέλου STL και η διόρθωση του. Τα συνήθη σφάλματα είναι, τα κενά (Gaps), σχ. 4.10α, ασυνεχή κάθετα διανύσματα (inconsistent normals), σχ. 4.10β, λανθασμένα κάθετα διανύσματα (αυτά που παρέχονται δεν συμφωνούν με αυτά που υπολογίζονται), λανθασμένες τομές μεταξύ facets, σχ. 4.10γ, δημιουργία από λάθος εσωτερικών τοίχων και στηριγμάτων, εκφυλισμένα facets που δεν έχουν κάθετο διάνυσμα



Σχ. 4.10 (α , β , γ)

Ο κατασκευαστής βρίσκεται τότε αντιμέτωπος με τα εξής προβλήματα:

- § Αν είναι σωστό το μοντέλο.
- § Αν όχι, ποια είναι η φύση των λαθών και αν είναι δυνατό να διορθωθούν τοπικά.
- § Αν δεν είναι δυνατόν τα λάθη να διορθωθούν τοπικά, πως μπορεί να τα περιγράψει στο σχεδιαστή.

Οι μηχανές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (RP) είναι αποτελεσματικές εντούτοις η φυσική διαφορά που υπάρχει μεταξύ του σχεδιαστή και του κατασκευαστή, έχει κάποια σημασία στον χρόνο διανομής, που οφείλεται στις δυσκολίες και καθυστερήσεις στις επικοινωνίες. Επιπλέον, το κόστος κατασκευής συνδέεται άμεσα με την ποσότητα της δουλειάς που ξοδεύεται για την προετοιμασία των δεδομένων και το πραγματικό 'χτίσιμο' του μοντέλου. Αυτό το κόστος μπορεί να αναπαρασταθεί σαν τα 2/3 του συνολικού κόστους. Συνεπώς, οποιοδήποτε εργαλείο λογισμικού που μπορεί να ελαχιστοποιήσει το πλήθος των επαφών που πρέπει να κάνουν ο σχεδιαστής και ο κατασκευαστής ή να κάνει την επικοινωνία τους πιο αποτελεσματική, είναι προνομιούχο. Τέτοια εργαλεία είναι ο 3D Verify της 3D Systems και το MagicsRP της Materialise.

Αρχικά, οι μεγάλες τεχνικά εδραιωμένες επιχειρήσεις ανέπτυξαν τα εσωτερικά συστήματα CAD τους επειδή οι συγκεκριμένες εσωτερικές ανάγκες τους δεν ικανοποιούνταν από τους εμπορικούς προμηθευτές. Χρησιμοποιώντας την τρομερή εσωτερική τους πείρα και προόδου τους στις εφαρμογές και τους υπολογιστές, αυτές οι επιχειρήσεις ήταν σε θέση να δημιουργήσουν τα περιβάλλοντα CAD που όχι μόνο ξεπέρασε τις ικανότητες των εμπορικών συστημάτων, αλλά και συντονίστηκε στις εσωτερικές ανάγκες τους.

Η τάση στη γρήγορη ανάπτυξη προϊόντων είναι σήμερα προς ένα ευρύ σύστημα πολλών ενσωματωμένων λειτουργιών. Το CAD είναι μόνο ένα δόντι σε αυτό την μεγάλο γρανάζι ανάπτυξης προϊόντων. Συνεπώς, οι αυξήσεις σε CAD κρίνονται όχι μεμονωμένα, αλλά από την άποψη της επίδρασής τους στη γενική λειτουργία, το ρυθμό, την απόδοση, και τη σταθερότητα συστημάτων.. Τελικά, τέτοιες εκτιμήσεις θα είναι απαραίτητες για εκείνα τα συστήματα RP που χρησιμοποιούνται στην εφαρμοσμένη μηχανική και την κατασκευή.

Σήμερα, ουσιαστικά κάθε εμπορικός προμηθευτής CAD παρέχει εξειδικευμένο σύστημα CAD για τη μετάφραση των εσωτερικά στερεών προτύπων CAD σε “τεμαχισμένα”(σε διατομές) στερεά πρότυπα για τις μηχανές SFF. Διάφοροι Η/Υ βασιζόμενοι σε τρισδιάστατα σχεδιαστικά προγράμματα που αναπτύσσονται αρχικά για τις τρισδιάστατες εφαρμογές γραφικής παράστασης προσφέρουν τώρα την ικανότητα παραγωγής STL αρχείων τα οποία είναι τα πλέον κατάλληλα για την τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης.

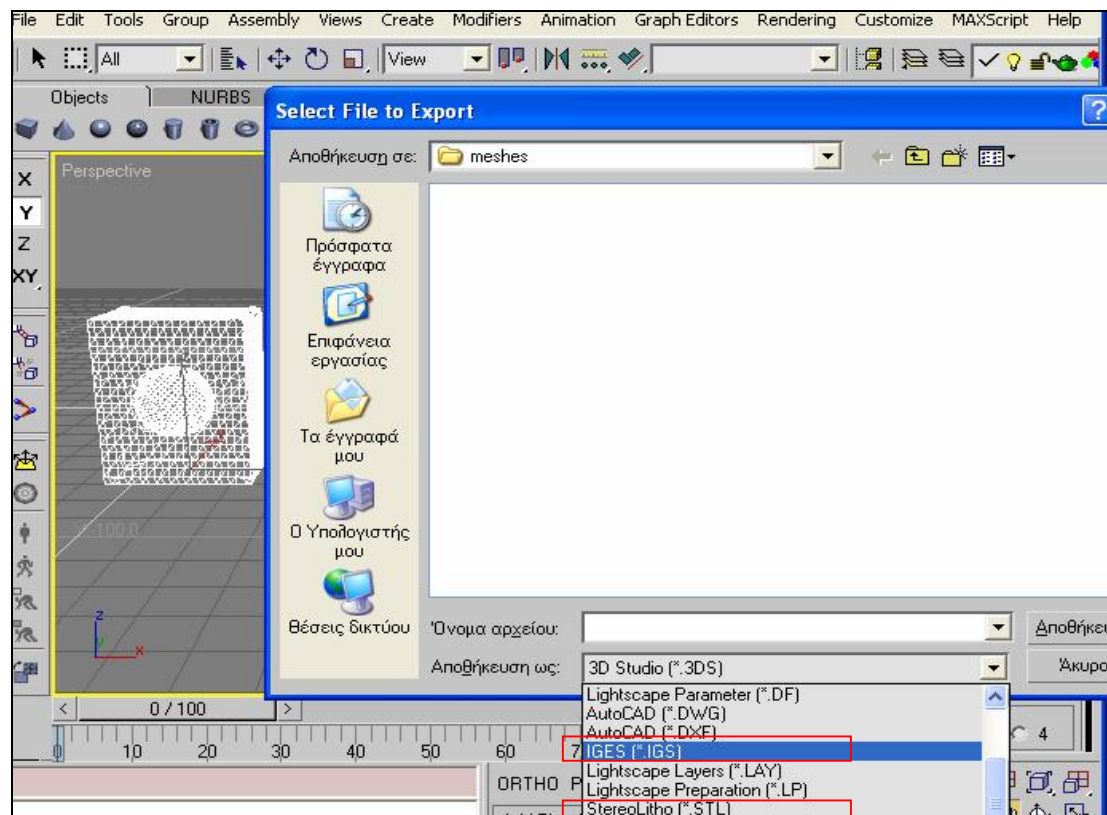
#### **4.7 ΑΡΧΕΙΑ STEP Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP)**

Αν και πολλοί συμφωνούν ότι το σχήμα STL έχει πια ξεπεραστεί, δεν υπάρχει όμως καμία ομοφωνία για την αντικατάστασή του (Dolenc and Mäkelä 1995 Jamieson and Hacker 1995). Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ούτε μια γενική μαθηματική μορφή αρχείων που να περιλαμβάνει όλες τις άλλες πρακτικές γεωμετρικές επιφάνειες ως ειδικές περιπτώσεις, έχει νόημα κάποιος να εστιάσει σε εκείνες τις μορφές που υποστηρίζουν μια μεγάλη βάση εφαρμογής. Τα εξελισσόμενα πρότυπα STEP για την ανταλλαγή των στοιχείων προϊόντων, βασίζεται στη γεωμετρία



NURBS (καμπύλων), λόγω της αυξανόμενης αποδοχής και της χρήσης του στις απαιτήσεις εφαρμοσμένης μηχανικής και κατασκευής.

Η γεωμετρία NURBS προωθήθηκε αρχικά και αναπτύχθηκε από τη βιομηχανία αεροσκαφών, συγκεκριμένα στη Boeing, επειδή τα κωνικά τμήματα, που είναι πολύ σημαντικά στο αεροδυναμικό σχέδιο των αεροπλάνων, αντιπροσωπεύονται ακριβώς από NURBS. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η κοινότητα των χρηστών CAD έχει αναπτύξει τα πρότυπα για την ανταλλαγή των στοιχείων μεταξύ των συστημάτων CAD από το 1979 όταν ένωσαν τις δυνάμεις τους η Boeing και η NIST, Γερμανία (εθνικό ίδρυμα προτύπων και τεχνολογίας - Normal Institute Standard Technology, κατόπιν γνωστό ως εθνικό γραφείο των προτύπων) για να οδηγήσουν μια εθνική προσπάθεια, να αναπτύξουν ουδέτερο σχήμα αρχείων για την αντιπροσώπευση των σχεδίων εφαρμοσμένης μηχανικής. Η προσπάθεια οδήγησε τελικά σε IGES (αρχική προδιαγραφή ανταλλαγής γραφικής παράστασης), το οποίο έγινε Αμερικανικό πρότυπο το 1981. Οι παρόμοιες προσπάθειες στην Ευρώπη οδήγησαν στα γερμανικά πρότυπα DIN 66301.



**Σχ.4.11** Δυνατότητα εξαγωγής διαφόρων μορφών αρχείων σε πρόγραμμα CAD

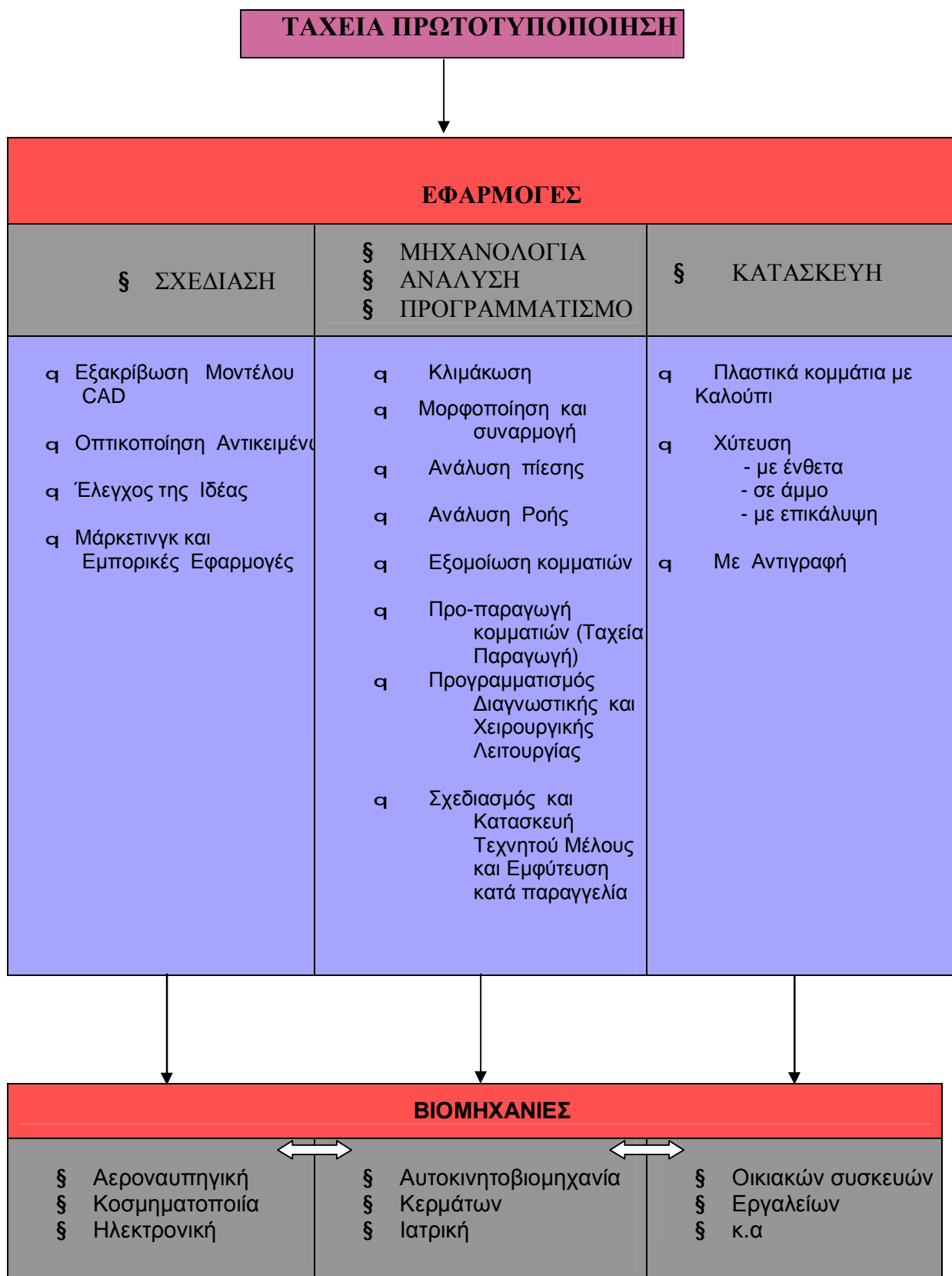
Όλες αυτές οι προσπάθειες προτύπων CAD εκτοπίζονται τώρα από το STEP, πιο εκτενή πρότυπα ανταλλαγής στοιχείων που θα επεκταθούν τελικά πέρα από τα στοιχεία προϊόντων και θα περιλάβουν τη διαδικασία και τα στοιχεία των πόρων. Η πρώτη φάση του STEP εγκρίθηκε στα τέλη του 1994 ως διεθνής τυποποιημένο ISO 10303 από την οργάνωση διεθνών προτύπων (ISO) Οι περισσότεροι προμηθευτές CAD είναι δεσμευμένοι για την υποστήριξη των αρχείων STEP. Τα πρότυπα αρχεία STEP παρέχουν το έκτατο σε πολλές περιοχές εφαρμογής μέσω μιας δομής αποκαλούμενης "πρωτόκολλα εφαρμογής." Κάθε περιοχή εφαρμογής έχει δικό της πρωτόκολλο εφαρμογής, με την ουσιαστική διανομή των κοινών λειτουργιών πυρήνων.

