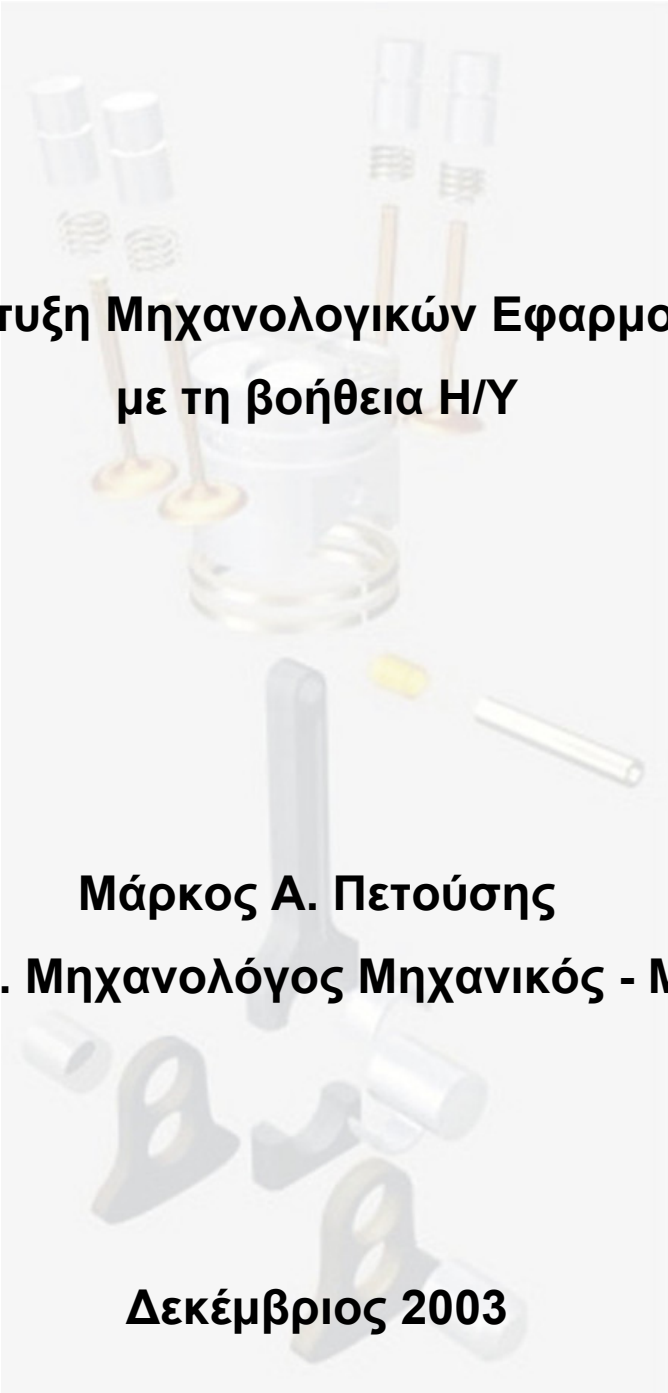




Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



**Ανάπτυξη Μηχανολογικών Εφαρμογών
με τη βοήθεια Η/Υ**

Μάρκος Α. Πετούσης
Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός - MSc

Δεκέμβριος 2003

Εισαγωγή

Αφορμή για τη συγγραφή των σημειώσεων υπήρξε η έλλειψη ενημερωμένων ελληνικών βιβλίων για την τεχνολογία CAD. Τα ελληνικά βιβλία είναι ελάχιστα και τα περισσότερα (ευτυχώς όχι όλα) αρκετά παλιά. Επίσης αφορμή για τη συγγραφή των σημειώσεων υπήρξε η τάση των λιγοστών σύγχρονων εντύπων της διεθνούς βιβλιογραφίας για το συγκεκριμένο αντικείμενο να αναφέρονται γενικότερα στην τεχνολογία των υπολογιστών στην ανάπτυξη προϊόντων. Στη διεθνή βιβλιογραφία τα περισσότερα έντυπα σχετικά με το CAD είναι των αρχών της δεκαετίας του 90, οπότε θεωρούνται παρωχημένα με δεδομένη την ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων και κατ' επέκταση της τεχνολογίας CAD.

Τα περιεχόμενα των σημειώσεων έχουν συλλεχθεί μετά από αρκετά (περίπου επτά) χρόνια ερευνητικού έργου στον τομέα των γραφικών σε υπολογιστή για βιομηχανικές εφαρμογές. Η παρούσα έκδοση είναι η πρώτη που εκδίδεται, αλλά στόχος είναι η δημιουργία ενός δυναμικού κειμένου, το οποίο θα ενημερώνεται, οπότε κρίνεται απαραίτητο, σύμφωνα με τις τάσεις που παρουσιάζονται στην τεχνολογία των συστημάτων CAD.

Έχει γίνει προσπάθεια η γλώσσα των σημειώσεων να είναι απλή και κατανοητή, ώστε να είναι εύκολη η αφομοίωση βασικών στοιχείων από τον αναγνώστη. Στόχος δεν είναι η αναλυτική παρουσίαση κάθε τεχνολογίας, αλλά η επικέντρωση του αναγνώστη στα κρίσιμα χαρακτηριστικά, τα οποία είναι εύκολο να αφομοιώσει και να συγκρατήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα. Θεωρείται απαραίτητο ο αναγνώστης να κατανοήσει τις βασικές έννοιες για κάθε μια από τις ενότητες των σημειώσεων.

Στόχος των σημειώσεων γενικότερα είναι η κάλυψη θεμάτων σχετικών με τη χρήση της τεχνολογίας των συστημάτων CAD στην ανάπτυξη προϊόντων.

Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται αναφορά στην τεχνολογία των συστημάτων CAD. Αναφέρονται σε θεωρητικό επίπεδο οι μαθηματικοί αλγόριθμοι που αξιοποιούν τα συστήματα CAD για τη

λειτουργία τους και περιγράφεται η διαδικασία για την ανάπτυξη προϊόντων και οι αλλαγές που έχουν επέλθει σε αυτήν από τη χρήση τέτοιων συστημάτων.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε τεχνολογίες, οι οποίες είναι σχετικές με τα συστήματα CAD. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν αναπτυχθεί λόγω της ευρείας χρήσης των συστημάτων CAD στην ανάπτυξη προϊόντων και στην εξέλιξη, λόγω της μεγάλης διάδοσης τους. Η χρήση των τεχνολογιών αυτών δίνει στις ομάδες που εμπλέκονται με την ανάπτυξη προϊόντων επιπλέον εργαλεία, για το σχεδιασμό σε μικρότερο χρόνο και με μικρότερο κόστος ποιοτικότερων, πιο αξιόπιστων προϊόντων. Γίνεται απλή αναφορά στις τεχνολογίες αυτές σε εισαγωγικό επίπεδο με σκοπό τη δημιουργία ερεθισμάτων στους αναγνώστες και την ενημέρωσή τους σε σχέση με τη χρήση των τεχνολογιών αυτών, οι οποίες έχουν αρχίσει να διαδίδονται στον ελληνικό χώρο σε εταιρίες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους.

Κάθε μια από τις αναφερόμενες ενότητες των σημειώσεων αποτελεί μια ολόκληρη επιστήμη, οπότε οι αναγνώστες πρέπει να ανατρέξουν σε εξειδικευμένη βιβλιογραφία, για την παροχή επιπλέον πληροφοριών.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	1
Περιεχόμενα	3
Κεφάλαιο 1	10
Η χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την ανάπτυξη προϊόντων	10
1.1. Εισαγωγή.....	10
1.2. Χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων	11
1.3. Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων	12
1.4. Ο ρόλος του πρωτοτύπου στην ανάπτυξη των προϊόντων	14
1.5. Η διαδικασία ανάπτυξης νέων προϊόντων	15
1.6. Οργανωτικές αλλαγές από τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων	19
1.7. Αλλαγές στη διαδικασία παραγωγής λόγω της μείωσης του κύκλου ζωής των προϊόντων	22
1.8. Επιπτώσεις από τη μείωση του κύκλου ζωής των προϊόντων στην εμπορική πολιτική των εταιριών	25
Κεφάλαιο 2	28
Περιγραφή των συστημάτων CAD/CAM	28
2.1. Εισαγωγή.....	28
2.2. Ιστορία των συστημάτων CAD	28
2.3. Κριτήρια αξιολόγησης ενός λογισμικού CAD	30
2.4. Υπολογιστικός εξοπλισμός συστημάτων CAD	30
2.5. Χρήση Η/Υ στη διαδικασία σχεδιασμού.....	32
2.6. Χρήση Η/Υ στην παραγωγική διαδικασία	33
2.7. Μονάδες εισαγωγής δεδομένων	33
2.7.1. Πληκτρολόγια	33
2.7.2. Φωτεινές πένες (Light Pen)	34
2.7.3 Ψηφιοποιητές	34
2.7.4 Ποντίκι	34
2.8. Μονάδες εξόδου	34
2.8.1 Οθόνες γραφικών (Raster Refresh Graphics Displays).....	34
2.8.2. Εκτυπωτές - Σχεδιογράφοι	35
Κεφάλαιο 3	37
Εισαγωγή στη Θεωρία Σχεδιασμού με Η/Υ	37
3.1 Εισαγωγή.....	37
3.2.Τρόπος λειτουργίας των συστημάτων CAD	37

3.3. Θεωρία μετασχηματισμών.....	38
3.3.1 Μήτρα Μετασχηματισμού.....	38
3.3.2. Δισδιάστατοι Μετασχηματισμοί Κλίμακας.....	39
3.3.3. Περιστροφή γύρω από την αρχή του συστήματος συντεταγμένων.....	39
3.3.4. Περιστροφή σε Διαφορετικές Γωνίες.....	41
3.3.5. Σύνθετοι Μετασχηματισμοί.....	41
3.3.6. Τρισδιάστατοι Μετασχηματισμοί.....	43
3.4. Τρισδιάστατη Απεικόνιση.....	48
3.4.1. Τριμετρικές Προβολές.....	48
3.4.2. Ισομετρική Προβολή.....	50
3.5. Περιγραφή Καμπύλων Γραμμών.....	52
3.5.1. Παραμετρικές Κυβικές Καμπύλες Splines.....	52
3.5.2. Καμπύλες Bezier.....	55
3.6. Δημιουργία Επιφανειών.....	56
3.6.1. Επίπεδη Επιφάνεια (Plane surface).....	56
3.6.2. Οδηγούμενες Επιφάνειες (Ruled surface).....	56
3.6.3. Επιφάνεια Περιστροφής (Surface of revolution).....	57
3.7. Τεχνικές Στερεάς Μοντελοποίησης.....	57
3.7.1. Πράξεις Boole.....	57
3.7.2. Σάρωση (Sweeping).....	58
3.7.3. Κατασκευή Τόξων Καμπυλότητας (Fillet) και Λοξομήτων Γωνιών (Chamfer).....	58
3.7.4. Επικάλυψη της συρματικής αναπαράστασης.....	59
3.8. Τεχνικές μοντελοποίησης.....	59
3.8.1. Κατασκευαστική Στερεά Γεωμετρία (Constructive Solid Geometry).....	61
3.8.2. Συνοριακή Αναπαράσταση (Boundary Representation).....	62
3.8.3. Παραμετρική Μοντελοποίηση (Parametric modeling).....	65
3.8.4. Μοντελοποίηση Βασισμένη σε Στοιχεία (Feature based modeling).....	65
3.8.5. Ιεράρχηση χαρακτηριστικών αντικειμένων (object orientation).....	66
3.8.6. Χρήση Αρχετύπων.....	66
Κεφάλαιο 4.....	67
Η τεχνολογία της απεικόνισης γραφικών σε υπολογιστή.....	67
4.1. Εισαγωγή.....	67
4.2. Ιστορικά στοιχεία για τα γραφικά σε υπολογιστή.....	67
4.3. Χαρακτηριστικά αντικειμένων σε μια τρισδιάστατη σκηνή.....	69
4.4. Απόκρυψη ακμών.....	70
4.4.1. Painters algorithm.....	71
4.4.2. Z – buffer.....	71

4.4.3. Scan – line algorithm	72
4.4.4. Τεχνικές σύγκρισης.....	73
4.4.5. Αλγόριθμος του Warnock	74
4.4.6. Ο αλγόριθμος του Franklin	74
4.4.7. Γενικευμένη μέθοδος απόκρυψης γραμμών	74
4.4.8. Αφαίρεση πίσω όψης (back-face removal).....	75
4.5. Τεχνικές αύξησης του ρεαλισμού σε μια ρεαλιστική απεικόνιση.....	78
4.5.1. Απόδοση υφής στις επιφάνειες (texture mapping)	78
4.5.2. Σκίαση.	80
4.5.3. Απεικόνιση ομίχλης.	81
4.5.4. Απεικόνιση διαφανών αντικειμένων.....	81
4.5.5. Ευκρίνεια απεικόνισης.....	82
4.5.6. Εξομάλυνση ασυνεχειών	82
4.5.7. Ανισοτροπικό φιλτράρισμα (anisotropic filtering).....	84
4.6. Υπολογιστικός φόρτος.....	84
4.7.1. Προγραμματιζόμενο τσιπ.....	86
4.7.2. Αρχιτεκτονική μνήμης Lightspeed	86
4.7.3. Τεχνολογία Hyper Z 1 & 2	86
4.7.4. Charisma Engine 2 & Pixel Tapestry 1	87
4.7.5. True Form.....	87
4.7.6. Tile based rendering.....	87
4.8. Πρωτόκολλα ανάπτυξης γραφικών σε υπολογιστή	87
Κεφάλαιο 5.....	89
Χρήση συστημάτων CAD/CAM	89
5.1. Εισαγωγή.....	89
5.2. Σχεδίαση σε δύο διαστάσεις.....	89
5.3. Πλεονεκτήματα τρισδιάστατης γεωμετρικής μοντελοποίησης	90
5.4. Μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης.....	90
5.5. Μεθοδολογία τρισδιάστατης μοντελοποίησης	92
5.6. Γεωμετρική μοντελοποίηση με τη χρήση επιφανειακών μοντέλων.....	93
5.7. Μεταφορά γεωμετρίας μεταξύ σχεδιαστικών λογισμικών	95
5.8. Βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων CAM.....	97
Κεφάλαιο 6.....	99
Νέα Γενιά Λογισμικών Cad.....	99
6.1. Εισαγωγή.....	99
6.2. Χαρακτηριστικά σύγχρονων λογισμικών CAD.....	99
6.3. Παραδείγματα feature based CAD λογισμικών.	100

6.3.1. Pro Engineer (www.ptc.com).....	100
6.3.2. Solidworks (www.solidworks.com)	100
6.3.3. Dassault Catia (www.dassault.com).....	101
6.3.4. Autodesk Inventor (www.autodesk.com).....	102
6.3.5. EDS (www.ugsolutions.com).....	103
Κεφάλαιο 7.....	105
Εισαγωγή στην Τεχνολογία Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (Rapid Prototyping)	105
7.1. Εισαγωγή.....	105
7.2. Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας Ταχείας Πρωτοτυποποίησης	105
7.3. Η Διαδικασία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης	106
7.3.1. Εισαγωγή Γεωμετρίας	106
7.3.2. Στηρίγματα.....	107
7.3.3. Τομή και Ένωση.....	107
7.3.4. Αντιστάθμιση Πάχους Γραμμής (Line width compensation).....	108
7.3.5. Παράγοντας Συστολής.....	109
7.3.6. Βάθος Επίδρασης (Cure depth)	109
7.3.7. Τελική Επεξεργασία Πρωτοτύπου	109
7.4. Μεταφορά Δεδομένων σε Συστήματα Ταχείας Προτυποποίησης	109
7.4.1. Λειτουργίες λογισμικού για Ταχεία Προτυποποίηση.....	109
7.4.2. Δημιουργία Αρχείου STL: Προβλήματα	110
7.5. Η Τεχνολογία Ταχείας Προτυποποίησης σε σχέση με την Κατεργασία.....	110
7.6. Η Τεχνολογία Ταχείας Προτυποποίησης σε σύγκριση με συμβατικές μεθόδους	111
7.7. Διαθέσιμες τεχνολογίες.....	111
7.7.1. Στερεολιθογραφία.....	111
7.7.2 FDM.....	113
7.7.3 LOM.....	113
7.7.4. 3D Printers.....	114
7.7.5. Sintering	115
Κεφάλαιο 8.....	116
Εισαγωγή στην Τεχνολογία Rapid Tooling	116
8.1. Εισαγωγή.....	116
8.2. Γενικά χαρακτηριστικά για τις μεθόδους Rapid Tooling.....	116
8.3. Σκοπιμότητα χρήσης μεθόδων Rapid Tooling στην παραγωγή προϊόντων	117
8.4. Ιστορικά στοιχεία για τις μεθόδους Rapid Tooling	117
8.5. Έμμεσοι Μέθοδοι Rapid Tooling	118
8.5.1. RTV Molding/Urethane Casting	118
8.5.2. Spin Casting	119

8.5.3. Cast Resin Tooling	119
8.5.4. Spray Metal Tooling.....	120
8.5.5. Rubber Plaster Mold (RPM)	121
8.5.6. Rubber Plaster Casting	122
8.5.7. Electroforming	122
8.5.8. Cast Aluminum and Zinc Kirksite Tooling.....	122
8.5.9. Direct Investment Casting	123
8.5.10. 3D Keltool	123
8.5.11. Indirect Investment Casting	124
8.5.12. Composite Tooling (Epoxy Tooling)	124
8.5.13. PHAST (Prototype Hard and Soft Tooling).....	125
8.5.14. Quickcast.....	125
8.5.15. Sand Casting	126
8.5.16. Topographic Shell Formation (TSF)	126
8.5.17. Nickel Ceramic Composite (NCC).....	127
8.5.18. Polysteel	127
8.6. Άμεσοι Μέθοδοι Rapid Tooling.....	128
8.6.1. Direct Aim (Aces Injection Molding).....	128
8.6.2. SLS RapidSteel (Rapid Tool)	128
8.6.3. Direct Metal Laser Sintering EOSINT M.....	129
8.6.4. Direct Croning Process (DCP) – EOSINT S.....	129
8.6.5. Copper Polyamide Tooling	129
8.6.6. Laminated Tooling	129
8.6.7. LENS	130
8.6.8. Prometal	131
8.6.9. Direct Shell Production Casting (DSPC)	131
8.6.10. Controlled Metal Build-up (CMB).....	132
8.7. Σύνοψη.....	132
Κεφάλαιο 9.....	133
Εισαγωγή στην τεχνολογία της Ανάστροφης Μηχανολογίας (Reverse Engineering)	133
9.1. Εισαγωγή.....	133
9.2. Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας Ανάστροφης Μηχανολογίας.....	133
9.3. Περιγραφή τεχνικών ψηφιοποίησης	133
9.4 Τομείς εφαρμογής	136
9.5. Βασικά βήματα στις τεχνικές Ανάστροφης Μηχανολογίας.....	136
9.5.1. Μέθοδοι συλλογής δεδομένων	136
9.5.2. Επεξεργασία.....	137

9.5.3. Προσέγγιση δεδομένων από επιφάνεια.....	137
9.6. Εφαρμογές Ανάστροφης Μηχανολογίας	138
Κεφάλαιο 10.....	140
Εισαγωγή στην Τεχνολογία Εικονικής Πραγματικότητας για την Ανάπτυξη Βιομηχανικών Εφαρμογών.....	140
10.1. Εισαγωγή.....	140
10.2. Τι είναι Εικονική Πραγματικότητα	140
10.3. Τι δεν είναι Εικονική Πραγματικότητα	140
10.4. Τομείς εφαρμογής της Εικονικής Πραγματικότητας.....	140
10.5. Επιπτώσεις από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία.....	141
10.6. Πλεονεκτήματα από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία.....	141
10.7. Αποτελέσματα από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία.....	141
10.8. Λειτουργικά χαρακτηριστικά συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας.....	142
10.9.Τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας	142
10.10. Περιφερειακά συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας.....	143
10.11. Συσκευές εισόδου δεδομένων σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας	143
10.12. Συσκευές εξόδου σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας	144
10.13. Χαρακτηριστικά λογισμικού Εικονικής Πραγματικότητας.....	144
10.14. Λογισμικό Εικονικής Πραγματικότητας	145
10.15. Χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας για την προσομοίωση διαδικασιών στη βιομηχανία	145
10.16. Πλεονεκτήματα από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία.....	146
10.17. Αποτελέσματα από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία.....	146
10.18. Παραδείγματα βιομ. εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας.....	147
Κεφάλαιο 11.....	148
Εισαγωγή στα Συστήματα Διαχείρισης Δεδομένων Προϊόντος (Product Data Management).....	148
11.1. Εισαγωγή.....	148
11.2. Ορισμός.....	148
11.3. Ανάγκη που οδήγησε στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων.....	149
11.3. Λειτουργίες Συστημάτων PDM	149
11.4. Χαρακτηριστικά συστημάτων PDM	150

11.6. Αποτελέσματα από τη χρήση συστημάτων PDM	151
11.7. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα PDM	151
Βιβλιογραφία - Αναφορές.....	152

Κεφάλαιο 1

Η χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την ανάπτυξη προϊόντων

1.1. Εισαγωγή

Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων έχει μεταβληθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, λόγω της εισαγωγής νέων εργαλείων στο σχεδιασμό και την προσομοίωση προϊόντων και διαδικασιών. Τα εργαλεία αυτά βασίζονται στη χρήση υπολογιστικού εξοπλισμού και παρέχουν στους σχεδιαστές πληροφορίες για το προϊόν, οι οποίες παλαιότερα είτε δεν ήταν εφικτό να προσδιοριστούν στη φάση σχεδιασμού, ή η κατανόησή τους δεν ήταν εφικτή από όλους. Τα αποτελέσματα από τη χρήση των εργαλείων αυτών είναι η μείωση του κόστους ανάπτυξης, του κύκλου ανάπτυξης και του κύκλου ζωής του προϊόντος, με ταυτόχρονη βελτίωση της ποιότητας του. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν προφανή πλεονεκτήματα για την ανταγωνιστικότητα των εταιριών, εμπεριέχουν όμως και σημαντικούς κινδύνους. Η μείωση του κύκλου ζωής του προϊόντος επιβάλλει την απόδοση κέρδους από αυτό σε μικρότερο χρονικό διάστημα, το οποίο απαιτεί μεγαλύτερη ευελιξία από τις εταιρίες και ταυτόχρονα εμπεριέχει εμπορικό ρίσκο. Το εμπορικό ρίσκο συνδέεται με διάφορους παράγοντες. Ο κύκλος ζωής, ο οποίος επηρεάζεται από τις συνθήκες της αγοράς, μπορεί να μην είναι επαρκής χρονικά, ώστε να είναι βιώσιμο το προϊόν. Υπάρχει η πιθανότητα να παραχθεί ένα προϊόν, το οποίο να μην ανταποκρίνεται στις ανάγκες της αγοράς, ή μπορεί να παραχθεί ένα προβληματικό προϊόν, που θα έχει επιπτώσεις στην εικόνα της εταιρίας προς τους πελάτες της.

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται σύγχρονοι μέθοδοι για την ανάπτυξη προϊόντων, οι οποίες εφαρμόζονται σε εταιρίες ανεξαρτήτως μεγέθους.

1.2. Χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων

Υπολογιστικά συστήματα έχουν εισαχθεί στις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων, λόγω των δυνατοτήτων που παρέχουν στους σχεδιαστές. Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων έχει τροποποιηθεί, λόγω της χρήσης τέτοιων συστημάτων και συνεχίζει να τροποποιείται σε συνάρτηση με την ανάπτυξη των δυνατοτήτων και της τεχνολογίας, που παρέχουν τα συστήματα. Τα υπολογιστικά συστήματα αποτελούν το φορέα σύνδεσης των ιδεών των μηχανικών, που εμπλέκονται στις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων, με το προϊόν, το οποίο τελικά υλοποιείται και ταυτόχρονα αποτελούν το μέσο για την επικοινωνία των μελών της ομάδας ανάπτυξης του προϊόντος. Τέτοιου είδους εργαλεία υπήρχαν στο παρελθόν σε διαφορετική και πιο απλοποιημένη μορφή. Το βασικό χαρακτηριστικό των λογισμικών εργαλείων, που αποτελούν βασικό συστατικό των υπολογιστικών συστημάτων, είναι ότι παρέχουν στους σχεδιαστές πληροφορίες για τα τεχνικά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του προϊόντος που αναπτύσσεται, πριν από την παραγωγή του φυσικού πρωτοτύπου και ακόμα περισσότερο προτού το προϊόν προωθηθεί στη γραμμή παραγωγής. Οι πληροφορίες αυτές δεν ήταν εφικτό να προσδιοριστούν με τις συμβατικές μεθόδους ανάπτυξης προϊόντων, που χρησιμοποιούνταν στο πρόσφατο παρελθόν. Η χρήση υπολογιστικών συστημάτων παρέχει πλεονεκτήματα, όπως ευελιξία στο σχεδιασμό, αξιοπιστία κ.α., τα οποία θεωρούνται πλέον προφανή και για το λόγο αυτό δε θα αναλυθούν εκτενέστερα.

Οι δυνατότητες του υπολογιστικού συστήματος που χρησιμοποιείται είναι άμεσα συνδεδεμένες με το κόστος, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την αισθητική του προϊόντος, το οποίο αναπτύσσεται. Το κόστος παραμένει ο κυριότερος παράγοντας επιτυχίας του προϊόντος. Τα λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του προϊόντος επηρεάζονται από τους ελέγχους, που επιτρέπει το λογισμικό προσομοίωσης να πραγματοποιηθούν στο προϊόν. Η αισθητική σχετίζεται με τις δυνατότητες μοντελοποίησης του λογισμικού που χρησιμοποιείται (παραγωγή παραμετρικού γεωμετρικού μοντέλου, ρεαλιστική απεικόνιση, κλπ.). Τα σύγχρονα λογισμικά σχεδιασμού έχουν φτάσει σε τέτοιο επίπεδο ωριμότητας, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι περιορισμοί των σχεδιαστών σε σχέση με τον προσδιορισμό αυτών των παραμέτρων του προϊόντος.

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για ενοποίηση των επιμέρους λογισμικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό του προϊόντος. Η προσπάθεια αυτή έχει ως στόχο τη βελτίωση της οργάνωσης και της διαχείρισης των δεδομένων για το προϊόν, τα οποία σε όλο και μεγαλύτερο ποσοστό αναπτύσσονται σε ψηφιακή μορφή. Η ενοποίηση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί είτε μέσω της ολοκλήρωσης χαρακτηριστικών από διαφορετικά λογισμικά εργαλεία, για την παραγωγή νέων λογισμικών εργαλείων, είτε με την

ανάπτυξη εργαλείων σύνδεσης των επιμέρους λογισμικών που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό του προϊόντος.

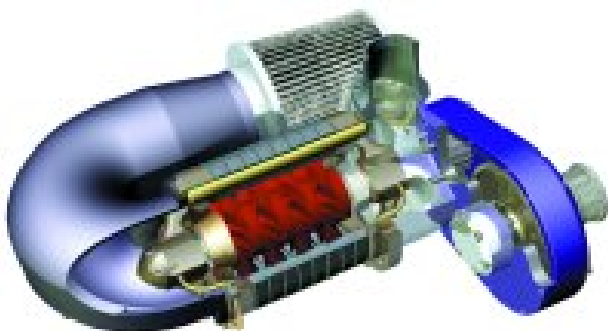
1.3. Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων

Για τη λεπτομερή ανάπτυξη ενός προϊόντος με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα παρακάτω:

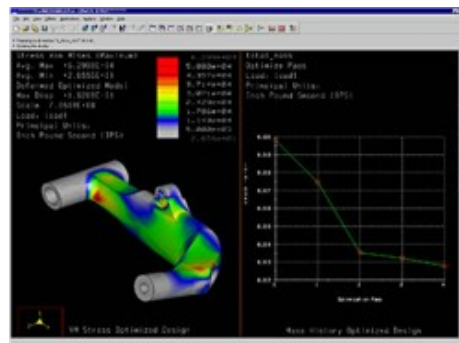
- Προετοιμασία του σχεδιασμού, η οποία περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της μεθοδολογίας ανάπτυξης του προϊόντος.
- Σχεδίαση των γεωμετρικών μοντέλων του προϊόντος στο σύστημα CAD (συνήθως δημιουργείται παραμετρικό γεωμετρικό μοντέλο).
- Συναρμολόγηση των επιμέρους γεωμετρικών μοντέλων, για τη δημιουργία του συνολικού μοντέλου του προϊόντος.
- Απόδοση χρωμάτων, υλικών και υφής (όχι πάντα) στο προϊόν, για τη ρεαλιστική απεικόνιση του ψηφιακού πρωτοτύπου που αναπτύσσεται, κυρίως για αισθητική αξιολόγηση.
- Μεταφορά του γεωμετρικού μοντέλου σε σύστημα πεπερασμένων στοιχείων (FEA) για προσδιορισμό των τεχνικών του χαρακτηριστικών.
- Προσδιορισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών του αντικειμένου στο σύστημα FEA με τη χρήση μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων.
- Τροποποίηση της σχεδίασης, ώστε να ανταποκρίνεται στα τεχνικές, λειτουργικές και αισθητικές προδιαγραφές που έχουν τεθεί.
- Μεταφορά του τελικού γεωμετρικού μοντέλου στο σύστημα Εικονικής Παραγωγής (Virtual Manufacturing), για το σχεδιασμό της μεθοδολογίας παραγωγής του προϊόντος (μπορεί να είναι ένα σύστημα CAM ή κάποιο περισσότερο πολύπλοκο λογισμικό εργαλείο προσομοίωσης παραγωγικών διαδικασιών).
- Κατασκευή φυσικού πρωτοτύπου, το οποίο συνήθως είναι από διαφορετικά υλικά σε σχέση με το πραγματικό προϊόν.

Πρέπει να αναφερθεί ότι οι εταιρίες σπάνια πλέον αναπτύσσουν ένα προϊόν από την αρχή. Συνήθως χρησιμοποιούν δεδομένα από την προηγούμενη έκδοση του προϊόντος, την οποία βελτιώνουν τεχνολογικά ή αισθητικά και διορθώνουν πιθανά λάθη. Σε προϊόντα που δεν υπάρχει έτοιμη τεχνογνωσία στην εταιρία, επιδιώκεται η μεταφορά τεχνογνωσίας από άλλες εταιρίες ή υιοθετούνται επιτυχώς εφαρμοσμένες τεχνικές άλλων εταιριών. Ακόμα και τα πιο πρωτοποριακά σημερινά προϊόντα θεωρείται ότι δεν έχουν καινοτομικά στοιχεία σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5 - 10%. Το ποσοστό αυτό ίσως φαίνεται μικρό, λαμβάνοντας υπόψη όμως την πολυπλοκότητα των σύγχρονων προϊόντων, το ποσοστό αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πλήθος καινοτομιών. Ο βαθμός καινοτομίας ενός προϊόντος επηρεάζει σημαντικά το κόστος του προϊόντος και το χρόνο για το σχεδιασμό του. Οι εταιρίες επιδιώκουν να παράγουν καινοτομικά

προϊόντα, πρέπει όμως ο βαθμός καινοτομίας για κάθε νέο προϊόν να είναι τέτοιος, ώστε το προϊόν να είναι ανταγωνιστικό με τεχνολογικά και με οικονομικά κριτήρια. Η αποθήκευση τεχνογνωσίας από τις εταιρίες συμβάλλει σημαντικά στον προσδιορισμό τέτοιων παραμέτρων για το προϊόν.



Εικονικό πρωτότυπο προϊόντος (εικόνα Solidworks)



Μελέτη κατανομής θερμοκρασίας σε μηχανολογικό εξάρτημα, μέσω ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία (εικόνα PTC, Pro Mechanical)

Τα παλαιότερα χρόνια οι μέθοδοι αυτές δεν ήταν εφικτό να εφαρμοστούν, αφού ήταν ιδιαίτερα δύσκολη η αποθήκευση τεχνογνωσίας. Η ανάπτυξη προϊόντων βασιζόταν σε μεγάλο βαθμό σε εμπειρικούς κανόνες, οι οποίοι αναπτύσσονταν από κάθε εταιρία. Για το λόγο αυτό οι εταιρίες εξαρτιόνταν περισσότερο από τα στελέχη τους, τα οποία κατείχαν τους κανόνες αυτούς και είχαν την εμπειρία, για να τους εφαρμόσουν. Με την εισαγωγή υπολογιστικών συστημάτων στις λειτουργίες των εταιριών και την ανάπτυξη των δεδομένων για το προϊόν σε ψηφιακή μορφή, η αποθήκευση τεχνογνωσίας έγινε σημαντικά ευκολότερη για τις εταιρίες. Τα τελευταία χρόνια η εισαγωγή Συστημάτων Διαχείρισης των Δεδομένων του Προϊόντος (Product Data Management – PDM) στις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων, παρέχει νέες δυνατότητες σε σχέση με την αξιοποίηση της τεχνογνωσίας που αναπτύσσεται σε μια εταιρία. Τα Συστήματα PDM παρέχουν στις εταιρίες τη δυνατότητα να αποθηκεύουν και να επεξεργάζονται την τεχνογνωσία που αποκτούν κατά την ανάπτυξη ενός προϊόντος, ώστε να μπορούν εύκολα να τη χρησιμοποιήσουν σε κάποιο άλλο προϊόν στο μέλλον. Επιπλέον τα συστήματα αυτά καταγράφουν τα ενδιάμεσα στάδια ανάπτυξης δεδομένων για το προϊόν μέχρι τη λήψη τελικών αποφάσεων ή την αντιμετώπιση προβλημάτων, παρέχοντας σε κάθε στέλεχος της εταιρίας όλα τα δεδομένα που έχουν δημιουργηθεί στην εταιρία και σχετίζονται με το αντικείμενο ενασχόλησης του.

1.4. Ο ρόλος του πρωτοτύπου στην ανάπτυξη των προϊόντων

Η ανάπτυξη πρωτοτύπων στη φάση σχεδιασμού του προϊόντος έχει ως στόχους την ανάδραση από τους πελάτες της εταιρίας και τον προσδιορισμό σχεδιαστικών λαθών, μέσω της πραγματοποίησης λειτουργικών ελέγχων. Τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών επανατροφοδοτούν το σχεδιασμό. Στη συνέχεια γίνονται οι απαραίτητες τροποποιήσεις και το νέο σχέδιο υποβάλλεται σε ελέγχους, για να διαπιστωθεί η συμβατότητα με τις αρχικά ορισμένες προδιαγραφές και να εντοπιστούν πιθανά σχεδιαστικά λάθη. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το προϊόν να φτάσει σε ικανοποιητικό επίπεδο ωρίμανσης για την εισαγωγή του στην αγορά ή μέχρι να καλυφθεί το χρονοδιάγραμμα για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του προϊόντος.

Παλαιότερα όλοι οι έλεγχοι σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του προϊόντος γινόταν αποκλειστικά στα φυσικά πρωτότυπα που κατασκευάζονταν. Η κατασκευή φυσικών πρωτοτύπων απαιτεί πολύ χρόνο και κόστος (σταμάτημα γραμμής παραγωγής, χρήση πρώτων υλών, κλπ), οπότε επιβαρύνει σημαντικά τον κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος. Τα φυσικά πρωτότυπα συνήθως κατασκευάζονται από διαφορετικά υλικά σε σχέση με το τελικό προϊόν. Για παράδειγμα για τον έλεγχο της αεροδυναμικής ενός νέου μοντέλου αυτοκινήτου κατασκευάζονται (συνήθως υπό κλίμακα) πρωτότυπα από ξύλο, φελιζόλ ή κάποιο άλλο υλικό.

Με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων το πλήθος των απαιτούμενων φυσικών προϊόντων για την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος έχει μειωθεί σημαντικά, αφού πολλοί έλεγχοι είναι εφικτό να γίνουν σε εικονικά πρωτότυπα, τα οποία αναπτύσσονται στον υπολογιστή με τη χρήση εργαλείων, βασισμένων στην τεχνολογία των συστημάτων CAD. Αυτό αποτελεί ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων. Το φυσικό πρωτότυπο κατασκευάζεται μετά το τέλος της διαδικασίας σχεδιασμού στον υπολογιστή, για την επιβεβαίωση των χαρακτηριστικών που έχουν αποδοθεί στο προϊόν στη φάση του σχεδιασμού. Η κατασκευή φυσικού πρωτοτύπου έχει ως στόχο τον εντοπισμό σχεδιαστικών λαθών, τα οποία δεν είναι εφικτό να εντοπιστούν με τις λειτουργίες που εκτελούνται στον υπολογιστή, την αισθητική



Κατασκευή φυσικού πρωτοτύπου



Κατασκευή φυσικού πρωτοτύπου (εικόνα Alfa Romeo)

αξιολόγηση του αντικειμένου, η οποία γίνεται σε κάθε περίπτωση ανεξάρτητα από το προϊόν και γενικά για την καλύτερη εποπτεία του προϊόντος πριν προωθηθεί στη γραμμή παραγωγής. Η Boeing έχει ανακοινώσει ότι για την ανάπτυξη του μοντέλου 777 δεν κατασκεύασε καθόλου φυσικά πρωτότυπα για τα περισσότερα τμήματα του αεροσκάφους. Παλαιότερα απαιτούνταν πολλά φυσικά μοντέλα για κάθε επιμέρους τμήμα του προϊόντος, το συνολικό κόστος των οποίων έφτανε συχνά το 50% του κόστους ανάπτυξης του προϊόντος. Η μείωση των απαιτούμενων φυσικών πρωτοτύπων, λόγω της χρήσης εικονικών πρωτοτύπων, έχει συμβάλει δραστικά στη μείωση του χρόνου ανάπτυξης και του κόστους του προϊόντος.



1.5. Η διαδικασία ανάπτυξης νέων προϊόντων

Για την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος, οι εταιρίες πρέπει να διαγνώσουν μια νέα ανάγκη στην αγορά. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από την οργανωμένη και προγραμματισμένη έρευνα αγοράς που πραγματοποιούν οι εταιρίες, ή μπορεί να εντοπιστεί από μια απλή παρατήρηση κάποιου χαρακτηριστικού της αγοράς ή κάποιου προϊόντος.

Η ανάγκη για ανανέωση ή αντικατάσταση ενός προϊόντος μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες, όπως:

- Ηλικία του προϊόντος. Έχει παρατηρηθεί ότι ο χρόνος παρουσίας ενός προϊόντος στην αγορά επηρεάζει σημαντικά τις πωλήσεις του. Ακόμα και τα πιο άρτια προϊόντα, τα οποία δεν έχουν ξεπεραστεί από το ανταγωνισμό, πρέπει να ανανεώνονται, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα παρουσίας τους στην αγορά (το διάστημα αυτό εξαρτάται από το είδος του προϊόντος), για να προσελκύσουν το ενδιαφέρον του αγοραστικού κοινού. Επιπλέον η ύπαρξη ανταγωνισμού πιέζει συνεχώς τις εταιρίες, για την παρουσίαση νέων περισσότερο ανταγωνιστικών προϊόντων.
- Παρουσίαση νέας τεχνολογίας για κάποιο χαρακτηριστικό του προϊόντος. Για παράδειγμα, πριν αρκετά χρόνια, με την εισαγωγή του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών του αυτοκινήτου κατά το φρενάρισμα, οι αυτοκινητοβιομηχανίες έπρεπε να προσαρμόσουν το σύστημα φρένων των μοντέλων τους, για να μείνουν ανταγωνιστικά στην αγορά.
- Αλλαγή αισθητικών προτύπων. Για παράδειγμα οι εταιρίες ρούχων αλλάζουν τα προϊόντα τους δύο ή περισσότερες φορές το χρόνο, ώστε να ακολουθούν τα νέα πρότυπα της μόδας. Η αλλαγή στα προϊόντα αυτά επηρεάζει όλα τα προϊόντα που εξαρτώνται από αυτά. Έχει παρατηρηθεί ότι το βασικό κριτήριο επιλογής ενός ποδηλάτου είναι το χρώμα, το οποίο πρέπει να συμβαδίζει με τα πρότυπα της μόδας στα ρούχα. Οι εταιρίες κατασκευής ποδηλάτων λοιπόν, πρέπει να προσαρμόζουν τα προϊόντα τους σύμφωνα με αυτό το κριτήριο.

→ Υποκίνηση του αγοραστικού ενδιαφέροντος για ένα προϊόν. Συχνά οι εταιρίες, για να διατηρήσουν αυξημένο το αγοραστικό ενδιαφέρον σε κάποιο προϊόν παρουσιάζουν νέα βελτιωμένη έκδοση για αυτό, χωρίς η υπάρχουσα έκδοση να υστερεί αισθητικά ή τεχνολογικά. Η πολιτική αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε αναλώσιμα προϊόντα ευρείας κυκλοφορίας.

Η διάγνωση της ανάγκης αντικατάστασης ενός προϊόντος (ακόμα και η παρουσίαση μιας νέας βελτιωμένης έκδοσης του ίδιου προϊόντος είναι νέο διαφορετικό προϊόν) γίνεται από το τμήμα μάρκετινγκ της εταιρίας, το οποίο παρέχει στο τμήμα σχεδιασμού τις λειτουργικές και αισθητικές προδιαγραφές για το προϊόν. Οι προδιαγραφές αυτές τροφοδοτούν το σχεδιασμό του προϊόντος και το τμήμα σχεδιασμού αναλαμβάνει να προσδιορίσει τις τεχνικές παραμέτρους για το προϊόν, ώστε να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές, που έχουν τεθεί από το τμήμα μάρκετινγκ.

Για τον προσδιορισμό των προδιαγραφών που θα τροφοδοτήσουν το τμήμα σχεδιασμού, το τμήμα μάρκετινγκ αναπτύσσει επιχειρηματικό σχέδιο (business plan) για κάθε προϊόν. Το επιχειρηματικό σχέδιο βασίζεται στην έρευνα αγοράς και περιλαμβάνει όλους τους επιχειρηματικούς παραμέτρους, που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν άμεσα το τμήμα σχεδιασμού και τη διαδικασία ανάπτυξης του προϊόντος (πολυπλοκότητα, καινοτομία, τεχνικές απαιτήσεις, κλπ.).

Στο επιχειρηματικό σχέδιο για το προϊόν καθορίζεται με ακρίβεια η χρονική στιγμή εισόδου του προϊόντος στην αγορά. Η είσοδος του προϊόντος στην αγορά σχετίζεται με τις τάσεις της συγκεκριμένης αγοράς σε κάθε χρονική περίοδο και με τα προϊόντα των ανταγωνιστικών εταιριών. Έχει αποδειχθεί ότι στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών, μια καθυστέρηση στην εισαγωγή του προϊόντος κατά 6 μήνες μπορεί να συνεπάγεται μείωση εσόδων κατά 50%, ενώ μια υπέρβαση κατά 50% του προϋπολογισμού σχεδιομελέτης για την έγκαιρη εισαγωγή του συνεπάγεται μείωση κερδών κατά ένα ποσοστό μόλις 5%.



Business plan (εικόνα Mark Shaver)

Το τμήμα σχεδιασμού λοιπόν πρέπει να έχει ολοκληρώσει το σχεδιασμό του προϊόντος σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα που τίθεται από το επιχειρηματικό σχέδιο για το προϊόν. Είναι συχνό πλέον το φαινόμενο κάποια προϊόντα να εμφανίζονται στην αγορά και να καλύπτονται από τις εταιρίες με την πολιτική των ανακλήσεων. Οι εταιρίες σε αυτές τις περιπτώσεις εισάγουν το προϊόν στην αγορά σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα του επιχειρηματικού σχεδίου, προσελκύουν αγοραστικό κοινό, το οποίο καλούνται να υποστηρίξουν στη συνέχεια μέσω των

ανακλήσεων, εάν παρουσιαστούν σχεδιαστικά ή λειτουργικά προβλήματα. Οι εταιρίες έχει αποδειχτεί ότι έχουν μεγαλύτερο όφελος από αυτήν την πολιτική, σε σχέση με την καθυστερημένη εισαγωγή ενός απολύτως άρτιου τεχνικά προϊόντος στην αγορά, το οποίο προσελκύει λιγότερο αγοραστικό κοινό. Μια εναλλακτική πολιτική για την ικανοποίηση του χρονοδιαγράμματος εισαγωγής ενός προϊόντος στην αγορά, αφορά την παρουσίαση του προϊόντος την προσχεδιασμένη χρονική στιγμή, αλλά την αδυναμία διάθεσης του στην αγορά. Την πολιτική αυτή εφαρμόζουν για παράδειγμα αυτοκινητοβιομηχανίες, οι οποίες παρουσιάζουν νέα μοντέλα τη χρονική στιγμή που ορίζει το επιχειρηματικό σχέδιο για το εκάστοτε προϊόν, προσελκύουν το αγοραστικό ενδιαφέρον, αλλά ο χρόνος παράδοσης του προϊόντος είναι μεγάλος. Με τον τρόπο αυτό οι εταιρίες προσπαθούν να αποσπάσουν πελατολόγιο από τους ανταγωνιστές τους, χωρίς το προϊόν να είναι διαθέσιμο στο καταναλωτικό κοινό τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα, το τμήμα σχεδιασμού λαμβάνει από το επιχειρηματικό σχέδιο τις προδιαγραφές που τίθενται για το προϊόν. Παλαιότερα οι εταιρίες δημιουργούσαν προϊόντα (οπότε και την εικόνα τους στην αγορά) σύμφωνα με τις μέγιστες τεχνικές δυνατότητες που διέθεταν. Σήμερα οι εταιρίες στο επιχειρηματικό σχέδιο για το προϊόν, δίνουν μεγάλη βαρύτητα στο κοινό, στο οποίο απευθύνεται το προϊόν (target group), σύμφωνα με τις ανάγκες που πιστεύουν ότι μπορούν να καλύψουν στην αγορά, πετυχαίνοντας το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος. Για παράδειγμα όλες σχεδόν οι αυτοκινητοβιομηχανίες μπορούν να αποκτήσουν τεχνογνωσία κατασκευής πολυτελών οχημάτων, αλλά κατασκευάζουν προϊόντα, τα οποία κρίνουν ότι έχουν καλύτερη βιωσιμότητα. Οι εταιρίες λοιπόν δεν εξαντλούν σε κάθε περίπτωση τις τεχνικές τους δυνατότητες, αλλά κατασκευάζουν προϊόντα σύμφωνα με τις ανάγκες που κρίνουν ότι πρέπει να καλύψουν στην αγορά. Το τμήμα σχεδιασμού αναλαμβάνει να αναπτύξει το προϊόν, το οποίο θα ανταποκρίνεται σε αυτές τις ανάγκες.

Πρέπει να αναφερθεί ότι σε μικρές εταιρίες δεν είναι διακριτά χωρισμένα τα επιμέρους τμήματα. Έτσι μπορεί το τμήμα μάρκετινγκ και το τμήμα σχεδιασμού να αποτελούνται από περίπου τα ίδια στελέχη της επιχείρησης.

Ο σχεδιασμός, ο οποίος αποτελεί τμήμα της διαδικασίας ανάπτυξης του προϊόντος, ξεκινάει με τη λήψη των προαναφερθέντων στοιχείων από το τμήμα μάρκετινγκ της εταιρίας. Αρχικά δημιουργούνται κάποια σκίτσα με τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν το νέο προϊόν από το



Target group (εικόνα Mark Shaver)

προηγούμενο ή με χαρακτηριστικά που ικανοποιούν τις επιθυμητές προδιαγραφές. Τα σκίτσα αυτά (conceptual design) χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό γενικών κατευθύνσεων στο σχεδιασμό και το τελικό προϊόν συνήθως παρουσιάζεται διαφοροποιημένο. Όλες οι λύσεις που προτείνονται (brainstorming) μελετώνται και επιλέγεται το σχέδιο που θα υλοποιηθεί με οικονομοτεχνικά κριτήρια.



Conceptual Design (εικόνα Rhinoceros Software)



Brainstorming (εικόνα Linda Naiman)

Η σχεδιαστική λύση που επιλέγεται συγκεκριμενοποιείται, μέσω της δημιουργίας σχεδίων για το νέο προϊόν. Πριν την εισαγωγή υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων, ολοκληρωνόταν αρχικά ο σχεδιασμός του προϊόντος και στη συνέχεια γινόταν ο σχεδιασμός της μεθοδολογίας παραγωγής του. Η μεθοδολογία αυτή είναι χρονοβόρα και οδηγεί συχνά σε λάθη. Αυτό οφείλεται στο ότι ο σχεδιασμός μπορεί να περιλαμβάνει χαρακτηριστικά, που είναι πολύ δύσκολο ή απαιτείται υψηλό κόστος, για να παραχθούν. Σε κάθε περίπτωση υπάρχουν επιπτώσεις στο τελικό προϊόν, το οποίο με μικρές τροποποιήσεις, που δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον τελικό χρήστη, μπορεί να είναι ευκολότερο να κατασκευαστεί, περιορίζοντας τον απαιτούμενο χρόνο και το κόστος. Με την εισαγωγή υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων, η διαδικασία σχεδιασμού του προϊόντος (τεχνικά χαρακτηριστικά, υλικά, αναπτυσσόμενα φορτία, κλπ.) και ο σχεδιασμός της μεθοδολογίας για την παραγωγή του μπορούν να ξεκινήσουν σχεδόν ταυτόχρονα. Η μεθοδολογία αυτή έχει επικρατήσει να ονομάζεται Παράλληλη Μηχανική (Concurrent Engineering). Η μεθοδολογία αυτή αναπτύχθηκε λόγω της δυνατότητας δημιουργίας των δεδομένων για το προϊόν σε ψηφιακή μορφή. Τα δεδομένα σε ψηφιακή μορφή μπορούν να επεξεργαστούν ταυτόχρονα σε διάφορα λογισμικά εργαλεία, μπορούν να ολοκληρωθούν, να τροποποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές προσομοίωσης (χαρακτηριστικών και διαδικασιών) για τη λήψη επιπλέον δεδομένων για το προϊόν. Επίσης η χρήση δεδομένων σε ψηφιακή μορφή διευκολύνει την αποταμίευση της τεχνογνωσίας που αναπτύσσεται και να την αξιοποίηση της σε αντίστοιχες μελλοντικές διαδικασίες. Στη συνέχεια παράγεται το φυσικό πρωτότυπο για το προϊόν. Η παραγωγή φυσικού πρωτοτύπου μπορεί να ολοκληρωθεί μετά την έναρξη της κύριας παραγωγής του

προϊόντος. Ο ρόλος του φυσικού πρωτοτύπου στην ανάπτυξη προϊόντων περιγράφεται στην ενότητα 1.4.

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού ξεκινάει η παραγωγή του προϊόντος. Για την εκκίνηση της παραγωγής του προϊόντος χρειάζεται προετοιμασία, η οποία έχει υψηλό κόστος (κοπή καλουπιών – το απλούστερο καλούπι έχει κόστος κατασκευής της τάξης των 30.000 € και απαιτεί, για να κατασκευαστεί, 3 με 4 μήνες, προγραμματισμό μηχανών, εξασφάλιση πρώτων υλών, κλπ.). Μετά την εκκίνηση της παραγωγικής διαδικασίας είναι ιδιαίτερα δύσκολη η πραγματοποίηση αλλαγών στο προϊόν, αλλά σημαντικά ευκολότερη σε σχέση με παλαιότερα χρόνια, λόγω της διαθέσιμης τεχνολογίας. Οι εταιρίες αποφεύγουν λοιπόν να πραγματοποιούν αλλαγές μετά την έναρξη της παραγωγής και αξιολογούν, αν το κόστος διόρθωσης των λαθών που εντοπίζουν είναι μεγαλύτερο από την ανάκληση ή την αντικατάσταση του προϊόντος. Οι αλλαγές που πρέπει να πραγματοποιηθούν, συγκεντρώνονται και μετά από χρονικό διάστημα, το οποίο προσδιορίζεται από παράγοντες, όπως η πορεία του προϊόντος και οι συνθήκες της αγοράς, παρουσιάζεται νέα έκδοση για το προϊόν.

1.6. Οργανωτικές αλλαγές από τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην ανάπτυξη προϊόντων

Η ανάπτυξη προϊόντων συνίσταται σε δύο επιμέρους διαδικασίες:

- Σχεδιασμό του προϊόντος.
- Σχεδιασμό της διαδικασίας για την παραγωγή του.

Η εισαγωγή υπολογιστικών συστημάτων στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων άλλαξε σημαντικά τις δύο αυτές επιμέρους διαδικασίες. Η βασικότερη αλλαγή οφείλεται στο ότι πολλές λειτουργίες μπορούν πλέον να μελετηθούν με τη χρήση λογισμικών εργαλείων, οπότε περιορίζεται η ανάγκη χρήσης του εξοπλισμού της εταιρίας σε συνδυασμό με εμπειρικούς κανόνες για τον προσδιορισμό παραμέτρων του προϊόντος και των μεθόδων παραγωγής του. Η αλλαγή αυτή συντέλεσε στην ανάπτυξη τεχνικών, όπως η Παράλληλη Μηχανική που αναφέρθηκε προηγούμενα.

Για την υλοποίηση μεθόδων Παράλληλης Μηχανικής, απαιτούνται μοντέλα οργάνωσης, τα οποία παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα παραδοσιακά ιεραρχικά μοντέλα οργάνωσης. Βασικό στοιχείο είναι η δημιουργία διατμηματικών ομάδων (στελέχη από το τμήμα σχεδιασμού, παραγωγής, εμπορικό, κλπ.) για το σχεδιασμό του προϊόντος. Η δημιουργία διατμηματικών ομάδων συντελεί στη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των τμημάτων της εταιρίας. Στις διατμηματικές ομάδες μπορεί να συμμετέχουν πελάτες της εταιρίας, ώστε να εξασφαλίζεται ότι το νέο προϊόν θα ικανοποιεί τις ανάγκες τους, ή προμηθευτές της εταιρίας, οι

οποίοι παρέχουν οικονομοτεχνικά στοιχεία (κόστος, χρόνος απόκρισης του προμηθευτή, δυνατότητα κατασκευής επιμέρους τμημάτων, κλπ.) σε σχέση με το προϊόν που θα παραχθεί.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τη συγκρότηση ομάδων, ανάλογα με τις αρμοδιότητες του υπεύθυνου του έργου:

- **Functional Teams:** Μέλη από διαφορετικά τμήματα της εταιρίας έρχονται σε επαφή περιοδικά, για να συζητήσουν για την εξέλιξη του έργου.
- **Lightweight Teams:** Οι δύο υπεύθυνοι του έργου έχουν ως αρμοδιότητα την εξασφάλιση της επικοινωνίας των μελών της ομάδας. Σε αυτήν τη μορφή ομάδας τα μέλη διαθέτουν μέχρι 25% του χρόνου τους για ένα έργο.
- **Heavyweight Teams:** Οι υπεύθυνοι του έργου σε αυτές τις ομάδες είναι πιο υψηλόβαθμα στελέχη και έχουν περισσότερες αρμοδιότητες, ώστε να μπορούν να επαναπροσδιορίζουν και να καθοδηγούν τους πόρους του έργου. Τα μέλη μιας τέτοιας ομάδας ασχολούνται σε πλήρη απασχόληση με ένα έργο και έχουν μεγαλύτερες ικανότητες επικοινωνίας μεταξύ τους, λόγω της πιο άμεσης επαφής με τον υπεύθυνο του έργου.
- **Autonomous Teams:** Έχουν υπεύθυνο έργου αντίστοιχο με αυτόν των Heavyweight Teams και τους επιτρέπεται να εργάζονται αυτόνομα, δημιουργώντας τις δικές τους πολιτικές αντιμετώπισης προβλημάτων και τις δικές τους διαδικασίες. Ως αποτέλεσμα τα μέλη της ομάδας εμπλέκονται σε μεγαλύτερο βαθμό στις διαδικασίες του έργου. Ένα πρόβλημα αυτών των ομάδων είναι ότι μπορεί να ανεξαρτητοποιηθούν και να ξεφύγουν από τον κεντρικό έλεγχο της εταιρίας.

Σε κάθε περίπτωση έχει μεγάλη σημασία πιο τμήμα είναι υπεύθυνο και ποια μεθοδολογία χρησιμοποιείται για τη λήψη αποφάσεων. Αυτό οφείλεται στο ότι κάθε τμήμα προτείνει λύσεις με διαφορετικά κριτήρια σε σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα. Για παράδειγμα τα στελέχη του τμήματος σχεδιασμού έχουν ως κριτήριο την αισθητική και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, ενώ τα στελέχη του τμήματος παραγωγής έχουν ως κριτήριο την ευκολία και κατ' επέκταση το χαμηλό κόστος παραγωγής.



Λήψη αποφάσεων
(εικόνα Mike Quon)

Οι δύο πιο διαδεδομένες πολιτικές λήψης αποφάσεων, που είχαν αναπτυχθεί αρχικά, είναι:

- **Λήψη αποφάσεων μέσω συναντήσεων μεταξύ των στελεχών** (συναντάται κυρίως σε αμερικάνικες εταιρίες). Η μεθοδολογία αυτή έχει το πλεονέκτημα της παρουσίασης πολλών διαφορετικών ιδεών και συνίσταται για την αντιμετώπιση δύσκολων προβλημάτων. Τα μειονεκτήματα αυτής της πολιτικής λήψης αποφάσεων είναι, ότι συχνά τα στελέχη παραπονιούνται πως δεν επαρκεί ο χρόνος για την εκτέλεση των καθηκόντων της θέσης

εργασίας τους. Επίσης δεν αποθηκεύεται τεχνογνωσία στην εταιρία, η οποία να μπορεί να αξιοποιηθεί στην αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων στο μέλλον.

→ Λήψη αποφάσεων μέσω δημιουργίας αναφορών (συναντάται κυρίως σε ιαπωνικές εταιρίες). Στη μεθοδολογία αυτή, το τμήμα που αντιμετωπίζει κάποιο πρόβλημα δημιουργεί μια αναφορά, την οποία κοινοποιεί διαδοχικά σε καθένα από τα εμπλεκόμενα με το συγκεκριμένο θέμα τμήματα. Κάθε τμήμα προτείνει μια λύση και στο τέλος υλοποιείται η καλύτερη από τις προτεινόμενες λύσεις. Συναντήσεις γίνονται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι αποθηκεύεται τεχνογνωσία στην εταιρία. Το μειονέκτημα είναι ότι η μεθοδολογία είναι προσαρμοσμένη στη τη νοοτροπία των Ιαπώνων και έχει θετικές επιπτώσεις, όταν εφαρμόζεται σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές διοίκησης, που έχουν αναπτυχθεί στις Ιαπωνικές εταιρίες. Η πολιτική διοίκησης των εταιριών στην Ιαπωνία έχει αναλυθεί σε πλήθος κειμένων τη δεκαετία του 90. Για το λόγο αυτό δε θα γίνει εκτενής αναφορά στην παρούσα ενότητα.

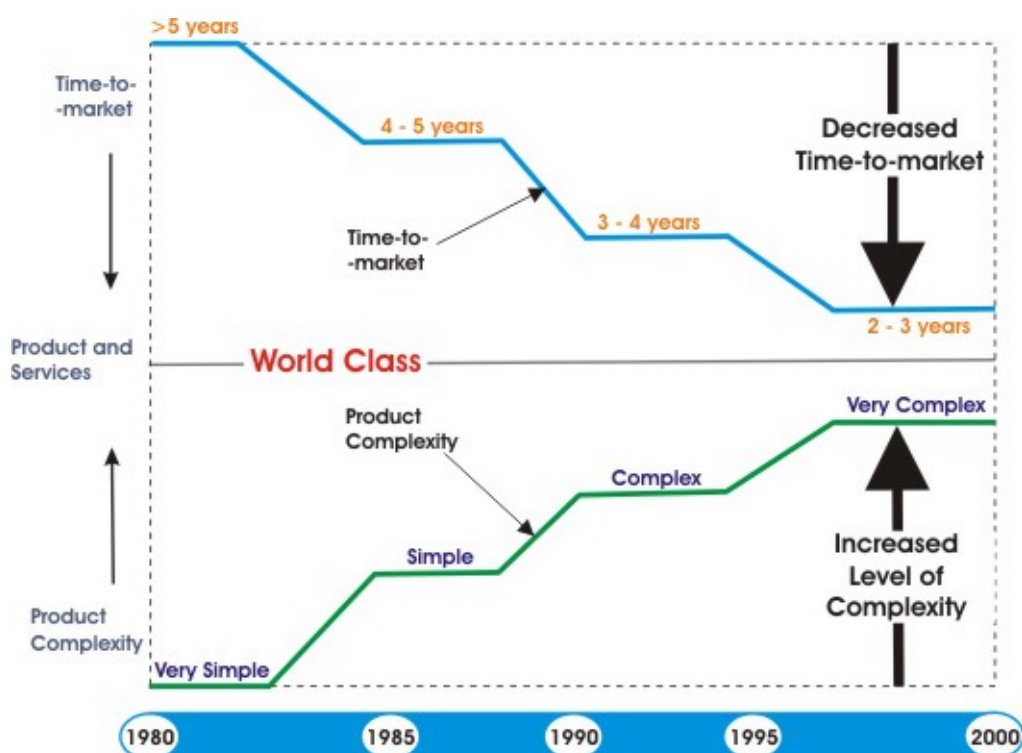


Αρκετές εταιρίες, από τις αρχές της δεκαετίας του 90, προσπάθησαν να εφαρμόσουν κάποια από τις προαναφερθείσες μεθοδολογίες λήψης αποφάσεων με αρνητικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά οφειλόταν στο ότι οι προαναφερθείσες μεθοδολογίες δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τις συνθήκες λειτουργίας των εταιριών και τη νοοτροπία του ανθρώπινου δυναμικού. Δεν είναι εφικτή λοιπόν η επιτυχής μεταφορά μεθοδολογιών, χωρίς να γίνεται προσαρμογή στο περιβάλλον εργασίας κάθε εταιρίας. Αντίστοιχα για το προϊόν είναι συχνό το φαινόμενο της δημιουργίας ενός αποτυχημένου προϊόντος, βασιζόμενου σε ένα επιτυχημένο προϊόν.

Η ανάγκη για προσαρμογή και όχι απευθείας υιοθέτηση μεθόδων που εφαρμόζονταν σε άλλες εταιρείες, οδήγησε στη δημιουργία πολλών εναλλακτικών μοντέλων, τα οποία συνδυάζουν χαρακτηριστικά από διάφορες μεθοδολογίες οργάνωσης, διοίκησης και λήψης αποφάσεων. Η ανάπτυξη αυτών των μοντέλων αποτελεί αντικείμενο της διοίκησης, η οποία πρέπει να προβλέψει, να συνδυάσει και να προσαρμόσει τις τεχνικές που κρίνει ότι θα έχουν θετικά αποτελέσματα στο συγκεκριμένο εργασιακό περιβάλλον, δημιουργώντας μια νέα προσαρμοσμένη πολιτική διοίκησης και οργάνωσης. Η δημιουργία της πολιτικής διοίκησης και οργάνωσης της εταιρίας απαιτεί ειδικές δεξιότητες από τα στελέχη της και οι αποφάσεις αυτές επηρεάζουν άμεσα την ομαλή λειτουργία της εταιρίας. Με τις σημερινές συνθήκες ανταγωνισμού κάθε εταιρία πρέπει να παίρνει ένα τέτοιο ρίσκο, για να διατηρήσει την ανταγωνιστικότητα της στην αγορά.

1.7. Αλλαγές στη διαδικασία παραγωγής λόγω της μείωσης του κύκλου ζωής των προϊόντων

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, ένα βασικό αποτέλεσμα από τη χρήση των μεθόδων παράλληλης μηχανικής και την εισαγωγή υπολογιστικών συστημάτων είναι η μεγάλη μείωση του κύκλου ανάπτυξης και του κύκλου ζωής των προϊόντων. Ταυτόχρονα με τη μείωση του κύκλου ανάπτυξης και του κύκλου ζωής των προϊόντων αυξήθηκε σημαντικά η πολυπλοκότητα τους. Αυτό οφείλεται στην αύξηση των απαιτήσεων των πελατών κάθε εταιρίας σε συνδυασμό με τη βελτίωση της τεχνολογίας, η οποία κατέστησε εφικτή την κατασκευή προϊόντων μεγαλύτερης πολυπλοκότητας.




Μεταβολή στη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης και της πολυπλοκότητας των προϊόντων με την πάροδο του χρόνου

Για παράδειγμα η ανάπτυξη ενός νέου αυτοκινήτου στη δεκαετία του 80 απαιτούσε 10 με 12 χρόνια και κάθε μοντέλο έμενε στην αγορά περίπου 7 χρόνια. Στα τέλη της δεκαετίας του 90 η ανάπτυξη ενός νέου μοντέλου απαιτούσε περίπου 5 χρόνια και το μοντέλο αυτό έμενε στην αγορά από 6 μήνες έως 3 χρόνια. Σήμερα περίπου κάθε 6 μήνες κυκλοφορεί ένα νέο μοντέλο, το οποίο μπορεί να μην έχει αισθητικές διαφορές, έχει όμως σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με το αυτό που αντικαθιστά. Οι βελτιώσεις αυτές δε γίνονται πάντα αντιληπτές στον τελικό χρήστη. Ανάλογα με την πορεία και την πολιτική πωλήσεων, οι αλλαγές μπορεί να μην ανακοινωθούν από την εταιρία. Η διαφορά στην πολυπλοκότητα των αυτοκινήτων σήμερα σε σχέση με παλαιότερα χρόνια είναι προφανής. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι παρεχόμενες λειτουργίες σε

σχέση με την άνεση και την ασφάλεια των επιβατών είναι αυξημένες εκθετικά σε σχέση με 5 χρόνια πριν κυρίως λόγω της χρήσης μηχανικών συστημάτων (μηχανικά συστήματα ελεγχόμενα από ηλεκτρονικά συστήματα), τα οποία έχουν αντικαταστήσει πολλά από τα μηχανικά συστήματα του παρελθόντος.

Η μείωση του κύκλου ζωής των προϊόντων ανάγκασε τις εταιρίες να αλλάξουν τα κριτήρια σχεδιασμού των νέων προϊόντων. Παλαιότερα η απόσβεση της επένδυσης από την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος γινόταν σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Σήμερα η απόσβεση από μια τέτοια επένδυση πρέπει να γίνει σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, αλλιώς δεν είναι βιώσιμη η ανάπτυξη νέου προϊόντος. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει οδηγήσει πολλές εταιρίες στη μείωση των προδιαγραφών ποιότητας των προϊόντων τους σε σχέση με τις σημερινές δυνατότητες παραγωγής, με ταυτόχρονη βελτίωση των υπηρεσιών υποστήριξης. Αυτό δε σημαίνει ότι τα σύγχρονα προϊόντα έχουν χαμηλότερη ποιότητα από τα παλαιότερα. Τα σημερινά προϊόντα είναι σαφώς ποιοτικότερα και αρτιότερα από αντίστοιχα προϊόντα στο παρελθόν, αφού οι τεχνικές δυνατότητες παραγωγής έχουν αυξηθεί κατακόρυφα. Έχουν μειωθεί προδιαγραφές ποιότητας σε σχέση με τη μέγιστη εφικτή ποιότητα κατασκευής.

Η πολιτική αυτή συντελεί στη μείωση του κόστους, οπότε τα προϊόντα είναι πιο ελκυστικά για τον καταναλωτή, ο οποίος σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει το προϊόν, αγοράζοντας τη νέα του έκδοση. Η τάση αυτή οδηγεί στην περαιτέρω μείωση των προδιαγραφών ποιότητας, αφού μειώνεται το αγοραστικό ενδιαφέρον για προϊόντα υψηλού κόστους, για τα οποία θα δημιουργηθεί ανάγκη αντικατάστασης, με την παρουσίαση της νέας βελτιωμένης έκδοσης τους. Το γεγονός αυτό ενισχύεται από τη ραγδαία αύξηση της τεχνολογίας, η οποία καθιστά τα προϊόντα παρωχημένα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Για τη μείωση του κόστους ανάπτυξης και παραγωγής μια πρακτική που εφαρμόζεται από τα τέλη της δεκαετίας του 80 είναι η χρήση κοινών τμημάτων μεταξύ διαφορετικών προϊόντων. Η τεχνική αυτή ξεκίνησε από την αυτοκινητοβιομηχανία. Η Honda χρησιμοποιούσε στα τέλη της δεκαετίας του 80 κοινά τμήματα μεταξύ των μοντέλων της σε ποσοστό ως 70%, την ίδια περίοδο,  όπου η Fiat χρησιμοποιούσε κοινά πατώματα για την κατασκευή διαφορετικών σε φιλοσοφία και κατηγορία τιμής αυτοκινήτων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κοινό πάτωμα είχε το Fiat Tempra, η Alfa Romeo 164, το Saab 95 και άλλα μοντέλα του γκρουπ ή συνεργαζόμενων εταιριών. Η πρακτική αυτή έχει υιοθετηθεί από όλες σχεδόν τις σύγχρονες εταιρίες με μαζική παραγωγή. Η χρήση κοινών τμημάτων μεταξύ των προϊόντων επεκτείνεται, λόγω της διεθνούς τάσης για συγχωνεύσεις και εξαγορές μεταξύ των εταιριών. Η τεχνική αυτή δεν ήταν εφικτό να εφαρμοστεί επιτυχώς πριν την εισαγωγή υπολογιστικών συστημάτων στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων,

αφού θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολη η κοινή χρήση δεδομένων, η τυποποίηση και η τροποποίηση τους ανάλογα με τις προδιαγραφές κάθε διαφορετικού προϊόντος.