Υπάρχει ισχυρό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου εφαρμογής STEP για την ανταλλαγή των στοιχείων CAD με τις μηχανές SFF.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ.**

Στο παρακάτω πινακοποιημένο διάγραμμα παρουσιάζονται συνοπτικά οι εφαρμογές της Ταχείας Προτυποποίησης σε βασικούς τομείς.

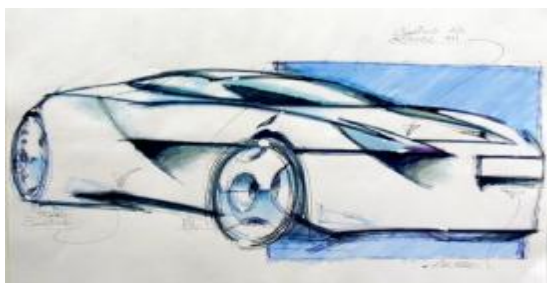


## 5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

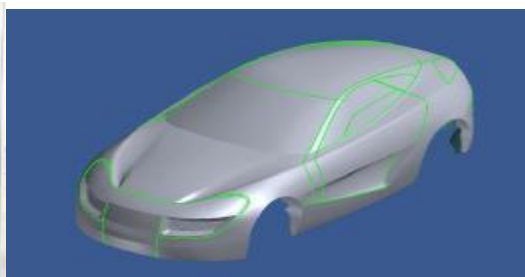
### 5.1.1. Εξακρίβωση Μοντέλου CAD

Αυτός είναι ο αρχικός και αντικειμενικός σκοπός αλλά, και η ισχύς των συστημάτων Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (Rapid Prototyping Systems), γι αυτό οι σχεδιαστές χρειάζονται το φυσικό τμήμα για να επαληθεύσουν το σχέδιο που δημιούργησαν σε ένα σύστημα CAD.

Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για κομμάτια ή προϊόντα τα οποία σχεδιάστηκαν για να εκπληρώσουν καλαίσθητες λειτουργίες ή είναι περίπλοκα σχεδιασμένα για να εκπληρώσουν λειτουργικές απαιτήσεις.



Σχ.5.1 αρχικό σχέδιο



Σχ.5.2 σχέδιο CAD



Σχ.5.3 μοντέλο



Σχ.5.4 τελικό αποτέλεσμα

Οι μηχανικοί πάντα δοκιμάζουν τα πρωτότυπα, η τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης επεκτείνει και βελτιώνει τις ικανότητες τους. Αρχικά, είναι εύκολο να παρουσιάσουν ένα επαναληπτικό δοκιμαστικό: κατασκευάζω ένα

πρωτότυπο, το ελέγχω, το βελτιώνω σχεδιαστικά, το κατασκευάζω και το ελέγχω, κλπ. Μια τέτοια διαδικασία θα μπορούσε να είναι αρκετά χρονοβόρα χρησιμοποιώντας παραδοσιακές τεχνικές πρωτοτυποποίησης, αλλά γίνεται εύκολη χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης.

### **5.1.2 Οραματισμός – Οπτικοποίηση Αντικειμένων**

Σχέδια δημιουργημένα σε συστήματα CAD χρειάζονται για να επικοινωνούν όχι μόνο μεταξύ τους οι σχεδιαστές, αλλά και άτομα από άλλα τμήματα όπως κατασκευαστικό τμήμα, το τμήμα μάρκετινγκ κ.α . Για αυτό το λόγο, υπάρχει η ανάγκη να δημιουργούμε αντικείμενα από τα σχέδια CAD σε υλικά μοντέλα, έτσι ώστε όλοι αυτοί οι να αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο σε κάθε επικοινωνία μεταξύ τους.

Πολλοί άνθρωποι δεν μπορούν να αντιληφθούν ένα τμήμα ενός αντικειμένου από μια εκτύπωση εικόνας. Ακόμα και μηχανικοί, αλλά και κατασκευαστές, που συναντούν σχέδια κάθε μέρα, χρειάζονται μερικά λεπτά ή και ώρες για να μελετήσουν ένα σχέδιο.

### **5.1.3 Έλεγχος της Ιδέας**

Ο έλεγχος της ιδέας σχετίζεται με την προσαρμογή συγκεκριμένων λεπτομερειών σε ένα αντικείμενο. Οι λεπτομέρειες μπορεί να έχουν να κάνουν είτε με το λειτουργικό μέρος του αντικειμένου, είτε με την καλαισθησία του. Αλλάζοντας και βελτιώνοντας τα πρωτότυπα νωρίς, στη φάση του σχεδίου, η κατασκευή μπορεί να αρχίσει για την παραγωγή ενώ η διαδικασία του

διαχωρισμού των κομματιών ξεκινά προγραμματίζοντας το πακετάρισμα, όλα αυτά γίνονται πριν το σχέδιο τελειοποιηθεί.

#### **5.1.4 Μάρκετινγκ και Εμπορικές Εφαρμογές**

Αρκετά συχνά το μάρκετινγκ ή τα εμπορικά τμήματα απαιτούν ένα φυσικό μοντέλο για παρουσίαση και αξιολόγηση. Ένα μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για την παραγωγή διαφημιστικών φυλλαδίων ή παρεμφερή υλικών διαφήμισης, ακόμα και εάν το συγκεκριμένο προϊόν δεν είναι διαθέσιμο.

### **5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ, ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ.**

Εκτός από τη δημιουργία φυσικών μοντέλων για οπτική απεικόνιση ή για δοκιμαστικό σκοπό, οι σχεδιαστές ενδιαφέρονται επίσης και για την μηχανολογική αξία των σχεδίων τους. Αυτό είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις λειτουργίες των σχεδίων τους. Οι τεχνολογίες RP γίνονται σημαντικές όταν μπορούν να παρέχουν την απαιτούμενη πληροφορία για να διασφαλίσουν με κύρος την μηχανική και λειτουργική ανάλυση του προϊόντος. Αυτό που το κάνει ακόμα πιο ελκυστικό είναι ότι βοηθάει επίσης να κερδίσεις χρόνο ανάπτυξης και έτσι μειώνεται το κόστος.

#### **5.2.1 Κλιμάκωση**

Οι τεχνικές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης επιτρέπουν εύκολη σμίκρυνση υπό κλίμακα ( ή μεγένθυση υπό κλίμακα) στο μέγεθος ενός μοντέλου με κλιμάκωση του πρωτότυπου μοντέλου CAD.

Σε μια περίπτωση σχεδιασμού μπουκαλιών για αρώματα, με διαφορετική χωρητικότητα, ο σχεδιαστής μπορεί απλά να μορφοποιήσει το μοντέλο CAD, κατάλληλα για τις επιθυμητές χωρητικότητες και να δει τα αποτελέσματα στο λογισμικό του CAD.



Σχ.5.1 Κλιμάκωση

Με τις επιλεγμένες ή προτιμώμενες χωρητικότητες καθορισμένες, τα δεδομένα CAD μπορούν να αλλάξουν ανάλογα και συνεπώς να δημιουργήσουν το σχετικό μοντέλο Ταχείας Πρωτοτυποποίησης για οπτικοποίηση και για σκοπούς επαλήθευσης .

### 5.2.2 Μορφοποίηση και συναρμογή

Πέρα από τον προσδιορισμό μεγεθών, ποσοτήτων, τα σχήματα πρέπει να διέπονται και από καλαισθησία και λειτουργικότητα εξίσου καλά. Όπως ένα κομμάτι μπορεί να ταιριάζει σε ένα σχέδιο έτσι και το περιβάλλον του είναι σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Για παράδειγμα, το προστατευτικό του καθρέπτη για ένα νέο σχέδιο αυτοκίνητου πρέπει να έχει ένα σχήμα το οποίο να ταιριάζει αρκετά με τη γενική εμφάνιση του εξωτερικού



σχεδίου του αυτοκινήτου. Αυτό θα περιλαμβάνει το αν αυτό ταιριάζει στην πόρτα του αυτοκινήτου εξίσου καλά. Το μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί να αποτιμήσει το κατά πόσο αυτό ικανοποιεί καλαίσθητες και λειτουργικές απαιτήσεις μαζί. Η μορφοποίηση και η συναρμογή μοντέλων δεν χρησιμοποιείται μόνο στις αυτοκινητοβιομηχανίες.



Σχ.5.2 έτοιμα κομμάτια



Σχ.5.3 συναρμογή κομματιών

Αυτά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για βιομηχανίες που εμπλέκονται με αεροναυπηγική και σε άλλες όπως κατανάλωση ηλεκτρονικών προϊόντων και οικιακών συσκευών.

### 5.2.3 Ανάλυση Ροής

Σχέδια των προϊόντων χρησιμοποιούνται για την μελέτη της ροής αέρα, νερού ή άλλων ρευστών καναλιών μεταφοράς, που έχουν κατασκευαστεί παραδοσιακά, δεν μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν και να προσαρμοστούν στον υπολογιστή για έλεγχο. Αλλά εάν τα δεδομένα ενός αρχικού τρισδιάστατου σχεδίου είναι αποθηκευμένα σε ένα υπολογιστικό μοντέλο, τότε κάθε αλλαγή

δεδομένων βασισμένη σε μερικούς συγκεκριμένους έλεγχους μπορεί να γίνει αντιληπτή με την υποστήριξη του υπολογιστή. Αυτό δεν το περιλαμβάνει απλά εργαλεία λογισμικού, αλλά επίσης δημιουργεί κομμάτια για φυσικούς ελέγχους. Ένα τροποποιημένο μοντέλο μπορεί να δημιουργηθεί ξανά από τις τεχνικές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης πολύ γρηγορότερα απ' ό τι χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους. Οι αναλύσεις ροής είναι επίσης χρήσιμες για εσωτερικά μέρη πολυσύνθετα, σωλήνες καυσαερίων ή παρόμοια προϊόντα. Τυπικά, οι αναλύσεις ροής είναι απαραίτητες για προϊόντα κατασκευασμένα στην αεροπορική βιομηχανία, αυτοκινούμενη και στη ναυπηγική βιομηχανία.

#### **5.2.4 Ανάλυση πίεσης**

Στην ανάλυση πίεσης όπου και χρησιμοποιούνται φώτο-οπτικές μέθοδοι, είναι αναγκαία τα φυσικά αντίγραφα από το κομμάτι που αναλύεται . Εάν οι ιδιότητες του υλικού ή τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών Ταχείας Πρωτοτυποποίησης δημιούργησαν αντικείμενα ίδια με τα πραγματικά λειτουργικά κομμάτια, αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις αναλυτικές μεθόδους για να καθορίσουν τη κατανομή πιέσεων του προϊόντος.