Τέτοιου είδους τεχνικές είναι ευκολότερο να πραγματοποιηθούν, όταν τα δεδομένα για το προϊόν είναι σε ψηφιακή μορφή. Αυτό έγινε κατανοητό από τις εταιρίες από τα πρώτα στάδια της εισαγωγής υπολογιστικών συστημάτων στις διαδικασίες σχεδιασμού. Η αύξηση του ποσοστού των δεδομένων για το προϊόν, τα οποία αναπτύσσονται σε ψηφιακή μορφή σε συνδυασμό με την αύξηση της πολυπλοκότητας των προϊόντων, οδήγησε στη δημιουργία μεγάλου όγκου δεδομένων για το προϊόν, ο οποίος δεν ήταν εφικτό να οργανωθεί και να διαχειριστεί με τις συμβατικές μεθόδους που χρησιμοποιούνταν μέχρι εκείνη την περίοδο. Εντοπίζοντας την ανάγκη για διαχείριση του όγκου των δεδομένων για τα προϊόντα τους, οι εταιρίες λογισμικού, ανέπτυξαν κατάλληλα εργαλεία, τα οποία χρησιμοποιούνταν από τις ίδιες για την ανάπτυξη των προϊόντων τους. Σύντομα τα εργαλεία αυτά πήραν εμπορική μορφή, λόγω της ζήτησης που παρουσιάστηκε για τέτοιου είδους εργαλεία από τις υπόλοιπες εταιρίες. Τα εργαλεία αυτά αποτέλεσαν τα πρώτα συστήματα Διαχείρισης των Δεδομένων του Προϊόντος (PDM). Σήμερα έχουν παρουσιαστεί διάφοροι τύποι συστημάτων Διαχείρισης Δεδομένων. Τα συστήματα αυτά παρέχουν εργαλεία κατάλληλα, ώστε να αποτελέσουν το φορέα σύνδεσης, συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ των επιμέρους τμημάτων μιας εταιρίας ή μεταξύ διαφορετικών εταιριών.

Μια άλλη σημαντική αλλαγή σε σχέση με τη διαδικασία κατασκευής προϊόντων, η οποία δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθεί χωρίς τη χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστικών συστημάτων, αφορά την κατασκευή των επιμέρους τμημάτων για κάθε προϊόν. Για παράδειγμα για την κατασκευή ενός αυτοκινήτου, οι εταιρίες τα παλαιότερα χρόνια κατασκεύαζαν οι ίδιες τα περισσότερα τμήματα του προϊόντος. Σύντομα έγινε αντιληπτό ότι δεν ήταν δυνατό να αποκτήσουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες την απαιτούμενη εξειδίκευση για όλα τα επιμέρους τμήματα των προϊόντων τους. Άρχισαν λοιπόν να αναθέτουν την κατασκευή επιμέρους τμημάτων σε εξωτερικούς προμηθευτές, θέτοντας κάθε φορά τις προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων αυτών. Η σχέση των εταιριών με τις προμηθεύτριες εταιρίες δημιουργεί εξάρτηση, ειδικά στις αυτοκινητοβιομηχανίες, όπου οι εταιρίες αυτές είναι σχετικά λίγες. Κάθε αυτοκινητοβιομηχανία επενδύει στη βελτίωση των προμηθευτών της με όφελος την παροχή καλύτερων προϊόντων και τη μείωση των τιμών από τους προμηθευτές. Η πολιτική αυτή δε ήταν βιώσιμη στο παρελθόν, αφού δεν υπήρχε δυνατότητα εύκολης διακίνησης και επεξεργασίας των δεδομένων για το προϊόν.

Μια νεότερη μεθοδολογία για τη μείωση του κόστους και τον περιορισμό των λαθών στην παραγωγή αυτοκινήτων, αφορά τη συναρμολόγηση των επιμέρους τμημάτων του αυτοκινήτου από τις προμηθεύτριες εταιρίες των εξαρτημάτων. Οι προμηθεύτριες εταιρίες εμπλέκονται πλέον και στο σχεδιασμό του προϊόντος, συνεισφέροντας σε τεχνογνωσία σχετική με το αντικείμενο τους. Η πρακτική αυτή εφαρμόστηκε πρώτη φορά δοκιμαστικά από τη VW στο εργοστάσιο της στη Βραζιλία, το οποίο είχε αναλάβει στα μέσα της δεκαετίας του 90 την παραγωγή του νέου μοντέλου σκαραβαΐου. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτής της μεθόδου οδήγησαν την εταιρία στη χρήση της πρακτικής αυτής και στα υπόλοιπα εργοστάσια της. Η εταιρία κάθε φορά έπρεπε να εκπαιδεύει το προσωπικό της σύμφωνα με την τεχνολογία των νέων εξαρτημάτων των προμηθευτών της, ενώ οι προμηθευτές ήδη κατείχαν αυτήν την τεχνογνωσία. Με την τεχνική αυτή ωθείται η εξειδίκευση του προσωπικού, αφού αυξάνονται οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές από τις προμηθεύτριες εταιρίες, οι οποίες παρέχουν πλέον ένα πιο ολοκληρωμένο προϊόν. Η μέθοδος αυτή έχει αρχίσει να υιοθετείται από άλλες βιομηχανίες, ανεξαρτήτως αντικειμένου.



Οι προαναφερόμενες αλλαγές τεχνικά ήταν εφικτό να εφαρμοστούν πριν την εισαγωγή υπολογιστικών συστημάτων στις διαδικασίες παραγωγής. Σε αυτήν την περίπτωση όμως θα επιβαρυνόταν σημαντικά το κόστος του προϊόντος και ο χρόνος για την ανάπτυξη του, οπότε δε θα υπήρχαν σημαντικά οφέλη για τις εταιρίες που θα τις υιοθετούσαν.

1.8. Επιπτώσεις από τη μείωση του κύκλου ζωής των προϊόντων στην εμπορική πολιτική των εταιριών

Ο μεγάλος κύκλος ζωής των προϊόντων, πριν την εισαγωγή υπολογιστικών συστημάτων στις διαδικασίες ανάπτυξης τους, επέτρεπε στις εταιρίες να κοστολογούν τα προϊόντα τους με διαφορετικά κριτήρια σε σχέση με τα σημερινά, τα οποία εμπειρείχαν λιγότερο εμπορικό ρίσκο. Η τιμή του προϊόντος εξαρτιόταν σχεδόν αποκλειστικά από το κόστος παραγωγής, το κόστος των πρώτων υλών και το κόστος ανάπτυξης. Η υποστήριξη του προϊόντος είχε μικρή επίπτωση στην αρχική τιμή του προϊόντος και δεν είχαν αναπτυχθεί αυστηρά καθορισμένες πολιτικές κοστολόγησης.

Η επιτάχυνση του κύκλου ζωής του προϊόντος εισήγαγε νέες παραμέτρους με ιδιαίτερη βαρύτητα για την τιμολόγηση των προϊόντων. Βασικό κριτήριο στην τιμολόγηση είναι ότι η τιμή του προϊόντος πρέπει να είναι αυτή που εκτιμάται από την εταιρία ότι είναι διατεθειμένος ο πελάτης να πληρώσει για το συγκεκριμένο προϊόν. Για παράδειγμα το κέρδος από την πώληση ενός αυτοκινήτου διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τον κατασκευαστή. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων κύρους έχουν μεγαλύτερο ποσοστό κέρδους από τους υπόλοιπους κατασκευαστές. Από τα οικονομικά αποτελέσματα κάθε έτους προκύπτει ότι η εταιρία BMW (για

τη Mercedes προκύπτουν παρόμοια συμπεράσματα) έχει μεγαλύτερα ποσοστά κέρδους ανά πώληση αυτοκινήτου σε σχέση με άλλες εταιρίες, χωρίς να έχει τα μεγαλύτερα κέρδη, λόγω συνολικά μικρότερων οικονομικών μεγεθών συγκριτικά με τις μεγαλύτερες εταιρίες του χώρου (π.χ. Ford, GM). Άλλες εταιρίες έχει εκτιμηθεί από την αγορά ότι τιμολογούν τα προϊόντα τους κάτω από το κόστος παραγωγής. Για παράδειγμα, όταν η General Motors μελετούσε τις συνθήκες εξαγοράς του τμήματος αυτοκινήτων της Daewoo, κατέληξε ότι η Daewoo από την πώληση των αυτοκινήτων της έχει ζημιά, η οποία ανάλογα με το μοντέλο, μπορεί αν φτάνει τα 800 €. Εταιρίες, όπως η Daewoo προβλέπουν να ισοσταθμίσουν τη διαφορά στο κόστος από την τεχνική υποστήριξη των προϊόντων τους ή από την απόκτηση μεγαλύτερου μεριδίου στην αγορά (και τζίρου), το οποίο θα τους επιτρέψει τη δημιουργία ενός σταθερού πελατολογίου, ωθώντας τις πωλήσεις τους στο μέλλον. Μια τέτοια πολιτική μπορεί να εφαρμοστεί σε εταιρίες, όπως οι αυτοκινητοβιομηχανίες, που αποβλέπουν σε έσοδα από την υποστήριξη των προϊόντων τους. Είναι προφανές ότι μια τέτοια εμπορική πολιτική δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε εταιρίες, όπου τα προϊόντα έχουν αμελητέες ανάγκες για υποστήριξη από την κατασκευάστρια εταιρία μετά την πώληση, όπως είναι οι εταιρίες ηλεκτρονικών.



Μια άλλη παράμετρο, που επηρεάζει τη βιωσιμότητα του προϊόντος, είναι η δυναμικότητα της εταιρίας. Αν μια εταιρία έχει δυναμικότητα, η οποία υπερκαλύπτει τη ζήτηση των προϊόντων της, αναγκάζεται να μειώσει την τιμή πώλησης, για να αυξήσει τη ζήτηση, αφού θα έχει πολύ μεγαλύτερες ζημιές, αν μείνει ανενεργή η γραμμή παραγωγής της. Αυτή η παράμετρος πρέπει να μελετάται κάθε φορά στο επιχειρηματικό σχέδιο του προϊόντος, ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς. Πριν από μερικά χρόνια οι παράμετροι αυτοί δεν μελετούνταν διεξοδικά, αφού η παραγωγή στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν μικρότερη από τη ζήτηση.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα των επιπτώσεων στην εμπορική πολιτική των εταιριών από τη μείωση του κύκλου ζωής των προϊόντων αποτελεί η αγορά των υπολογιστών. Ο μικρός κύκλος ζωής των επεξεργαστών στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές οδηγεί τις εταιρίες κατασκευής στη μείωση των τιμών πώλησης των προϊόντων τους, ελάχιστους μήνες μετά την είσοδο τους στην αγορά, λόγω της εισαγωγής νέων προϊόντων από τους ανταγωνιστές τους ή ακόμα από τις ίδιες τις εταιρίες, οι οποίες αναγκάζονται να δημιουργήσουν εσωτερικό ανταγωνισμό στα προϊόντα τους, για να παραμείνουν ανταγωνιστικές. Το παράδειγμα είναι χαρακτηριστικό, γιατί τα συγκεκριμένα προϊόντα απαιτούν πολύ υψηλή τεχνολογία, οπότε έχουν και υψηλό κόστος, για να κατασκευαστούν (έχει εκτιμηθεί ότι κάθε εργοστάσιο της Intel για την παραγωγή επεξεργαστών με την τεχνολογία των 0.13 μικρών απαιτεί περίπου 11 δισ. δολάρια). Το κόστος αυτό πρέπει να αποσβεστεί σε σύντομο χρονικό διάστημα, το οποίο είναι εφικτό μόνο μέσω της

πραγματοποίησης πλήθους πωλήσεων, το οποίο προϋποθέτει ταυτόχρονα με την υψηλή τεχνολογία και υψηλή παραγωγικότητα. Η μείωση του κύκλου ζωής των προϊόντων λοιπόν αυξάνει σημαντικά τον ανταγωνισμό μεταξύ των εταιριών, με αποτέλεσμα αρκετές εταιρίες να μην μπορούν να ακολουθήσουν την πορεία της αγοράς. Οι εταιρίες αυτές είτε αλλάζουν αντικείμενο, είτε εξαγοράζονται από τους ανταγωνιστές τους, οι οποίοι αποκτούν πρόσβαση στην τεχνογνωσία των ανταγωνιστών τους. Η τάση αυτή για συγχωνεύσεις μεταξύ των εταιριών παρατηρείται τα τελευταία χρόνια σε όλους τους τομείς σε παγκόσμιο επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια νέα μορφή ολιγοπωλίου από μεγάλες εταιρίες, μεταξύ των οποίων επικρατεί ισχυρός ανταγωνισμός.

Κεφάλαιο 2

Περιγραφή των συστημάτων CAD/CAM

2.1. Εισαγωγή

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

2.2. Ιστορία των συστημάτων CAD

Τα συστήματα CAD αποτελούν την επανάσταση στην αναπαράσταση πληροφοριών με γραφικό τρόπο. Δημιουργήθηκαν από την αεροδιαστημική βιομηχανία και τις αυτοκινητοβιομηχανίες, ως μια μέθοδος αύξησης του ρυθμού της τεχνολογικής εξέλιξης και μείωση αρκετών επίπονων διεργασιών του σχεδιαστή.

Τα πρώτα γραφικά σε υπολογιστή παρουσιάστηκαν τη δεκαετία του 1950. Στα μέσα της δεκαετίας αυτής το σύστημα SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) μετέτρεπε πληροφορίες από ραντάρ σε φωτογραφίες στον υπολογιστή. Για πρώτη φορά γίνεται χρήση μιας φωτεινής πέννας, που επέτρεπε στο χρήστη την επιλογή πληροφοριών, επιλέγοντας στην κατάλληλη περιοχή στην οθόνη.

Σταθμό στην ανάπτυξη των γραφικών σε υπολογιστή αποτελεί το 1963 η πρωτοποριακή εκείνη την εποχή μελέτη του Ivan Sutherland. Ο Ivan Sutherland στη διδακτορική διατριβή του περιγράφει μια ταλαντούμενη ακτίνα καθοδικού σωλήνα. Η ακτίνα αυτή με καθοδήγηση από υπολογιστή αναπαριστά εικόνες στην οθόνη, τις οποίες μπορεί να επεξεργαστεί ο χρήστης με τη βοήθεια μιας φωτεινής πένας.

Ιστορική αναδρομή συστημάτων CAD

Το 1965 ο Ivan Sutherland παρουσίασε τη δημοσίευση “The Ultimate Display” (Sutherland, 1965), στην οποία αναφερόταν ότι στο μέλλον οι υπολογιστές θα μπορούν να αποτελέσουν το μέσο για τη δημιουργία εικονικών κόσμων, με τη χρήση γραφικών. Το 1968 ο Sutherland δημιούργησε ένα σύστημα απεικόνισης, με το οποίο παρουσιαζόταν στο χρήστη τρισδιάστατες απεικονίσεις, δημιουργημένες με τη χρήση υπολογιστή. Οι εικόνες αυτές αποτελούσαν διαφορετικές απεικονίσεις ενός αντικείμενου και εναλλάσσονταν με την κίνηση του κεφαλιού του χρήστη δεξιά και αριστερά. Οι απεικονίσεις δεν ήταν ρεαλιστικές, αφού περιλάμβαναν απλά σχέδια με γραμμές (μοντέλα συρματικής αναπαράστασης), αλλά η στερεοσκοπική απεικόνιση έδινε στο χρήστη την αίσθηση ότι κοίταζε ένα στερεό τρισδιάστατο αντικείμενο. Το σύστημα αυτό θεωρείται η αρχή για τα συστήματα CAD και την τεχνολογία των γραφικών σε υπολογιστή.

Στα τέλη της δεκαετίας του 70, υπολογιστές με μεγαλύτερη ισχύ, περισσότερη μνήμη και μικρότερο μέγεθος, έγιναν προσιτοί ακόμα και σε μικρές επιχειρήσεις.

Η δεκαετία του 1980 μπορεί να χαρακτηριστεί ως η δεκαετία της έρευνας των εφαρμογών του CAD/CAM. Ο κύριος σκοπός για τη δεκαετία αυτή, είναι η ολοκλήρωση ή και αυτοματοποίηση διαφόρων στοιχείων του σχεδιασμού και της κατασκευής, για τη δημιουργία του αυτοματοποιημένου εργοστασίου του μέλλοντος.

Σημαντική συνεισφορά στα συστήματα CAD προσέφερε η χρήση της θεωρίας της στερεάς μοντελοποίησης (**solid modelling**). Το κύριο πλεονέκτημα της στερεάς αναπαράστασης βρίσκεται στο γεγονός ότι δίνει λεπτομερές γεωμετρικές αναπαραστάσεις στερεών, που υποστηρίζουν το σχεδιασμό και τις κατασκευαστικές εφαρμογές.

Η δεκαετία του 1990 είναι η δεκαετία της ολοκληρωμένης παραγωγής και του αυτοματοποιημένου σχεδιασμού. Οι μηχανολογικές, κατασκευαστικές και σχεδιαστικές εφαρμογές γίνονται περισσότερες, αυξάνοντας την ευελιξία και την ποιότητα των εφαρμογών και μειώνοντας ταυτόχρονα το απαιτούμενο κόστος και χρόνο. Η ταχεία ανάπτυξη των επικοινωνιών και των δικτύων των υπολογιστών με τη συνεχή εξάπλωση του Internet, βοηθούν,

ώστε να βελτιωθούν και να εξαπλωθούν οι εφαρμογές CAD με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς, αυξάνοντας αντίστοιχα και την ποιότητα των τελικών προϊόντων.

2.3. Κριτήρια αξιολόγησης ενός λογισμικού CAD

Τα κριτήρια αξιολόγησης ενός συστήματος CAD είναι:

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

2.4. Υπολογιστικός εξοπλισμός συστημάτων CAD

Υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες κατηγορίες υπολογιστών με δυνατότητα απεικόνισης τρισδιάστατων γραφικών για την χρήση ενός συστήματος CAD. Σχεδόν όλοι οι σύγχρονοι υπολογιστές έχουν τη δυνατότητα παραγωγής των γραφικών που απαιτούνται από ένα σύστημα CAD. Ο υπολογιστικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται περιγράφεται στη συνέχεια.

PC.

Οι δυνατότητες των σύγχρονων συστημάτων PC έχουν στρέψει τις εταιρίες παραγωγής βιομηχανικού λογισμικού στην ανάπτυξη λογισμικού για τη συγκεκριμένη πλατφόρμα, με αποτέλεσμα η χρήση PC σε νέες εγκαταστάσεις να έχει σχεδόν καθιερωθεί, περιορίζοντας σημαντικά τη χρήση σταθμών εργασίας. Η αλλαγή αυτή δεν οφείλεται μόνο στο χαμηλότερο

κόστος των PC σε σχέση με τους σταθμούς εργασίας. Βασική παράμετρο για τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων τύπου PC είναι ότι δεν υπάρχουν ολοκληρωμένες λύσεις για τη διαχείριση όλων των δεδομένων ανάπτυξης του προϊόντος. Έτσι κάθε μηχανικός που συμμετέχει στην ανάπτυξη ενός προϊόντος χρησιμοποιεί, εκτός από τα εργαλεία σχεδιασμού του προϊόντος (σύστημα CAD, Virtual Manufacturing, κλπ.), επιπλέον εφαρμογές, όπως για παράδειγμα εφαρμογές γραφείου (επεξεργασία κειμένου, δημιουργία παρουσιάσεων, πολυμέσα, κλπ.). Τα συστήματα PC είναι καταλληλότερα για χρήση τέτοιων εφαρμογών, οι οποίες μπορούν να συνυπάρχουν σε ένα σύστημα με τα εργαλεία σχεδιασμού του προϊόντος. Επιπλέον, οι προμηθευτές συστημάτων CAD, τείνουν να ενοποιήσουν τις εφαρμογές γραφείου με τα σχεδιαστικά συστήματα. Οι σταθμοί εργασίας παρέχουν μικρότερες δυνατότητες στον τομέα αυτό. Επιπλέον έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις συντήρησης και απαιτούν ιδιαίτερα εξειδικευμένο προσωπικό.

Στα σύγχρονα συστήματα PC υποστηρίζονται πλέον πολλές από τις τεχνικές απεικόνισης τρισδιάστατων γραφικών, που θεωρούνταν πολύ εξειδικευμένες και απαιτητικές πριν από 3 χρόνια. Τέτοιες τεχνικές είναι η gouraud shading, anti-aliasing, fog, texture memory και άλλες, οι οποίες διαφέρουν, ανάλογα με το υποσύστημα γραφικών που χρησιμοποιείται. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη διάδοση των PC και στις αυξημένες απαιτήσεις των σύγχρονων παιχνιδιών, τα οποία πλέον έχουν υψηλό βαθμό ρεαλιστικότητας.



Παρόλα αυτά τα συστήματα PC ακόμα δεν μπορούν να ανταγωνιστούν σε δυνατότητες τους σταθμούς εργασίας, έχουν όμως ένα πολύ σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα κόστους και τεχνολογία, η οποία αναπτύσσεται καθημερινά. Τα PC μειονεκτούν σε σχέση με τους σταθμούς εργασίας σε θέματα σχετικά με την εσωτερική τους δομή και τις δυνατότητες μεταφοράς δεδομένων. Γενικά πάντως η χρήση ενός PC κρίνεται επαρκής για τις περισσότερες εφαρμογές σχεδιασμού σε Η/Υ.

Σταθμοί εργασίας.

Οι σταθμοί εργασίας με δυνατότητα παραγωγής τρισδιάστατων γραφικών αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των γραφικών σε υπολογιστή, αφού για πολλά χρόνια παρείχαν δυνατότητες που δεν υπήρχαν σε συστήματα PC και το κόστος τους δεν έφτανε το απαγορευτικό κόστος των υπερυπολογιστών. Πάντως το κόστος των σταθμών εργασίας ήταν



πάντα μεγαλύτερο από ένα PC, όπως και οι επιδόσεις τους στη διαχείριση γραφικών. Παρόλα αυτά τα σημερινά PC προσφέρουν ίδιας τάξης μεγέθους επιδόσεις σε χαμηλότερο κόστος, μειώνοντας σημαντικά το μερίδιο των σταθμών εργασίας στην αγορά.

Υπερυπολογιστές.

Οι υπερυπολογιστές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία εφαρμογών γραφικών προέρχονται κυρίως από τη Silicon Graphics Inc. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας πολύ υψηλής απόδοσης, λόγω της μεγάλης ταχύτητάς τους για τη δημιουργία ρεαλιστικών απεικονίσεων. Η απόδοσή τους μετρείται σε δεκάδες εκατομμύρια τρίγωνα το δευτερόλεπτο και είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από τα συνηθισμένα υπολογιστικά συστήματα. Οι δυνατότητες φωτορεαλισμού σε πραγματικό χρόνο περιλαμβάνουν τη χρήση υφών και σκιάσεων. Όπως είναι αναμενόμενο βέβαια η υψηλή απόδοση των συστημάτων αυτών έχει αντίστοιχα υψηλό κόστος.



2.5. Χρήση Η/Υ στη διαδικασία σχεδιασμού

Η αποσαφήνιση της διαδικασίας σχεδιασμού δεν μπορεί να αυτοματοποιηθεί, γιατί περιέχει επικοινωνία, αιτιολόγηση και γνώση γύρω από θέματα ευρύτερα από το συγκεκριμένο πρόβλημα, που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Έτσι με το σημερινό εξοπλισμό σε Η/Υ και τεχνικές προγραμματισμού σίγουρα δεν μπορεί να επιτευχθεί πρωτότυπο αποτέλεσμα, λόγω έλλειψης συνείδησης, η οποία απαιτείται για παραγωγή ιδεών και ευφυΐας, που χρειάζεται για τη μετατροπή των ιδεών σε κατάλληλες λύσεις. Παρόλα αυτά, ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες με συγκεκριμένους κανόνες μπορούν να βοηθήσουν τη διαδικασία σχεδιασμού.

Ο αναλυτικός σχεδιασμός είναι το πεδίο εφαρμογής της σημερινής γενιάς συστημάτων CAD, που παρέχουν τη δυνατότητα κατασκευής 2D ή 3D μοντέλων με τη χρήση σχεδιαστικών αρχέτυπων, όπως ευθείες, κύκλοι, splines, επιφάνειες και όγκοι. Τα περισσότερα συστήματα CAD μπορούν να συνδεθούν με συστήματα Πεπερασμένων Στοιχείων για υπολογισμό τάσεων. Παρόλα αυτά ο αναλυτικός σχεδιασμός έχει το μειονέκτημα ότι το σχήμα του αντικειμένου είναι η είσοδος στο σύστημα, ενώ θα έπρεπε να είναι έξοδος. Ως αποτέλεσμα υπάρχει σπατάλη χρόνου σε επαναληπτικές διαδικασίες διόρθωσης του σχήματος.

2.6. Χρήση Η/Υ στην παραγωγική διαδικασία

Η μικροηλεκτρονική κάνει τους Η/Υ φιλικούς για χρήση. Έχουν γίνει δραστικές βελτιώσεις, που έχουν επιφέρει καλύτερα κατασκευαστικά εργαλεία, αύξηση των επιδόσεων, ακρίβεια, επικοινωνία και χρηστικότητα. Επιπλέον ο αυτοματισμός έχει επηρεάσει τα βασικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και έχει θέσει τις απαιτήσεις για έλεγχο σε βοηθητικά τμήματα της παραγωγικής διαδικασίας.

Οι βελτιωμένες δυνατότητες επικοινωνίας επιτρέπουν καλύτερη λειτουργία των κατασκευαστικών μονάδων με τη χρήση συστημάτων ελέγχου. Κάτω από ιδανικές συνθήκες τα παραγωγικά συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν προσωρινά χωρίς την παρουσία ανθρώπινου δυναμικού. Πρέπει όμως να διατηρείται η συνέχεια της ροής των υλικών, ανεξάρτητα από το επίπεδο αυτοματισμού και υπεύθυνοι γι' αυτό είναι οι άνθρωποι, ο εξοπλισμός και η ενέργεια. Έλεγχος απαιτείται και στη ροή πληροφοριών, που πρέπει να είναι η σωστή, στη σωστή μορφή, στο σωστό χώρο και χρόνο.

Ένα παραγωγικό σύστημα με υψηλό επίπεδο αυτοματισμού, που έχει σχεδιαστεί να παράγει πολύπλοκα προϊόντα, απαιτεί ένα τεράστιο πλήθος πληροφοριών. Αυτές οι πληροφορίες πρέπει να παρέχονται από την τεχνική υποστήριξη, τα διοικητικά κλιμάκια και το λογιστικό σύστημα της εταιρίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η αυτοματοποίηση του παραγωγικού εξοπλισμού, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι και η αυτοματοποίηση στη διαδικασία παραγωγής πληροφοριών.

2.7. Μονάδες εισαγωγής δεδομένων

Ο χρήστης ενός συστήματος CAD/CAM επικοινωνεί με το σύστημα με μονάδες εισαγωγής δεδομένων, που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις μονάδες εισαγωγής κειμένου και στις μονάδες εισαγωγής γραφικών. Συσκευές εισαγωγής κειμένου είναι τα πληκτρολόγια, ενώ οι συσκευές εισόδου γραφικών χωρίζονται σε συσκευές εντοπισμού, ψηφιοποιητές και συσκευές εισόδου εικόνων.

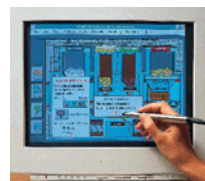
2.7.1. Πληκτρολόγια

Τα συνηθισμένα πληκτρολόγια είναι μονάδες εισόδου κειμένου και χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα CAD/CAM. Υπάρχουν επίσης πληκτρολόγια προγραμματιζόμενων λειτουργιών, ώστε να εκτελούν σύνθετες εργασίες, αποφεύγοντας το γράψιμο επαναλαμβανόμενων εντολών.



2.7.2. Φωτεινές πένες (Light Pen)

Η φωτεινή πένα είναι μια συσκευή προσδιορισμού θέσης, η οποία επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει ένα αντικείμενο στην οθόνη του υπολογιστή του, ακουμπώντας απευθείας την πένα στην οθόνη του υπολογιστή, κοντά στο προς επιλογή αντικείμενο.



2.7.3 Ψηφιοποιητές

Οι ψηφιοποιητές είναι μονάδες εισόδου δεδομένων και ελέγχου των εντολών του συστήματος, οι οποίοι αποτελούνται από μια επίπεδη πλάκα, που λειτουργεί με ηλεκτρομαγνητικό τρόπο επιλογής των συντεταγμένων ενός δρομέα. Είναι κοινή πρακτική στο σχεδιασμό με Η/Υ η εισαγωγή ενός σχεδίου με αντιγραφή των συντεταγμένων του με τη βοήθεια ενός ψηφιοποιητή. Οι επίπεδοι ψηφιοποιητές περιορίζονται σε σχέδια δισδιάστατα και μπορούν γενικά να χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή εντολών του συστήματος. Για τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα υπάρχουν τρισδιάστατοι ψηφιοποιητές, αλλά το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό, οπότε δεν έχουν ευρεία χρήση.



2.7.4 Ποντίκι

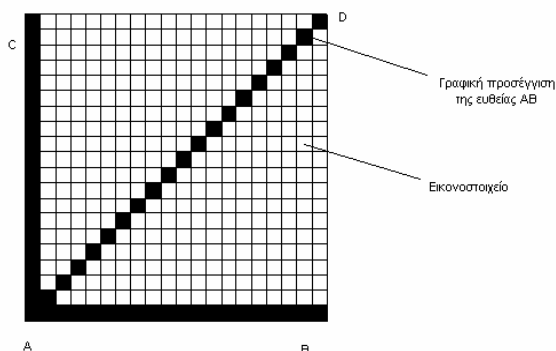
Το ποντίκι εφευρέθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και χρησιμοποιείται ως μονάδα προσδιορισμού θέσης από όλα σχεδόν τα υπολογιστικά συστήματα.



2.8. Μονάδες εξόδου

2.8.1 Οθόνες γραφικών (Raster Refresh Graphics Displays)

Μια raster συσκευή γραφικών μπορεί να θεωρηθεί ως μια μήτρα από εικονοστοιχεία (pixels), τα οποία αποτελούν το στοιχειώδες τμήμα κάθε οθόνης. Δεν είναι δυνατόν να χαραχθεί μια ευθεία γραμμή από ένα σημείο σε ένα άλλο. Μια ευθεία από ένα σημείο A σε ένα σημείο B μπορεί να προσεγγιστεί από πλησιέστερα εικονοστοιχεία, δίνοντας την εντύπωση σκάλας, ενώ η ευθεία συμβαίνει μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.



Για την οδήγηση της οθόνης χρησιμοποιείται μια περιοχή μνήμης (frame buffer). Σε αυτήν αποθηκεύονται τα δεδομένα κάθε τετραγώνου ενός καρέ. Πρόκειται για μια θέση μνήμης (το

μέγεθος της οποίας εξαρτάται από την ανάλυση και από το βάθος χρώματος της εικόνας (frame). Τα διαδοχικά καρέ, τα οποία προβάλλονται στην οθόνη αποθηκεύονται προσωρινά ένα προς ένα στο frame buffer πριν απεικονιστούν. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι αν η προσωρινή αυτή μνήμη δεν υπήρχε, ο σχεδιασμός ενός καρέ στην οθόνη, και κατά συνέπεια η ανανέωση της εικόνας, θα έπρεπε να γίνει σταδιακά. Κατ' ελάχιστο για κάθε εικονοστοιχείο της οθόνης αντιστοιχεί ένα bit μνήμης. Η μνήμη είναι ψηφιακή συσκευή, ενώ η οθόνη αναλογική, επομένως για την επικοινωνία τους απαιτείται η μεσολάβηση μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα (D/A Converter).

Χρώματα και αποχρώσεις περιλαμβάνονται με τη χρήση επιπρόσθετων bit-επιπέδων. Η πυκνότητα κάθε εικονοστοιχείου στη CRT οθόνη ελέγχεται από μια αντίστοιχη θέση σε κάθε ένα από τα N-bit-επίπεδα. Επειδή υπάρχουν τρία κύρια χρώματα, ένας απλός έγχρωμος frame buffer, δημιουργείται από τρία bit-επίπεδα, ένα για κάθε κύριο χρώμα. Κάθε bit-επίπεδο οδηγεί ένα ανεξάρτητο χρώμα. Τα τρία αυτά χρώματα συνδυάζονται στην οθόνη, ώστε να δώσουν οκτώ χρώματα.

Επιπρόσθετα bit-επίπεδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάθε ένα από τα χρώματα. Ένας πλήρης έγχρωμος frame buffer χρησιμοποιεί 8 bit/επίπεδο/χρώμα, δηλαδή συνολικά χρησιμοποιούνται 24 bit επίπεδα. Κάθε ομάδα των bit-επιπέδων οδηγεί 8 bit DAC. Κάθε ομάδα ενεργοποιεί 256 (2^8) αποχρώσεις του κόκκινου, του πράσινου και του μπλέ, οπότε το σύνολο των χρωματικών συνδυασμών είναι $(2^8)^3 = 16777216$ χρώματα.

Λόγω του μεγάλου αριθμού των εικονοστοιχείων σε μια raster συσκευή γραφικών, είναι γενικά δύσκολο να επιτευχθεί απόκριση πραγματικού χρόνου και γρήγορη αναζωογόνηση της οθόνης. Πραγματικοί χρόνοι πετυχαίνονται μόνο με ταυτόχρονη προσπέλαση σε ομάδες εικονοστοιχείων των 16, 32, 64 ή και περισσότερων.

2.8.2. Εκτυπωτές - Σχεδιογράφοι

Τα κυριότερα είδη εκτυπωτών είναι :

- Οι κρουστικοί, οι οποίοι πιέζουν το χαρτί με ακίδες, για να εκτυπώσουν και έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να εκτυπώνουν σε διπλότυπα.
- Οι θερμικοί.
- Οι έκχυσης μελάνης (ink jet), οι οποίοι ψεκάζουν το μελάνι στο χαρτί, μέσω πολλαπλών οπών (50 ή και περισσότερων).
- Οι laser, οι οποίοι επιτυγχάνουν και τις μεγαλύτερες



ταχύτητες εκτύπωσης.

- Σχεδιογράφοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται, όταν υπάρχουν απαιτήσεις για εκτύπωση σε χαρτί μεγέθους μεγαλύτερο από Α3 και υπάρχουν και μεγάλες απαιτήσεις σε ανάλυση των σχεδίων. Έχουν όμως μεγάλο κόστος αγοράς και εκτύπωσης.

Κεφάλαιο 3

Εισαγωγή στη Θεωρία Σχεδιασμού με Η/Υ

3.1 Εισαγωγή

Οι γεωμετρικές αναπαραστάσεις αντικειμένων, που δημιουργούνται με ένα σύστημα CAD βασίζονται στην δημιουργία γραφικών με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα γραφικά αυτά ορίζονται ως: “παραγωγή, αναπαράσταση και επεξεργασία του μοντέλου ενός αντικειμένου καθώς και δυνατότητα παρατήρησης του από διαφορετικές γωνίες μέσω της συνεργασίας του λογισμικού με το hardware”. Τα γραφικά αποτελούν τεχνική για τη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή, βασιζόμενη στη φράση, ότι “μια εικόνα αξίζει όσο χίλιες λέξεις”.

Μέσω των γραφικών είναι δυνατή η εξομοίωση οπότε και η πρόβλεψη πολλών γεγονότων της πραγματικής ζωής, όπως η πρόσκρουση των αυτοκινήτων, το πιλοτάρισμα αεροπλάνων, η απόδοση διάφορων συσκευών κλπ.

3.2. Τρόπος λειτουργίας των συστημάτων CAD

Τα συστήματα CAD παρέχουν ένα περιβάλλον εργασίας, στο οποίο υπάρχουν εντολές, κουμπιά και menu για το χειρισμό του χώρου σχεδίασης και τη δημιουργία των σχεδίων. Για την εκτέλεση αυτών των λειτουργιών χρησιμοποιούνται από τα λογισμικά μαθηματικά μοντέλα, τα οποία αποτελούνται κυρίως από μήτρες μετασχηματισμών. Για την παραγωγή και την οπτικοποίηση των σχεδίων λοιπόν ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Οι χειρισμοί του χρήστη μετατρέπονται σε μαθηματικά μοντέλα πινάκων.
- Γίνεται επεξεργασία των μαθηματικών μοντέλων με την εκτέλεση των απαιτούμενων κάθε φορά πράξεων.
- Το αποτέλεσμα μεταφράζεται σε γραφικά στην οθόνη του υπολογιστή.

Όλα τα σχήματα λοιπόν εκφράζονται από το λογισμικό με μαθηματικό τρόπο. Όταν για παράδειγμα ο χρήστης περιστρέφει ένα αντικείμενο στο χώρο σχεδίασης, το πρόγραμμα με τη χρήση μετασχηματισμών περιστροφής υπολογίζει τις τελικές συντεταγμένες του αντικειμένου και

το εμφανίζει στην οθόνη στη νέα του θέση. Γενικά στις λειτουργίες του λογισμικού χρησιμοποιείται η κατάλληλη μήτρα (πίνακας) μετασχηματισμού.

Τα εμπορικά λογισμικά CAD έχουν δημιουργηθεί με τη χρήση κατάλληλων πυρήνων ανάπτυξης. Οι πυρήνες ανάπτυξης είναι προϊόντα πολύ υψηλού κόστους, τα οποία αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη ενός λογισμικού CAD. Κάθε εταιρία λογισμικού CAD αναπτύσσει το προϊόν της με τη χρήση ενός τέτοιου πυρήνα. Η ανάπτυξη έχει κυρίως την έννοια της σχεδίασης του περιβάλλοντος εργασίας του λογισμικού, αφού οι δυνατότητες του λογισμικού εξαρτώνται σε μεγάλο ποσοστό από τις δυνατότητες του πυρήνα ανάπτυξης που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα ο πυρήνας ανάπτυξης του AutoCAD δεν υποστήριζε παλαιότερα τη δημιουργία καμπυλότητας ως προς δύο επίπεδα ταυτόχρονα, οπότε το λογισμικό είχε περιορισμό στο θέμα αυτό σε σχέση με τα σχήματα που μπορούσε να παράγει.

Οι διαθέσιμοι πυρήνες ανάπτυξης είναι σχετικά λίγοι (λιγότεροι από πέντε) σε σχέση με το πλήθος των εμπορικών λογισμικών εργαλείων CAD και περιλαμβάνουν όλες τις μαθηματικές λειτουργίες του λογισμικού CAD, που αναφέρονται παραπάνω. Ενδεικτικά αναφέρονται ο πυρήνας ACIS που χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη διαφόρων CAD λογισμικών, ενώ κάποιες εταιρίες, όπως η Parametric Technology (Pro Engineer, πυρήνας Granite) έχουν αναπτύξει οι ίδιες πυρήνα, για τα προϊόντα που διαθέτουν.

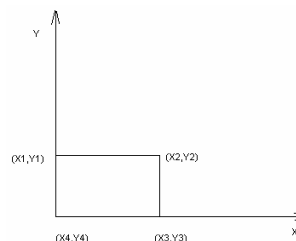


3.3. Θεωρία μετασχηματισμών

3.3.1 Μήτρα Μετασχηματισμού

Η γεωμετρία ενός αντικειμένου μπορεί να παρουσιαστεί από ένα σύνολο σημείων κατανεμημένων σε διάφορα επίπεδα. Έτσι λοιπόν ένα πλήθος δεδομένων για κάποιο αντικείμενο μπορεί να αναπαρασταθεί υπό την μορφή ενός πίνακα που ονομάζεται C_{old} :

$$C_{old} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_1 \\ x_1 & y_2 \\ x_2 & y_2 \end{bmatrix}$$



Ορίζεται ένας τελεστής R , που είναι η μήτρα μετασχηματισμού και ονομάζεται το καινούργιο μετασχηματισμένο αντικείμενο C_{new} . Ένας γεωμετρικός μετασχηματισμός μπορεί τότε να παρασταθεί από τη σχέση:

$$C_{new} = C_{old} \cdot R$$

Η μήτρα μετασχηματισμού R μπορεί να προκαλέσει μετατόπιση σε συγκεκριμένη θέση, περιστροφή γύρω από σημείο ή άξονα, ανάκλαση, δημιουργία ειδώλου ως προς κάποιο επίπεδο κλπ.

3.3.2. Δισδιάστατοι Μετασχηματισμοί Κλίμακας

Στους δισδιάστατους μετασχηματισμούς η κλίμακα ελέγχεται από το μέγεθος των δύο στοιχείων της κύριας διαγωνίου της μήτρας μετασχηματισμού.

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & 0 \\ 0 & R_{22} \end{bmatrix}$$

Για την συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ότι:

- α) Όταν $R_{11} = R_{22}$, δημιουργείται μεγέθυνση γύρω από το σημείο αναφοράς ή ομοιόμορφη κλιμάκωση του αντικειμένου.
- β) Όταν $R_{11} \neq R_{22}$, δημιουργείται παραμόρφωση του αντικειμένου ή ανομοιογενής κλιμάκωση. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι μόνο το σημείο αναφοράς της κλιμάκωσης παραμένει αμετάβλητο από την όλη διαδικασία.

Αν επιλεγεί η μήτρα R ίση με :

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$$

και εφαρμοστεί στις κορυφές του αντικειμένου, επιτυγχάνεται η ομοιόμορφη μεγέθυνση κατά δυο φορές του αντικείμενου.

Αλλά, αν εφαρμοστεί η παρακάτω μήτρα:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$$

λαμβάνεται παραμορφωμένο το σχήμα του αντικειμένου, αφού υπάρχει μεγέθυνση μόνο στην Y διεύθυνση, που προκαλεί μη ομοιόμορφη κλιμάκωση.

3.3.3. Περιστροφή γύρω από την αρχή του συστήματος συντεταγμένων

Θεωρείται ένα x-y σύστημα συντεταγμένων. Οι άξονες είναι κάθετοι μεταξύ τους και ταυτόχρονα σχηματίζουν μια ομάδα ορθογωνικών αξόνων. Αν περιστραφούν και οι δυο άξονες ανθρωπολογικά κατά γωνία θ λαμβάνεται ένα νέο σετ αξόνων x' και y' . Για ένα σημείο P_1 με

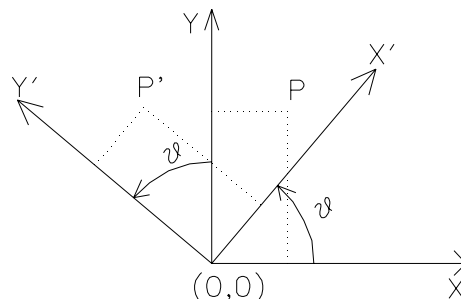
συντεταγμένες (x_1, y_1) , η νέα θέση του P_1' προσδιορίζεται από ένα νέο ζεύγος συντεταγμένων (x'_1, y'_1) , μετά την περιστροφή.

Η σχέση μεταξύ των παλιών και των νέων συντεταγμένων μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\left. \begin{aligned} x'_1 &= x_1 \cos\theta - y_1 \sin\theta \\ y'_1 &= x_1 \sin\theta + y_1 \cos\theta \end{aligned} \right\}$$

και με μορφή πινάκων:

$$\begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}$$



Εκφράζοντας τις παλιές συντεταγμένες ως συνάρτηση των νέων, παράγεται η παρακάτω έκφραση, που είναι ο αντίστροφος μετασχηματισμός:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \end{bmatrix}$$

Για την R αποδεικνύεται ότι ισχύει $R^{-1} = R^T$, έτσι λαμβάνεται:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \end{bmatrix}$$

Παρατηρείται ότι στις παραπάνω εξισώσεις οι συντεταγμένες (x'_1, y'_1) και (x_1, y_1) δίνονται υπό τη μορφή διανύσματος κατά στήλη. Έτσι, αν απαιτείται να ληφθεί η τελική μήτρα μετασχηματισμού, που συνδέει τις παλιές με τις νέες συντεταγμένες, δηλαδή να δοθούν οι πίνακες υπό την μορφή διανύσματος κατά σειρά και να αντικατασταθεί η μήτρα R με την R^T αντίστοιχα στην κάθε περίπτωση, λαμβάνεται :

$$\begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' & y' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x' & y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι, όταν η περιστροφή γίνεται με ανθρωπολογιακή φορά, τότε η γωνία θ θεωρείται θετική. Στην αντίθετη περίπτωση η θ είναι αρνητική και τότε τίθεται $\theta =$

-θ. Στην περίπτωση όμως που οι άξονες περιστρέφονται ωρολογιακά, για την ίδια γωνία θ, λαμβάνεται η γωνία αρνητική και τίθεται στις σχέσεις $\theta = -\theta$, καταλήγοντας στον παρακάτω σημαντικό κανόνα:

“Η μήτρα R για περιστροφή κατά θ ωρολογιακά ισούται με τον ανάστροφο πίνακα R, για περιστροφή θ ανθωρολογιακά”.

3.3.4. Περιστροφή σε Διαφορετικές Γωνίες

Σε περιπτώσεις, όπου η περιστροφή των αξόνων x και y γίνεται σε δυο διαφορετικές γωνίες θ_1 , θ_2 , οι εξισώσεις των συντεταγμένων των σημείων είναι:

$$\begin{bmatrix} x' & y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & \sin\theta_2 \\ -\sin\theta_2 & \cos\theta_1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\cos(\theta_2 - \theta_1)}$$

Από την παραπάνω σχέση γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι, όταν $\theta_1 = \theta_2$, τότε $\cos(\theta_2 - \theta_1) = 1$ και γίνεται αναγωγή στην περίπτωση της περιστροφής γύρω από την αρχή των συντεταγμένων ($\theta = \theta_1 + \theta_2$).

3.3.5. Σύνθετοι Μετασχηματισμοί

Η μήτρα σύνθετων μετασχηματισμών, ορίζεται ως η μήτρα που προκαλεί περισσότερους από ένα μετασχηματισμούς στον πίνακα αναφοράς C. Για παράδειγμα, αν υπάρχει κλιμάκωση και περιστροφή της κλιμακούμενης γεωμετρίας ανθωρολογιακά με γωνία ίση με θ, γύρω από το σημείο αναφοράς, η νέα μήτρα για το C προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$C_{\text{new}} = C_{\text{old}} \cdot R_s \cdot R_r$$

Όπου R_s και R_r οι μήτρες μετασχηματισμού κλιμάκωσης και περιστροφής αντίστοιχα. Η συνολική μήτρα μετασχηματισμού, που πραγματοποιεί και τις δυο διαδικασίες ταυτόχρονα είναι:

$$R = R_s \cdot R_r$$

Οι σύνθετοι μετασχηματισμοί είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό, σε όσα πακέτα CAD χρησιμοποιείται, γιατί έχει το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης χρόνου και χώρου αποθήκευσης.

3.3.5.α. Δισδιάστατη Μεταφορά

Για να ξεπεραστεί η δυσκολία που προκαλεί η 2x2 μήτρα μετασχηματισμού για μεταφορά, λόγω της ανάγκης πολλαπλασιασμού με ένα διάνυσμα 3x1, αυξάνεται ο βαθμός της μήτρας αυτής σε 3x3, συνεπώς η R γίνεται:

$$R = \begin{bmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ \Delta x & \Delta y & 1 \end{bmatrix}$$

και η αναπαράσταση κάθε σημείου (x,y) παίρνει την ακόλουθη μορφή $(x,y,1)$. Έτσι ικανοποιούνται και οι κανόνες για τον πολλαπλασιασμό δύο πινάκων. Η διαδικασία της μεταφοράς επιτυγχάνεται όταν η R πάρει τη μορφή:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \Delta x & \Delta y & 1 \end{bmatrix}$$

Παράδειγμα: Μεταφορά του διανύσματος $[x,y]$

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \cdot [R] = \begin{bmatrix} \Delta x & \Delta y & 1 \end{bmatrix}$$

3.3.5.β. Συνολικοί Μετασχηματισμοί Κλίμακας

Ο συνολικός μετασχηματισμός κλίμακας μπορεί να πραγματοποιηθεί, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$C^* = C \cdot R, \text{ όπου } R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix}$$

Η παράμετρος s δίνεται από την σχέση $s=1/n$, όπου n συντελεστής κλιμάκωσης.

3.3.5.γ. Περιστροφή γύρω από Τυχαίο Σημείο

Εκτός από την περιστροφή γύρω από την αρχή των συντεταγμένων $(0,0)$ πολλές φορές ζητείται να περιστραφεί κάποιο αντικείμενο γύρω από τυχαίο σημείο στο χώρο. Αν η ανάλυση περιοριστεί σε δυο διαστάσεις, λέγεται ότι η περιστροφή γύρω από τυχαίο σημείο πραγματοποιείται, εάν πρώτα μετακινηθεί το κέντρο βάρους του αντικειμένου στο επιθυμητό σημείο και στη συνέχεια περιστραφεί γύρω από την αρχή των αξόνων $(0,0)$. Όταν εκτελεστεί η περιστροφή μεταφέρεται το αντικείμενο στην αρχική του θέση.

Αν απαιτείται για παράδειγμα, να περιστραφεί το διάνυσμα θέσης $[x,y,1]$ γύρω από το σημείο (m, n) κατά μια γωνία θ πρέπει :

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} x^* & y^* & 1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -m & -n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ m & n & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -m(\cos\theta - 1) + n\sin\theta & -n(\cos\theta - 1) - m\sin\theta & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

3.3.6. Τρισδιάστατοι Μετασχηματισμοί.

Για να αναλυθούν σχέδια και σχήματα με μεγαλύτερη ακρίβεια, είναι απαραίτητο να αναπαρασταθούν σε τρεις διαστάσεις. Όπως και στους δισδιάστατους μετασχηματισμούς, έτσι και στους τρισδιάστατους τα δεδομένα των σημείων θα έχουν την μορφή $\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix}$, όπου $(x \ y \ z)$ είναι οι συντεταγμένες των σημείων και 1 είναι το ουδέτερο στοιχείο που χρησιμοποιείται, για να πληρούνται οι συνθήκες πολλαπλασιασμού πινάκων.

3.3.6.α. Τρισδιάστατοι Μετασχηματισμοί Κλίμακας

Όπως και στην περίπτωση δύο διαστάσεων έτσι και εδώ οι μετασχηματισμοί κλίμακας επιτυγχάνονται με τις εξής δυο διαδικασίες:

- (α) τοπικοί μετασχηματισμοί στην κλίμακα με τη χρήση των στοιχείων της διαγωνίου, που επηρεάζει την κλίμακα και την περιστροφή.
- (β) συνολική κλιμάκωση με την χρήση 1x1 υποπίνακα s της μήτρας μετασχηματισμού.

(α) Τοπική μήτρα μετασχηματισμού

$$R_s = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(β) Συνολική μήτρα μετασχηματισμού

$$R_s = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s \end{bmatrix}$$

Για την περίπτωση τοπικού μετασχηματισμού της κλίμακας (α), όταν $\mathbf{a} = \mathbf{b} = \mathbf{c} \neq \mathbf{0}$, λέγεται ότι υπάρχει ομοιόμορφη κλιμάκωση, διαφορετικά η κλιμάκωση του αντικειμένου είναι ανομοιόμορφη ή υπάρχει παραμόρφωση. Στη δεύτερη περίπτωση (β) η παράμετρος s προκαλεί ομοιογενή μεταβολή της κλίμακας, μόνο αν οι συντεταγμένες (x,y,z) διαιρούνται από το s , με αποτέλεσμα την κανονικοποίηση της διαδικασίας, που εξασφαλίζει την απεικόνιση των σημείων με ίδια μορφή. Για παράδειγμα :

$$\left[\frac{x^*}{s} \quad \frac{y^*}{s} \quad \frac{z^*}{s} \quad 1 \right], \text{ όπου } [x^* \quad y^* \quad z^*] \text{ οι κανονικοποιημένες συντεταγμένες}$$

Ο μετασχηματισμός δίνεται από την σχέση : $C \cdot R_s = C^*$.

3.3.6.β. Τρισδιάστατη Περιστροφή

Η τρισδιάστατη περιστροφή ενός αντικειμένου επιτυγχάνεται με τον πίνακα R_r της γενικής μήτρας μετασχηματισμού :

$$R_r = \begin{bmatrix} & & & 0 \\ & 3x3 & & 0 \\ & Matrix & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ όπου ο πίνακας } 3x3, \text{ δίνει την επιθυμητή περιστροφή.}$$

Η περιστροφή γύρω από τον άξονα x επιτυγχάνεται με τον υποπίνακα:

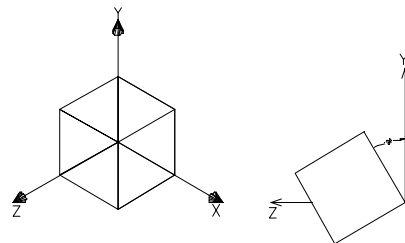
$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Ένα παράδειγμα περιστροφής γύρω από τον άξονα x φαίνεται στο σχήμα, από όπου προκύπτει:

$$x = x'$$

$$y = y' \cos\theta - z' \sin\theta$$

$$z = z' \cos\theta - y' \sin\theta$$



Εκφράζοντας τις παραπάνω σχέσεις υπό την μορφή πινάκων λαμβάνεται:

$$[x \quad y \quad z] = [x' \quad y' \quad z'] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Λόγω της ιδιότητας $R^{-1} = R^T$, είναι δυνατή η έκφραση των καινούργιων συντεταγμένων (x', y', z') ως εξής:

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \cdot [R_x]$$

Όμοια λαμβάνονται οι μήτρες μετασχηματισμού για περιστροφή γύρω από τους άξονες y και z .

Περιστροφή στον άξονα y :

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Περιστροφή στον άξονα z :

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Η περιστροφή μετακινεί ένα αντικείμενο γύρω από κάποιο άξονα ή κάποιο σημείο με συγκεκριμένη γωνία από την αρχική του θέση. Ορίζεται ως θετική φορά περιστροφής η αντίθετη από αυτή των δεικτών του ρολογιού.

3.3.6.γ. Τρισδιάστατη Ανάκλαση

Με τον όρο ανάκλαση εννοείται η δημιουργία κατοπτρικού ειδώλου ενός αντικειμένου ως προς ένα ή και περισσότερα επίπεδα. Η πιο απλή ανάκλαση δημιουργείται ως προς ένα επίπεδο. Η ανάκλαση στο επίπεδο $x-y$ δίνεται από την μήτρα:

$$R_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Όμοια για ανάκλαση ως προς το επίπεδο y-z η μήτρα δίνεται:

$$R_r = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Για το επίπεδο x-z:

$$R_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Η ανάκλαση είναι ένα βασικό εργαλείο που βρίσκεται σε όλα τα συστήματα CAD, γιατί παρέχει σημαντική μείωση στον χρόνο σχεδίασης. Έτσι για συμμετρικά αντικείμενα η σχεδίαση του ενός μόνο μέρους συμμετρίας είναι απαραίτητη για την δημιουργία του μοντέλου.

3.3.6.δ. Τρισδιάστατη Μετακίνηση

Η τρισδιάστατη μετακίνηση δίνεται από την μήτρα:

$$R_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{bmatrix}$$

όπου R_T είναι η απαραίτητη μήτρα μετασχηματισμού για τη μεταφορά ενός αντικειμένου, που ορίζεται με ένα πίνακα C, σε κάποια επιλεγμένη θέση στον χώρο. Συνεπώς: $C^* = C \cdot R$

C^* είναι η μήτρα, που δίνει την τελική θέση του αντικειμένου μετά τη μεταφορά και λαμβάνεται:

$$C = C^* \cdot R_T$$

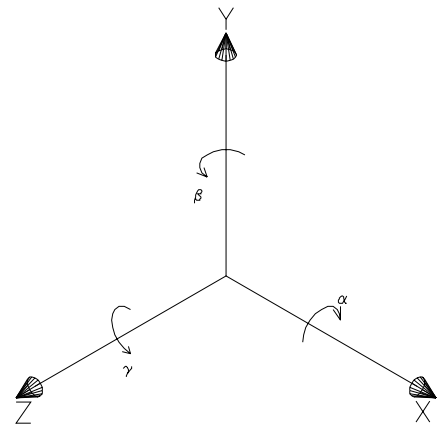
3.3.6.ε. Τρισδιάστατη Περιστροφή γύρω από Τυχαίο Σημείο

Οι διαδοχικές περιστροφές γύρω από τους άξονες X, Y, Z, μπορούν να εκφραστούν ως μία περιστροφή, γύρω από ένα αυθαίρετο άξονα. Η περιστροφή κατά γωνία γ γύρω από αυτόν τον άξονα δίνεται από την παρακάτω μήτρα μετασχηματισμού:

$$R_r = R_x^\alpha \cdot R_y^\beta \cdot R_z^\gamma$$

Όπου R_x^α , R_y^β και R_z^γ είναι οι πίνακες περιστροφής γύρω από τους x,y και z άξονες με γωνίες στρέψης α , β , γ αντίστοιχα.

Αυτή η διαδικασία έχει κάποια μειονεκτήματα, που έχουν σχέση με τον προσδιορισμό των σωστών γωνιών α, β, γ , καθώς και της σωστής φοράς τους. Η μήτρα μετασχηματισμού R_r σε αυτήν την περίπτωση προσδιορίζεται από την παρακάτω διαδικασία:



1. Μεταφορά του αντικειμένου, ώστε η αρχή του συστήματος συντεταγμένων να περνά από τον άξονα περιστροφής.
2. Περιστροφή του αντικειμένου.
3. Μεταφορά του αντικειμένου στην αρχική του θέση.

Αντικαθιστώντας τις τρεις μήτρες μεταφοράς λαμβάνεται:

$$C^* = C \cdot R_{T1} \cdot R_r \cdot R_{T2}$$

όπου,

$$[R_{T1}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\Delta x & -\Delta y & -\Delta z & 1 \end{bmatrix}$$

$$[R_{T2}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{bmatrix}$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} C_2 C_3 & C_1 S_3 + S_1 S_2 C_3 & S_1 S_3 - C_1 S_2 C_3 & 0 \\ -C_2 C_3 & C_1 S_3 - S_1 S_2 C_3 & S_1 S_3 + C_1 S_2 C_3 & 0 \\ S_2 & -S_1 C_2 & C_1 C_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_1 = (\cos \alpha) \quad C_2 = (\cos \beta) \quad C_3 = (\cos \gamma)$$

$$S_1 = (\sin \alpha) \quad S_2 = (\sin \beta) \quad S_3 = (\sin \gamma)$$

3.4. Τρισδιάστατη Απεικόνιση

Στη μηχανολογία είναι συχνή η απεικόνιση ενός αντικειμένου στο τρισδιάστατο χώρο. Στα συστήματα CAD γίνεται προσαρμογή της τρισδιάστατης απεικόνισης με δισδιάστατη, αφού δισδιάστατη είναι η οθόνη του υπολογιστή, που απεικονίζει τα γεωμετρικά μοντέλα.

Για την πραγματοποίηση της παραπάνω διαδικασίας ακολουθούνται μαθηματικές μέθοδοι, για τη δημιουργία πίνακα μετασχηματισμού, που επιτυγχάνει τη μετατροπή της τρισδιάστατης απεικόνισης ενός αντικειμένου, σε δισδιάστατη ισομετρική. Στην ουσία το γεωμετρικό μοντέλο παραμορφώνεται κατάλληλα, ώστε να δίνει στο χρήστη την αίσθηση ότι το παρατηρεί σε προοπτική προβολή στο χώρο.

3.4.1. Τριμετρικές Προβολές

Γίνεται θεώρηση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου ή εικόνας, το οποίο περιγράφεται από ένα σύνολο σημείων C και μπορεί να μεταβληθεί πολλαπλασιάζοντας με μια μήτρα μετασχηματισμού R .

$$C \cdot R = C^*$$

Το παραγόμενο σύνολο σημείων C^* ονομάζεται τριμετρική προβολή του C , εφ' όσον η μήτρα R προκαλεί μόνο περιστροφή. Συνεπώς οι άξονες του συστήματος συντεταγμένων παραμένουν ορθογωνικοί, όταν προβάλλονται πάνω σε ένα δισδιάστατο επίπεδο.

Η προβολή από 3D σε 2D γίνεται δυνατή, προβάλλοντας πάνω στο $z = 0$ επίπεδο με

$$R = \begin{bmatrix} 3x3 & 0 \\ \text{Rotation} & 0 \\ \text{matrix} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{για } z = 0)$$

Η περιστροφή λαμβάνει χώρα πριν ο πίνακας **R** προβάλει το αντικείμενο πάνω στο επίπεδο x-y (αυτό γίνεται, θέτοντας την τρίτη στήλη του πίνακα ίση με μηδέν).

Όμοια η προβολή πάνω στο επίπεδο z = t επιτυγχάνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$R = \begin{bmatrix} 3x3 & 0 \\ \text{Rotation} & 0 \\ \text{matrix} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & t & 1 \end{bmatrix}$$

Η μήτρα μετασχηματισμού R είναι το γινόμενο των δυο πινάκων. Ο πρώτος περιστρέφει το αντικείμενο, αν αυτό απαιτείται, και ο δεύτερος προβάλει το αποτέλεσμα πάνω σε ένα δισδιάστατο επίπεδο (για την συγκεκριμένη περίπτωση το επίπεδο z = t).

Παρακάτω προσδιορίζεται η μορφή της μήτρας προβολής για κάθε άξονα.

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{για } x = 0)$$

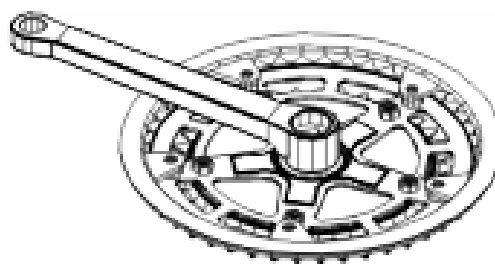
$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{για } x = r)$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{για } y = 0)$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & s & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{για } y = s)$$

3.4.2. Ισομετρική Προβολή

Οι σύνθετες περιστροφές, που ακολουθούνται από πολυάριθμες προβολές, συνθέτουν τη δημιουργία όλων των αξονομετρικών προβολών.



Όπως φαίνεται στο σχήμα, η ισομετρική προβολή παράγεται με ίση προοπτική σμίκρυνση και των τριών αξόνων X, Y, Z κατά την μεταφορά από 3D σε 2D.

Το λογισμικό CAD επιτυγχάνει την παραπάνω προβολή με τη βοήθεια μιας μήτρας μετασχηματισμού, που παράγει μια τέτοια προβολή, ακολουθώντας τις εξής διαδικασίες:

1. Περιστροφή γύρω από τον άξονα Y.
2. Περιστροφή γύρω από τον άξονα X.
3. Προβολή στο επίπεδο $Z = 0$.
4. Μετασχηματισμός με ίση προοπτική σμίκρυνση όλων των αξόνων.
5. Τελικός μετασχηματισμός για την παρουσίαση της ισομετρικής προβολής.

Στη συνέχεια περιγράφεται η μαθηματική έκφραση της ισομετρικής προβολής.

Θεωρώντας ένα σημείο στον χώρο P με συντεταγμένες $(x \ y \ z \ 1)$, με τη χρήση της παραπάνω μεθόδου θα βρεθεί η ισομετρική προβολή του σημείου P. Αρχικά γίνεται περιστροφή του σημείου γύρω από τους άξονες X και Y με γωνίες θ και ϕ αντίστοιχα. Οι συντεταγμένες του νέου σημείου δίδονται από:

$$[x^* \ y^* \ z^* \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \cdot \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & -\sin\phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\phi & 0 & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Η σύνθετη μήτρα μετασχηματισμού των περιστροφών είναι:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi \sin\theta & -\sin\phi \cos\theta & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ \sin\phi & -\cos\phi \sin\theta & \cos\phi \sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Θεωρείται ότι σημείο P έχει διαφορετικά μοναδιαία διανύσματα στους άξονες X, Y και Z. Συνεπώς κατά μήκος του X θα είναι $[1 \ 0 \ 0 \ 1]$, του οποίου το γινόμενο με τη μήτρα μετασχηματισμού R δίνει τη σχέση:

$$[1 \ 0 \ 0 \ 1] \cdot [R] = [x^* \ y^* \ z^* \ 1]$$

όπου

$$x^* = \cos\phi$$

$$y^* = \sin\phi \cdot \sin\theta$$

$$z^* = -\sin\phi \cdot \cos\theta$$

Αν θεωρηθεί ένα μοναδιαίο διάνυσμα κατά μήκος του άξονα Y, μετασχηματίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$[0 \ 1 \ 0 \ 1] \cdot [R] = [x^* \ y^* \ z^* \ 1]$$

όπου

$$x^* = 0$$

$$y^* = \cos\theta$$

$$z^* = \sin\theta$$

Επειδή γίνεται προβολή πάνω στο επίπεδο $Z = 0$, θα πρέπει να εξαιρεθούν όλες οι προβολές του Z, οι οποίες εξισώνονται με μηδέν. Για να δημιουργηθεί η ισομετρική προβολή, θα πρέπει να σμικρυνθούν οι άξονες. Ένας τρόπος για επιτευχθεί αυτό, είναι να εξισωθούν τα μέτρα των μοναδιαίων διανυσμάτων των X και Y αξόνων και στη συνέχεια να εξισωθεί ένα από αυτά με τους άξονες Y και Z.

Το μέτρο των μοναδιαίων διανυσμάτων, των αξόνων X, Y και Z μετά την προβολή τους, υπολογίζεται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$n_x = \sqrt{(x^*)^2 + (y^*)^2 + (z^*)^2} = \sqrt{\cos^2\phi + \sin^2\phi \cdot \sin^2\theta}$$

$$n_y = \sqrt{(x^*)^2 + (y^*)^2 + (z^*)^2} = \sqrt{\cos^2\phi}$$

$$n_z = \sqrt{(x^*)^2 + (y^*)^2 + (z^*)^2} = \sqrt{\sin^2\phi + \cos^2\phi \cdot \sin^2\theta}$$

είναι εν συνεχεία:

$$n_x = n_y \Rightarrow \sin^2 \phi = \frac{\sin^2 \theta}{1 - \sin^2 \theta}$$

$$n_y = n_z \Rightarrow \sin^2 \phi = \frac{1 - 2 \cdot \sin^2 \theta}{1 - \sin^2 \theta}$$

Οι παραπάνω εξισώσεις αποτελούν σύστημα δύο εξισώσεων με δυο αγνώστους. Με τη χρήση τριγωνομετρικών εξισώσεων και τη μέθοδο της αντικατάστασης γίνεται επίλυση ως προς ϕ και θ και βρίσκεται $\theta = 35.26^\circ$, $\phi = 45^\circ$, καταλήγοντας έτσι στο συμπέρασμα ότι, για μια δεδομένη 3D γεωμετρία, είναι δυνατός ο υπολογισμός της ισομετρικής της προβολής, πολλαπλασιάζοντας αρχικά με την μήτρα μετασχηματισμού R και θέτοντας στην συνέχεια τις γωνίες θ και ϕ ίσες με 35.26 και 45 αντίστοιχα.

3.5. Περιγραφή Καμπύλων Γραμμών

Τα αντικείμενα αναπαριστούνται με τη χρήση καμπύλων και επιφανειών. Για να είναι η απεικόνιση ακριβής και αληθοφανή, χρειάζεται να προσδιοριστούν τα απαραίτητα μαθηματικά εργαλεία και στη συνέχεια ο πιο απλός τρόπος κατασκευής καμπυλών spline.

Η μοντελοποίηση καμπύλων γραμμών πραγματοποιείται με δυο τρόπους :

1. Καμπύλες που διέρχονται από όλα τα σημεία που τις χαρακτηρίζουν.
2. Χρήση καμπυλών Splines.