#### **5.2.5 Προσομοίωση κομματιών**

Παρουσιάζεται στην βιομηχανία αεροσκαφών και χρησιμοποιείται για τελικούς ελέγχους κομματιών από διαφορετικές όψεις. Κανονικά εξομοιώνονται κομμάτια που είναι συναρμολογημένα σε ένα πλήρη προϊόν και δοκιμασμένα για προμελετημένο χρόνο. Μερικές τεχνικές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης είναι ικανές

να δημιουργούν “εξομοιώσεις” πολύ γρήγορα και να εκπληρώσουν αυτούς τους έλεγχους πριν το σχέδιο τελειοποιηθεί.

### **5.2.6 Προ-παραγωγή Κομματιών ( Ταχεία Παραγωγή)**

Μια εφαρμογή ταχείας πρωτοτυποποίησης είναι η ταχεία παραγωγή, και η αυτόματη κατασκευή της παραγωγής μηχανικών εργαλείων ποιότητας. Η παραγωγή είναι ένα από τα πιο αργά και ακριβά βήματα της κατασκευαστικής διαδικασίας, εξαιτίας της εξαιρετικά υψηλής ποιότητας που απαιτείται. Τα εργαλεία πρέπει να είναι διαστατικά ακριβή, να είναι σκληρά, να αντιστέκονται στη φθορά και να έχουν πολύ μικρή τραχύτητα επιφάνειας.

Συνεπώς πρωτότυπα και καλούπια κατασκευάζονται παραδοσιακά από CNC μηχανές, ή ακόμα και με το χέρι. Ο παραδοσιακός τρόπος κατασκευής είναι χρονοβόρος και οικονομικά ασύμφορος. Σε περιπτώσεις όπου μια μαζική παραγωγή θα είναι προτεινόμενη, είναι σύνηθες να αναπτύσσεται μια δοκιμαστική παραγωγή 10 ή περισσότερων προϊόντων ραγδαία . Η δοκιμαστική παραγωγή κομματιών χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για επιπλέον διαδικασία προετοιμασιών, το οποίο σημαίνει ότι με τα κομμάτια δοκιμαστικής παραγωγής, όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα, σφιγκτήρες, ειδικά εργαλεία και μετρητικές συσκευές είναι αναπτυσσόμενα ή προβλεπόμενα ή ελεγχόμενα.

Πολλές από τις μεθόδους Ταχείας Πρωτοτυποποίησης είναι ικανές να παράγουν γρήγορα δοκιμαστική παραγωγή κομματιών και αυτό θα βοηθήσει στην μείωση του χρόνου που απαιτείται να αναπτυχθεί η διαδικασία, ως εκ τούτου μειώνεται δραστικά και ο συνολικός χρόνος διάθεσης του προϊόντος στην αγορά. Ο Peter Hilton, πρόεδρος της Technology Strategy Consulting in

Concord, MA, πιστεύει ότι τα έξοδα παραγωγής και ο χρόνος ανάπτυξης μπορούν να μειωθούν 75% ή και περισσότερο, χρησιμοποιώντας ταχεία παραγωγή και τεχνολογίες συνδεδεμένες με αυτή.

### **5.2.7 Προγραμματισμός Διαγνωστικής και Χειρουργικής Λειτουργίας**

Σε ένα συνδυασμό από μεθοδολογίες μηχανικής πρωτοτυποποίησης με χειρουργικές διαδικασίες, τα μοντέλα Ταχείας Πρωτοτυποποίησης δημιουργημένα από ποικίλα εισαγόμενα δεδομένα βασισμένα σε υπολογιστή, όπως MRI και CT ανάλυση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαγνωστικούς σκοπούς. Αυτές, επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προγραμματισμό χειρουργικής και αναδρομικής λειτουργίας, ιδιαίτερα εάν η διαδικασία πρόκειται να εκτελεσθεί από μια ομάδα εξειδικευμένων ιατρών.

### **5.2.8 Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνητού Μέλους και Εμφύτευση κατά παραγγελία.**

Σε μια απόκλιση χρησιμοποιώντας μοντέλα Ταχείας Πρωτοτυποποίησης για προγραμματισμό λειτουργικών διαδικασιών, τα μοντέλα αυτά μπορούν να κατασκευαστούν επίσης από εισαγόμενα δεδομένα συσκευών ανάλυσης όπως CT scan, να δημιουργήσουν ακριβή αντίγραφα από σωματικά μέρη για το σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνητού μέλους ή εμφυτεύματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όπως τα περισσότερα τεχνητά μέλη ή οι εμφυτεύσεις γίνονται κατά παραγγελία καθώς οι ανατομίες των ασθενών δεν είναι ίδιες. Τα μοντέλα

αυτά μπορούν να είναι επιπλέον ακριβή και εξελιγμένα για να δημιουργήσουν τα πραγματικά τεχνητά μέλη ή εμφυτεύματα για να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε ασθενή.

### **5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ.**

#### **5.3.1 Πλαστικά κομμάτια με καλούπι.**

Η κεντρική ιδέα είναι να καταστεί δυνατή η παραγωγή πολλαπλών αντιγράφων από ένα πρωτότυπο το οποίο έχει μεγάλη αντοχή και είναι εφάμιλλο με το υλικό που χρησιμοποιείται για το πραγματικό προϊόν. Δυο θέματα προκύπτουν από αυτό, πρώτον ο έλεγχος και η αξιοπιστία των εργαλείων και δεύτερο η διαδικασία σχεδιασμού. Ο έλεγχος εργαλείων αναφέρεται στη σωστή επιλογή εργαλείου έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της παραγωγής να μην χρειαστεί να αλλάξουμε εργαλείο από λάθος στη διαδικασία, παρά μόνον όταν χρειάζεται. Δηλαδή τα εργαλεία να χρησιμοποιούνται με τη σωστή σειρά και να μην επαναχρησιμοποιούνται εργαλεία που μπορούν να κάνουν την κατεργασία σε μια και μόνο φάση.

Ενώ η διαδικασία σχεδιασμού αναφέρεται στον τρόπο κατά τον οποίο προσδιορίζουμε τα κατασκευαστικά σχέδια σαν να συναρμολογούμε το προϊόν βασιζόμενοι πάντα στα πρωτότυπα που παράγονται.

### **5.3.2 ΧΥΤΕΥΣΗ**

Η έγχυση μετάλλου είναι η διαδικασία όπου το μέταλλο ,συνήθως κράμα, θερμαίνεται ως το σημείο τήξης του και μετά εισρέει σε ένα καλούπι το οποίο εσωτερικά είναι διαμορφωμένο σύμφωνα με το επιθυμητό σχήμα του μοντέλου που παράγουμε. Τα μοντέλα Ταχείας Πρωτοτυποποίησης μπορούν και από μόνα τους να αποτελέσουν τα πρωτότυπα για να παραχθεί αυτό το καλούπι.

#### **5.3.2.1 ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΝΘΕΤΑ**

Η συνηθισμένη διαδικασία για την κατασκευή καλουπιών είναι με τη δημιουργία πρωτοτύπων από κερί για αντίγραφα. Αυτά τα αντίγραφα τοποθετούνται μέσα σε ένα εκμαγείο για να σχηματίσουν το καλούπι ύστερα από γέμισμα του εκμαγείου με λιωμένο μέταλλο. Κατόπιν αυτού το πρωτότυπο αντίγραφο αφαιρείται και το καλούπι που σχηματίζεται επεξεργάζεται κατάλληλα σε διαδικασία φινιρίσματος για καλύτερη επιφάνεια και πιο ακριβή μοντέλα κατά τη χρήση του.

#### **5.3.2.2 ΧΥΤΕΥΣΗ ΣΕ ΑΜΜΟ**

Τα καλούπια που χρησιμοποιούνται για χύτευση σε άμμο κατασκευάζονται με τον ίδιο τρόπο που ήδη αναφέραμε. Δηλαδή τα πρωτότυπα μοντέλα δημιουργούνται πρώτα με τη μέθοδο της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης και στην συνέχεια εγκλωβίζονται μέσα σε ένα κουτί από άμμο. Η άμμος με τη σειρά της θερμαίνεται και μετατρέπεται σε ένα συμπαγές σώμα γύρω από το μοντέλο, με αποτέλεσμα όταν ανοίξει αυτό το ενιαίο σώμα άμμου, παρατηρείται το σχήμα του μοντέλου που επιδιώκουμε.

### 5.3.2.3 ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ

Η έγχυση με επικάλυψη είναι μία πολύ σημαντική μέθοδο για την χύτευση μετάλλου. Τα καλούπια για αυτή τη μέθοδο μπορούν να κατασκευαστούν βάση κάποιο πρωτότυπο που δημιουργείται με τη μέθοδο της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης. Το πρωτότυπο συνήθως είναι από κερί, αφρό, χαρτί, ή από άλλα υλικά τα οποία μπορούν εύκολα να λιώσουν ή να εξατμιστούν.

Το πρωτότυπο βυθίζεται σε ένα διάλυμα κεραμικού μείγματος, έτσι σχηματίζεται ένα περίβλημα (κέλυφος) γύρω από αυτό. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το περίβλημα αποκτήσει πάχος και αντοχή. Το περίβλημα αυτό στη συνέχεια χρησιμοποιείται για χύτευση αφού πρώτα το πρωτότυπο λιώσει και απομακρυνθεί από το εσωτερικό.

Η χύτευση γίνεται μέσα από ειδικές διόδους (μπουκαδούρες) που δημιουργούνται για αυτό το σκοπό, ενώ στη συνέχεια το περίβλημα σπάει για να εμφανισθεί το επιθυμητό αντικείμενο μέσα από το καλούπι.

### 5.3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΑΝΤΙΓΡΑΦΗ

Εφαρμόζεται ευρέως και είναι πιθανή περίπτωση αφού τα μοντέλα Ταχείας Πρωτοτυποποίησης αποτελούν το σημείο αναφοράς ιδιαίτερα σε αυτή τη μέθοδο. Στο αρχικό της στάδιο η μέθοδο εφαρμόστηκε στις εργαλειομηχανές όπου το πρωτότυπο τοποθετούνταν σε μια βάση και ένα μπράτσο είτε μηχανικό είτε ηλεκτρομηχανικό άγγιζε το μοντέλο και αντίστοιχα μετέφερε τη μορφή (ακμές) του πρωτότυπου στη μηχανή επεξεργασίας.(τόρνο, παντογράφο κ.α).

Σήμερα γίνεται πολύ πιο εύκολα και πολύ πιο γρήγορα. Το αρχικό πρωτότυπο που έχουμε στη διάθεση μας αντιγράφεται με :

- ψηφιακή μηχανή και φωτογραμμετρία ή
- 3D laser scanner

Τα παραπάνω μηχανήματα μετράνε χιλιάδες σημεία στο χώρο (νέφος σημείων) περιγράφοντας έτσι τη γεωμετρία ενός πολύπλοκου αντικειμένου ή μίας επιφάνειας. Τα ψηφιακά νέφη φιλτράρονται με λογισμικό και "συνδέονται" μεταξύ τους με σκοπό τη δημιουργία επιφανειών, ώστε να αποτελέσουν τελικά ένα ψηφιακό αντικείμενο που μπορεί να αναπαραχθεί με τεχνικές ταχείας πρωτοτυποποίησης (κερί, ρητίνη, μάρμαρο) ή να χρησιμοποιηθεί στην ψηφιακή του μορφή σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας.

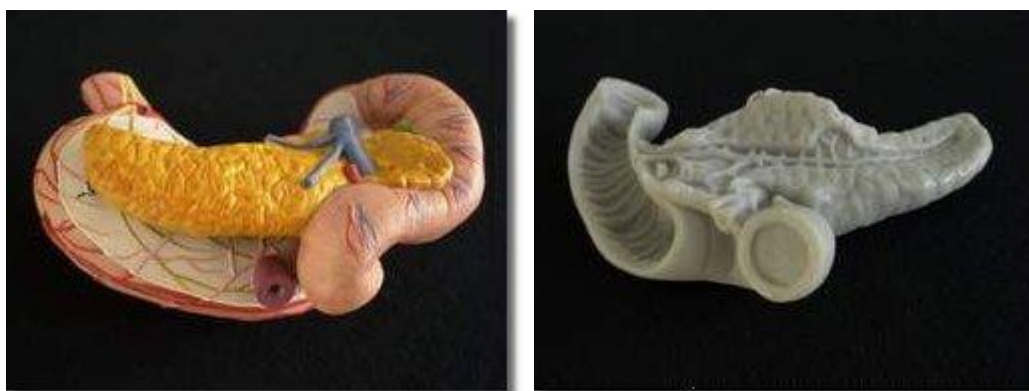
Με την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση αντικειμένων δημιουργούνται ψηφιακά αρχεία, ενώ παράγονται εύκολα, με υψηλή τεχνολογία (**ταχεία πρωτοτυποποίηση**), πιστά ή και τροποποιημένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης, τεκμηρίωσης και έρευνας. Τέλος, δημιουργούνται εύκολα μήτρες αντικειμένων για την παραγωγή εμπορικών αντιγράφων. Ειδικότερα, με την ψηφιακή φωτογραμμετρία μπορεί να γίνει αποτύπωση ενός αντικειμένου χωρίς καμία φυσική επαφή με αυτό, πράγμα ιδιαίτερα χρήσιμο.