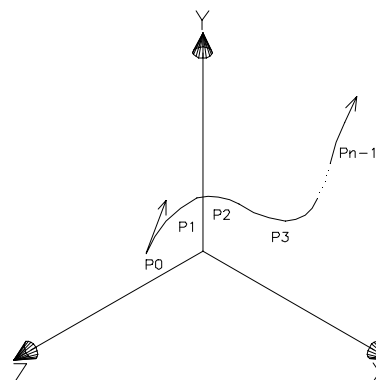
3.5.1. Παραμετρικές Κυβικές Καμπύλες Splines

Οι Κυβικές Καμπύλες μπορούν να δημιουργηθούν, έτσι ώστε να διέρχονται από ένα σύνολο δεδομένων σημείων. Θεωρώντας τις κυβικές καμπύλες σαν λεπτές ελαστικές δοκούς, στηριγμένες σε συγκεκριμένα σημεία, που ονομάζονται κόμβοι, η μορφή τους αντιστοιχεί με την παραμόρφωση της δοκού, που λαμβάνεται από ένα πολυώνυμο, ο βαθμός του οποίου εξαρτάται από το πλήθος των σημείων ορισμού της καμπύλης.

$$y(x) = \sum_{i=1}^4 \alpha_i x^{i-1}$$

Τα πλεονεκτήματα των κυβικών καμπυλών είναι:

- 1) Μείωση του χρόνου υπολογισμών.
- 2) Είναι η μοναδική καμπύλη με τόσο μικρό βαθμό πολυωνύμου που επιτρέπει διακύμανση σημείων.



3) Έχει τη δυνατότητα περιστροφής στο χώρο.

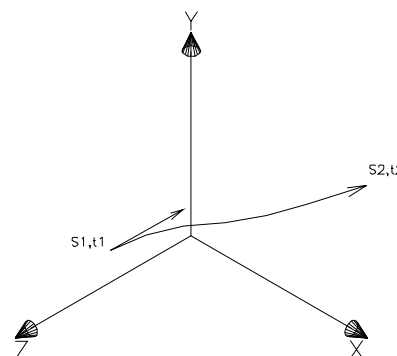
Θεωρείται ένα σύνολο σημείων, που ορίζονται πάνω σε ένα επίπεδο x-y με συντεταγμένες (x_i, y_i) , όπου $i = 1, \dots, n$. Ο στόχος είναι να περάσει μια παραμετρική κυβική καμπύλη πάνω από τα σημεία αυτά. Μια παραμετρική κυβική καμπύλη παράγεται συναρτήσει ενός ή και περισσότερων παραμέτρων, όπως φαίνεται και από την χαρακτηριστική εξίσωση που την προσδιορίζει.

$$S(t) = B_0 + B_1 t + B_2 t^2 + B_3 t^3$$

Όπου B_0, B_1, B_2 και B_3 είναι παράμετροι που προσδιορίζονται από τις συνθήκες προσδιορισμού και την ομαλότητα της καμπύλης.

Για την περίπτωση που η καμπύλη διέρχεται μέσα από δυο σημεία, ο τρόπος εύρεσης της κυβικής παραμετρικής καμπύλης είναι:

Έστω S_1 και S_2 δυο σημεία από τα οποία διέρχεται ένα τμήμα καμπύλης. Οι κλίσεις της καμπύλης στα σημεία θα είναι οι παράγωγοι των S_1 και S_2 σε σχέση με την μεταβλητή t , έστω S_1' και S_2' . Εντός του διαστήματος των δύο σημείων η μεταβλητή t μεταβάλλεται μεταξύ t_1 και t_2 .



Η παράγωγος της εξίσωσης της κυβικής καμπύλης μπορεί να δοθεί από:

$$S'(t) = \sum_{i=1}^4 B_i (i-1) t^{i-2} \quad t_1 \leq t \leq t_2$$

ή σε άλλη μορφή

$$S'(t) = B_2 + 2B_3 t + 3B_4 t^2 \quad t_1 \leq t \leq t_2$$

Μπορεί να θεωρηθεί $t = 0$. Οι απαιτούμενες οριακές συνθήκες ενός τμήματος της καμπύλης μπορούν να εκφραστούν από:

$$S(0) = S_1$$

$$S(t_2) = S_2$$

$$S'(0) = S_1'$$

$$S(t_2) = S_2'$$

Από τις οποίες προκύπτουν τέσσερις σχέσεις ως προς τους αγνώστους B_j

$$S(0) = B_1 = S_1$$

$$S'(0) = \sum_{i=1}^4 (i-1)t^{i-2} B_i \Big|_{t=0} = B_2 = S_1'$$

$$S(t_2) = \sum_{i=1}^4 t^{i-1} B_i \Big|_{t=t_2} = B_1 + B_2 t_2 + B_3 t_2^2 + B_4 t_2^3 = S_2$$

$$S'(t_2) = \sum_{i=1}^4 (i-1)t^{i-2} B_i \Big|_{t=t_2} = B_2 + 2B_3 t_2 + 3B_4 t_2^2 = S_2'$$

Τα B_1 και B_2 δίδονται από τις δυο πρώτες οριακές συνθήκες, ενώ επιλύοντας τις δυο πρώτες ως προς B_3 και B_4 , λαμβάνεται:

$$B_3 = \frac{3(S_2 - S_1)}{t_2^2} - \frac{2S_1'}{t_2} - \frac{S_2'}{t_2}$$

$$B_4 = \frac{2(S_1 - S_2)}{t_2^3} - \frac{S_1'}{t_2^2} - \frac{S_2'}{t_2^2}$$

επίσης $B_1 = S_1$ και $B_2 = S_1'$. Έτσι προσδιορίζονται οι τέσσερις σταθερές και η παραμετρική εξίσωση του τμήματος της καμπύλης.

Έχοντας προσδιορίσει τις τέσσερις σταθερές, είναι δυνατό να γραφεί η παραμετρική εξίσωση για το τμήμα μεταξύ των S_1 και S_2 , θέτοντας τις τιμές των υπολογισμένων σταθερών στη χαρακτηριστική εξίσωση της κυβικής καμπύλης.

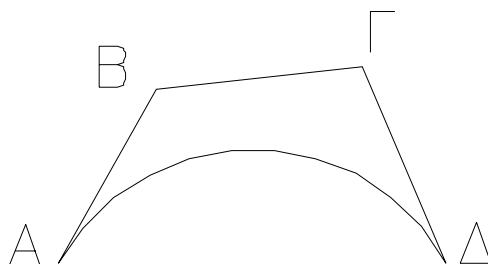
$$S(t) = S_1 + S_1 t + \left[\frac{3(S_2 - S_1)}{t_2^2} - \frac{2S_1'}{t_2} - \frac{S_2'}{t_2} \right] t^2 + \left[\frac{2(S_1 - S_2)}{t_2^3} + \frac{S_1'}{t_2^2} + \frac{S_2'}{t_2^2} \right] t^3$$

Η παραπάνω εξίσωση αναφέρεται σε ένα τμήμα μεταξύ των σημείων S_1 και S_2 . Εντούτοις, για να αναπαρασταθεί μια πλήρης καμπύλη, πρέπει να ενωθούν πολλά τμήματα μαζί.

3.5.2. Καμπύλες Bezier

Το σχήμα της καμπύλης Bezier διαμορφώνεται από την θέση των σημείων που επιλέγονται. Η καμπύλη μπορεί να μην περνάει από όλα τα σημεία που ορίζονται, αλλά σίγουρα περνάει από τα άκρα.

Αυτό είναι χρήσιμο σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου η μέθοδο των κυβικών καμπυλών, μπορεί να μη δίνει ομαλή καμπύλη, χωρίς τον ορισμό περισσότερων σημείων, ενώ σε αντίστοιχες περιπτώσεις οι καμπύλες Bezier έχουν την ευελιξία να μην εξαναγκάζουν τη καμπύλη να περνάει από όλα τα σημεία.



Η μαθηματική βάση της καμπύλης Bezier είναι μια πολυωνυμική συνδυαστική συνάρτηση, που δημιουργεί παρεμβολή μεταξύ του πρώτου και τελευταίου σημείου. Οι καμπύλες Bezier έχουν σχέση με το πολυώνυμο Bernstein. Η βασική συνάρτηση δίνεται από:

$$J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i}$$

όπου

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i! \cdot (n-i)!}$$

με n το βαθμό του πολυωνύμου και i τη συγκεκριμένη κορυφή στο διατεταγμένο σύνολο (από 0 έως n). Γενικά ένα πολυώνυμο n -οστής τάξης ορίζεται από $n+1$ κορυφές. Τα σημεία της καμπύλης δίνονται από τη σχέση:

$$S(t) = \sum_{i=0}^n S_i \cdot J_{n,i}(t) \quad (0 \leq t \leq 1)$$

όπου το S_i περιλαμβάνει τα συστατικά μέρη του διανύσματος κάθε σημείου.

Για την κατασκευή της καμπύλης Bezier, πρέπει να αξιολογηθεί το $J_{n,i}$, το οποίο δίνεται συναρτήσει της παραμέτρου t . Η μέγιστη τιμή του $J_{n,i}$ παρουσιάζεται, όταν $t = \frac{i}{n}$ και είναι

$$J_{n,i}\left(\frac{i}{n}\right) = \binom{n}{i} \cdot \frac{i^i \cdot (n-i)^{n-i}}{n^n}$$

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της πρώτης και δεύτερης παραγώγου για την συνέχεια της κλίσης κατά την ένωση δύο καμπύλων, Bezier παρατηρείται ότι τα διανύσματα κλίσης στο πρώτο και τελευταίο σημείο είναι εφαπτόμενα στην πρώτη και τελευταία πλευρά του πολυγώνου, ενώ οι δεύτερες παράγωγοι για το τελικό και αρχικό σημείο εξαρτώνται από τις κοντινότερες κορυφές του πολυγώνου.

3.6. Δημιουργία Επιφανειών

Η δημιουργία επιφανειών είναι ένα βασικό στοιχείο, για τη δημιουργία αντικειμένων στο χώρο. Επιτρέπει στο χρήστη να δουλεύει με πιο αληθοφανείς απεικονίσεις, σχηματίζοντας το εξωτερικό σχήμα του αντικειμένου. Η κατασκευή επιφανειών εξαρτάται από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται, για να προσαρμοστεί μια καμπύλη μέσα από δεδομένα σημεία. Για τον λόγο αυτό το ίδιο το λογισμικό διαλέγει μια από τις μεθόδους, που περιγράφηκαν πιο πάνω με κριτήριο το αισθητικό αποτέλεσμα που θα είναι δεκτό.

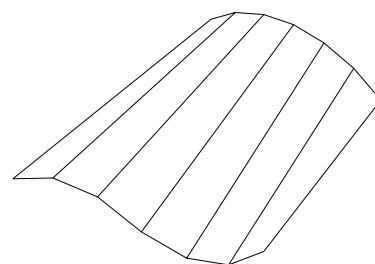
Στη συνέχεια περιγράφονται οι πιο γνωστές μέθοδοι μοντελοποίησης επιφανειών.

3.6.1. Επίπεδη Επιφάνεια (Plane surface)

Η επίπεδη επιφάνεια ορίζεται από τέσσερις καμπύλες ή ευθείες γραμμές που ενώνονται μεταξύ τους. Το λογισμικό CAD δημιουργεί ένα επίπεδο, που ορίζεται από τα τρία σημεία τομής των καμπυλών ή ευθειών γραμμών.

3.6.2. Οδηγούμενες Επιφάνειες (Ruled surface)

Η οδηγούμενη επιφάνεια ορίζεται από δύο δεδομένες χωρικές παραμετρικές καμπύλες c_1 και c_2 , οι οποίες περιέχονται αποτελούν αντίθετες συνιοριακές καμπύλες.

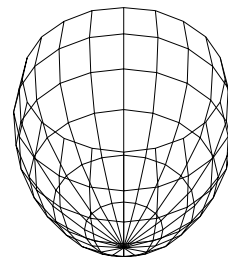


Δίνοντας δυο τυχαίες καμπύλες C_1 και C_2 ,

προσαρμόζεται μια καμπύλη ανάμεσα τους με τη χρήση γραμμικής παρεμβολής.

3.6.3. Επιφάνεια Περιστροφής (Surface of revolution)

Η επιφάνεια αυτού του είδους δημιουργείται με την περιστροφή μιας καμπύλης γύρω από κάποιο άξονα. Η γωνία περιστροφής ορίζεται από τον σχεδιαστή. Στο σχήμα φαίνεται το αποτέλεσμα μιας πλήρους περιστροφής μιας παραβολής.



3.7. Τεχνικές Στερεάς Μοντελοποίησης

Οι μαθηματικοί αλγόριθμοι της στερεάς μοντελοποίησης απαιτούν ένα ιδιαίτερο χειρισμό της γεωμετρίας, για να επιτευχθεί το επιθυμητό σχήμα.

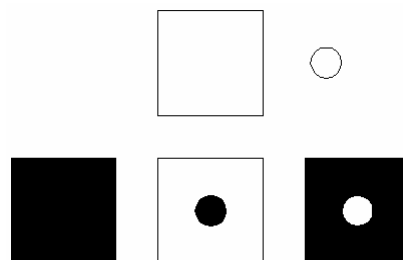
Υπάρχουν πολλές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και επεξεργασία των στερεών αντικειμένων. Μερικές από αυτές είναι ευρύτατα διαδεδομένες, ενώ άλλες είναι πολύ υποσχόμενες για μελλοντική αξιοποίηση. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν :

1. Πραξεις Boole (Boolean operation).
2. Σάρωση (Sweeping).
3. Κατασκευή Τόξων Καμπυλότητας και Φρεζαρισμάτων (Filleting, Chamfer).
4. Μεταφορά όψης (Tweaking).
5. Επικάλυψη συρματικής αναπαράστασης.

Καμία από αυτές τις τεχνικές δεν είναι επαρκής από μόνη της, για αυτό ο μοντελοποιητής πρέπει να υποστηρίζει πολλές από τις τεχνικές αυτές. Ένα κοινό χαρακτηριστικό των τεχνικών είναι η ικανότητα να πραγματοποιούν πλήθος διεργασιών, με εισαγωγή μόνο των πλέον απαραίτητων στοιχείων από το χρήστη. Για παράδειγμα, μια πράξη Boole (Boolean operation), η οποία εκτελείται σε μια μόνο εντολή, έχει το ίδιο αποτέλεσμα με πολλές διαδοχικές διαδικασίες παλαιότερων συστημάτων CAD.

3.7.1. Πράξεις Boole

Οι πράξεις της λογικής Boole όπως είναι η τομή, η ένωση, η αφαίρεση, δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής σύνθετων αντικειμένων από απλά αρχέτυπα. Στο σχήμα φαίνονται τα αποτελέσματα πράξεων Boole σε δισδιάστατα αντικείμενα.



Η στερεή γεωμετρική αναπαράσταση συχνά αποθηκεύεται στα συστήματα υπό την μορφή δυαδικών δένδρων. Ο χρήστης μπορεί να εφαρμόσει την πράξη της ένωσης σε μια σειρά από αντικείμενα ή να αφαιρεί πολλά αντικείμενα από ένα δεδομένο αντικείμενο.

Οι πράξεις Boole ανταποκρίνονται στη μοντελοποίηση σε υπολογιστή διαφόρων τεχνικών κατασκευής. Ιδιαίτερα ο τελεστής της διαφοράς, ο οποίος είναι κατανοητός εύκολα σε ανθρώπους με εμπειρία στις διαδικασίες αφαίρεσης υλικού. Το αντικείμενο, το οποίο αφαιρείται νοείται ως το υλικό που αφαιρείται από ένα κοπτικό εργαλείο. Όμοια ο τελεστής της ένωσης είναι ανάλογος με την διαδικασία της συγκόλλησης.

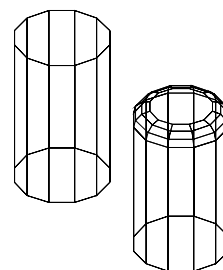
3.7.2. Σάρωση (Sweeping)

Σε μια λειτουργία σάρωσης ένα αντικείμενο (γενέτειρα) κινείται κατά μήκος μιας τροχιάς με σκοπό να δημιουργήσει ένα νέο αντικείμενο. Η γενέτειρα μπορεί να είναι μια καμπύλη, ενώ η τροχιά μπορεί να είναι μια καμπύλη ή τόξο καμπύλης. Οι καμπύλες ακμές των πλάγιων όψεων μπορούν να προσδιορισθούν από το μονοπάτι της κάθετης σάρωσης ή από τομές της επιφάνειας της πλάγιας όψης.

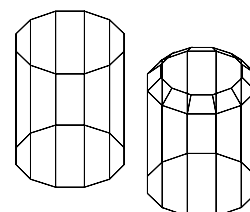
Η σάρωση είναι μια πολύ αποτελεσματική τεχνική μοντελοποίησης. Πολλά αντικείμενα μπορούν να δημιουργηθούν με τη διαδικασία σάρωσης, για παράδειγμα προβαλλόμενα κομμάτια μπορούν να μοντελοποιηθούν, όταν σαρωθούν με τροχιά μιας ευθείας γραμμής, όπως η κατασκευή ενός κυλίνδρου.

3.7.3. Κατασκευή Τόξων Καμπυλότητας (Fillet) και Λοξοτμήτων Γωνιών (Chamfer)

Σε ένα σύστημα, το οποίο μπορεί να εκτελεί κατεργασίες στις ακμές και στις πλευρές ενός τρισδιάστατου αντικειμένου είναι εύκολο να δημιουργηθούν τόξα καμπυλότητας. Το σύστημα μπορεί να δημιουργήσει καμπύλες επιφάνειες μεταβάλλοντας τις ακμές του στερεού και κατά συνέπεια ολόκληρη την όψη.



Όμοια με τα τόξα μπορούν να κατασκευαστούν φρεζαρίσματα. Ο αλγόριθμος είναι σχεδόν ίδιος, αλλά τώρα παράγει πλάγιες όψεις. Οι παραπάνω διαδικασίες βασίζονται στις πράξεις Boole και πολύ συχνά ειδικά αρχέτυπα παράγονται για τη διευκόλυνση αυτής της λειτουργίας.



3.7.4. Επικάλυψη της συρματικής αναπαράστασης

Σε αυτήν την μέθοδο, όταν ολοκληρωθεί η συρματική αναπαράσταση του μοντέλου, δημιουργούνται οι επιφάνειες με τη βοήθεια της συρματικής γεωμετρίας και προσδιορίζεται η ακριβής θέση και το σχήμα τους. Επειδή πολλοί χρήστες CAD σχεδιάζουν με συρματική αναπαράσταση τα μοντέλα τους, η μέθοδος πρέπει να έχει τη δυνατότητα, με συγκεκριμένους αλγόριθμους, να εισάγει αυτόματα τις επιφάνειες, σε ένα τέτοιο μοντέλο. Έτσι οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν, έχουν τη δυνατότητα επικάλυψης του αντικειμένου χωρίς την επιρροή του χρήστη στα 3D μοντέλα και τις 2D ορθογωνικές προβολές.

3.8. Τεχνικές μοντελοποίησης.

Τα πρώτα περιγραφικά σχέδια ήταν τα σκίτσα. Η τυπική διαφορά ενός σκίτσου από ένα έργο τέχνης, που και τα δύο αναπαριστούσαν 3D όψεις αντικειμένων, ήταν ότι τα σχεδιαστικά σκίτσα συνοδεύονταν από κείμενο, το οποίο επεξηγούσε τις σκέψεις του σχεδιαστή και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Το κείμενο ήταν απαραίτητο για την πραγματοποίηση του σχεδίου.

Το σκίτσο αντικαταστάθηκε από τα τεχνικά σχέδια, που περιείχαν πλήρεις συμβολισμούς, οπότε απαιτούσαν λιγότερη επεξήγηση. Το μηχανολογικό σχέδιο δεν αναπαρίστατο πια σε 3D, αλλά δε 2D διαστατοποιημένες όψεις. Αυτή η μέθοδος άλλαξε περίπου το 1975, όταν λειτούργησε το πρώτο 3D CAD σύστημα.

Η τρισδιάστατη συρματική αναπαράσταση (**3D wireframe modeling**) έδωσε τη δυνατότητα δημιουργίας χωρικών μοντέλων, που συνδεόταν άμεσα με τις δισδιάστατες όψεις και τη διαστασιολόγηση. Παρόλα αυτά ο χειρισμός τρισδιάστατων οντοτήτων σε δισδιάστατες οθόνες απαιτούσε ειδική εκπαίδευση των σχεδιαστών. Το τρισδιάστατο μοντέλο δεν περιείχε πληροφορίες για το σχήμα των επιφανειών με συνέπεια τη μη ευκρινή απεικόνιση.

Οι τεχνικές επιφανειακής μοντελοποίησης (**surface modeling**) έδωσαν τη δυνατότητα να ορίζονται και να αναλύονται σύνθετα σχήματα, χωρίς την ανάγκη να δημιουργείται ένα φυσικό μοντέλο. Αυτό ήταν χρήσιμο αρχικά στην αυτοκινητοβιομηχανία και στην αεροδιαστημική βιομηχανία. Οι επιφάνειες που μπορούν να απεικονιστούν με αυτές τις μεθόδους είναι διαφόρων ειδών, όπως επίπεδες, επιφάνειες σάρωσης ή τυχαίου σχήματος. Οι τελευταίες μοντελοποιούνται με τη χρήση αλγόριθμων βασισμένων στη θεωρία του Bezier ή του Boor (B-splines). Καμπύλες και επιφάνειες προσεγγίζονται από παραμετρικές συναρτήσεις, οι οποίες μπορούν να μεταβληθούν με τη μετακίνηση κάποιων σημείων ελέγχου. Ανεξάρτητα κομμάτια

επιφανειών μπορούν να ενωθούν και να συνθέσουν ένα πλήρες επιφανειακό μοντέλο. Παρόλο που μία επιφανειακή αναπαράσταση περιγράφει ένα αντικείμενο καλύτερα από τη συρματική αναπαράσταση, δεν περιέχει αρκετές πληροφορίες, για να περιγράψει επαρκώς το αντικείμενο.

Η έννοια της στερεάς μοντελοποίησης (**solid modeling**) παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη συρματική και την επιφανειακή μοντελοποίηση, όπως :

- Επαρκή γεωμετρική περιγραφή.
- Δυνατότητα ελέγχου.
- Φυσικό τρόπο δημιουργίας μοντέλων με λογικές διεργασίες σε αρχέτυπα στερεά αντικείμενα.
- Δημιουργία αναπαράστασης των μοντέλων με τεχνικές σκίασης.
- Υπολογισμό ιδιοτήτων, όπως εμβαδόν επιφανειών, όγκου, βάρους, κέντρου βάρους, ροπής αδράνειας κλπ.
- Αυτόματη δημιουργία πλέγματος, για ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία.
- Χρήση στοιχείων του μοντέλου για αυτόματη δημιουργία δεδομένων αριθμητικού ελέγχου.

Το 1973 παρουσιάστηκαν δύο ανεξάρτητα προγράμματα για στερεά μοντελοποίηση. Οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούσαν αρχέτυπα στερεά, μετασχηματισμούς και χρήση άλγεβρας Boole (Boolean operations) για τη δημιουργία πολύπλοκων στερεών. Παρόλο που τα συστήματα φαινόταν εξωτερικά όμοια, η εσωτερική αναπαράσταση του μοντέλου ήταν εντελώς διαφορετική. Στη μέθοδο TIPS η περιγραφή των αρχέτυπων στερεών, των μετασχηματισμών και η χρήση άλγεβρας Boole (Boolean operations) αποτελούσαν το μοντέλο. Η αναπαράσταση TIPS ονομάζεται τώρα “Constructive Solid Geometry”(CSG). Στη μέθοδο BUILD το μοντέλο αποτελείται από τις επιφάνειες του στερεού μαζί με τοπολογικές πληροφορίες για το πως οι όψεις, οι ακμές και οι κορυφές ενώνονται μεταξύ τους. Η μέθοδος BUILD ονομάζεται πλέον “Boundary Representation” (B-rep).

Τα περισσότερα συστήματα, που έχουν αναπτυχθεί από τότε χρησιμοποιούν τη μία, την άλλη ή και τις δύο μεθόδους. Οι δύο μέθοδοι έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Επιπλέον έχουν αναπτυχθεί ενδιάμεσες μέθοδοι, όπως η PADL-1, που χρησιμοποιεί αναπαράσταση CSG εσωτερικά, αλλά μπορεί να παράγει B-rep για την εμφάνιση εικόνων συρματικής αναπαράστασης. Είναι λιγότερο εύκολο να δημιουργηθούν CSG μοντέλα από B-rep μοντέλα. Παρόλα αυτά η B-rep έχει κάποια χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη CSG, η οποία όμως έχει ένα μεγάλο πλήθος διεργασιών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να μεταβληθεί το σχήμα του μοντέλου.

3.8.1. Κατασκευαστική Στερεά Γεωμετρία (Constructive Solid Geometry)

Ένα CSG μοντέλο είναι ένα δυαδικό δέντρο, που αποτελείται από αρχέτυπα αντικείμενα και τελεστές της άλγεβρας Boole ή τελεστές θέσης. Τα αρχέτυπα αναπαριστούνται από τα φύλλα του δέντρου και τα πιο σύνθετα αντικείμενα από τους κόμβους. Η ρίζα του δέντρου αναπαριστά το πλήρες αντικείμενο. Κάθε αρχέτυπο συνδυάζεται με ένα τρισδιάστατο μετασχηματισμό, ο οποίος προσδιορίζει τη θέση, τον προσανατολισμό και τις διαστάσεις του αντικειμένου. Οι τελεστές θέσης, που συχνά εφαρμόζονται είναι η ένωση, η τομή ή η διαφορά. Τα χαρακτηριστικά της δομής των τελεστών εισάγονται είτε με μορφή κειμένου, είτε μέσω καταλόγων ή εικόνων με αρχέτυπα αντικείμενα ή τελεστές. Το μοντέλο μπορεί να αλλάξει, είτε αλλάζοντας τις παραμέτρους του αρχέτυπου, είτε προσθέτοντας και αφαιρώντας κλαδιά του δέντρου. Εφόσον δεν είναι διαθέσιμες συγκεκριμένες πληροφορίες για τις όψεις, τις ακμές και τις κορυφές, γενικά δεν είναι δυνατό να μεταβληθεί τοπικά το μοντέλο.

Για διαφορετικούς σκοπούς το CSG δέντρο πρέπει να αξιολογείται διαφορετικά. Για παράδειγμα η αξιολόγηση που απαιτείται για την εμφάνιση του αντικειμένου διαφέρει εντελώς από αυτήν που απαιτείται, για να προσδιοριστούν ογκομετρικές ιδιότητες.

Ο πιο κοινός τρόπος, για να απεικονιστούν μοντέλα CSG είναι, μέσω συρματικής αναπαράστασης, με τη χρήση διανυσματικών γραφικών. Οι εφαρμογές που κάνουν απευθείας χρήση μοντέλων CSG πρέπει να περιέχουν πληροφορίες από τα αρχέτυπα και από τους τελεστές. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι πως η διαδικασία μοντελοποίησης αποθηκεύεται μαζί με το μοντέλο. Όμως επειδή υπάρχουν πολλοί τρόποι χρήσης των αρχέτυπων, των μετασχηματισμών και των τελεστών για τη δημιουργία ενός συγκεκριμένου μοντέλου, το CSG μοντέλο δεν μπορεί να είναι μοναδικό.

Εκτός από τα στερεά αρχέτυπα, η μέθοδος TIPS χρησιμοποιεί και ημιχώρους ως αρχέτυπα. Ο ημιχώρος είναι μια άπειρη επιφάνεια, που χωρίζει το τρισδιάστατο χώρο σε ένα στερεό τμήμα και σε ένα άδειο τμήμα και μπορεί να οριστεί από εξισώσεις επιφανειών. Για παράδειγμα ένας κύβος μπορεί να κατασκευαστεί από έξι επίπεδους ημιχώρους. Θεωρητικά κάθε επιφάνεια, οπότε και κάθε αντικείμενο, μπορεί να μοντελοποιηθεί με αυτό τον τρόπο, αλλά στην πράξη η τεχνική αυτή περιορίζεται από τις δυνατότητες των αλγορίθμων δημιουργίας τομών. Το πλήθος των απαιτούμενων αλγορίθμων τομής είναι ανάλογο με το πλήθος των αρχέτυπων με διαφορετικές όψεις. Οπότε το πλήθος των αρχέτυπων είναι συνήθως περιορισμένο.

Συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα της CSG, ως προς τη B-rep είναι :

- Η CSG έχει δομή με απλούστερα και λιγότερα δεδομένα, οπότε είναι πιο εύκολος ο χειρισμός της από το χρήστη .
- Ένα μοντέλο CSG ανταποκρίνεται πάντα σε ένα φυσικά βάσιμο στερεό.
- Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί CSG αναπαράσταση εσωτερικά, συνήθως δίνει την ευκολία δημιουργίας B-rep μοντέλων και μπορεί να υποστηρίξει μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών.
- Επειδή η CSG ορίζει τη διαδικασία μοντελοποίησης και όχι το σχήμα του μοντέλου, είναι πολύ εύκολη και γρήγορη η τροποποίηση του CSG μοντέλου , αλλάζοντας τους τελεστές, τους μετασχηματισμούς ή τα αρχέτυπα.

Τα μειονεκτήματα της CSG είναι :

- Ο περιορισμός των τελεστών της άλγεβρας του Boole, στους πιο συνηθισμένους.
- Ο υπολογισμός εικόνων συρματικής αναπαράστασης ή σκιάσεων των μοντέλων CSG με τη χρήση αλγορίθμων χρειάζεται χρόνο, επειδή τα αρχικά αντικείμενα είναι πλήρως καθορισμένα και πρέπει να υπολογιστούν πριν εμφανιστούν. Οι τεχνικές φωτορεαλισμού για την απεικόνιση οπτικών εφέ, όπως ανανακλάσεις, σκιάσεις, διαφάνειες κλπ. θέλουν επιπλέον χρόνο, για να δημιουργηθούν.

3.8.2. Συνοριακή Αναπαράσταση (Boundary Representation)

Οι B-rep τεχνικές μοντελοποίησης βασίζονται στην εισαγωγή τεχνικών επιφανειακής μοντελοποίησης για τρισδιάστατα σχήματα. Η πρώτη γενιά μοντελοποιητών B-rep αναπαριστούσε τα στερεά μόνο με πίνακες των όψεων, των ακμών και των κορυφών. Ο πίνακας των όψεων περιείχε πληροφορίες για όλες τις ακμές που υπήρχαν στις όψεις του μοντέλου. Η σειρά, με την οποία δίνονταν οι ακμές προσδιόριζε πια πλευρά της όψης αναπαριστούσε το εξωτερικό τμήμα του στερεού (με σύμβαση, κατά την εξέταση από έξω του στερεού, η θετική φορά να είναι ανθρωπολογιακή). Ο πίνακας των ακμών περιείχε δύο κορυφές για κάθε ακμή. Στον πίνακα των κορυφών, δίνονταν οι συντεταγμένες τους. Ήταν δύσκολο όμως να ληφθούν οι τοπολογικές πληροφορίες που περιείχαν οι πίνακες, για παράδειγμα, ήταν δύσκολο να γίνει αντιληπτό ποιες όψεις τέμονταν σε μια συγκεκριμένη ακμή, ή ποιες ακμές τέμονταν σε μια κορυφή.

Η δομή των ακμών σε σχήμα φτερού, που παρουσιάστηκε από τον Baumgart και χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα του, που ονομάζεται GEOMED, το οποίο επηρέασε την εξέλιξη των μοντελοποιητών B-rep. Η αναπαράσταση του μοντέλου με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στα περισσότερα συστήματα και αποτελείται από τρία διαφορετικά είδη δομών: τη δομή των ακμών σε σχήμα φτερού, τη δομή των όψεων και τη δομή των κορυφών. Για κάθε ακμή η δομή των ακμών σε σχήμα φτερού δίνει τις παρακείμενες ακμές, τις δύο όψεις

που έχουν κοινή τη συγκεκριμένη ακμή και τις δύο κορυφές, που ορίζουν την ακμή. Σε κάθε όψη η δομή των όψεων δίνει τις ακμές που είναι συνδεδεμένες στην όψη. Για κάθε κορυφή, η δομή των κορυφών δίνει τις ακμές που τέμνονται στην κορυφή και τις συντεταγμένες της κορυφής. Η χρήση αυτής της αναπαράστασης έλυσε το παραπάνω πρόβλημα, δηλαδή έκανε ευκολότερο τον έλεγχο των τοπολογικών συγγενειών μεταξύ όψεων, ακμών και κορυφών.

Στα μέσα της δεκαετίας του εβδομήντα και άλλοι μοντελοποιητές B-ger αναπτύχθηκαν, όπως ο GEOMAP, ο COMPAC και ο GLIDE, αλλά περιορίζονταν σε αντικείμενα με επίπεδες όψεις. Οι καμπύλες επιφάνειες μοντελοποιούνταν με γραμμικές παρεμβολές. Η διαδικασία αυτή ονομαζόταν *facetting*. Η ακρίβεια του μοντέλου καθοριζόταν από το δημιουργό του στη φάση της επιλογής του αρχέτυπου και δεν μπορούσε να μεταβληθεί, μετά από την εφαρμογή τελεστών πάνω του. Οι τελεστές της άλγεβρας Boole σε δύο στερεά απαιτούσαν έλεγχο, ώστε όλες οι όψεις ενός στερεού να τέμνονται με τις όψεις του άλλου. Ο χρόνος υπολογισμού είναι ανάλογος του πλήθους των όψεων και των δύο αντικειμένων. Αυτό συνεπάγεται κάποιο πρακτικό περιορισμό στην ακρίβεια των μοντέλων με καμπύλες επιφάνειες, δίνει όμως καλό οπτικό αποτέλεσμα, χωρίς να είναι πρακτικό σε εφαρμογές CAM. Η δεύτερη γενιά μοντελοποιητών B-ger περιείχε αρχέτυπα με σύνθετες επιφάνειες, όπως κυλίνδρους, σφαίρες κλπ. και έδινε τη δυνατότητα δημιουργίας πιο πολύπλοκων παραγώγων μοντέλων με ακριβή αυτή τη φορά γεωμετρία. Απαιτούσε όμως πιο σύνθετους αλγόριθμους και οι τελεστές της άλγεβρας Boole έδιναν περιορισμένη αριθμητική ακρίβεια.