## 5.4 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ

### 5.4.1 Ιατρική Βιομηχανία

Τα λεπτομερή ανατομικά μοντέλα στην ιατρική τυπικά παράγονται χρησιμοποιώντας την μέθοδο της εναλλακτικής έγχυσης σε καλούπι. Για αυτή την διαδικασία χρησιμοποιούνται συνήθως καλούπια με γαλβανισμό, τα οποία παράγονται με ηλεκτροχημική διαδικασία σε διάστημα δέκα έως είκοσι εβδομάδων. Τα μοντέλα που παράγονται από αυτά τα καλούπια είναι από PVC, ένα υλικό που εν συγκρίσει με το μέταλλο έχει μικρότερη σκληρότητα, σταθερότητα αλλά και διάρκεια ζωής. Η ανάγκη της κλιμάκωσης των μοντέλων, της μεγάλης ακρίβειας αλλά και της γρήγορης παραγωγής τους, οδήγησε στην εισαγωγή της ταχείας πρωτοτυποποίησης στον κλάδο αυτό.



Σχ.5.4 παραγόμενα μοντέλα

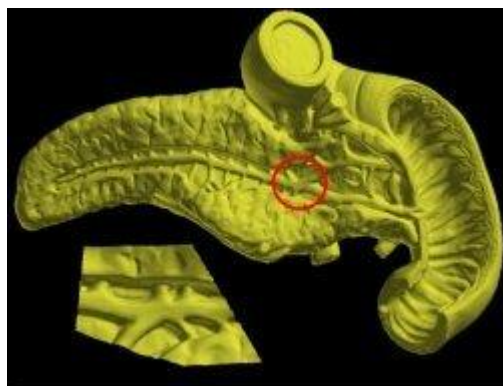
Η πολυπλοκότητα και τα λεπτομερή σχήματα από αυτά τα οργανικά μοντέλα, κάνουν την μαθηματική αναπαράστασή τους να είναι εφικτή μόνο στην θεωρία. Παράγοντας τα μοντέλα σε δεδομένα CAD θα ήταν σπατάλη του χρόνου αφού το μέγεθος των αρχείων θα ήταν τεράστιο και δύσκολο να χρησιμοποιηθεί. Έτσι στη μοντέρνα πρωτοτυποποίηση και παραγωγή οι διαδικασίες που βασίζονται σε

αρχεία CAD δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτού του είδους τα αντικείμενα.

Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα την έδωσε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό σκάννερ (scanner) που μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε την τρισδιάστατη τεχνολογία CAD/CAM, όπου μία μαθηματική αναπαράσταση των τμημάτων δεν είναι εφικτή και μόνο το πρωτότυπο είναι διαθέσιμο. Το σκάννερ ονομάζεται ATOS και κατασκευάστηκε από την εταιρεία GOM. Το ATOS είναι ένα σκάννερ δεύτερης γενιάς, με δύο κάμερες, το οποίο μας επιτρέπει την ψηφιοποίηση των μοντέλων με μεγάλη ακρίβεια και την εξακρίβωση της ευστάθειας των δεδομένων.



Σχ.5.5 διαδικασία ψηφιακής σάρωσης



Σχ.5.6 εντοπισμός δυσδιάκριτου σημείου

Το ATOS έχει τη δυνατότητα, στα σημεία που σαρώνει και είναι δυσδιάκριτα, να κάνει και άλλες πρόσθετες σαρώσεις έτσι ώστε να εξακριβωθεί πλήρως το σημείο. Βασικές λειτουργίες στα δεδομένα της ψηφιοποίησης, όπως μεταφορά, συνδυασμός, φιλτράρισμα και υπολογισμός των αποκλίσεων γίνονται αυτόματα από το σκάννερ. Τα δεδομένα αυτά μπορούν σε τελικό στάδιο να εισαχθούν άνετα σε ένα σύστημα ταχείας πρωτοτυποποίησης.

Αντίστοιχα τα δεδομένα από το ATOS μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ψηφιακές εργαλειομηχανές (φρέζας, τόννου κ.α) που βασίζονται στην τεχνολογία

CAD/CAM. Αυτού του είδους οι μηχανές δημιουργούν πρώτα ένα υβριδικό μοντέλο χρησιμοποιώντας τα δεδομένα STL και τις επιφάνειες CAD. Τα τμήματα που θα κατασκευαστούν ορίζονται στην αρχή εικονικά έτσι ώστε στην συνέχεια να οριστούν τα εργαλεία και οι επεξεργασίες, πάντα σε διάφορα στάδια. Την τελική επεξεργασία και μορφή την δίνει εξειδικευμένο άτομο που δουλεύει χειροποίητα μέχρι και την παραμικρή λεπτομέρεια στο καλούπι σε διάστημα μιας εβδομάδας .

Παρακάτω παρατηρούμε ένα παράδειγμα της εφαρμογής ,που είναι ένα καλούπι για την παραγωγή πρωτότυπων νεφρών, από την εταιρεία TEBIS.



Σχ.5.7 καλούπι για την παραγωγή πρωτότυπων νεφρών



Σχ.5.8 παραγόμενα μοντέλα

Το καλούπι μπορεί να παράγει πάνω από 100.000 κομμάτια με μεγάλη ακρίβεια. Τα κομμάτια αυτά μπορούν και να χρωματιστούν, προκειμένου να έχουν αληθοφανή όψη.

### 5.4.2 Αυτοκινητοβιομηχανία

Η γνωστή από τους αγώνες Formula 1 Jordan Grand Prix, επένδυσε πρόσφατα σε μια μηχανή στερεολιθογραφίας STL-5000 της εταιρείας 3D Systems και ήδη τη χρησιμοποιεί στην κατασκευή πρωτοτύπων εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας για δοκιμές σε αεροδυναμική σήραγγα κλίμακας 40% στις εγκαταστάσεις του κέντρου έρευνας και ανάπτυξης της Jordan στο Brackley.



Σχ.5.9 εργαστήριο Jordan



Σχ.5.10 μοντελο Jordan

Η μηχανή έχει ήδη παράγει περισσότερα από 250 αντικείμενα που καλύπτουν όλες τις λεπτομέρειες του αμαξώματος. Τα πρωτότυπα αυτά - όπως το εμπρός και το πίσω πτερύγιο, τα καλύμματα του κινητήρα κλπ - παίζουν σημαντικότερο ρόλο στη βελτίωση της αεροδυναμικής του αυτοκινήτου.

Τα εξαρτήματα που κατασκευάστηκαν υπό κλίμακα 40% από υψηλής ανθεκτικότητας εποξική ρητίνη, συναρμολογήθηκαν σε ένα αλουμινένιο πλαίσιο αυτοκινήτου. Ακολούθησε φινιρίσμα και βαφή όλων των μερών στα αγωνιστικά χρώματα της ομάδας ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι ένα απολύτως όμοιο με την πραγματική φόρμουλα 1 υπό κλίμακα.

Ο Δρ. John Davis, επικεφαλής του τμήματος έρευνας και ανάπτυξης της Jordan Grand Prix εξηγεί ότι «η επιτυχία στη φόρμουλα 1 είναι κάτι πολύ περισσότερο από το να είσαι ο ταχύτερος στον αγώνα. Είναι η ορθότητα και η ακρίβεια σε όλες τις πτυχές της έρευνας, της ανάπτυξης, των ελέγχων και της μηχανικής στο χτίσιμο του μονοθεσίου. Αυτοί οι παράγοντες σε συνδυασμό με τη συνεχή και αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας μας οδήγησαν στο να εξερευνήσουμε πρωτοποριακές τεχνολογίες όπως η στερεολιθογραφία, η οποία ήδη μας έχει αποδείξει ότι είναι ταχεία και ακριβής ώστε να μπορούμε να στηριχθούμε πάνω της για την κατασκευή λειτουργικών πρωτοτύπων για τις δοκιμές μας».

Η SLA-5000 της Jordan Grand Prix είναι εφοδιασμένη με ένα υψηλής ισχύος solid-state UV laser το οποίο είναι ικανό να στερεοποιεί τη ρητίνη με ταχύτητες μέχρι και 5m/sec! Επιπρόσθετα, ο συνδυασμός της τεχνολογίας της SLA-5000 και της εποξικής ρητίνης SL 5195 που χρησιμοποιεί η Jordan επιτρέπει να χτίζονται πρωτότυπα με πολύ λεπτές στρώσεις (layers) σε πάχος της τάξης του 0,1mm. Αυτό επιτρέπει να φτάσει κανείς την υψηλότερη δυνατή ακρίβεια και να μειώσει στο ελάχιστο τον απαιτούμενο χρόνο για το φινιρίσματα.

Η ρητίνη SL 5195 παράγεται από τη Ciba Speciality Chemicals ειδικά για το μοντέλο SLA 5000 της 3D Systems. Το αποτέλεσμα είναι εντυπωσιακό αφού ο συνδυασμός παράγει πρωτότυπα εξαιρετικής αντοχής και ακρίβειας με θαυμάσιες οπτικές ιδιότητες.

Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων έκανε τη Jordan να επιλέξει την SLA-5000 σαν το μοντέλο που είναι σε θέση να παράγει γρήγορα και με μεγάλη ακρίβεια και επαναληψιμότητα το σύνολο των απαραίτητα ανθεκτικών και λειτουργικών πρωτοτύπων εξαρτημάτων για τις δοκιμές.

Το υψηλό επίπεδο επαναληψιμότητας που επιτυγχάνει η SLA-5000 είναι εξαιρετικά μεγάλης σπουδαιότητας, γιατί στις δοκιμές στην αεροδυναμική σήραγγα δεν απαιτείται ένα μόνο πρωτότυπο αλλά μια ολόκληρη σειρά πανομοιότυπων πρωτοτύπων.



Σχ.5.11 μοντέλο για δοκιμή

«Η Jordan Grand Prix εξαπλώθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια, έφτασε στο σημείο που είναι σήμερα και συνεχίζει την προσπάθεια να σκαρφαλώσει ακόμα πιο ψηλά στον πίνακα κατάταξης των κατασκευαστών αν και χρηματοδοτείται σημαντικά λιγότερο απ' ότι οι ανταγωνιστές της» σχολιάζει ο Δρ. John Davis. «Έχουμε τη σταθερή πίστη ότι με το συνεχή μας μόχθο για βελτίωση και με επενδύσεις σε υψηλή τεχνολογία όπως η μηχανή στερεολιθογραφίας SLA-5000 της 3D Systems, η ομάδα μας θα έχει την επιτυχία που της αξίζει και θα καταφέρουμε να ανέβουμε και να παραμείνουμε ακόμα πιο ψηλά»

### 5.4.3 Ηλεκτρονική Βιομηχανία

Η Motorola εξοικονόμησε χρόνο, χρήματα με τις προσπάθειες των μηχανικών της οι οποίοι πέτυχαν ταχύτατη δημιουργία πρωτοτύπων, μειώνοντας την επανάληψη σχεδίων και επιτρέποντας τους τον έλεγχο των εξαρτημάτων νωρίς στο στάδιο του σχεδιασμού.