Το 1975 ο Baumgart ανέπτυξε τους “τελεστές Euler”. Οι τελεστές αυτοί μπορούν να προσθέσουν και να αφαιρέσουν όψεις, ακμές και κορυφές, σύμφωνα με τη θεωρία του Euler για στερεά αντικείμενα. Η θεωρία της B-ger εξελίχθηκε από τον Braid για αναπαράσταση τρυπών σε στερεά. Αυτή η μέθοδος θεωρεί μια όψη ως μια πεπερασμένη περιοχή μιας επιφάνειας. Το 1979 εμφανίστηκε ο μοντελοποιητής ROMULUS, ο οποίος είναι δυνατόν να δημιουργήσει αντικείμενα με συρματική και επιφανειακή αναπαράσταση από ακολουθίες ακμών σάρωσης. Η σάρωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στερεό αρχέτυπο. Πληροφορίες, όπως το τελείωμα των επιφανειών, η σκληρότητα κλπ. μπορούν να συνδεθούν με το στερεό μοντέλο ως ιδιότητες, που καθορίζονται από το χρήστη. Η μέθοδος αυτή αποτέλεσε τον πυρήνα για τη δημιουργία τεχνικών CAD/CAM, όπως το UNICAD, το CAD-X κλπ.

Το 1980 ο Braid παρουσίασε μια βελτίωση της μεθόδου του Baumgart με του τελεστές Euler, τη μέθοδο των τοπικών τελεστών. Οι τοπικοί τελεστές μπορούν να τροποποιήσουν τη B-ger με τη δημιουργία, την κατάργηση ή την τροποποίηση ακμών ή επιφανειών σάρωσης. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό είναι προτιμότερο από τους τελεστές του Boole, γιατί δεν απαιτούνται καθολικοί έλεγχοι στο αντικείμενο. Έτσι ο χρόνος υπολογισμού είναι ανεξάρτητος από την

πολυπλοκότητα του μοντέλου. Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο είναι το GPM, το οποίο, όπως και το ROMULUS μπορεί να αποθηκεύσει και να ανακτήσει τεχνικά δεδομένα, όπως ιδιότητες του υλικού, σκληρότητα επιφάνειας και άλλα.

Επιπλέον εξέλιξη του μοντελοποιητή B-ger έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του, με μείωση των απαιτούμενων ελέγχων των όψεων και την επέκταση του εύρους των σχημάτων που μπορούν να μοντελοποιηθούν.

Τα πλεονεκτήματα της B-ger σε σχέση με τη CSG είναι :

- Γρήγορη δημιουργία εικόνων συρματικής αναπαράστασης, λόγω του ότι όλες οι ακμές είναι αποθηκευμένες και μπορούν γρήγορα να προσδιοριστούν τοπολογικά δεδομένα.
- Είναι διαθέσιμο ένα μεγάλο εύρος από τελεστές, που κάνει δυνατή τη δημιουργία πολύπλοκων μοντέλων με αρκετούς τρόπους.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι :

- Λόγω του όγκου των δεδομένων, είναι δύσκολη η διαχείριση τους.
- Οι δευτερεύουσες τροποποιήσεις του μοντέλου είναι επίπονες. Η μείωση της διαμέτρου μιας τρύπας για παράδειγμα απαιτεί μια ένωση, για να γεμίσει η τρύπα και στη συνέχεια μια τομή με κύλινδρο μικρότερης διαμέτρου. Στη CSG το ίδιο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται απλά με την αλλαγή μιας παραμέτρου. Οι τοπικοί τελεστές πολλές φορές μπορούν να μειώσουν τον όγκο της δουλειάς.
- Οι τοπικοί τελεστές μπορούν να καταλήξουν σε ένα λανθασμένο σχήμα.
- Είναι πιθανή η μη αναστρέψιμη καταστροφή του μοντέλου, από ένα λάθος τελεστή. Η λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι μια ακολουθία τελεστών, που αποκαθιστά τις συνέπειες του λάθους, αν και αυτό δεν είναι πάντα εφικτό. Μια εναλλακτική λύση είναι να κρατηθούν όλες οι χρησιμοποιούμενες εντολές κατά τη διάρκεια δημιουργίας του μοντέλου. Αυτή η λίστα βοηθά στην ανακατασκευή του μοντέλου μετά από ένα τέτοιο λάθος. Μια τρίτη πιθανότητα είναι να αποθηκευτούν όλα ή μερικά από τα πιο πρόσφατα στάδια σχεδιασμού, έτσι όμως δημιουργούνται μεγάλες απαιτήσεις σε μνήμη. Μια άλλη προσέγγιση είναι να εφαρμοστούν όλοι οι αρχέτυποι τελεστές με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η επιστροφή με ακύρωσή τους.

Στην τελευταία γενιά μοντελοποιητών B-ger έχουν συγχωνευτεί οι NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) για παραμετρικές καμπύλες και επιφανειακή μοντελοποίηση. Τα συστήματα GEOMOD και ACIS είναι παραδείγματα τέτοιων μοντελοποιητών. Το ACIS είναι πολύ βασικός μοντελοποιητής, βασισμένος στη μέθοδο BUILD. Είναι γραμμένο σε C++ και δίνει τη δυνατότητα για γρήγορη αναίρεση και επανάληψη εντολών. Επίσης συνδυάζει τη συρματική, την

επιφανειακή και τη στερεά μοντελοποίηση. Χρησιμοποιεί συγκεκριμένες και παραμετρικές επιφάνειες κλπ.

3.8.3. Παραμετρική Μοντελοποίηση (Parametric modeling)

Η παραμετρική μοντελοποίηση επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί μοντέλα με διαφορετικές διαστάσεις. Οι διαστάσεις συνδέονται μέσω εκφράσεων. Ο συνδυασμός του μοντέλου με τις διαστάσεις επιτρέπει αυτόματη αναδημιουργία του μοντέλου και αυτόματη ενημέρωση των εμπλεκόμενων διαστάσεων. Έτσι γίνεται εφικτή η δημιουργία ενός “ευέλικτου μοντέλου”. Πολλά συστήματα CAD προσφέρουν περιορισμένες δυνατότητες παραμετρικού σχεδιασμού σε δύο διαστάσεις. Επίσης πλήρη παραμετρική σχεδίαση σε τρεις διαστάσεις παρέχουν κάποια πακέτα, όπως το Pro Engineer, που βασίζεται σε B-rep.

3.8.4. Μοντελοποίηση Βασισμένη σε Στοιχεία (Feature based modeling)

Η μηχανολογική σημασία ενός χαρακτηριστικού περιλαμβάνει τη συνάρτηση που το περιγράφει, ποιες ενέργειες χρειάζονται, για να παραχθεί αυτό το χαρακτηριστικό κλπ. Τα χαρακτηριστικά είναι αυτά που απαρτίζουν τα τμήματα και τους απαραίτητους μηχανισμούς, οπότε μπορούν να προσδιοριστούν σε κάθε φάση της παραγωγικής διαδικασίας.

Η μοντελοποίηση με βάση τα χαρακτηριστικά βασίζεται στην ιδέα του σχεδιασμού με “κατασκευαστικά τμήματα”. Αντί να χρησιμοποιούνται αναλυτικά σχήματα, όπως παραλληλεπίπεδα, κύλινδροι κλπ. ως αρχέτυπα, είναι δυνατή η δημιουργία μοντέλων χρησιμοποιώντας υψηλότερου επιπέδου αρχέτυπα, τα οποία είναι περισσότερο σχετικά με την τρέχουσα εφαρμογή. Αυτή η προσέγγιση απλοποιεί αρκετά τη στερεά μοντελοποίηση αντικειμένων.

Η πρώτη τεχνική μοντελοποίησης με βάση τα χαρακτηριστικά ήταν η DSG (Destructive Solid Geometry ή Deforming Solid Geometry) και βασίζεται στη CSG, με διαφορετικούς τελεστές. Παρόλα αυτά οι περισσότεροι ερευνητές χρησιμοποιούν για αυτή τη μέθοδο τεχνικές B-rep. Ο λόγος είναι ότι η CSG βασίζεται σε στερεά αρχέτυπα και δεν μπορεί να αποτελέσει επαρκή βάση για μοντελοποίηση χαρακτηριστικών. Ενώ επιτρέπει γρήγορη πρόσβαση και φιλικό περιβάλλον, έχει τα εξής προβλήματα:

- Όχι μοναδική αναπαράσταση.
- Δυσκολία στην γεωμετρικό ορισμό αντικειμένων.
- Μη ύπαρξη τελεστών για τοπικές αλλαγές σχήματος.
- Αδυναμία στον καθορισμό διαφορετικών ιδιοτήτων για διαφορετικές όψεις ενός αρχέτυπου.

3.8.5. Ιεράρχηση χαρακτηριστικών αντικειμένων (object orientation)

Πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τεχνικές προσανατολισμού αντικειμένων ή συνδυασμό τέτοιων τεχνικών με στερεούς μοντελοποιητές, για να ολοκληρώσουν τα πρωτότυπα τους.

Οι τεχνικές αυτές ιεραρχούν τα αντικείμενα ίδιας κατασκευής σε διαφορετικές κλάσεις. Ο μηχανισμός ιεράρχησης κάνει δυνατή τη μοντελοποίηση συστημάτων με διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας και αυτό είναι και το βασικό πλεονέκτημα αυτών των τεχνικών. Η ιεράρχηση των ιδιοτήτων των αντικειμένων. Απαιτείται όμως πολύ καλή σχεδιαστική προσέγγιση και δεν είναι πάντα ξεκάθαρο ποιες ιδιότητες πρέπει να καθοριστούν.

3.8.6. Χρήση Αρχετύπων

Η χρήση αρχετύπων είναι η παραδοσιακή μέθοδος για τη δημιουργία 3D μοντέλων. Οι δυνατότητες αυτής της μεθόδου εξαρτώνται από την γκάμα των αρχετύπων που είναι διαθέσιμα, από τον αριθμό και από τον τρόπο, που μπορούν να οριστούν την στιγμή που καλούνται.

Σε ένα σύγχρονο σύστημα η βασική συλλογή αρχετύπων περιέχει αυθαίρετα προσανατολισμένους κύβους, κυλίνδρους, κώνους και σφαίρες. Για το χρήστη αυτή η συλλογή μπορεί να εμπλουτιστεί με επιπλέον χρήσιμα αρχέτυπα όπως σφήνες, κόλourους κώνους και άλλα.

Τα πιο εξελιγμένα συστήματα CAD επιτρέπουν στο χρήστη να ορίζει τα αρχέτυπα και να εισάγει τις διαστάσεις τους παραμετρικά. Βασικά ο χρήστης γράφει τη διαδικασία, που περιγράφει την κατασκευή του καινούργιου αρχετύπου και οι παράμετροι που χρειάζονται καθορίζονται, όταν η γεωμετρία υλοποιείται. Αυτές οι παράμετροι περιέχουν προσανατολισμό και τοποθέτηση, κλιμάκωση (μεγένθυση, σμίκρυνση) και άλλες ανεξάρτητες παραμέτρους μεγεθών (π.χ εσωτερική διάμετρο, πάχος τοιχείου σωλήνα).

Κεφάλαιο 4

Η τεχνολογία της απεικόνισης γραφικών σε υπολογιστή

4.1. Εισαγωγή

Η ενότητα αυτή αποτελεί συνέχεια της εισαγωγής στη θεωρία σχεδιασμού με χρήση Η/Υ. Η τεχνολογία για την απεικόνιση γραφικών σε Η/Υ παρουσιάζει τα τελευταία ραγδαία ανάπτυξη και ενδιαφέρον. Για το λόγο αυτό η αναφορά στην τεχνολογία δημιουργίας γραφικών γίνεται σε χωριστή ενότητα.

4.2. Ιστορικά στοιχεία για τα γραφικά σε υπολογιστή

Το πρώτο τρισδιάστατο σχέδιο (την περίοδο εκείνη δεν υφίστανται ακόμα γεωμετρικά μοντέλα) με τη βοήθεια υπολογιστή δημιουργήθηκε το 1964 από τον Γουίλιαμ Φέτερ (William Feter). Το σχέδιο αυτό κατασκευάστηκε με σκοπό τη μελέτη ενός θαλάμου διακυβέρνησης αεροπλάνου και αναπαρίστανε με τη χρήση διανυσματικών γραφικών (Vector Graphics) μια ανθρώπινη φιγούρα.

Στις αρχές του 1970 σχεδιάστηκαν και τέθηκαν σε εφαρμογή οι πρώτοι αλγόριθμοι σκίασης τρισδιάστατων αντικειμένων. Το 1971 ο Χένρι Γκουρό (Henry Gouraud) ανέπτυξε έναν έξυπνο αλγόριθμο σκίασης, ο οποίος παρείχε καλύτερα αποτελέσματα στην εξομάλυνση των πολυγώνων από αυτά που πρόσφερε η επίπεδη σκίαση (flat shading), που εφαρμοζόταν μέχρι τότε. Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε Gouraud Shading, από το όνομα του εμπνευστή της. Τέσσερα χρόνια αργότερα, το 1975, ο Μπούι Τουόνγκ Φονγκ (Bui Tuong Phong) παρουσίασε ένα αλγόριθμο σκίασης που δημιουργούσε μικρές αντανάκλασεις σημείων (Highlights), αποδίδοντας πιο ρεαλιστικά το φωτισμό και την αντανάκλαση των πολυγώνων. Πρόκειται για μία από τις πιο γνωστές μεθόδους σκίασης, η οποία πήρε το όνομα του δημιουργού της Phong Shading.

Μαζί με τους αλγόριθμους σκίασης άρχισαν να κάνουν την εμφάνιση τους τα πρώτα τρισδιάστατα μοντέλα. Στο μέσο της ίδιας δεκαετίας, ο Εντ Κάτμουλ (Ed Catmull) ανακάλυψε τη μέθοδο της απόδοσης υφής (Texture Mapping), με την οποία είναι εφικτή η εναπόθεση εικόνων στις επιφάνειες τρισδιάστατων μοντέλων, για την απεικόνιση της υφής των επιφανειών. Το 1978 ο Τζέιμς Μπλιν (James Blinn), βασιζόμενος στις αρχές του Texture Mapping που έθεσε ο Εντ Κάτμουλ, δημιούργησε τη μέθοδο της ανάγλυφης απεικόνισης (Bump Mapping).

Η κίνηση και η αναπαράσταση τρισδιάστατων αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο μέσα σε ένα περιβάλλον, όπου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να κινείται ελεύθερα, δεν μπορούσε να υλοποιηθεί πριν από τη δεκαετία του 90, λόγω της απαιτούμενης υπολογιστικής ισχύος, η οποία δεν ήταν διαθέσιμη στα μηχανήματα 8 bit ή 16 bit που κυκλοφορούσαν. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν κάποιες τεχνικές για τη δημιουργία της αίσθησης του χώρου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε παιχνίδια και δεν υπήρχε ενδιαφέρον για χρήση σε βιομηχανικές εφαρμογές. Παράδειγμα τέτοιας τεχνικής αποτελεί η χρήση των sprite, απλών δηλαδή δισδιάστατων εικόνων που μπορούν να κινούνται μέσα σε μία μεγαλύτερη στατική εικόνα, για την προσομοίωση της κίνησης των χαρακτήρων ή των αντικειμένων. Κάθε sprite διέπεται από κανόνες που καθορίζουν τη συμπεριφορά του, όταν έλθει σε επαφή με άλλο sprite ή με ένα στατικό αντικείμενο. Τα sprite κινούνται κατά μήκος της οθόνης. Η εικόνα στο φόντο κυλά προς την αντίθετη κατεύθυνση, δίνοντας την ψευδαίσθηση της κίνησης. Η τεχνική αυτή ονομάστηκε διαμήκης κύλιση (Side Scrolling) και χρησιμοποιήθηκε από τους προγραμματιστές παιχνιδιών για αρκετά χρόνια. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούσαν την τεχνική αυτή παρείχαν δυνατότητα περιήγησης του χρήστη, αλλά είχαν σταθερή γωνία θέασης. Η έννοια της του μετακινούμενου σημείου παρατήρησης δεν υφίσταται.

Τα διανυσματικά γραφικά (Vector Graphics) χρησιμοποιήθηκαν από τα πρώτα βήματα των υπολογιστών, σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Τα διανυσματικά γραφικά αναπαριστώνται με τη βοήθεια μαθηματικών τύπων και αποτελούνται από ευθείες και καμπύλες. Η απόδοση, δηλαδή η περιγραφή μιας εικόνας γίνεται σύμφωνα με τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, η περιγραφή μιας ρόδας με διανυσματικά γραφικά επιτυγχάνεται με τη μαθηματική συνάρτηση που προσδιορίζει έναν κύκλο προκαθορισμένης ακτίνας σε συγκεκριμένη θέση και με συγκεκριμένο χρώμα. Το μεγάλο πλεονέκτημα των διανυσματικών γραφικών είναι ότι μπορεί να μεταβάλλεται το μέγεθος και το χρώμα τους χωρίς να μειώνεται η ανάλυση της εικόνας, οπότε και η ποιότητα της απεικόνισης.

Στις πρώτες προσπάθειες προσομοίωσης της τρίτης διάστασης όλη η επεξεργασία για την απόδοση του τρισδιάστατου περιβάλλοντος γινόταν από τον κύριο επεξεργαστή του συστήματος. Χρησιμοποιούνταν μια ρουτίνα, η οποία τροφοδοτούσε με δεδομένα τον

επεξεργαστή και αποτελούσε το πιο κρίσιμο εργαλείο στην κατασκευή γραφικών. Η επεξεργασία των δεδομένων από προγραμματιστική ρουτίνα επέτρεπε στις εταιρείες να κατασκευάζουν διαφορετικά προϊόντα, τα οποία βασίζονταν στην ίδια προγραμματιστική ρουτίνα.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας είχε ως αποτέλεσμα την εισαγωγή των πρώτων τσιπ τρισδιάστατων γραφικών, τα οποία αναλάμβαναν να κάνουν τους υπολογισμούς που απαιτούσε η προγραμματιστική ρουτίνα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η απαιτούμενη υπολογιστή ισχύς που δεσμευόταν από τον κύριο επεξεργαστή του συστήματος για την επεξεργασία γραφικών. Οι εταιρείες ανάπτυξης λογισμικού πρέπει να αναπτύσσουν τα προϊόντα τους σύμφωνα με τις δυνατότητες των τσιπ γραφικών, διαφορετικά οι δυνατότητες αυτές δεν αξιοποιούνται. Αντίστροφα τα τσιπ γραφικών πρέπει να υποστηρίζουν τους αλγόριθμους και τις τεχνικές απεικόνισης που παρουσιάζονται, διαφορετικά οι δυνατότητες αυτές δεν αξιοποιούνται.

Η αλλαγή στο χώρο των γραφικών σε συστήματα υπολογιστών βασισμένα σε περιβάλλον Windows έγινε στα τέλη του 1996, όταν η εταιρεία 3DFX κυκλοφόρησε το τσιπ γραφικών Voodoo και τις πρώτες κάρτες επιταχυντές που το ενσωμάτωναν.

Τα βασικά σημεία υπεροχής του Voodoo ήταν:

- Η ισχύς του τσιπ, η οποία υπερίσχυε των ανταγωνιστών του στις επιδόσεις των τρισδιάστατων γραφικών ακόμα και του Pentium της Intel.
- Υποστήριξη του προτύπου Open GL, το οποίο μέχρι εκείνη την εποχή αποτελούσε στάνταρτ για τη δημιουργία γραφικών εφαρμογών σε σταθμούς εργασίας βασισμένους στο λειτουργικό Unix.

Για δύο χρόνια η 3DFX επικράτησε στους επιταχυντές γραφικών, στην αρχή με το Voodoo και λίγο αργότερα με το τσίπσετ Voodoo 2. Όλες οι προσπάθειες των ανταγωνιστών εκείνης της περιόδου δεν ήταν επαρκείς, για να αντιμετωπίσουν τα χαρακτηριστικά των καρτών Voodoo – Glide. Η πτώση της εταιρίας άρχισε, όταν η Microsoft ανέπτυξε το Direct 3D, το οποίο καθιερώθηκε ως το στάνταρτ πρότυπο API για τα τρισδιάστατα γραφικά σε περιβάλλον Windows.

4.3. Χαρακτηριστικά αντικειμένων σε μια τρισδιάστατη σκηνή

Για τη σχεδίαση των επιφανειών, οι οποίες θα απεικονίζονται ομαλά και θα είναι σε θέση να αναδείξουν τις λεπτομέρειες των αντικειμένων, χρησιμοποιούνται μικρά επίπεδα πολύγωνα διαφόρων σχημάτων. Όσο περισσότερα πολύγωνα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση ενός αντικειμένου τόσο πιο ομαλή, οπότε ρεαλιστική είναι η εικόνα που δημιουργείται.

Σε πραγματικές συνθήκες ποιότητα των γραφικών που θα παραχθούν καθορίζεται από την πολυπλοκότητα των υπολογισμών που απαιτούνται, ώστε να το κύκλωμα γραφικών να παράγει την απεικόνιση της τρισδιάστατης εικόνας. Για λόγους απλοποίησης λοιπόν, τα πολύγωνα στην πράξη εκφυλίζονται σε τρίγωνα, που έχουν λιγότερες κορυφές και συνεπώς λιγότερες γεωμετρικές παραμέτρους που πρέπει να προσδιοριστούν.

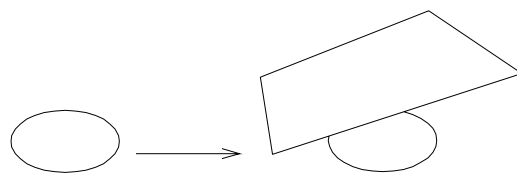
Ο φωτισμοί και οι τεχνικές των σκιάσεων παίζουν καθοριστικό ρόλο στην όψη ενός αντικειμένου. Οι πηγές φωτός παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την επιφάνεια απεικόνισης, ενώ η σκίαση δίνει την αίσθηση του όγκου και προσδιορίζει με ακρίβεια τη θέση μέσα στο χώρο. Με τη θέση όμως σχετίζεται και η προοπτική απεικόνιση (perspective), η οποία δημιουργεί την αίσθηση του βάθους. Είναι γνωστό ότι τα αντικείμενα φαίνονται μικρότερα όσο απομακρύνονται από το σημείο παρατήρησης. Αυτό συμβαίνει διότι οι ακτίνες φωτός τις οποίες ανακλούν, συγκλίνουν περισσότερο και δημιουργούν μικρότερο είδωλο στον αμφιβληστροειδή του ματιού μας ή στο φιλμ μιας φωτογραφικής μηχανής. Ο υπολογιστής που θα επεξεργαστεί τα γραφικά πρέπει κατά συνέπεια να υπολογίζει διαρκώς το μέγεθος κάθε αντικειμένου, λαμβάνοντας υπόψη τις ενδεχόμενες αλλαγές της απόστασής του από το σημείο παρατήρησης. Χρειάζεται λοιπόν να λαμβάνονται υπόψη οι σχετικές θέσεις των αντικειμένων, ώστε να προσδιορίζεται το τμήμα κάθε αντικειμένου που είναι ανά πάσα στιγμή ορατό, κάτι που συνήθως πραγματοποιείται με τη βοήθεια του Z-buffer (αναφορά σε άλλη ενότητα των σημειώσεων).

4.4. Απόκρυψη ακμών

Απαραίτητο εργαλείο, για να αποκτή ένα αντικείμενο ρεαλιστική μορφή είναι η απόκρυψη των γραμμών ή των επιφανειών που δεν είναι ορατές από την πλευρά, την οποία βλέπει ο παρατηρητής. Αυτό το φαινόμενο, που είναι προφανές σε ένα πραγματικό περιβάλλον, πρέπει να εξομοιωθεί με κατάλληλες τεχνικές στην οθόνη του υπολογιστή. Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν πάρα πολλοί τρόποι, από τους οποίους μέχρι σήμερα κανένας δεν έχει ικανοποιήσει πλήρως τις απαιτήσεις των σχεδιαστών. Μερικοί από τους τρόπους προσέγγισης του προβλήματος αυτού θα αναλυθούν παρακάτω.

4.4.1. Painters algorithm

Ο αλγόριθμος αυτός αρχίζει να ζωγραφίζει στην οθόνη τα πιο μακρινά από το χρήστη αντικείμενα. Στη συνέχεια σχεδιάζει τα πιο κοντινά αντικείμενα πάνω στο φόντο, που έχει σχεδιαστεί μέχρι εκείνη τη στιγμή.



Τα νέα σχέδια καλύπτουν τα παλιά, έτσι ώστε μόνο τα καινούργια επίπεδα του σχεδίου να είναι ορατά.

Με την ίδια λογική στη μέθοδο γίνεται εισαγωγή γεμάτων πολυγώνων στο frame buffer, δίνοντας τιμές στα εικονοστοιχεία. Αν στη συνέχεια εισαχθεί ένα δεύτερο πολύγωνο πάνω από το πρώτο, κάποια από αυτά τα εικονοστοιχεία θα αλλάξουν, για να ανταποκρίνονται στο περιεχόμενο του δεύτερου πολύγωνα. Όπου έχει τοποθετηθεί το δεύτερο πολύγωνο, οι ρυθμίσεις για τα εικονοστοιχεία του πρώτου πολυγώνου θα έχουν παραβλεφθεί. Ο αλγόριθμος αυτός ζητάει να εισαχθούν πρώτα τα πιο απομακρυσμένα πολύγωνα από τον παρατηρητή και τελευταία τα κοντινότερα. Η απόκρυψη των επιφανειών γίνεται, επιλέγοντας τη σωστή σειρά σχεδιασμού των πολυγώνων. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι πρέπει να λαμβάνεται κάθε πολύγωνο ξεχωριστά και να συγκρίνεται με τα υπόλοιπα, για να γίνεται σαφές ποιο είναι μπροστά από τα υπόλοιπα.

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται σε λογισμικά Εικονικής Πραγματικότητας, λόγω της ταχύτητάς του, αλλά έχει περιορισμένη ακρίβεια, οπότε απαιτείται η παράλληλη χρήση κάποιου άλλου αλγόριθμου από το λογισμικό, όπως ο Z –buffer, που περιγράφεται παρακάτω.

4.4.2. Z – buffer

Ο αλγόριθμος αυτός περιγράφηκε από τον Catmull και για κάθε πολύγωνο της οθόνης βρίσκει όλα τα εικονοστοιχεία, που βρίσκονται εσωτερικά ή πάνω στα όρια του αντικειμένου που αναπαριστάται. Για κάθε εικονοστοιχείο υπολογίζεται και αποθηκεύεται το βάθος του πολυγώνου που ανήκει. Το βάθος αυτό συγκρίνεται με το βάθος των υπολοίπων εικονοστοιχείων και τα πλησιέστερα στον παρατηρητή πολύγωνα είναι αυτά που είναι ορατά. Οι τιμές του Z-buffer είναι συνήθως μικρότερες για αντικείμενα που είναι τοποθετημένα κοντά στην επιφάνεια της οθόνης και επομένως έχουν μικρότερο βάθος. Από τη στιγμή που σχεδιάζονται τα αντικείμενα, ο υπολογιστής ελέγχει τη σχετική θέση τους πάνω σε ένα νοητό επίπεδο παράλληλο προς την επιφάνεια της οθόνης. Εάν υπάρχει επικάλυψη αντικειμένων, η χρήση της τιμής που είναι αποθηκευμένη στο Z-buffer για κάθε αντικείμενο καθιστά σαφές ποιο αντικείμενο

γίνεται ορατό και ποιο όχι. Το ορατό αντικείμενο επιλέγεται για τελική επεξεργασία και απόδοση (rendering ή χρωμοσκίαση).

Η μέθοδος αυτή είναι μέθοδος με μεγάλες απαιτήσεις σε μνήμη, λόγω της αποθήκευσης πληροφοριών για κάθε εικονοστοιχείο. Επίσης είναι χρονοβόρα, γιατί πρέπει να ληφθεί απόφαση για κάθε εικονοστοιχείο χωριστά και όχι για ένα ολόκληρο πολύγωνο. Ο απαιτούμενος χρόνος για τη δημιουργία μιας ρεαλιστικής εικόνας είναι ανάλογος του πλήθους των αντικειμένων. Η μέθοδος αυτή είναι απλή και ακριβής, για αυτό είναι ιδιαίτερα δημοφιλής και χρησιμοποιείται από πολλά συστήματα.

4.4.3. Scan – line algorithm

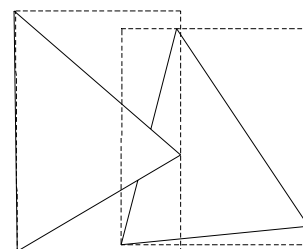
Η μέθοδος Z Buffer έχει μεγάλες απαιτήσεις σε μνήμη, γιατί διαχειρίζεται χωριστά κάθε πολύγωνο. Στην περίπτωση που απαιτείται η επεξεργασία όλων των πολυγώνων μαζί, δεν είναι απαραίτητη η χρήση αλγόριθμου Z Buffer, για όλη την οθόνη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλγόριθμος Z Buffer σάρωσης γραμμών, ο οποίος έχει πολύ μικρότερες απαιτήσεις σε μνήμη, με σκοπό την απόκρυψη γραμμών, ακολουθώντας μια επαναληπτική διαδικασία. Όταν ολοκληρωθεί η σάρωση των γραμμών, αποθηκεύεται το αποτέλεσμα, γίνεται επανεκκίνηση του αλγορίθμου και η διαδικασία συνεχίζεται στην επόμενη γραμμή σάρωσης. Το τέχνασμα εδώ είναι η επεξεργασία όλων των πολυγώνων μαζί. Αντί να λαμβάνονται υπόψη όλες οι γραμμές σάρωσης για ένα πολύγωνο, εξετάζονται όλα τα πολύγωνα για κάθε γραμμή σάρωσης.

Υπάρχουν τεχνικές σάρωσης γραμμών, που δεν απαιτούν καθόλου αλγόριθμους Z Buffer. Για παράδειγμα, όπου μια γραμμή σάρωσης τέμνει ένα πολύγωνο υπάρχει μία γραμμή ή ένα άνοιγμα. Για την ταξινόμηση των ανοιγμάτων απαιτείται ο προσδιορισμός του βάθους του ανοίγματος στα άκρα του και η σύγκρισή του με τα άλλα ανοίγματα, για να ευρεθεί το πλησιέστερο προς τον παρατηρητή, καθορίζοντας ποια μπορούν να εμφανιστούν.

Ο αλγόριθμος αυτός σαρώνει την οθόνη και κατά τη διάρκεια της σάρωσης παράγει μια ρεαλιστική απεικόνιση για κάθε εικονοστοιχείο χωριστά. Πριν ξεκινήσει η σάρωση προσδιορίζονται από τον αλγόριθμο τα αντικείμενα που είναι ορατά από τη θέση που βρίσκεται ο χρήστης. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος σαρώνει την εικόνα και σχεδιάζει το κάθε εικονοστοιχείο, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που έχει συλλέξει. Ο αλγόριθμος αυτός, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κάποιον άλλο αλγόριθμο φωτορεαλισμού, όπως ο Z –buffer.

4.4.4. Τεχνικές σύγκρισης

Υπάρχουν αρκετές τεχνικές υπολογισμού της σχετικής θέσης δύο πολυγώνων, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες με αλγόριθμους απόκρυψης επιφανειών και κάποιες από αυτές δε δίνουν τελικά αποτελέσματα.



Μια εύχρηστη τεχνική είναι η *minimax test* ή *boxing test*, η οποία βασίζεται στη λογική, ότι δεν είναι απαραίτητη η γνώση της σχετικής θέσης κάθε πολύγωνου, ως προς κάποιο άλλο, αφού είναι επαρκές να είναι γνωστή η σχετική διάταξη των πολυγώνων που επικαλύπτονται. Είναι χρήσιμο λοιπόν να μπορεί με μια γρήγορη δοκιμή να προσδιοριστεί, αν σε δύο πολύγωνα υπάρχει υπερκάλυψη του ενός από το άλλο.

Η μέθοδος αυτή λοιπόν επισημαίνει ότι, αν για παράδειγμα τοποθετηθούν κουτιά γύρω από δύο πολύγωνα και τα κουτιά δεν καλύπτουν το ένα το άλλο, τότε τα πολύγωνα μέσα σε αυτά δεν μπορούν να επικαλύπτονται.

Αν ζητείται τα κουτιά να είναι όσο το δυνατόν μικρότερα, αλλά να περιέχουν τα πολύγωνα, αυτό σημαίνει ότι το πάνω μέρος του κουτιού θα είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερα, δηλαδή στο πιο πάνω σημείο του πολύγωνου. Αντίστοιχα για το κάτω μέρος. Δύο πολύγωνα δεν επικαλύπτονται, αν το κάτω μέρος του ενός είναι ψηλότερα από το πάνω μέρος του άλλου. Για να βρεθεί αυτό, συγκρίνονται η ελάχιστη Y συνιστώσα του ενός με τη μέγιστη Y συνιστώσα του άλλου. Αντίστοιχα μπορούν να συγκριθούν το αριστερό και δεξιό μέρος, συγκρίνοντας τις X συνιστώσες.

Αν τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι θετικά, τότε τα πολύγωνα δεν επικαλύπτονται. Αλλά, αν τα κουτιά επικαλύπτονται, δεν είναι σίγουρο ότι τα περιεχόμενα σε αυτά πολύγωνα επικαλύπτονται, και πρέπει να διεξαχθεί περαιτέρω έλεγχος.

Αν τα αποτελέσματα είναι αρνητικά, μπορούν να διαιρεθούν τα πολύγωνα σε κομμάτια, ώστε να έχει επιτυχία η δοκιμή, ή μπορεί να βρεθεί ένα κοινό σημείο των δύο πολυγώνων στο XY επίπεδο, ώστε να συγκριθούν οι Z συνιστώσες.