Σχ.5.12 Motorola V70

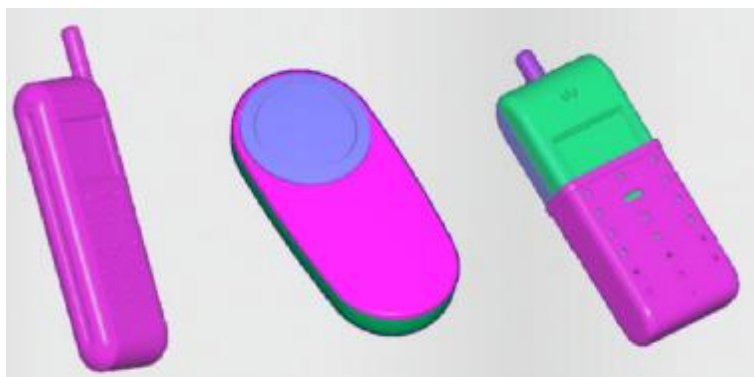
Για τους μηχανικούς και σχεδιαστές που ενδιαφέρονται για λειτουργικά πλαστικά πρωτότυπα, τα μοντέλα που δημιουργούνται στους τρισδιάστατους εκτυπωτές, με την πρώτη ματιά ίσως δεν έχουν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη. Αυτές οι μηχανές ταχείας πρωτοτυποποίησης δημιουργούν πρωτότυπα εναποθέτοντας πάνω σε επίπεδα πούδρας συγκολλητικό υγρό μέσω κεφαλών που οδηγούνται από τον Η/Υ, με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιούνται στους κοινούς εκτυπωτές. Ανάλογα με τη μηχανή, το υλικό εκτύπωσης μπορεί να είναι από ειδικές συνθετικές πούδρες μέχρι και ακρυλικά πολυμερή υλικά, αλλά κανένα απ' αυτά δεν μπορεί να μιμηθεί πραγματικά τις μηχανικές ιδιότητες των

θερμοπλαστικών. Ούτε επίσης μπορούν να πλησιάσουν τις ιδιότητες των αντικειμένων που προέρχονται από καλούπια injection. Ακόμα - ακόμα δεν προσφέρουν το φινίρισμα που υπάρχει στα πλαστικά παραγωγής, τουλάχιστον χωρίς την απαιτούμενη προεργασία φινιρίσματος και βαφής τους.

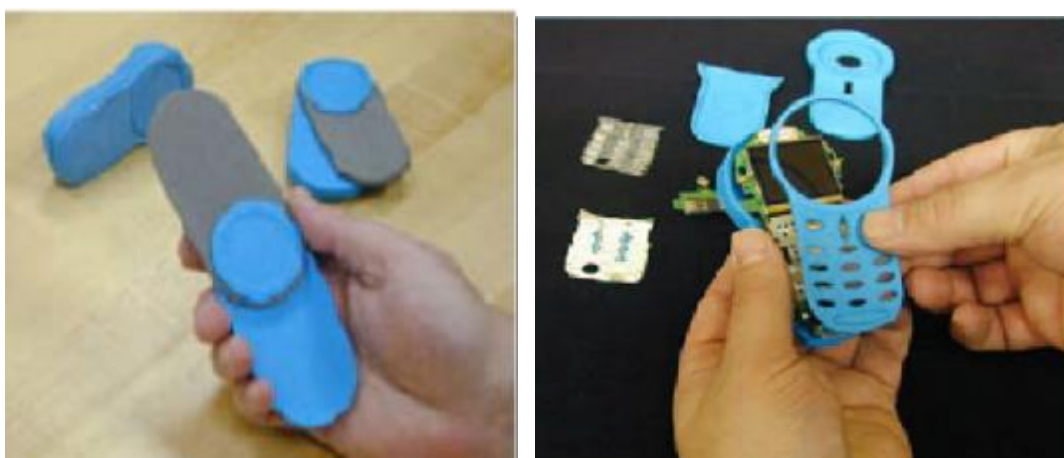
Με τον ιδιαίτερα σφικτό χρόνο του κύκλου ανάπτυξης των προϊόντων, ο κύριος λόγος είναι η ταχύτητα. Λειτουργώντας σε περιβάλλον γραφείου σαν περιφερειακό ενός CAD λογισμικού, ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής μπορεί να δημιουργήσει την πραγματική απεικόνιση ενός σχεδίου σε ελάχιστο χρόνο. «Μπορούμε να δημιουργήσουμε την επανάληψη ενός τηλεφώνου σε μια ώρα εάν το θελήσουμε» δηλώνει ο γενικός διευθυντής του τμήματος ταχείας πρωτοτυποποίησης της Motorola και χρήστης των τρισδιάστατων μηχανών της Z Corporation. Όχι μόνο η μηχανή αυτή, που είναι βασισμένη στην τεχνολογία inkjet, είναι γρήγορη αλλά και η χρήση της συνθετικής πούδρας με το ελάχιστο ολικό κόστος χρήσης, επιτρέπει τη δημιουργία πάμφθηνων πρωτοτύπων. Τα δημιουργούμενα μοντέλα κοστίζουν συνήθως 5€ σε υλικά και επικάλυψη. «δεν είναι καθόλου δαπανηρό να τα χρησιμοποιούμε για πέντε λεπτά και μετά να τα πετάμε» συμπληρώνει.

Αυτά τα γρήγορα δημιουργούμενα και φθηνά μοντέλα έρχονται να βοηθήσουν σημαντικά, καθώς η Motorola αναπτύσσει νέα κινητά τηλέφωνα και συσκευές τηλεπικοινωνιών. Σύμφωνα με τον γενικό διευθυντή του τμήματος, τα όχι πολύ υψηλής αντοχής πρωτότυπα ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή ίσως δεν περάσουν κάποιους μηχανικούς ελέγχους, αλλά σίγουρα υποστηρίζουν αποφάσεις που σχετίζονται με τη μορφή, εργονομία, τύπο κτλ. Για κάθε project η Motorola εκτυπώνει μεγάλο αριθμό τρισδιάστατων μοντέλων, νωρίς στο στάδιο του σχεδιασμού.





Σχ.5.13 αρχικό στάδιο σχεδίασης



Σχ.5.14 δοκιμή συναρμογής του μοντέλου

Μερικά απ’ αυτά τα μοντέλα, βοηθούν στην απόρριψη αρκετών κακών σχεδίων. Άλλα, βοηθούν την ομάδα βιομηχανικού σχεδιασμού, που αποτελείται από μηχανικούς διαφόρων κλάδων, να βελτιώσουν τα επιτυχημένα σχέδια. Αυτή η δυνατότητα απόρριψης σχεδίων και βελτίωσης των ήδη επιτυχημένων, δεν πρέπει να θεωρηθεί αμελητέα παράμετρος, ειδικά σε ταχύτατα τεχνολογικά αναπτυσσόμενες βιομηχανίες, όπως τα ηλεκτρονικά καταναλωτικά αγαθά και σίγουρα από μόνη της να δικαιολογεί την ύπαρξη ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή. Αλλά η Motorola έχει ωθήσει την τρισδιάστατη εκτύπωση μακρύτερα στον κόσμο της μηχανολογίας και των συναρμολογήσεων – αυτό που αποκαλείται “άμεση

μηχανολογική επιβεβαίωση του project”. «.εν ξέρω κάποιον άλλο να χρησιμοποιεί τις μηχανές μας με τον τρόπο που τις χρησιμοποιούν στη Motorola» αναφέρει η Μαρίνα Χατζοπούλου, Πρόεδρος και διευθύνων σύμβουλος της Z Corporation, κατασκευάστριας εταιρείας των τρισδιάστατων εκτυπωτών.

Σχεδόν όλα πλέον τα CAD σχεδιαστικά πακέτα έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν συγκρούσεις και προβληματικές συναρμολογήσεις των σχεδιαζόμενων μοντέλων, βοηθώντας στην αναζήτηση και διόρθωση των προβλημάτων. Πολλές φορές όμως παρουσιάζονται λάθη στην πραγματική χρήση. Πολλά σχέδια που φαίνονται σωστά στην οθόνη συχνά δεν δουλεύουν όταν παραχθούν. Πολλές λεπτομέρειες των μοντέλων είναι δύσκολο να ελεγχθούν στην οθόνη του Η/Υ, οι οποίες όμως είναι εύκολα εμφανείς στα τρισδιάστατα πρωτότυπα και μάλιστα όταν πρόκειται για ιδιαίτερες ιδιότητες όπως για παράδειγμα η θέση της μπαταρίας των κινητών τηλεφώνων, το κούμπωμά τους κτλ. Με τη βοήθεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης η Motorola κατάφερε μια έξυπνη προσέγγιση αναζήτησης των καταστάσεων αυτών νωρίς στη διαδικασία του σχεδιασμού.

Επιπρόσθετα, οι σχεδιαστές που εργάζονταν με την εξωτερική επιφάνεια των προτεινόμενων μοντέλων, τώρα έχουν τη δυνατότητα να προσθέσουν και τα εσωτερικά εξαρτήματα των συσκευών. Έτσι, δημιουργούν ξεχωριστά πρωτότυπα για την μπαταρία, την πλακέτα των ηλεκτρονικών, την οθόνη, τα κουμπιά και τα άλλα εσωτερικά εξαρτήματα. Όλα αυτά συναρμολογούνται μεταξύ τους για να δώσουν στους σχεδιαστές την τελική ιδέα του project. Η διαδικασία αυτή φέρνει στην επιφάνεια όλα τα σημαντικά και ανεπαίσθητα προβλήματα του σχεδιασμού, πολύ πριν την έναρξη της προπαραγωγής και της κατασκευής δοκιμαστικών εξαρτημάτων και ηλεκτρονικών πλακετών.

Μια παράλληλη τεχνική που χρησιμοποιεί η Motorola με τη βοήθεια της

τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η δημιουργία τομών των πρωτοτύπων. Το μοντέλο κόβεται στο CAD λογισμικό σε πολλά επίπεδα και αποστέλλεται στη μηχανή για την τρισδιάστατη εκτύπωση. Τα εκτυπωμένα μοντέλα δίνουν στους μηχανικούς τη δυνατότητα ελέγχου των αποστάσεων μεταξύ των εξαρτημάτων αλλά και τον έλεγχο του πάχους τους, σημαντική παράμετρος για την πρόσθεση ή αφαίρεση βάρους στις συσκευές. Πολλά απ' αυτά τα μοντέλα προχωρούν ακόμη περισσότερο στη διαδικασία του project: Με τη βοήθεια των επικαλύψεων και ρητινών που προσφέρει η Z Corporation σε συνδυασμό με τις χρησιμοποιούμενες πούδρες των τρισδιάστατων εκτυπωτών της, τα πρωτότυπα αποκτούν σημαντική αντοχή που τα κάνει ικανά για πολλές μηχανολογικές αναλύσεις. Για παράδειγμα οι νέες εποξιακές ρητίνες επιτρέπουν στη Motorola να δημιουργεί σπειρώματα πάνω στα πρωτότυπα μοντέλα των κινητών τηλεφώνων της. Επιπλέον η δημιουργία έγχρωμων πρωτοτύπων βοηθά τη Motorola στην ανάλυση σημαντικών στοιχείων εμφάνισης και σχεδιασμού.

Η χρήση των τρισδιάστατων εκτυπωτών στη Motorola βοήθησε και σ' έναν άλλο τομέα, αυτόν της μείωσης του χρόνου. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση μειώθηκαν σημαντικά οι διορθώσεις των σχεδίων, ο επανασχεδιασμός τους, η ρεαλιστική μοντελοποίησή τους με άλλα λογισμικά. Και η εξοικονόμηση χρόνου σημαίνει εξοικονόμηση χρημάτων.

Όλα τα παραπάνω οφέλη είναι εμφανή στο project του τηλεφώνου V70 της Motorola, που πρωτεύοντα ρόλο στην ανάπτυξή του έπαιξε η τρισδιάστατη εκτύπωση. Η διαδικασία εκκίνησης του project άρχισε με την κατασκευή 20 περίπου διαφορετικών πρωτοτύπων τηλεφώνων, με διαφορετικό άνοιγμα της άνω όψης της συσκευής. Η Motorola ήθελε να παρουσιάσει ένα πρωτοποριακό, μοναδικό σχεδιαστικά μοντέλο που θα αντικατόπτριζε το στυλ της εταιρείας.



**Σχ.5.15** επιλογή τελικού μοντέλου

Το πρωτότυπο μοντέλο με την περιστρεφόμενη πρόσοψη ήταν αυτό που κέρδισε από την αρχή όλους όσους εμπλέκονταν στο project. Η διαδικασία κατασκευής πρωτοτύπων για τα εσωτερικά εξαρτήματα του τηλεφώνου ξεκίνησε, σπαταλώντας μόνο το 1/3 του χρόνου που απαιτήθηκε για παρόμοια project της Motorola.