4.4.5. Αλγόριθμος του Warnock

Η μέθοδος του Warnock δεν προσπαθεί να αποφασίσει ακριβώς τι συμβαίνει σε κάθε σκηνή, αλλά προσπαθεί μόνο να δημιουργήσει τη σωστή απεικόνιση. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση της οθόνης, τόσο περισσότερη επεξεργασία χρειάζεται από τον αλγόριθμο, για να προσδιορίσει σωστά μια σκηνή. Ο αλγόριθμος χωρίζει την οθόνη σε περιοχές. Σε κάποιες περιοχές είναι εύκολο να προσδιοριστούν τα ορατά αντικείμενα, όπως σε περιοχές που δεν υπάρχουν επιφάνειες και είναι κενές. Αν το κοντινότερο πολύγωνο καλύπτει πλήρως την περιοχή, γεμίζεται με το χρώμα του πολυγώνου αυτού. Αν δεν συμβαίνει κάτι από τα παραπάνω, ο αλγόριθμος υποδιαιρεί την περιοχή σε μικρότερες περιοχές και μελετά κάθε περιοχή χωριστά. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται, όσο χρειάζεται και σταματά, όταν η περιοχή ικανοποιεί μια από τις δύο περιπτώσεις ή, όταν η περιοχή είναι ένα εικονοστοιχείο.

4.4.6. Ο αλγόριθμος του Franklin

Στις μεθόδους που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα το πλήθος των πιθανών συγκρίσεων των πολυγώνων είναι ίσο με το τετράγωνο του πλήθους των πολυγώνων. Πολλοί από τους αλγόριθμους απόκρυψης επιφανειών λοιπόν παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα ταχύτητας σε πολύπλοκες σκηνές. Ο Franklin ανέπτυξε μια μέθοδο, που γραμμικοποιεί ως προς το χρόνο τη συμπεριφορά των περισσότερων σκηνών. Αυτό επιτυγχάνεται με την επικάλυψη της σκηνής με ένα κάρναβο κελίων, το μέγεθος των οποίων είναι συνάρτηση του μεγέθους της σκηνής. Σε κάθε κελίο ο αλγόριθμος ελέγχει, αν υπάρχει καλυμμένη επιφάνεια και προσδιορίζει ποιες ακμές είναι εμπρός από αυτή την επιφάνεια. Στη συνέχεια υπολογίζει τις τομές των ακμών και αποφασίζει, αν θα είναι ορατές ή όχι. Η ιδέα είναι ότι, καθώς προστίθενται αντικείμενα σε μια σκηνή και το πλήθος των πολυγώνων αυξάνει, τα νέα αντικείμενα είτε θα αποκρύπτουν τα ήδη υπάρχοντα, είτε θα αποκρύπτονται από αυτά. Έτσι, καθώς το πλήθος των αντικειμένων αυξάνει, η πολυπλοκότητα της σκηνής δεν αυξάνει αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις ακμές μπροστά από την καλυπτόμενη επιφάνεια, για κάθε κελίο, ο αλγόριθμος μελετά μόνο τις πιο πιθανές ακμές για την τελική εικόνα.

4.4.7. Γενικευμένη μέθοδος απόκρυψης γραμμών

Στην περίπτωση απόκρυψης γραμμών πρέπει όχι μόνο να προσδιοριστεί ποια αντικείμενα βρίσκονται μπροστά από τη γραμμή, αλλά και πιο τμήμα της γραμμής είναι ορατό.

Μια λύση είναι η σύγκριση γραμμών με αντικείμενα. Για κάθε αντικείμενο προσδιορίζονται όλες οι σχετικές ακμές και ποιες από αυτές είναι ορατές. Ένα αντικείμενο μπορεί να μην κρύβει καθόλου μια ακμή ή να την κρύβει εντελώς. Μπορεί ακόμα να κρύβει ένα άκρο, κάνοντας το

ορατό τμήμα της γραμμής μικρότερο, ή να κρύβει ένα ενδιάμεσο τμήμα, οπότε είναι ορατά δύο μικρότερα τμήματα. Μετά τη σύγκριση του αντικειμένου με τη γραμμή, το ορατό τμήμα της γραμμής συγκρίνεται με τα υπόλοιπα αντικείμενα και σχεδιάζεται το κομμάτι που θα προκύψει από τη σύγκριση με όλα τα αντικείμενα.

Δεν είναι αναγκαία η σύγκριση της γραμμής με όλες τις ακμές του πολυγώνου σε ένα αντικείμενο, για να διαπιστωθεί, αν το αντικείμενο κρύβει τη γραμμή. Οι μόνες ακμές, που επηρεάζουν το αν είναι ορατή ή όχι η γραμμή, είναι αυτές στα όρια, όπου η μπροστά όψη συναντά την πίσω όψη και λέγονται περιμετρικές ακμές. Αντί για τη σύγκριση όλων των γραμμών με κάθε αντικείμενο, προτείνεται η σύγκριση των ακμών όλων αυτών των αντικειμένων με κάθε γραμμή. Για κάθε τομή της γραμμής με μια περιμετρική ακμή, η γραμμή περνάει πίσω ή μπροστά από αυτή. Έτσι με τον προσδιορισμό κάθε τομής, το πλήθος των επιφανειών που κρύβουν τη γραμμή αυξάνει ή μειώνεται.

4.4.8. Αφαίρεση πίσω όψης (back-face removal)

Η απόκρυψη γραμμών είναι μια επίπονη διαδικασία, οπότε επιβάλλεται να γίνεται ένας εύκολος έλεγχος, ώστε να απλοποιηθεί όσο γίνεται το πρόβλημα, πριν γίνει επιπλέον ανάλυση με κάποια από τις παραπάνω μεθόδους. Υπάρχει ένας απλός έλεγχος, που μπορεί να γίνει, για να εξαφανιστούν οι περισσότερες από τις όψεις που δεν είναι ορατές. Αυτός ο έλεγχος προσδιορίζει τις επιφάνειες, που δε φαίνονται από κάποια συγκεκριμένη οπτική γωνία και συνθέτουν το πίσω τμήμα του αντικειμένου. Αυτό δε λύνει πλήρως το πρόβλημα απόκρυψης επιφανειών, γιατί η μπροστά όψη ενός αντικειμένου μπορεί να αποκρύπτεται από ένα δεύτερο αντικείμενο, ή από ένα άλλο τμήμα του ίδιου αντικειμένου. Ο έλεγχος μπορεί να αφαιρέσει εύκολα αρκετές (περίπου τις μισές) από τις επιφάνειες που εμπλέκονται στο πρόβλημα και να το απλοποιήσει αρκετά.

Η διαδικασία ξεκινά σημειώνοντας ότι είναι δυνατή η εξέταση μόνο πολυγώνων, αφού οι γραμμές δεν μπορούν να αποκρύψουν τίποτα και συναντώνται μόνο ως ακμές επιφανειών σε αντικείμενα. Το κάθε πολύγωνο έχει δύο όψεις, την πρόσθια και την οπίσθια, όπως ένα φύλλο χαρτιού, και γίνεται υπόθεση ότι η μία πλευρά είναι λευκή και η άλλη σκούρα. Οι συντεταγμένες των κορυφών, που απεικονίζουν το πολύγωνο, δεν αρκούν, για να διευκρινιστεί ποια όψη είναι η λευκή και ποια η σκούρα. Γίνεται όμως η παραδοχή ότι, κοιτάζοντας τη λευκή όψη, το πολύγωνο είναι σχεδιασμένο με ανθρωπολογικές κινήσεις του μολυβιού, ενώ βλέποντας τη σκούρα όψη, με ωρολογιακές κινήσεις. Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος της διεύθυνσης του κάθετου διανύσματος σε κάθε πολύγωνο.

Για τη μαθηματική έκφραση της τεχνικής λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση του κάθετου διανύσματος στο επίπεδο που ορίζει κάθε πολύγωνο. Θα περιγραφούν δύο μέθοδοι εύρεσης του κάθετου αυτού διανύσματος.

Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιεί μια διαδικασία, που ονομάζεται διανυσματική τομή ή εξωτερικό γινόμενο διανυσμάτων. Το αποτέλεσμα του γινομένου δύο διανυσμάτων είναι ένα τρίτο διάνυσμα με μήκος ίσο με το γινόμενο των μηκών των δύο διανυσμάτων επί το ημίτονο της μεταξύ τους γωνίας και το πιο σημαντικό για την συγκεκριμένη περίπτωση είναι η διεύθυνση του, που είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζουν τα δύο διανύσματα και δίνεται στις τρεις διαστάσεις από τη σχέση:

$$[R_x \ R_y \ R_z] = [P_x \ P_y \ P_z] \times [Q_x \ Q_y \ Q_z]$$

$$\text{οπότε} \quad R_x = P_y Q_z - P_z Q_y$$

$$R_y = P_z Q_x - P_x Q_z$$

$$R_z = P_x Q_y - P_y Q_x$$

Θεωρείται τώρα ότι δύο πλευρές του πολυγώνου περιγράφουν τα δύο διανύσματα στο επίπεδο του πολυγώνου, έτσι ώστε το εξωτερικό γινόμενο των δύο πλευρών να είναι το επιθυμητό διάνυσμα. Η διεύθυνση του διανύσματος, δηλαδή αν θα δείχνει προς τα έξω από τη λευκή ή τη σκούρα πλευρά, εξαρτάται, από το αν η περιεχόμενη γωνία των δύο πλευρών είναι οξεία ή αμβλεία.

Υποθέτοντας ότι δύο διαδοχικές πλευρές δε βρίσκονται στην ίδια ευθεία και σχηματίζουν οξεία γωνία, το διάνυσμα του εξωτερικού γινομένου δείχνει έξω από τη λευκή όψη.

Το πρόβλημα σε αυτή την πρώτη μέθοδο είναι ο προσδιορισμός μιας κορυφής με οξεία γωνία των τεμνόμενων πλευρών.

Η δεύτερη μέθοδος είναι η μέθοδος του Newell. Σε αυτήν, αν οι n κορυφές του πολυγώνου είναι της μορφής (x_i, y_i, z_i) , τότε σχηματίζεται το άθροισμα όλων των κορυφών:

$$a = \sum_{i=1}^n (y_i - y_j)(z_i + z_j)$$

$$b = \sum_{i=1}^n (z_i - z_j)(x_i + x_j)$$

$$c = \sum_{i=1}^n (x_i - x_j)(y_i + y_j)$$

όπου, αν $i = n$, τότε $j = 1$, διαφορετικά $j = i + 1$

Το αποτέλεσμα $[a \ b \ c]$ είναι το κάθετο διάνυσμα στο πολύγωνο. Καθένα από αυτά τα αθροίσματα είναι το διπλάσιο του εμβαδού της προβολής του πολυγώνου σε ένα επίπεδο. Αυτό συμβαίνει γιατί, αν προβληθεί το πολύγωνο κατά μήκος της X διεύθυνσης στο YZ επίπεδο, το εμβαδόν της προβολής είναι $a/2$. Τα μεγέθη $b/2$ και $c/2$ είναι τα εμβαδά, αν προβληθεί το πολύγωνο στα επίπεδα XZ και XY αντίστοιχα. Έτσι τα a, b, c περιγράφουν τις προβολές του πολυγώνου στις διευθύνσεις X, Y, Z . Αλλά αυτό συνδέεται άμεσα με τη διεύθυνση του επιπέδου. Για παράδειγμα, το μέγεθος του εμβαδού της προβαλλόμενης επιφάνειας στη Z διεύθυνση είναι ανάλογο με τη Z συνιστώσα του κάθετου διανύσματος του πολυγώνου. Η ευκολία της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτούνται επιπλέον έλεγχοι, παρά μόνο υπολογισμός των αθροισμάτων.

Η μέθοδος γενικεύεται, λέγοντας ότι κάθε στερεό αντικείμενο αποτελείται από πολύγωνα, διατεταγμένα, ώστε μόνο οι λευκές επιφάνειες να είναι εμφανείς και οι σκούρες επιφάνειες είναι στο εσωτερικό, όπου είναι το υλικό του στερεού. Αυτό σημαίνει ότι, κοιτώντας μια όψη από έξω, θα φαίνεται να είναι σχεδιασμένη ανθρωπολογικά.

Αν το πολύγωνο ήταν ορατό, η λευκή όψη έπρεπε να βρίσκεται προς το μέρος του παρατηρητή και το διάνυσμα, που προκύπτει από το εξωτερικό γινόμενο, θα έπρεπε να δείχνει προς το μέρος του παρατηρητή. Σε αυτήν την περίπτωση η όψη είναι ορατή, αλλιώς πρέπει να αφαιρεθεί, κάνοντας απόκρυψη. Για να καθοριστεί αν το κάθετο διάνυσμα στρέφεται προς τον παρατηρητή, ελέγχεται η Z συνιστώσα του. Αν είναι θετική, τότε το πολύγωνο κοιτάζει προς το μέρος του παρατηρητή, ενώ, αν είναι αρνητική, τότε κοιτάζει προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Αυτή είναι μια ειδική περίπτωση του γενικού προβλήματος σύγκρισης δύο διανυσμάτων. Αν υπάρχουν δύο διανύσματα και είναι επιθυμητή η σύγκριση των διευθύνσεών τους, τότε υπολογίζεται το εσωτερικό γινόμενο, που για δύο διανύσματα R και S , είναι:

$$a = R \cdot S = |R||S| \cos \theta$$

Αυτό που είναι σημαντικό είναι η ύπαρξη του συνημίτονου, γιατί, αν τα διανύσματα είναι στην ίδια διεύθυνση, δηλαδή $0 < \theta < \pi/2$, τότε το συνημίτονο είναι θετικό, οπότε είναι θετικό και όλο το γινόμενο, αλλά, αν οι διευθύνσεις είναι αντίθετες, τότε το γινόμενο είναι αρνητικό.

Η σχέση υπολογισμού του εσωτερικού γινομένου είναι:

$$\begin{aligned} a &= R \cdot S \\ &= [R_x \ R_y \ R_z] [S_x \ S_y \ S_z] \\ &= R_x S_x + R_y S_y + R_z S_z \end{aligned}$$

Για τον έλεγχο της πίσω όψης, ελέγχεται το πρόσημο της Z συνιστώσας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Βέβαια αυτοί οι έλεγχοι πρέπει να πραγματοποιηθούν, αφού γίνουν οι μετασχηματισμοί των συντεταγμένων στο επίπεδο προβολής του αντικειμένου.

4.5. Τεχνικές αύξησης του ρεαλισμού σε μια ρεαλιστική απεικόνιση.

Μετά τη δημιουργία των τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων, γίνεται σκίαση (ή φωτορεαλισμός, ανάλογα με τις απαιτήσεις απεικόνισης) για τη ρεαλιστική απεικόνιση τους στην οθόνη του υπολογιστή. Με τη σκίαση γίνεται απεικόνιση χρώματος στις επιφάνειες του γεωμετρικού μοντέλου. Με το φωτορεαλισμό αποδίδεται η υφή του υλικού του γεωμετρικού μοντέλου, σε συνδυασμό με τεχνικές αύξησης της ρεαλιστικότητας της απεικόνισης. Υπάρχουν αρκετές τεχνικές δημιουργίας ρεαλιστικών απεικονίσεων, κάθε μια από τις οποίες έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Κάθε τεχνική είναι κατάλληλη σε διαφορετικών ειδών εφαρμογές. Κάποιες τεχνικές είναι αρκετά γρήγορες, ενώ κάποιες άλλες είναι πιο αργές, αλλά το αποτέλεσμα είναι πολύ κοντά σε αυτό μιας φωτογραφίας.

Οι τεχνικές που θα αναφερθούν στη συνέχεια αυξάνουν τη ρεαλιστικότητα της απεικόνισης, γιατί χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση ειδικών χαρακτηριστικών και λεπτομερειών του πραγματικού κόσμου. Η εφαρμογή τους επιβαρύνει αρκετά ένα σύστημα, αφού απαιτείται αρκετός χρόνος για το σχεδιασμό της εικόνας στον υπολογιστή.

4.5.1. Απόδοση υφής στις επιφάνειες (texture mapping).

Για τη δημιουργία ρεαλιστικών απεικονίσεων, όπως αναφέρεται παραπάνω, αποδίδεται κάποιο χρώμα στις επιφάνειες των γεωμετρικών μοντέλων. Για την αύξηση της ρεαλιστικότητας απεικόνισης των επιφανειών, γίνεται απόδοση κάποιας υφής στις επιφάνειες. Η υφή είναι κάποιο αρχείο σε μορφή εικόνας, το οποίο τοποθετείται και εμφανίζεται πάνω στις επιφάνειες του γεωμετρικού μοντέλου. Η εικόνα αυτή συνήθως είναι μικρή σε μέγεθος, για εξοικονόμηση χρόνου στην εξαγωγή αποτελέσματος, οπότε χρησιμοποιούνται πολλές εικόνες σε παράθεση, για να καλυφθεί μια επιφάνεια.

Η τεχνική της απόδοσης υφής επηρεάζεται σημαντικά από τον τρόπο σχεδίασης κάθε αντικειμένου και τους μηχανισμούς εναπόθεσης των υφών (αν δηλαδή αυτές προσαρμόζονται στο σχήμα και στο μέγεθος της επιφάνειας ή απλώς επικάθονται σε αυτή). Μια υφή αποτελεί ένα δισδιάστατο πίνακα γραφικών στοιχείων (graphic elements), των επονομαζόμενων texel (texture elements). Για τη προσαρμογή της υφής έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες καθορίζουν με ακρίβεια την αντιστοίχιση των texel μιας υφής με τα pixel της εικόνας. Αυτά τα

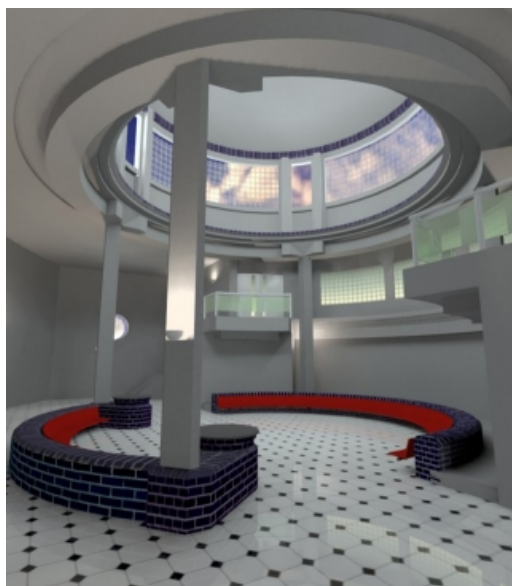
texel είναι κατά κάποιον τρόπο παρόμοια με τα pixel μιας εικόνας και μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει μια αμφιμονοσήμαντη (ένα προς ένα) αντιστοιχία μεταξύ τους. Συνήθως όμως σε κάθε texel αντιστοιχούν περισσότερα του ενός pixel ή το αντίστροφο. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν ένα αντικείμενο, το οποίο είναι επενδυμένο με μια υφή, βρίσκεται πολύ κοντά στον παρατηρητή, τα texel φαίνονται αρκετά μεγάλα, οπότε στο καθένα από αυτά αντιστοιχούν περισσότερα του ενός pixel. Αντίθετα, όταν το αντικείμενο απομακρυνθεί πολύ, κάθε texel φαίνεται μικρότερο από ένα pixel. Αυτό το γεγονός επιβάλλει την ομαδοποίηση των texture element, ώστε κάθε ομάδα να σχηματίζει ένα εικονοστοιχείο, μέχρι βέβαια το σημείο που θα απομακρυνθούν τόσο πολύ, ώστε να χαθούν από την εικόνα.

Η τεχνική της απόδοσης υφής στις επιφάνειες είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την απόδοση λεπτομερειών ή υλικών στις επιφάνειες. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί κάποιες ειδικευμένες μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται σε αυτήν. Επιγραμματικά οι πιο διαδεδομένες εξειδικευμένες τεχνικές απόδοσης υφών είναι:

- MIP mapping: Τεχνική, με την οποία χρησιμοποιείται μια ομάδα υφών για κάθε αντικείμενο. Κάθε φορά προβάλλεται διαφορετική υφή, ανάλογα με την απόσταση του χρήστη από το αντικείμενο. Όταν ο χρήστης είναι κοντύτερα προβάλλεται η υφή με τη μεγαλύτερη λεπτομέρεια και όσο απομακρύνεται, μειώνεται η ανάλυση της προβαλλόμενης υφής.
- Billboard textures: Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την απόδοση υφής στο φόντο μιας απεικόνισης. Για παράδειγμα η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την απεικόνιση δένδρων σε ένα εικονικό περιβάλλον, αποδίδοντας μια εικόνα ενός δένδρου σε ένα πολύγωνο. Δεν υπάρχει τρισδιάστατη απεικόνιση σε αυτήν την περίπτωση, αλλά το αποτέλεσμα είναι ρεαλιστικό, γιατί, καθώς περιστρέφεται ο χρήστης γύρω από το εικονικό δέντρο, περιστρέφεται και η εικόνα, οπότε παρουσιάζεται συνέχεια η εικόνα, ανεξάρτητα από τη θέση που παρατηρεί το δένδρο ο χρήστης.
- Dynamic textures: Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την προσομοίωση ειδικών εφέ, όπως η φλόγα, μια έκρηξη ή ίχνη καπνού. Η τεχνική στηρίζεται στη διαδοχική απεικόνιση μιας αλληλουχίας υφών πάνω σε μια επιφάνεια.
- Bump mapping: Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε από το Jim Blinn (1978) και χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του τρόπου ανάκλασης του φωτός σε ανάγλυφες επιφάνειες. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την απεικόνιση της θάλασσας.



Bump mapping. (εικόνα Evans & Sutherland Computer Corporation, Salt Lake City, Utah, USA).



Γεωμετρικό μοντέλο εσωτερικού κτιρίου με απόδοση υφής για τούβλο και πλακάκι στις αντίστοιχες επιφάνειες (εικόνα Light Work Design).

- Environment mapping: Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της ανάκλασης του φωτός σε γυαλισμένες επιφάνειες. Η τεχνική αυτή διαφέρει από την απλή απόδοση υφής σε επιφάνειες, γιατί δεν είναι στατική, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την κίνηση του αντικειμένου που έχει εφαρμοστεί. Η τεχνική χρησιμοποιείται για παράδειγμα στην απεικόνιση του τρόπου ανάκλασης του φωτός στις επιφάνειες ενός αυτοκινήτου που κινείται.

4.5.2. Σκίαση.

Η σκίαση λόγω φωτισμού είναι προφανής σε ένα φυσικό περιβάλλον. Για να αποδοθεί σε ένα περιβάλλον γραφικών, απαιτείται η χρήση χρονοβόρων σε υπολογισμούς τεχνικών. Παρόλα αυτά όμως η σκίαση είναι από τα σημαντικά χαρακτηριστικά σε μια ρεαλιστική απεικόνιση, γιατί συντελεί στον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης και του προσανατολισμού των αντικειμένων σε σχέση με το χρήστη.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, όπως η ray tracing και η radiosity, για τον υπολογισμό της σκίασης, οι οποίες απαιτούν τεχνικές γεωμετρικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ των φωτεινών πηγών και των αντικειμένων. Οι τεχνικές αυτές παράγουν υψηλής πιστότητας γραφικά, αλλά απαιτούν μεγάλο χρόνο για το σχεδιασμό μιας εικόνας. Έχουν αναπτυχθεί πιο απλές τεχνικές, οι οποίες είναι σημαντικά πιο γρήγορες, αλλά το αποτέλεσμα που παρέχουν δεν είναι τόσο υψηλής πιστότητας. Μια τέτοια τεχνική χρησιμοποιείται στους προσομοιωτές πτήσης, όπου ένα πολύγωνο κινείται στο έδαφος σε συγχρονισμό με το αεροσκάφος, για την απεικόνιση της σκιάς.



Απεικόνιση εσωτερικού αυτοκινήτου με τη χρήση της τεχνικής φωτισμού radiosity (εικόνα της LightWork design).

4.5.3. Απεικόνιση ομίχλης.



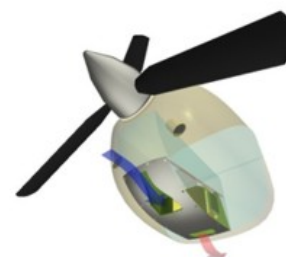
Απεικόνιση ομίχλης. (εικόνα Evans & Sutherland Computer Corporation, Salt Lake City, Utah, USA).

Για την απεικόνιση της ομίχλης χρησιμοποιείται μια τεχνική, με την οποία γίνεται προοδευτικά, όσο αυξάνεται η απόσταση από το χρήστη, αλλαγή του χρώματος των αντικειμένων σε αποχρώσεις του γκρι.

4.5.4. Απεικόνιση διαφανών αντικειμένων.

Για την απεικόνιση υλικών, όπως το γυαλί, πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης γεωμετρικών μοντέλων, τα οποία είναι διαφανή. Η δυνατότητα αυτή υπάρχει, αλλά απαιτεί επιπλέον υπολογισμούς, για να προσδιοριστεί η δυνατότητα εμφάνισης αντικειμένων, που είναι πίσω από τα διαφανή αντικείμενα, σε σχέση με τη θέση του χρήστη. Στα συστήματα CAD

υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού του βαθμού της διαφάνειας των αντικειμένων. Ορισμένα συστήματα CAD με ειδικές τεχνικές μπορούν να απεικονίσουν τις πιθανές ανακλάσεις του φωτός μέσα στα διαφανή αντικείμενα. Για την απεικόνιση τέτοιων χαρακτηριστικών χρησιμοποιείται η τεχνική ray tracing, με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.



4.5.5. Ευκρίνεια απεικόνισης

Η ευκρίνεια της απεικόνισης δεν πρέπει να είναι ίδια για όλα τα αντικείμενα, αλλά πρέπει να αποτελεί συνάρτηση της απόστασης τους από το σημείο παρατήρησης. Κάτι τέτοιο συμβαίνει στην πραγματικότητα, διότι το ανθρώπινο μάτι δεν έχει τη δυνατότητα να διακρίνει λεπτομέρειες στην επιφάνεια των μακρινών αντικειμένων. Βασιζόμενοι σε αυτό το φαινόμενο, οι σχεδιαστές γραφικών 3D ορίζουν αυτό που ονομάζεται depth of field (βάθος πεδίου ή DOF) ως την περιοχή, μέσα στα όρια της οποίας ένα αντικείμενο είναι ευκρινές. Το βάθος πεδίου είναι ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης από το σημείο παρατήρησης. Αν δηλαδή η απόσταση ενός αντικειμένου από το σημείο παρατήρησης διπλασιαστεί, το DOF τετραπλασιάζεται. Οι εφαρμογές παραγωγής τρισδιάστατων γραφικών ενσωματώνουν συνήθως ένα εφέ, το οποίο χρησιμοποιείται για να μειώσει την ευκρίνεια των αντικειμένων που βρίσκονται είτε πολύ κοντά στην επιφάνεια της οθόνης είτε πολύ μακριά από αυτή, και επομένως εκτός βάθους πεδίου. Με τη μέθοδο αυτή αυξάνεται η ρεαλιστικότητα της απεικόνισης.

4.5.6. Εξομάλυνση ασυνεχειών

Μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές που εφαρμόζονται στην εξομάλυνση ασυνεχειών που δημιουργούνται, λόγω της χρήσης εικονοστοιχείων για τη σχεδίαση των αντικειμένων, είναι το anti-aliasing (εξομάλυνση ακμών). Πρόκειται για μια προσεγγιστική μέθοδο, η οποία έχει σκοπό την εξασθένιση του φαινομένου aliasing που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση των καμπύλων ή διαγώνιων γραμμών ως ελαφρώς τεθλασμένων γραμμών στην οθόνη του υπολογιστή. Το πρόβλημα οφείλεται στο γεγονός ότι μια καμπύλη γραμμή, δεν μπορεί να προσαρμοστεί με ακρίβεια σε ένα ορθογώνιο πλέγμα όπως αυτό των εικονοστοιχείων και συνεπώς δεν μπορεί να απεικονίσει σωστά. Στη ουσία λοιπόν δεν είναι εφικτή η απεικόνιση καμπυλών από τα συνήθη συστήματα απεικόνισης που χρησιμοποιούνται (οθόνες, κλπ.). Οι καμπύλες προσεγγίζονται από μικρά ευθύγραμμα τμήματα.

Το anti-aliasing κατά κάποιον τρόπο γεμίζει τα κενά που δημιουργούν οι τεθλασμένες γραμμές, σε μια προσπάθεια να εξομαλυνθούν οι ασυνέχειες. Τα pixel που χρησιμοποιούνται, για να

συμπληρώσουν τα κενά έχουν χρώμα παρόμοιο με το αντικείμενο που σχεδιάζεται, ώστε να δημιουργούν την εντύπωση της ομαλότητας.

Αν θεωρηθεί το υποσύστημα γραφικών ως ένα ψηφιακό σύστημα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή και την απεικόνιση στην οθόνη ενός αναλογικού σήματος, είναι αναμενόμενο να υπάρχουν σημεία με ασυνέχειες. Για παράδειγμα θεωρείται ένα αντικείμενο μαύρου χρώματος, το οποίο κινείται από δεξιά προς αριστερά σε άσπρο φόντο. Στην ιδανική περίπτωση το μαύρο χρώμα πρέπει να εξαπλώνεται προς τα αριστερά με ομαλό τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι, αν σε μία δεδομένη χρονική στιγμή το αριστερό άκρο του αντικειμένου έχει καλύψει κατά το ένα τρίτο την επιφάνεια ενός εικονοστοιχείου, αυτό το ένα τρίτο θα πρέπει να είναι μαύρο και τα υπόλοιπα δύο τρίτα άσπρα. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στην πράξη, διότι το εικονοστοιχείο είναι η μικρότερη μονάδα επιφάνειας ενός υποσυστήματος γραφικών και κατά συνέπεια απεικόνισης. Δεν μπορεί, λοιπόν, να χωριστεί σε επιμέρους τμήματα, καθένα εκ των οποίων θα χρωματίζεται διαφορετικά. Έτσι, όταν δεν χρησιμοποιείται το anti-aliasing τα pixels παραμένουν λευκά μέχρι τη στιγμή που το κινούμενο αντικείμενο θα καλύψει άνω του 50% της επιφάνειας τους, οπότε γίνονται μαύρα.

Η εξομάλυνση γραμμών λειτουργεί σε στάδια, τα οποία είναι ορατά ανάλογα με το τμήμα της επιφάνειας κάθε εικονοστοιχείου που είναι καλυμμένο από το μαύρο αντικείμενο. Το χρώμα του εικονοστοιχείου δεν είναι μόνο άσπρο ή μαύρο, υπάρχουν και αποχρώσεις του γκρι, οι οποίες είναι πιο σκούρες όσο μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειας του pixel επικαλύπτεται από το αντικείμενο. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται με δειγματοληψία (sampling) που πραγματοποιείται σε διαφορετικά σημεία του εικονοστοιχείου, ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται. Στη μέθοδο τεσσάρων περασμάτων, για παράδειγμα, γίνεται επεξεργασία της εικόνας τέσσερις φορές, σύμφωνα με την μέθοδο που αναλύεται στη συνέχεια. Η επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε pixel χωρίζεται σε τέσσερα τμήματα ίσου εμβαδού. Από κάθε τετράγωνο λαμβάνεται δειγματοληπτικά μία τιμή των παραμέτρων που καθορίζουν το χρώμα του. Αυτή η τιμή πολλαπλασιάζεται επί 25% και αποθηκεύεται μαζί με τα γεωμετρικά στοιχεία του τμήματος, στο οποίο αντιστοιχεί. Το τελικό αποτέλεσμα για το χρώμα κάθε εικονοστοιχείου συνυπολογίζεται από το χρώμα των τεσσάρων τετραγώνων που το απαρτίζουν (ουσιαστικά από το μέσο όρο). Είναι προφανές ότι το anti-aliasing καθίσταται περισσότερο αποτελεσματικό όσο πυκνότερη είναι η δειγματοληψία και κατά συνέπεια όσο περισσότερα είναι τα τμήματα, στα οποία χωρίζεται κάθε εικονοστοιχείο.

4.5.7. Ανισοτροπικό φιλτράρισμα (anisotropic filtering).

Με την τεχνική αυτή γίνεται φιλτράρισμα στις υφές, ώστε να διατηρούν τη λεπτομέρεια τους σε όλο το βάθος της εικόνας από το σημείο παρατήρησης έως τον εικονικό ορίζοντα. Η σημασία του φιλτραρίσματος αυξάνεται ιδιαίτερα με τη χρήση του anti-aliasing, το οποίο αναπόφευκτα προκαλεί θάμπωμα στις υφές, ειδικά σε αυτές που βρίσκονται μακριά από το σημείο παρατήρησης. Με το ανισοτροπικό φιλτράρισμα το θάμπωμα εξαφανίζεται και οι υφές παρουσιάζονται ιδιαίτερα λεπτομερείς και ρεαλιστικές. Η επίδραση της τεχνικής γίνεται αισθητή σε σημεία που υπάρχουν επαναλαμβανόμενες υφές, οι οποίες ακολουθούν ένα συγκεκριμένο μοτίβο, όπως για παράδειγμα παράλληλες γραμμές σε ένα σιδερένιο διάδρομο ή σε ένα διάδρομο με πλακάκια.

4.6. Υπολογιστικός φόρτος

Η δημιουργία κινούμενων γραφικών αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα των υπολογισμών που πρέπει να γίνουν, προκειμένου να αποδοθεί ένα σωστό αποτέλεσμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το λεγόμενο motion blurring ή ασάφεια κίνησης. Πρόκειται για τη θολή εικόνα ενός κινούμενου αντικειμένου. Λόγω της ταχύτητας της κίνησης, το αντικείμενο αλλάζει αρκετά τη θέση του κατά το χρονικό διάστημα που το διάφραγμα της φωτογραφικής μηχανής είναι ανοιχτό, οπότε η φωτογραφία φαίνεται θολή. Αυτή η ασάφεια της εικόνας παρατηρείται για τον ίδιο λόγο στην περίπτωση του ανθρώπινου συστήματος όρασης. Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας του ματιού έχει τη δυνατότητα να διατηρήσει το είδωλο μιας εικόνας λίγο περισσότερο από το 1/24 του δευτερολέπτου, οπότε, λειτουργώντας ως ένα διάφραγμα φωτογραφικής μηχανής δεν έχει καλή ευκρίνεια, όταν κοιτά ένα γρήγορα κινούμενο αντικείμενο. Η αρχική εικόνα διατηρείται περισσότερο από το 1/24 του δευτερολέπτου, οπότε η επόμενη που περιλαμβάνει την πληροφορία του ίδιου αντικειμένου ελαφρά αλλαγμένη λόγω της κίνησης, συνδυάζεται με την αρχική παράγοντας ένα κάπως ασαφές αποτέλεσμα.