Το συνολικό κέρδος στο project V70 της Motorola, με την ευρεία χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης από τις μηχανές της Z Corporation, είναι η μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης του project στο 1/3 και μείωση του κόστους του στο 1/4, σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνικές ανάπτυξης των project της εταιρείας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ**

## 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

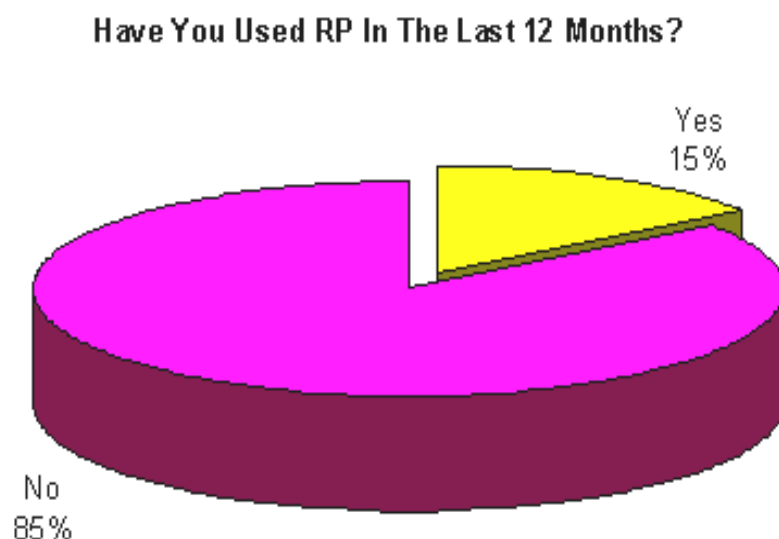
Παρ'όλο που η Ταχεία Πρωτοτυποποίηση υφίσταται σε εμπορική μορφή για περίπου 16 χρόνια, η ικανότητα της να παράγει εύκολα και ακούραστα σε νέες κατευθύνσεις, της επιτρέπει να διατηρεί την αίσθηση ενός τεχνολογικού « γεγονόςτος » για πολλούς παρατηρητές.

Παραδοσιακά, η Ταχεία Πρωτοτυποποίηση έχει συνεταιριστεί με σταθερές βιομηχανίες στον κατασκευαστικό κόσμο, όπως είναι η αεροδυναμική και η αυτοκινητοβιομηχανίες , αλλά το μεγάλο εύρος των εφαρμογών της παρέχει δυναμική εμφάνιση νέων ευκαιριών.

## 6.2 ΠΡΩΤΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

### 6.2.1 Οι Χρήστες της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης

Το 15% του μηχανολογικού τομέα χρησιμοποίησε τη τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης τους τελευταίους 12 μήνες. Εταιρείες με λιγότερα από 100 άτομα προσωπικό χρησιμοποίησαν την τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης κατά ποσοστό 8%,συγκρινομενο με το ποσοστό εταιρειών με περισσότερα από 100 άτομα προσωπικό, που άγγιξε το 28%.

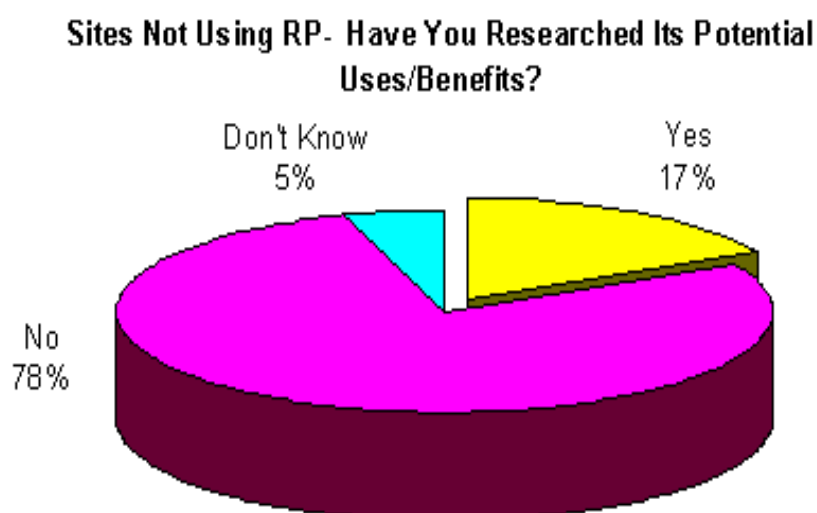


## 6.2.2 Παραγωγοί και Ταχεία Πρωτοτυποποίηση

Η χρήση αυτής της τεχνολογίας δεν επεκτάθηκε τόσο σύντομα στο 85% του μηχανολογικού τομέα λόγω **πολυπλοκότητας**. Το 48% του μηχανολογικού τομέα δεν χρησιμοποιεί μοντελοποίηση στέρεου, υπερτονίζοντας το πρόβλημα που δημιουργεί για του προμηθευτές της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης .

Ένας δεύτερος και σημαντικός λόγος μη επέκτασης της χρήσης της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης είναι το μεγάλο **κόστος εγκατάστασης** των συστημάτων της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης, ιδιαίτερα στις μικρές εταιρείες.

Νέες εφαρμογές της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης αναπτύσσονται συνεχώς, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για μια ευρεία κλίμακα κατασκευαστικών εταιρειών. Εν τούτοις, μεταξύ αυτών που ερωτήθηκαν και απάντησαν πως δεν χρησιμοποίησαν την τεχνολογία, το 78% είπαν πως δεν διερεύνησαν τις δυναμικές χρήσεις ή τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας για τις εταιρείες τους, δηλαδή λόγω **ανεπαρκούς ενημέρωσης**.



### 6.2.3 Μελλοντικοί χρήστες της τεχνολογίας

Από αυτούς που δεν χρησιμοποίησαν την Ταχεία Πρωτοτυποποίηση, ένα ποσοστό 13% είπε πως είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία στο μέλλον, ενώ μόνο το 1% υποστήριξε με βεβαιότητα πως δεν πρόκειται να τη χρησιμοποιήσει. Το 77% αυτών που δεν έχουν ερευνήσει τις πιθανές χρήσεις της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης δε θεωρούν πως θα τη χρησιμοποιήσουν στο μέλλον. Το μέγεθος του γκρουπ που μπορεί να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης στο μέλλον είναι πολύ μικρό (29 άτομα) για περαιτέρω ανάλυση και μελέτη, αλλά μπορούμε να αναφέρουμε τα στοιχεία αυτά: τρεις απ' αυτούς είπαν πως μελλοντικά θα αγοράσουν ένα σύστημα ταχείας πρωτοτυποποίησης, είκοσι θεωρούν ότι είναι πολύ πιθανόν να χρησιμοποιήσουν γραφείο εξυπηρέτησης και έξι πως δεν είναι σίγουροι.

Όσον αφορά στις εταιρείες, η χρήση της τεχνολογίας εξαρτάται από το μέγεθος αυτών: μόνο το 7% των εταιρειών που έχουν λιγότερους από 50 υπάλληλους πιστεύουν πως θα τη χρησιμοποιήσουν μελλοντικά, συγκρινόμενο με το 18% των εταιρειών αποτελούμενες από 50 υπαλλήλους και άνω.

### 6.2.4 Ανάπτυξη της Αγοράς

Τα ευρήματα επί των μελλοντικών προθέσεων ταιριάζουν πλήρως με τις προβλέψεις για ανάπτυξη στην αγορά της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης. Η τωρινή κατάσταση εκφράζεται από μια μέτρια ανάπτυξη γενικά, με ποσοστό 8-10 % κατά μέσο όρο για προϊόντα και υπηρεσίες σε ετήσια βάση. Αυτό το ποσοστό αναμένεται να αυξηθεί στη συνέχεια, ιδιαίτερα με τη χρήση της ταχείας πρωτοτυποποίησης στην κατασκευή. Στις Ηνωμένες Πολιτείες μόνο, υπάρχουν



ένα εκατομμύριο κατασκευαστικές εταιρείες. Ένας μεγάλος αριθμός εταιρειών, για παράδειγμα, θα ήθελε να μπορεί να κατασκευάζει πλαστικά κομμάτια με μικρές ταχύτητες και χωρίς εργαλεία, και η τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης θα μπορούσε να το πραγματοποιήσει.

### **6.2.5 Λόγοι Μη Χρήσης της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης**

Οι λόγοι που η ομάδα του μηχανολογικού τομέα (αναπαριστά το 65% του συνολικού δείγματος του μηχανολογικού τομέα), δεν έλαβε υπ' όψιν της τη χρήση της τεχνολογίας είναι οι ακόλουθοι:

- § Η τεράστια πλειοψηφία του 84% είπε πως η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν ήταν σχετική με τις δουλειές τους
- § το 10% υποστήριξε πως ήταν πολύ ακριβή η χρήση της και δεν ήταν επαρκής για τις ανάγκες τους
- § και ποσοστό λιγότερο του 6% δεν τη χρησιμοποίησε για άλλους λόγους.

Η πλειοψηφία της ομάδας που θεώρησε ότι η RP είναι άσχετη σε αυτούς, δεν ερεύνησε προηγουμένως τις δυναμικές εφαρμογές της. Γνωρίζουμε ότι περίπου οι μισοί μηχανολόγοι που χρησιμοποιούν προγράμματα – συστήματα CAD/CAM δουλεύουν σε 2D μορφή, και συνεπώς είναι λιγότερο ελκυστικό να ασχολούνται με αυτό το επιχείρημα.

Επιπλέον, υπάρχει έλλειψη γνώσης γύρω από τις προσθετικές τεχνολογίες και πόσα περισσότερα αυτές παρέχουν σε σύγκριση με τις τεχνολογίες αφαίρεσης. Με τις προσθετικές τεχνολογίες μπορούμε να δουλέψουμε με πολύπλοκες γεωμετρίας και να περάσουμε από το στάδιο του σχεδιασμού στο στάδιο της παραγωγής κομματιών πολύ γρήγορα.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα, τα οποία για να γίνουν ευρέως γνωστά πρέπει να ενσωματωθούν στη γενική αίσθηση των δυνατών χρηστών, πριν αυτοί μπορέσουν να αποτιμήσουν το ρόλο της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης στην επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων, και να γίνει περισσότερη δουλειά από τους γνώστες – προμηθευτές πάνω στα υλικά και τα συστήματα, πριν αυτοί απευθυνθούν στις ανάγκες των χρηστών.

### **6.2.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

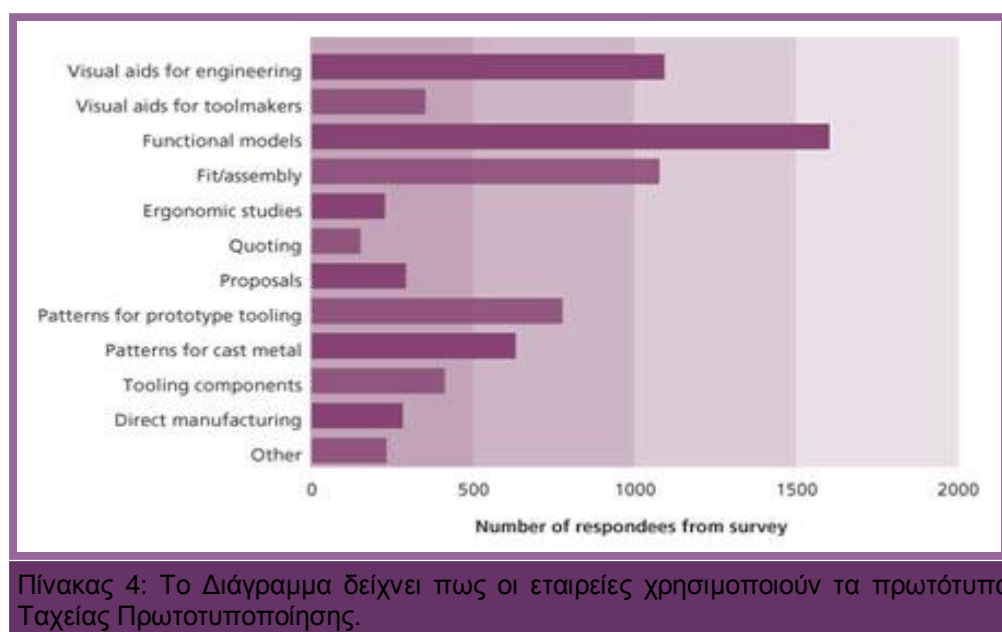
Οι προμηθευτές της Τεχνολογίας της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης πρέπει να στοχεύσουν στο 13% αυτού του τομέα που θεωρούν ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία στο μέλλον. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης μιας προοπτικής βάσης δεδομένων που ενδυναμώνει την άμεση αγορά σε μεγαλύτερα ποσοστά χρησιμοποιώντας τη μοντελοποίηση στερεού, είναι καθαρά.

Οι προμηθευτές της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης αντιμετωπίζουν μεγαλύτερη δυσκολία στην εκπαιδευτική δυναμική των πελατών γύρω από την καταλληλότητα των προϊόντων τους- στον μηχανολογικό τομέα, τουλάχιστον. Πάνω από τα  $\frac{3}{4}$  αυτών που δεν χρησιμοποιούν την ταχεία πρωτοτυποποίηση, δεν γνωρίζουν που εφαρμόζεται και δεν φιλοδοξούν να τη χρησιμοποιήσουν στο μέλλον. Εάν η νέα κλίμακα των εφαρμογών είναι αληθινά διευρυμένη στις ευκαιρίες της νέας αγοράς, οι προμηθευτές της ταχείας πρωτοτυποποίησης χρειάζονται να βρουν πιο άμεσους τρόπους γνωστοποίησης των πλεονεκτημάτων των προϊόντων και των υπηρεσιών τους.

## 6.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

### 6.3.1 Χρήση των πρωτοτύπων RP

Στον πίνακα 4 βλέπουμε τον τρόπο που οι εταιρείες χρησιμοποιούν τα πρωτότυπα Ταχείας Πρωτοτυποποίησης. Το μήκος κάθε ράβδου εκφράζει το σχετικό αριθμό των απαντήσεων που συγκεντρώνονται από αυτές τις καταμετρήσεις. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, οι εφαρμογές είναι τόσες πολλές όσες και οι βιομηχανίες που χρησιμοποιούν την Ταχεία Πρωτοτυποποίηση. Αυτό που δεν απεικονίζεται στο διάγραμμα, αλλά στην πραγματικότητα συμβαίνει, είναι πως ένα μοντέλο ταχείας πρωτοτυποποίησης συχνά χρησιμοποιείται για δύο ή και περισσότερες εφαρμογές.



### 6.3.2 Βιομηχανική Ανάπτυξη

Χρόνια ανάπτυξης και ύφεσης στην ταχεία πρωτοτυποποίηση έχουν γίνει κανόνας. Με τις εταιρείες σταθερά να εισέρχονται και να εδραιώνονται στη βιομηχανία, δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι πολλές από αυτές είναι ασαφής για

το μέλλον της τεχνολογίας. Ακόμη, η Ταχεία Πρωτοτυποποίησης συνεχίζει να αποτελεί το ενδιαφέρον και τη φαντασία για πολλές εταιρείες σε όλο τον κόσμο. Στο μέλλον, η επέκταση θα περιλαμβάνει οργανισμούς και βιομηχανίες, που θα εφαρμόζουν την Ταχεία Πρωτοτυποποίησης με τρόπους που σήμερα είναι δύσκολο να εφαρμοστούν.

Ο ετήσιος μέσος όρος ανάπτυξης της ταχείας Πρωτοτυποποίησης σε ολόκληρη την ιστορία της είναι εντυπωσιακός. Τα τελευταία δυο χρόνια, ωστόσο, έχει δημιουργηθεί μια απογοήτευση, όπως έχει διαφανεί από τα σχεδιαγράμματα, τις γραφικές παραστάσεις, και τους πίνακες. Οι κατασκευαστές μηχανών και οι προμηθευτές service συνεχίζουν να αντιμετωπίζουν ένα πλήθος προκλήσεων που δεν πρόκειται να τελειώσει.

Αντίθετα, οι πωλήσεις μηχανών παρουσίασαν ανοδική πορεία και ιδιαίτερα οι πωλήσεις της 3D printer μηχανής. Επιπλέον, αυξήθηκε ο αριθμός των πρωτοτύπων κομματιών που κατασκευάστηκαν το 2002. Ωστόσο, το ίδιο έτος οι περισσότερες εταιρείες έκαναν ένα μεγάλο αγώνα για την εξέλιξη τους σε όλους τους τομείς αυτής της τεχνολογίας.

Καθώς η βιομηχανία αναπτύσσεται και ωριμάζει, υπάρχει μια δραματική αύξηση στην εφαρμογή της τεχνολογίας για μοντέλα πρώτης ιδέας και κατασκευαστικά επεξεργασμένα κομμάτια.

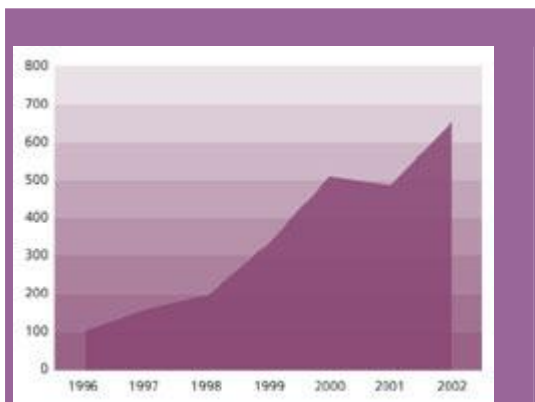
Για την καλύτερη διεξόδυση της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης στις νέες αγορές, πρέπει να συμβούν πολλές αλλαγές:

1. Οι μηχανές θα πρέπει να είναι οικονομικότερες όσον αφορά την αγορά τους και ευκολότερες στη χρήση και τη συντήρηση τους.

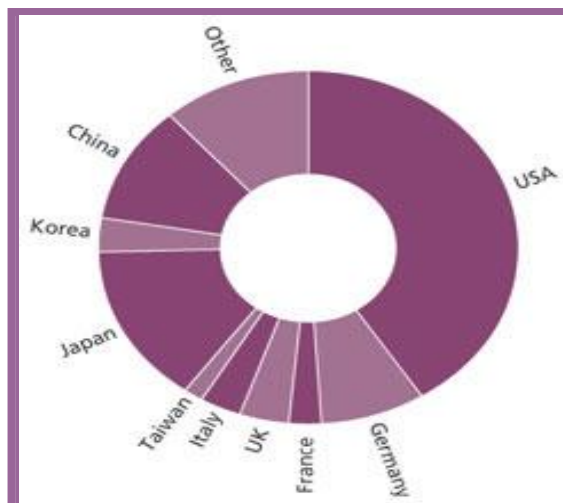
2. Για να προσελκύσουν περισσότερους χρήστες που θα υιοθετήσουν την τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (RP), οι τιμές των συστημάτων και ολόκληρο το κόστος πρέπει να μειωθεί αισθητά.
3. Τα υλικά θα πρέπει να βελτιωθούν.
4. Νέες μηχανές και εφαρμογές θα πρέπει να αναπτυχθούν για να υποστηρίξουν την παραγωγή κατασκευαστικά επεξεργασμένων κομματιών, εναντίον μοντέλων και πρωτοτύπων.

### **6.3.3 Εγκαταστάσεις συστημάτων RP**

Χώρες σε ολόκληρο τον κόσμο συνεχίζουν να υιοθετούν την τεχνολογία RP, και να εξελίσσουν την εργασία και τα προϊόντα τους με βάση αυτή. Το σχήμα 3, δείχνει τα συστήματα που πουλήθηκαν και εγκαταστάθηκαν από αρκετές χώρες το έτος 2002. Οι Η.Π.Α είχαν το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατάστασης συστημάτων σε σχέση με τις άλλες χώρες. Η Ιαπωνία κατέλαβε τη δεύτερη θέση, όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω της ιδιαίτερης τεχνολογικής ανάπτυξης που παρουσιάζει. Η Κίνα πέρασε μπροστά από τη Γερμανία για πρώτη φορά στην ιστορία της στον τομέα της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Η έρευνα αυτή διεξήχθη από τις Η.Π.Α.



Διάγραμμα 5 : ανοδική πορεία πωλήσεων μηχανών 3D printers ως το 2002.



Διάγραμμα 6: εγκαταστάσεις συστημάτων RP σε διάφορες χώρες το 2002.

#### 6.3.4 Ταχεία Κατασκευή

Η Ταχεία Κατασκευή (Rapid Manufacturing) για πολλούς είναι ένα όραμα του μέλλοντος και μια πραγματικότητα για λίγους, αλλά για όλους η ταχεία κατασκευή στερείται σαφή προσδιορισμό. Ένας σαφής και επακριβής προσδιορισμός της Ταχείας Κατασκευής είναι ο εξής: *Η Ταχεία Κατασκευή (Rapid Manufacturing) είναι η άμεση παραγωγή επεξεργασμένων προϊόντων από μια μηχανή ταχείας Πρωτοτυποποίησης (Rapid Prototyping).*

Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιεί προσθετικές διαδικασίες για να μεταφέρει επεξεργασμένα αγαθά απευθείας από ψηφιακά δεδομένα, τα οποία αποκλείουν όλα τα εργαλεία. Καθώς η τεχνολογία RM αναπτύσσεται όλο και περισσότερο, η βασισμένη σε στρωματά (layer-based) προσέγγιση από την ταχεία πρωτοτυποποίηση μπορεί να είναι συνδυασμένη με αφαιρετικές (machining) εφαρμογές ή να αντικαθίσταται από προσθετικές διαδικασίες που

χρησιμοποιούν μια πολυαξονική προσέγγιση αντί της διαδικασίας με διαδοχικά επίπεδα.

Επί του παρόντος, δεν υπάρχουν συστήματα ταχείας κατασκευής (RM). Ωστόσο, τα συστήματα ταχείας Πρωτοτυποποίησης (RP) χρησιμοποιούνται επιτυχώς σε εφαρμογές ταχείας κατασκευής για την παραγωγή αυτόνομων κομματιών. Για αυτό το λόγο, τα μηχανήματα RP μετατρέπονται σε μηχανήματα γενικών εργασιών, και τα οποία δεν είναι σχεδιασμένα για κατασκευαστικές εφαρμογές. Έτσι, δημιουργούνται προβλήματα με αυτά τα συστήματα που πρέπει να έχουν διεύθυνση την ταχεία κατασκευή για να επιτύχουν. Αυτά περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, φινιρισμένη επιφάνεια, επαναληψιμότητα, και ιδιότητες υλικών. Η βιομηχανία βρίσκεται τώρα σε μια παραδοσιακή φάση όπου συστήματα RP, παρά των περιορισμών τους, παράγουν μικρού όγκου και προσαρμοσμένα κομμάτια. Συστήματα Ταχείας Κατασκευής, με την επιθυμητή ταχύτητα και ποιότητα και το επιθυμητό κόστος δεν υφίστανται προς το παρόν, αλλά θα υπάρχουν στο μέλλον.



Διάγραμμα 7: εταιρείες κατασκευής μηχανών RP το έτος 2002



Διάγραμμα 8: ποσοστό δημιουργίας RP πρωτοτύπων ως το 2003.

### 6.3.5 Έρευνα και ανάπτυξη

Ένας εκπληκτικός αριθμός ερευνητικών και αναπτυξιακών προγραμμάτων συμβαίνει σε πανεπιστήμια, ινστιτούτα, εργαστήρια και σε εταιρείες σε ολόκληρο τον κόσμο. Αυτές οι προσπάθειες αποδεικνύονται από τον αυξανόμενο αριθμό πρωτοτύπων που δημιουργούνται, όπως φαίνεται στο σχήμα 8, και την τριπλάσια ανάπτυξη στις εφαρμογές πρωτοτύπων από το 2001 ως το 2003. Πολλά από τα αποτελέσματα προέρχονται από κυβερνητικά προγράμματα της Αμερικής.

Εν τω μεταξύ, ένας αυξανόμενος αριθμός εταιρειών από την Ευρώπη, την Ασία και άλλα μέρη του κόσμου εισέρχεται στη βιομηχανία. Η γραμμή ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια (περισσότερο το 2002) έχει μεγαλώσει βελτιώνοντας τις μεθόδους RP, ή εξερευνώντας σημαντικές αποκλίσεις από αυτές. Μια επιπρόσθετη γραμμή ανάπτυξης από τον συνδυασμό απόψεων δυο ή περισσότερων υπάρχων τεχνολογιών γίνεται επίσης φαινομενική. Αυτές οι προσπάθειες έχουν ως στόχο να εξαλείψουν τα εμπόδια που παρουσιάζονται σε συγκεκριμένα μέρη αυτής της τεχνολογίας, όπως είναι τα υλικά, η ακρίβεια και η ταχύτητα.

### 6.3.6 Μελλοντικές Εξελίξεις

Η **ταχεία πρωτοτυποποίηση** έχει αρχίσει να αλλάζει τον τρόπο που οι εταιρείες σχεδιάζουν και κατασκευάζουν προϊόντα. Στον ορίζοντα διακρίνονται πολλές εξελίξεις, που θα βοηθήσουν να ανατραπεί η κατασκευή που εμείς γνωρίζουμε.

Σημαντική βελτίωση θα σημειωθεί στην ταχύτητα κατασκευής. Οι μηχανές ταχείας πρωτοτυποποίησης παραμένουν αργοκίνητες όσον αφορά κάποια



σάνταρ. Χρησιμοποιώντας γρηγορότερους υπολογιστές, πιο πολύπλοκα συστήματα έλεγχου, και βελτιώνοντας τα υλικά, οι κατασκευαστές ταχείας πρωτοτυποποίησης θα μειώσουν αποτελεσματικά το χρόνο κατασκευής. Συνεχείς ελαχιστοποιήσεις στο χρόνο κατασκευής θα έχουν ως συνέπεια να καταστήσουν την ταχεία κατασκευή οικονομικότερη για μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων.

Μια επιπλέον εξέλιξη του μέλλοντος είναι η βελτιωμένη ακρίβεια και η τελειοποιημένη επιφάνεια. Σήμερα, εμπορικά διαθέσιμες μηχανές είναι ακριβείς στα 0.08 mm στον άξονα x-y, αλλά λιγότερο ακριβείς στον άξονα z. Βελτιώσεις σε οπτικά λέιζερ και κινητήρες ελέγχου θα αυξήσουν την ακρίβεια και στις τρεις κατευθύνσεις.

Επί προσθέτως, οι εταιρείες RP αναπτύσσουν νέα πολυμερή υλικά, τα οποία θα είναι λιγότερο επιρρεπή σε θερμικά φαινόμενα. Η ομάδα των μη πολυμερικών υλικών περιλαμβάνει μέταλλα, κεραμικά, και σύνθετα υλικά, αντιπροσωπεύοντας μια άλλη προβλεφθείσα ανάπτυξη. Αυτά τα υλικά θα επιτρέπουν στους χρηστές της τεχνολογίας να παράγουν λειτουργικά κομμάτια. Σήμερα τα πρωτότυπα από πλαστικό δουλεύουν καλά για οπτικοποίηση και κατάλληλους ελέγχους, συχνά όμως είναι ευπαθή σε λειτουργικούς ελέγχους. Πιο σθεναρά υλικά θα απέδιδαν δυνατά πρωτότυπα που θα μπορούσαν να είναι εκτεθειμένα σε πραγματικές συνθήκες εξυπηρέτησης.

Πολλές εταιρείες RP και αργαστήρια έρευνας δουλεύουν για να δημιουργήσουν νέα υλικά. Για παράδειγμα, το πανεπιστήμιο του Dayton συνεργάζεται με την εταιρεία Helisys για να παράγει κεραμικά καλούπια, στα οποία θα κατασκευάζονται πολυστρωματικά αντικείμενα. Η ομάδα Research Projects Agency / Office of Naval Research υποστηρίζει ένα πρόγραμμα που

ερευνά τρόπους να δημιουργήσει κεραμικά χρησιμοποιώντας την τεχνική fused deposition modeling. Το σύστημα Sandia/Stanford's LENS μπορεί να δημιουργήσει στερεά μεταλλικά κομμάτια. Αυτά τα τρία γκρουπ είναι μόνο λίγα από τα πολλά που ερευνούν νέα υλικά ταχείας πρωτοτυποποίησης.

Μια επιπλέον σημαντική εξέλιξη είναι η αύξηση του όγκου του πρωτοτύπου. Μέχρι τώρα οι περισσότερες μηχανές δημιουργούσαν αντικείμενα με μέγεθος έως 0.125 κυβικά μέτρα ή και λιγότερο. Τα μεγαλύτερα πρωτότυπα κατασκευάζονταν σε κομμάτια και ενώνονταν με τα χέρια. Για να διορθωθεί αυτή η κατάσταση, αρκετές τεχνικές "large prototype" δοκιμάζονται. Η μεγαλύτερη εξέλιξη αφορά τη διαδικασία Topographic Shell Fabrication και σημειώθηκε από Formus in San Jose. Σ' αυτή τη διαδικασία, ένα προσωρινό καλούπι χτίζεται σε επίπεδα από σκόνη διοξειδίου πυριτίου ορυκτού (σκόνη υψηλής ποιότητας) μαζί με κερί παραφίνης. Έπειτα το καλούπι χρησιμοποιείται για την παραγωγή πρωτοτύπων από γυαλί σε μορφή ινών, από εποξική ρητίνη, από αφρό ή από τσιμέντο με διαστάσεις μέχρι 3.3 m x 2 m x 1.2 m. Στο πανεπιστήμιο Utah, ο καθηγητής Charles Thomas αναπτύσσει συστήματα που να κόβουν πολύπλοκα σχήματα από αφρό ή χαρτί σε μέγεθος 1.2 m x 2.4 m.

Στο εργαστήριο ερευνάς ARL αποβλέπουν σε περισσότερα : να χτίζουν άμεσα μεγάλα μεταλλικά κομμάτια όπως τσοκ τόννου (tank turrets) χρησιμοποιώντας ρομποτικά κατευθυνόμενα λέιζερ.

Όλες οι παραπάνω βελτιώσεις θα βοηθήσουν τη βιομηχανία της ταχείας πρωτοτυποποίησης να συνεχίσει να αναπτύσσεται σε όλο τον κόσμο. Προς το παρόν, οι Η.Π.Α επικρατούν στο χώρο, αλλά η Γερμανία, η Ιαπωνία, και το Ισραήλ εισβάλουν όλο και περισσότερο. Εγκαίρως η ταχεία πρωτοτυποποίηση θα εξαπλωθεί και στις λιγότερο τεχνολογικά αναπτυσσόμενες χώρες. Με

περισσότερους ανθρώπους και περισσότερες χώρες στο πεδίο της τεχνολογίας αυτής, η ανάπτυξη της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης θα επιταχυνθεί ακόμη περισσότερο.

Πληροφοριακά αναφέρεται ότι στον ελληνικό χώρο χρησιμοποιούν με επιτυχία τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης οι εξής εταιρείες :

- § POLYLINE A.E - η οποία κατασκευάζει πρωτότυπα από μάρμαρο, πλαστικό και άλλα υλικά.
- § ΕΓΝΑΤΙΑ ΧΥΤΗΡΙΟ A.E - η οποία κατασκευάζει πρωτότυπα τα οποία εν συνεχεία τα χρησιμοποιεί για την κατασκευή καλουπιών.
- § BIC - η γνωστή εταιρεία η οποία κατασκευάζει στυλό.

Μια μελλοντική εφαρμογή είναι η Distance Manufacturing on Demand, ένας συνδυασμός ταχείας πρωτοτυποποίησης και Internet, που θα βοηθήσει τους σχεδιαστές να παραδίδουν τα σχέδια τους εξ' αποστάσεως για άμεση κατασκευή. Ερευνητές στο UC-Berkeley, μεταξύ άλλων, αναπτύσσουν ένα τέτοιο σύστημα. Οι οπαδοί της ταχείας πρωτοτυποποίησης πιστεύουν πως αυτή η τεχνολογία θα εξαπλωθεί και στα σπίτια, δανείζοντας νέο νόημα στον όρο "cottage industry" . Η δημιουργία τρισδιάστατων οικιακών εκτυπωτών ίσως ακούγεται εξωπραγματικό, αλλά το ίδιο ακουγόταν η έγχρωμη εκτύπωση με λέιζερ (color laser printing) μόνο δεκαπέντε χρόνια πριν.

Τελικά, η άνοδος της ταχείας πρωτοτυποποίησης είναι συνεχής και επεκτατική σε παραδοσιακές μεθόδους αφαίρεσης επίσης. Πρόοδοι στο σχεδιασμό, στον αριθμητικό έλεγχο, και στη δυνατότητα των μηχανών αυξάνουν την ταχύτητα και την ακρίβεια της παραγωγής. Οι Σύγχρονες εργαλειομηχανές μπορούν να αναπτύξουν ταχύτητες έως και 100.000 στρ/λεπτο (rpm), με αντίστοιχους

γρήγορους ρυθμούς. Οι μεγάλοι ρυθμοί αφαίρεσης υλικού μεταφράζονται σε μικρό χρόνο επεξεργασίας. Για βασικές εφαρμογές, ιδιαίτερα σε μέταλλα, η μηχανουργική διαδικασία θα συνεχίζει να είναι μια χρήσιμη διαδικασία κατασκευής. **Η ταχεία πρωτοτυποποίηση δεν πρόκειται να καταργήσει τη μηχανουργική τεχνολογία, αντιθέτως θα τη συμπληρώσει.**

**-- ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ --**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.3 CAD / CAM.....	7
1.3 CAD / CAM ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	8
1.4 CAD/CAM ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ .....	10
1.4.1 CAD .....	11
1.4.2 CAM .....	16
1.4.3 CIM .....	17
1.5 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	17
1.6 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ CAD / CAM.....	18
1.7 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ .....	20

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	22
2.2 ΤΑΧΕΙΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ.....	23
2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	24
2.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	26
2.4.1 Βασικές αυτοματοποιημένες διαδικασίες .....	26
2.4.2 Αλυσίδα διαδικασίας .....	27
2.4.3 Διάγραμμα διαδικασίας .....	32

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

3.1 Συστήματα Ταχείας Πρωτοτυποποίησης.....	35
3.4 Τεχνολογίες Ταχείας Πρωτοτυποποίησης.....	35
3.4.1 Στερεολιθογραφία – Stereo lithography.....	36
3.4.2 SOLID GROUND CURING.....	38
3.4.3 SELECTIVE LASER SINTERING.....	40
3.4.4 LAMINATED OBJECT MANUFACTURING – LOM.....	41

3.4.5	FUSED DEPOSITION MODELING.....	42
3.4.6	THREE DIMENSIONAL PRINTING.....	43
3.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	46
3.6	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ.....	47

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	50
4.2	ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (SYSTEMS OVERVIEW) .....	51
4.4.1	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΕΙΩΝ .....	52
4.4.2	ΚΟΙΝΗ ΜΟΡΦΗ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΑΡΧΕΙΩΝ .....	52
4.2.3	ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ – ΕΠΑΝΟΡΘΩΣΗ.....	53
4.2.4	ΔΟΜΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ (Support structures) .....	54
4.2.5	ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΑΡΧΕΙΩΝ (INTERFACE FORMATS).....	55
4.5	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ.....	56
4.5.1	ΤΡΙΓΩΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ (Triangular Facets) .....	57
4.6	ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (Data Representation) .....	58
4.7	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ .....	59
4.6	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	61
4.8	ΑΡΧΕΙΑ STEP (STEP) .....	64

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ.....	69
5.1.1.	Εξακρίβωση Μοντέλου CAD .....	69
5.1.2	Οραματισμός – Οπτικοποίηση Αντικειμένων.....	70
5.1.3	Έλεγχος της Ιδέας.....	70
5.1.4	Μάρκετινγκ και Εμπορικές Εφαρμογές.....	71
5.2	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ, ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ.....	71
5.2.3	Κλιμάκωση.....	71
5.2.4	Μορφοποίηση και συναρμογή.....	72
5.2.3	Ανάλυση Ροής.....	73

5.2.9	Ανάλυση πίεσης .....	74
5.2.10	Προσομοίωση κομματιών.....	74
5.2.11	Προ-παραγωγή Κομματιών ( Ταχεία Παραγωγή) .....	75
5.2.12	Προγραμματισμός Διαγνωστικής και Χειρουργικής Λειτουργίας.....	76
5.2.13	Σχεδιασμός - Κατασκευή Τεχνητού Μέλους και Εμφύτευση .....	76
5.3	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ.....	77
5.4.1	Πλαστικά κομμάτια με καλούπι. ....	77
5.4.2	ΧΥΤΕΥΣΗ.....	78
5.3.2.1	ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΝΘΕΤΑ.....	78
5.3.2.2	ΧΥΤΕΥΣΗ ΣΕ ΑΜΜΟ.....	78
5.3.2.3	ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ.....	79
5.4.3	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΑΝΤΙΓΡΑΦΗ.....	79
5.5	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ.....	81
5.4.1	Ιατρική Βιομηχανία.....	81
5.4.2	Αυτοκινητοβιομηχανία.....	84
5.4.3	Ηλεκτρονική Βιομηχανία.....	87

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	94
6.3	ΠΡΩΤΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	94
6.2.1	Οι Χρήστες της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης.....	94
6.2.2	Παραγωγοί και Ταχεία Πρωτοτυποποίηση.....	95
6.2.3	Μελλοντικοί χρήστες της τεχνολογίας .....	96
6.2.4	Ανάπτυξη της Αγοράς.....	96
6.2.5	Λόγοι Μη Χρήσης της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης.....	97
6.2.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	98
6.4	ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	99
6.4.1	Χρήση των πρωτοτύπων RP.....	99
6.3.2	Βιομηχανική Ανάπτυξη .....	99
6.3.3	Εγκαταστάσεις συστημάτων RP.....	101

6.3.4 Ταχεία Κατασκευή .....	102
6.3.5 Έρευνα και ανάπτυξη .....	104
6.3.6 Μελλοντικές Εξελίξεις .....	104