Επειδή το ανθρώπινο μάτι έχει τη δυνατότητα να διατηρήσει το είδωλο μιας εικόνας λίγο περισσότερο από το 1/24 του δευτερολέπτου, αν ο ρυθμός ανανέωσης είναι λίγο πάνω από τα 24 καρέ το δευτερόλεπτο (frames/sec ή fps), δηλαδή εφόσον προβάλλονται στην οθόνη έστω 25 στιγμιότυπα της εικόνας κάθε δευτερόλεπτο, το φαινόμενο του blurring δεν εμφανίζεται. Αυτό όμως κάνει την εικόνα να δείχνει μη ρεαλιστική, γεγονός που αναγκάζει τους σχεδιαστές γραφικών να καταφύγουν σε μια απλή τεχνική που δημιουργεί στο ανθρώπινο μάτι την εντύπωση της ασάφειας. Αυξάνουν λοιπόν το frame rate, δηλαδή τη συχνότητα ανανέωσης της εικόνας στα 30 και πλέον fps, φτάνοντας συχνά πάνω από 60 fps. Όπως είναι φυσικό, σε αυτές τις περιπτώσεις η ποιότητα της εικόνας βελτιώνεται όχι μόνο λόγω του γεγονότος ότι γίνεται πιο

ρεαλιστική, λόγω της πιο αναλυτικής απεικόνισης της κίνησης. Σε αυτήν την περίπτωση το πρόβλημα είναι ότι απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς, για την επεξεργασία των δεδομένων των καρτέ. Η δημιουργία ενός λεπτού κινούμενης εικόνας στα 60 fps, για παράδειγμα, απαιτεί τη σχεδίαση 60 καρτέ ανά δευτερόλεπτο επί 60 δευτερόλεπτα το λεπτό επί ένα λεπτό, δηλαδή 3.600 καρτέ.

Το motion blurring ή αλλιώς spatial anti-aliasing όπως ονομάζεται, αυξάνει την πολυπλοκότητα των υπολογισμών και με άλλους τρόπους. Ο σχεδιαστής γραφικών πρέπει να λάβει υπόψη όχι μόνο την ύπαρξη ή όχι ανάγκης για δημιουργία μιας τεχνητά ασαφούς εικόνας, αλλά και το βαθμό, στον οποίο πρέπει να φτάνει αυτή η ασάφεια. Το βαθμό αυτό επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο η ταχύτητα με την οποία κινείται κάθε αντικείμενο, η απόσταση του από το σημείο παρατήρησης και η ευκρίνεια του, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν για το βάθος πεδίου (depth of field). Εκτός από το blurring πρέπει να γίνει υπολογισμός των ανακλάσεων κάθε φωτεινής πηγής πάνω σε όλες τις επιφάνειες και προσαρμογή των υφών (textures) στα αντικείμενα. Οι τεχνικές αυτές είναι απαιτούν υπολογιστική ισχύ και χρήση πολύπλοκων μαθηματικών αλγορίθμων.

4.7. Η τεχνολογία της κάρτας γραφικών

Η δημιουργία ρεαλιστικών απεικονίσεων για κάθε αντικείμενο (rendering), είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία. Για να αποδοθούν όλα τα εικονοστοιχεία ενός από τα τρίγωνα που απαρτίζουν ένα αντικείμενο, πρέπει να είναι γνωστές οι συντεταγμένες της αρχής και του τέλους κάθε γραμμής του τριγώνου, εργασία η οποία ονομάζεται triangle setup (συγκρότηση τριγώνου).

Ο όγκος δεδομένων, τα οποία πρέπει να διαχειριστεί ο υπολογιστής για το rendering είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Για παράδειγμα ένα καρτέ της εικόνας στην τυπική ανάλυση των 1024X768 εικονοστοιχείων, για βάθος χρώματος 32 bit, απαιτείται η επεξεργασία περισσότερων από 25 εκατομμυρίων bit. Πολλαπλασιάζοντας τα bits με τα 3.600 καρτέ που χρειάζονται για ένα λεπτό κινούμενης εικόνας στα 60 fps, γίνεται αντιληπτός ο όγκος των δεδομένων που επεξεργάζεται το σύστημα. Παλαιότερα όλος ο όγκος των δεδομένων επεξεργαζόταν από τον κεντρικό επεξεργαστή του συστήματος. Την περίοδο εκείνη η κάρτα γραφικών αναλάμβανε ρόλο απλής μεταφοράς των έτοιμων προς απεικόνιση δεδομένων στην οθόνη επωμιζόμενη στην ουσία μόνο την οδήγηση της με την κατάλληλη σηματοδότηση. Όλες οι υπόλοιπες εργασίες (απόδοσης εικόνας, διαχείρισης του ήχου προκειμένου για παιχνίδι, κλπ.) γινόταν από τον επεξεργαστή. Σταδιακά αναβαθμίστηκε η τεχνολογία και ο ρόλος της κάρτας γραφικών στα υπολογιστικά συστήματα βασισμένα σε περιβάλλον Windows. Οι κάρτες, οι οποίες χρησιμοποιούσαν το τσιπ Voodoo 3 ή το TNT2 Ultra, για παράδειγμα, είχαν ενσωματωμένη τεχνολογία, με την οποία διεκπεραίωναν εξ ολοκλήρου το έργο του rendering, αφήνοντας στον επεξεργαστή τη

δημιουργία του συρμάτινου πλαισίου (wireframe) και το μετασχηματισμό του σε μια δισδιάστατη σύνθεση πολυγώνων. Μεταγενέστερα μοντέλα, αναλάμβαναν εκτός του rendering και το μετασχηματισμό από 3D σε 2D κλπ.

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις κάρτες γραφικών για τη βελτίωση της ποιότητας απεικόνισης και της ταχύτητας σχεδιασμού των γραφικών.

4.7.1. Προγραμματιζόμενο τσιπ

Στην τεχνική αυτή η μηχανή υπολογισμών απαρτίζεται από δύο κομμάτια, το Vertex Shader και Pixel Shader. Το πρώτο είναι υπεύθυνο για τα εφέ πάνω στο σχήμα, το μέγεθος και τη μορφή των τρισδιάστατων αντικειμένων. Το δεύτερο αναλαμβάνει τα εφέ του φωτισμού και των υφών πάνω στα τρισδιάστατα αντικείμενα. Για παράδειγμα θεωρείται ένας χαρακτήρας που αποτελείται από 100.000 πολύγωνα και για τις ανάγκες μιας εφαρμογής πρέπει να κλείσει τα μάτια ή να αλλάξει σχήμα. Για να γίνει αυτό πρέπει οι συντεταγμένες που σχηματίζουν το στόμα ή τα μάτια να αλλάξουν, προκαλώντας κίνηση των αντίστοιχων τμημάτων του προσώπου. Τα εφέ αυτά επεξεργάζονται στο Vertex Shader. Αν ο χαρακτήρας πρέπει να αλλάξει υφή, φωτισμό, χρώμα, τότε η επεξεργασία θα γίνει από το Pixel Shader.

4.7.2. Αρχιτεκτονική μνήμης Lightspeed

Τα σημερινά τρισδιάστατα γραφικά έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις σε ρυθμό μεταφοράς δεδομένων από και προς τη μνήμη της κάρτας γραφικών, αφού το μέγεθος σε byte της κάθε τρισδιάστατης σκηνής φτάνει μέχρι και αρκετές δεκάδες MB. Λύση στο πρόβλημα προσπαθεί να δώσει μια νέα αρχιτεκτονική, η οποία αποτελείται από τρία νέα τμήματα: τον ελεγκτή μνήμης Crossbar και τις τεχνικές Lossless Z Compression και Z Occlusion Culling. Ο ελεγκτής μνήμης έχει εύρος 128 bit και είναι χωρισμένος σε τέσσερα ίσα τμήματα των 32 bit, για να διαχειρίζεται καλύτερα τον όγκο δεδομένων που επεξεργάζεται. Οι δύο άλλες τεχνικές σκοπό έχουν να μειώσουν τον συνολικό όγκο δεδομένων, συμπιέζοντας δεδομένα και διώχνοντας όσα δεδομένα δεν είναι ορατά στον τελικό χρήστη, οπότε δεν χρειάζονται.

4.7.3. Τεχνολογία Hyper Z 1 & 2

Πρόκειται για τη μέθοδο που χρησιμοποιεί η εταιρία παραγωγής καρτών γραφικών ATI, προκειμένου να μειώσει τα δεδομένα που επεξεργάζεται και μεταφέρει στη μνήμη το τσιπ. Η τεχνολογία απαρτίζεται από τρία τμήματα, τα Hierarchical Z, Z - Compression και Z - Clear. Ουσιαστικά πρόκειται για μια τεχνολογία πολύ κοντά σε αυτήν της nVidia και αφορά την απόρριψη εικονοστοιχείων που δεν φαίνονται στην τελική εικόνα και συνεπώς τη μείωση του φόρτου εργασίας. Επιπλέον περιλαμβάνει συμπίεση κάποιων δεδομένων και περαιτέρω μείωση

του όγκου των πληροφοριών που θα επεξεργαστούν. Σύμφωνα με την ίδια την εταιρεία ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων είναι 8,8 GB/sec. Στην πραγματικότητα η τιμή αυτή μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 12 GB/sec με τη βοήθεια τις τεχνολογίας Hyper Z 2.

4.7.4. Charisma Engine 2 & Pixel Tapestry 1

Η Charisma Engine 2 είναι η μηχανή που αναλαμβάνει να επεξεργαστεί το σχήμα, το μέγεθος και οτιδήποτε άλλο περιλαμβάνει μαθηματικούς υπολογισμούς σε σχέση με τα τρισδιάστατα αντικείμενα. Η Pixel Tapestry 1 αποτελεί μια χωριστή μηχανή για όλα τα εφέ φωτισμού και γενικά των υφών επί των τρισδιάστατων αντικειμένων.

4.7.5. True Form

Αυτή η τεχνολογία αφορά τη βελτίωση της ποιότητας των γραφικών και χρησιμοποιείται από την εταιρία παραγωγής καρτών γραφικών ATI. Με την τεχνολογία αυτή τα τρίγωνα ή τα πολύγωνα ενός αντικειμένου μετατρέπονται σε κοίλες επιφάνειες με ίδιες όμως κορυφές. Στη συνέχεια οι κοίλες αυτές επιφάνειες χωρίζονται σε μικρότερα τρίγωνα, ώστε να αποτυπώσει στην οθόνη το νέο αντικείμενο. Έτσι τα αντικείμενα εμφανίζονται με πολύ περισσότερες καμπύλες αντί για γωνίες, οπότε είναι πιο ρεαλιστικά.

4.7.6. Tile based rendering

Η αρχιτεκτονική στην οποία στηρίζεται το Kyro 2, της εταιρίας παραγωγής καρτών γραφικών Kyro ονομάζεται Tile Based. Κύριο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής είναι ότι το τσιπ επεξεργάζεται μόνο τα εικονοστοιχεία που φαίνονται στην τελική εικόνα. Με ειδικούς αλγόριθμους προβλέπει κάθε σκηνή και απορρίπτονται όσα εικονοστοιχεία ή τρίγωνα δεν φαίνονται στην οθόνη. Έτσι, ο όγκος δεδομένων που απαιτείται επεξεργασία είναι μικρότερος από ότι με τις αρχιτεκτονικές των ATI και nVidia, όπου μια τυπική τρισδιάστατη σκηνή έχει περίπου τετραπλάσιο όγκο δεδομένων. Το μειονέκτημα του τσιπ Kyro 2 είναι ότι δεν διαθέτει μαθηματικό συνεπεξεργαστή, με αποτέλεσμα να μην είναι συμβατός με το πρωτόκολλο Direct X.

4.8. Πρωτόκολλα ανάπτυξης γραφικών σε υπολογιστή

Στο χώρο των τρισδιάστατων γραφικών ακολουθούνται 2 διαφορετικά πρωτόκολλα, το Open GL (διαπлатφορμικό πρωτόκολλο) και το Direct 3D (πλατφόρμα windows). Κάθε εφαρμογή είναι σχεδιασμένη να υποστηρίζει το ένα ή το άλλο πρωτόκολλο. Πρόκειται για δύο διαφορετικά πρότυπα, ή για την ακρίβεια API (Application Programming Interface). Ένα API είναι ουσιαστικά μια βιβλιοθήκη από ρουτίνες και εντολές, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη

λογισμικού, αντίστοιχα με μια μία γλώσσα προγραμματισμού, η οποία διέπεται από κανόνες, έχει συντακτικό, συγκεκριμένες εντολές κ.λ.π.

Τα Direct 3D και Open GL είναι API για την κατασκευή τρισδιάστατων γραφικών. Οι ρουτίνες που συμπεριλαμβάνουν αφορούν τη σχεδίαση αντικειμένων, την προσομοίωση του φωτός, τις υφές κ.ά. Το API επιτρέπει την πρόσβαση σε ειδικές λειτουργίες του υλικού ενός συστήματος χωρίς να είναι απαραίτητο οι προγραμματιστές να γράψουν εξειδικευμένο κώδικα. Κάθε API έχει τη δική του αρχιτεκτονική και προσφέρει διαφορετικές δυνατότητες και εργαλεία στον προγραμματιστή. Η επικοινωνία του API με την κάρτα γραφικών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον οδηγό (driver).



Το Open GL αναπτύχθηκε από τη Silicon Graphics, αλλά και η Microsoft ανέπτυξε ειδική έκδοση (Microsoft Open GL), την οποία ενσωμάτωσε στα Windows NT. Η Microsoft αρνήθηκε να κυκλοφορήσει έκδοση του Open GL προσαρμοσμένη στην πλατφόρμα των Windows 95 και ξεκίνησε την ανάπτυξη του DirectX, κομμάτι του οποίου είναι το Direct 3D. Στην πραγματικότητα, το Direct X είναι ένα σύνολο από API, μερικά εκ των οποίων είναι το Direct draw, το Direct 3D, το Direct Sound κ.λπ.

Με την εμφάνιση του Direct 3D το 1995 ξέσπασε διαμάχη ανάμεσα στα δύο API. Η Microsoft υποστήριζε ότι το Direct 3D είναι γρηγορότερο από το Open GL στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Η Silicon Graphics προσπάθησε να αποδείξει το αντίθετο. Η ουσία, πάντως, είναι ότι το Direct 3D είναι αυτήν τη στιγμή το API που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι κατασκευαστές παιχνιδιών σε περιβάλλον Windows. Το Open GL χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές γραφικών, όπως τα συστήματα Cad κλπ. Παράλληλα έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, για τη βελτίωση της απεικόνισης των γραφικών. Οι τεχνικές αυτές πρέπει να υποστηρίζονται από την κάρτα γραφικών και από το λογισμικό. Κάποιες από τις τεχνικές περιγράφονται στη συνέχεια.

Κεφάλαιο 5

Χρήση συστημάτων CAD/CAM

5.1. Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η μεθοδολογία χρήσης των συστημάτων CAD/CAM.

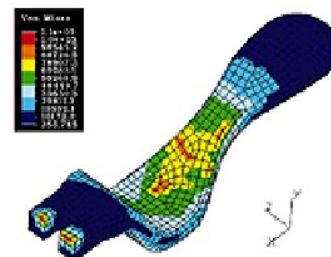
5.2. Σχεδίαση σε δύο διαστάσεις

Η σχεδίαση σε δύο διαστάσεις αποτέλεσε την πρώτη μορφή σχεδίασης σε υπολογιστή. Η σχεδίαση σε δύο διαστάσεις εξακολουθεί να έχει ευρεία χρήση, παρά την εξέλιξη του υπολογιστικού εξοπλισμού και των συστημάτων CAD. Αυτό οφείλεται στο ότι αποτελεί τη βασική μορφή τεχνικής σχεδίασης σε όλες τις ειδικότητες των μηχανικών.

Επιπλέον υπάρχουν εφαρμογές, στις οποίες η τρίτη διάσταση δεν έχει ιδιαίτερη σημασία, εφόσον η τρισδιάστατη απεικόνιση δεν προσθέτει καμία χρήσιμη πληροφορία. Για παράδειγμα, μια πινακίδα κυκλοφορίας που έχει σχεδιασμένο ένα αυτοκίνητο, προειδοποιώντας για την ολισθηρότητα του δρόμου έχει ως σκοπό την προειδοποίηση των οδηγών για το συγκεκριμένο κίνδυνο. Η πληροφορία δεν εξαρτάται καθόλου από το αν το σχέδιο του αυτοκινήτου είναι τρισδιάστατο ή δισδιάστατο. Κατά συνέπεια δεν υπάρχει λόγος παραγωγής ενός προοπτικού σχεδίου, στο οποίο θα αποδίδονται λεπτομέρειες, που θα εξυπηρετήσουν αισθητικούς λόγους. Οι σύνθετες πληροφορίες για το ακριβές σχήμα και την υφή της επιφάνειας του αυτοκινήτου ενδέχεται να αποσπάσουν την προσοχή κάποιου από την ουσία της εικόνας (που είναι η επικινδυνότητα της οδήγησης) ή να τον εμποδίσουν να αντιληφθεί γρήγορα το μήνυμα της σήμανσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, λοιπόν, η χρήση τεχνικών τρισδιάστατης μοντελοποίησης μπορεί να επιβραδύνει τις διαδικασίες μετάδοσης της πληροφορίας.

Η σχεδίαση σε δύο διαστάσεις έχει σημαντικούς περιορισμούς, οι οποίοι επιβάλλουν σε αρκετές εφαρμογές τη χρήση τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων. Τα βασικότερα μειονεκτήματα της σχεδίασης σε δύο διαστάσεις είναι:

- Αδυναμία κατανόησης του προϊόντος (δεν υπάρχει δυνατότητα προοπτικών προβολών του προϊόντος, κλπ.), οπότε δημιουργείται η ανάγκη κατασκευής περισσότερων φυσικών πρωτοτύπων, τα οποία έχουν μεγάλο κόστος και απαιτούν χρόνο με αποτέλεσμα τη μη ελεγχόμενη ή καθυστερημένη είσοδο του προϊόντος στην αγορά.
- Υπάρχει ανάγκη για σχεδιασμό πολλών όψεων. Μια αλλαγή στο σχέδιο απαιτεί την τροποποίηση όλων των όψεων.
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής του σχεδίου σε σύστημα FEA ή CAM, για το σχεδιασμό των χαρακτηριστικών του προϊόντος. Εξαιρέση αποτελούν μόνο ειδικές περιπτώσεις κοπής λαμαρίνας, όπου ο σχεδιασμός αφορά τον προσδιορισμό της θέσης των επιμέρους κομματιών πάνω στο φύλλο λαμαρίνας, οπότε γίνεται σε δύο διαστάσεις.



5.3. Πλεονεκτήματα τρισδιάστατης γεωμετρικής μοντελοποίησης

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της σχεδίασης σε τρεις διαστάσεις είναι:

- Καλύτερη αξιολόγηση του προϊόντος, οπότε απαιτούνται λιγότερα πρωτότυπα για την ανάπτυξη του.
- Περισσότερη πληροφόρηση για τα χαρακτηριστικά του προϊόντος κατά τη φάση της σχεδίασης.
- Καλύτερη οπτικοποίηση του προϊόντος, οπότε περιορισμός σχεδιαστικών λαθών, καλύτερη ποιότητα προϊόντος και μείωση του χρόνου εισαγωγής του προϊόντος στην αγορά.
- Καλύτερη ανταπόκριση του προϊόντος στις ανάγκες της αγοράς.
- Ο σχεδιασμός γίνεται πιο γρήγορα, δεν απαιτούνται πολλές όψεις.
- Οι αλλαγές γίνονται πιο γρήγορα, αφού δεν απαιτείται η αλλαγή κάθε όψης χωριστά.
- Σύνδεση του γεωμετρικού μοντέλου με σύστημα FEA και CAM, για τον προσδιορισμό τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών και της μεθοδολογίας για την παραγωγή του.

5.4. Μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης

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

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

Στις δύο αυτές περιπτώσεις η διαδικασία που πρέπει να κάνει ο χρήστης του συστήματος CAD είναι να αναλύσει το γεωμετρικό μοντέλο που θέλει να παράγει στα επιμέρους σχήματα, από τα οποία αποτελείται, σύμφωνα με τις δυνατότητες του συστήματος CAD που χρησιμοποιεί. Ο χρήστης γνωρίζει ότι το σύστημα CAD έχει τη δυνατότητα να παράγει σχήματα μέσω κάποιας συγκεκριμένης διαδικασίας (απλά σχήματα, όπως κύλινδροι, παραλληλεπίπεδα, ή πιο σύνθετα σχήματα). Πρέπει λοιπόν να προσπαθήσει να αναλύσει το σχήμα που θέλει να παράγει σε σχήματα που είναι εφικτό να δημιουργηθούν από το σύστημα που χρησιμοποιεί.

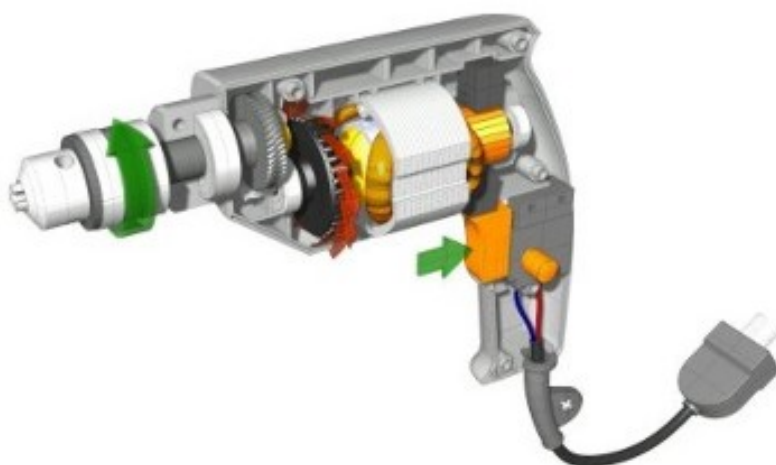
Είναι προφανές ότι ελάχιστα αντικείμενα μπορούν να αποδοθούν με ένα μόνο σχήμα και όχι με συνδυασμό σχημάτων στο σύστημα CAD. Στα σχήματα που αποτελούνται από συνδυασμό επιμέρους σχημάτων, ο ορισμός των σχημάτων αυτών δεν είναι μοναδικός. Είναι θέμα εμπειρίας του σχεδιαστή να επιλέξει κάθε φορά το συνδυασμό των σχημάτων που είναι ευκολότερο ή γρηγορότερο να παραχθούν στο λογισμικό που χρησιμοποιεί, ώστε να βελτιώσει την παραγωγικότητα του. Επιπλέον πρέπει, ανάλογα με το σχήμα και τη σκοπιμότητα του σχεδίου, να επιλέξει την κατάλληλη μέθοδο γεωμετρικής μοντελοποίησης. Η κάθε μορφή μοντελοποίησης παράγει σχήματα με την εκτέλεση διαφορετικών εντολών. Κάθε μορφή μοντελοποίησης να παράγει διαφορετικές διαμορφώσεις (διαφορετικά σχήματα). Όπως έχει αναφερθεί, υπάρχουν τρεις μορφές γεωμετρικής μοντελοποίησης:

- Συρματική αναπαράσταση: Τα μοντέλα στον τρισδιάστατο χώρο έχουν σχεδιαστεί με τη χρήση δισδιάστατων σχημάτων. Η μοντελοποίηση αυτή αποτελεί την πρώτη προσπάθεια δημιουργίας τρισδιάστατων σχεδίων και έχει εγκαταλειφθεί ως μέθοδος μοντελοποίησης. Χρησιμοποιείται ως μέθοδος απεικόνισης των μοντέλων.
- Στερεά γεωμετρική μοντελοποίηση: Τα μοντέλα θεωρούνται από το λογισμικό συμπαγή με ιδιότητες μάζας, όγκου, αδράνειας, κλπ. Υπάρχει η δυνατότητα πράξεων boole (αναφορά σε άλλο σημείο των σημειώσεων) με στερεά (πρόσθεση, αφαίρεση, τομή γεωμετρικών μοντέλων).
- Επιφανειακή γεωμετρική μοντελοποίηση: Τα σχήματα δεν έχουν μάζα όγκο, κλπ. Σχηματίζεται ένας φλοιός που είναι η παράπλευρη επιφάνεια του εκάστοτε αντικειμένου. Για παράδειγμα για το σχεδιασμό ενός κύβου πρέπει να σχεδιαστούν οι έξι έδρες του. Δεν υπάρχει η δυνατότητα πράξεων boole. Συνήθως τα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε μνήμη από τον υπολογιστικό εξοπλισμό. Εκτός από τη γεωμετρική μοντελοποίηση, επιφάνειες χρησιμοποιούνται στα συστήματα CAM, όπου το σύστημα πρέπει να καθοδηγήσει ένα κοπτικό εργαλείο. Η κίνηση του κοπτικού εργαλείου εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από το σχήμα της εξωτερικής επιφάνειας του αντικειμένου που πρόκειται να κατασκευαστεί. Η εξωτερική επιφάνεια ορίζεται με μαθηματικές εξισώσεις και σύμφωνα με τις εξισώσεις αυτές προσδιορίζεται η τροχιά του κοπτικού εργαλείου στο χώρο.

5.5. Μεθοδολογία τρισδιάστατης μοντελοποίησης

Τα συστήματα CAD παρέχουν εργαλεία για το σχεδιασμό και την επεξεργασία σχημάτων στο επίπεδο ή στο χώρο. Για την παραγωγή ενός δισδιάστατου αλλά πολύ περισσότερο ενός τρισδιάστατου σχεδίου, ο χρήστης πρέπει να αναλύσει το σχήμα στα επιμέρους τμήματα που αποτελείται και μπορεί να μοντελοποιήσει με τα εργαλεία του συστήματος CAD που χρησιμοποιεί. Ελάχιστα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου μπορούν να σχεδιαστούν ως μια οντότητα (με χρήση μιας μόνο εντολής σχεδιασμού) στο σύστημα CAD. Ο χρήστης πρέπει να αναλύσει το σχήμα που βλέπει σε επιμέρους σχήματα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιήσει, συνθέτοντας νοητικός το αντικείμενο που θέλει να μοντελοποιήσει με τα εργαλεία που παρέχονται από το σύστημα CAD. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η νοητική διαδικασία ο χρήστης αρχίζει να χτίζει στο σύστημα CAD τα επιμέρους τμήματα, τα οποία θα αποτελέσουν το κομμάτι που επιθυμεί να μοντελοποιήσει.

Για την παραγωγή σχημάτων στο χώρο κάθε λογισμικό CAD ακολουθεί διαφορετική φιλοσοφία σχεδιασμού. Όλα τα λογισμικά χρησιμοποιούν κοινές ομάδες εντολών. Διαφέρει όμως ο τρόπος χρήσης των εντολών για την παραγωγή των σχημάτων. Για παράδειγμα τα περισσότερα σχήματα στο χώρο σχηματίζονται με σάρωση ενός επίπεδου σχήματος κατά μήκος οδηγών καμπυλών, που ορίζει ο χρήστης. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να επεξεργάζεται τα παραγόμενα σχήματα, για να ολοκληρώσει τη διαμόρφωση του τελικού σχήματος. Ενδεικτικά το AutoCAD παράγει γεωμετρικά μοντέλα ορίζοντας σημεία και διευθύνσεις ως προς το σύστημα συντεταγμένων χρήστη (User Coordinate System – UCS), ενώ στο Solidworks η θέση και ο προσανατολισμός ενός σχήματος στο χώρο γίνεται ως προς επίπεδα και άξονες αναφοράς, που ορίζει ο χρήστης.



Τρισδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο προϊόντος (εικόνα Rhino 3D)

Εκτός από τα εργαλεία σχεδιασμού, το σύστημα CAD παρέχει εργαλεία επεξεργασίας, χειρισμού και επισκόπησης των γεωμετρικών μοντέλων. Οι δυνατότητες διαφέρουν ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιείται.

Ο χρήστης ενός συστήματος χρειάζεται χρόνο προσαρμογής σε κάποιο άλλο σύστημα, για να μπορέσει να αξιοποιήσει τις παρεχόμενες δυνατότητες. Παρόλα αυτά χρησιμοποιείται παρόμοια ονοματολογία μεταξύ των συστημάτων, οπότε η αρχική περίοδος εξοικείωσης είναι σχετικά μικρή.

Στα συστήματα που παρέχουν τη δυνατότητα παραμετρικού σχεδιασμού, ο χρήστης πρέπει να προκαθορίσει τη σειρά, με την οποία θα σχεδιάσει κάθε επιμέρους διαμόρφωση του τελικού αντικειμένου, αφού το λογισμικό δημιουργεί σχέσεις parent – child μεταξύ των διαμορφώσεων, οι οποίες επηρεάζουν την αλληλεξάρτηση μεταξύ των σχημάτων.

Στον παραμετρικό σχεδιασμό όταν ο χρήστης αλλάζει μια διάσταση, αλλάζουν οι διαστάσεις που έχουν συνδεθεί με αυτήν. Για παράδειγμα σε μια συναρμολόγηση ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τη διάμετρο ενός άξονα και αυτόματα πρέπει να αλλάξει η διάμετρος του εδράνου του άξονα. Αυτό είναι εφικτό, αν έχουν οριστεί οι κατάλληλες σχέσεις μεταξύ των σχημάτων.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η μοντελοποίηση ενός αντικειμένου είναι μια διαδικασία, η οποία δεν ορίζεται με μοναδικό τρόπο. Η εμπειρία του χρήστη στην παραγωγή γεωμετρικών μοντέλων επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα και τη δυνατότητα παραγωγής σχημάτων στο χώρο. Κάθε φορά ο χρήστης πρέπει να εντοπίζει την καλύτερη μέθοδο για την παραγωγή του εκάστοτε σχεδίου. Η γνώση των λειτουργιών του λογισμικού είναι απαραίτητη για την παραγωγή ενός γεωμετρικού μοντέλου. Βασικότερο παράγοντα για τη διαδικασία αυτή αποτελεί η εμπειρία και η αντίληψη του χρήστη. Τα περισσότερα προβλήματα που συναντώνται στην παραγωγή τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων σχετίζονται με γεωμετρικές μεθόδους, παρά με τη δυνατότητα χρήσης του λογισμικού.

5.6. Γεωμετρική μοντελοποίηση με τη χρήση επιφανειακών μοντέλων

Η χρήση επιφανειακής γεωμετρικής μοντελοποίησης αποτελεί μια εναλλακτική μορφή τρισδιάστατης μοντελοποίησης, η οποία έχει χαρακτηριστικά, τα οποία τη διαφοροποιούν σημαντικά από τη στερεά μοντελοποίηση.

Τα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα είναι μοντέλα, τα οποία δεν έχουν για το λογισμικό CAD μάζα. Στην ουσία ένας φλοιός στο χώρο, ο οποίος απεικονίζει την παράπλευρη επιφάνεια του

αντικειμένου που σχεδιάζεται. Έτσι για το σχεδιασμό ενός κύβου απαιτείται η μοντελοποίηση των έξι εδρών του, το οποίο είναι ιδιαίτερα επίπονο συγκριτικά με τη χρήση στερεάς μοντελοποίησης.

Η χρήση επιφανειακών γεωμετρικών μοντέλων έχει ως ρόλο τη δημιουργία σχημάτων, τα οποία δεν είναι εφικτό να παραχθούν με τεχνικές στερεάς μοντελοποίησης. Για παράδειγμα στο AutoCAD δεν είναι εφικτό να σχεδιαστεί με χρήση στερεάς μοντελοποίησης ένα αντικείμενο, το οποίο να έχει στο ένα άκρο διατομή κάποιου σχήματος (π.χ. κύκλος), η οποία προοδευτικά αλλάζει και στο άλλο άκρο καταλήγει σε διαφορετική διατομή (π.χ. έλλειψη). Με άλλα σχεδιαστικά εργαλεία αυτή η δυνατότητα υπάρχει, αναφέρεται όμως το συγκεκριμένο παράδειγμα, για να γίνει κατανοητή η συγκεκριμένη διαφορά των δύο μορφών τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Έτσι σε ένα γεωμετρικό μοντέλο μπορεί κάποια τμήματα να παραχθούν με χρήση στερεάς γεωμετρικής μοντελοποίησης και άλλα να παραχθούν με χρήση επιφανειακής γεωμετρικής μοντελοποίησης. Τα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα εφάπτονται με τα στερεά γεωμετρικά μοντέλα ή μεταξύ τους, ώστε να μην υπάρχουν κενά στην απεικόνιση του αντικειμένου που μοντελοποιείται.



Επιφανειακό γεωμετρικό
μοντέλο

Στα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα δεν υπάρχει η δυνατότητα πράξεων boolean (ένωση, τομή, αφαίρεση), το οποίο περιορίζει τις δυνατότητες μοντελοποίησης σε σχέση με τέτοια χαρακτηριστικά.

Τα επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να οριστούν με μαθηματικό τρόπο από το λογισμικό, αφού κάθε επιφάνεια στο χώρο μπορεί να οριστεί από μια σειρά εξισώσεων. Για το λόγο αυτό στα συστήματα CAM χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά επιφανειακή μοντελοποίηση. Στα συστήματα CAM πρέπει να προσδιοριστεί η επιθυμητή διαμόρφωση που θα κατασκευαστεί από το κοπτικό εργαλείο, οπότε η διαδικασία επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της παράπλευρης επιφάνειας του αντικειμένου. Η παράπλευρη επιφάνεια του αντικειμένου ορίζεται με μαθηματικό τρόπο και σύμφωνα με τις εξισώσεις ορισμού της σχεδιάζεται η τροχιά που πρέπει να ακολουθήσει το κοπτικό εργαλείο, για να κατασκευάσει καθεμία από τις διαμορφώσεις του παραγόμενου αντικείμενου.

Πολλά συστήματα CAM μετατρέπουν με κάποια μέθοδο τα στερεά γεωμετρικά σε επιφανειακά, ώστε να είναι εφικτός ο προσδιορισμός της γεωμετρίας του κομματιού, για τον προγραμματισμό των βημάτων για την παραγωγή του. Μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους είναι η

τριγωνοποίηση (tessellation) του γεωμετρικού μοντέλου, με την οποία η παράπλευρη επιφάνεια του αντικειμένου προσεγγίζεται με επίπεδα τρίγωνα μικρού μεγέθους.

Τα περισσότερα συστήματα CAD παρέχουν δυνατότητες επιφανειακής γεωμετρικής μοντελοποίησης. Πολλά συστήματα CAD έχουν δυνατότητα παραγωγής μόνο επιφανειακών μοντέλων. Τα συστήματα που σχεδιάζουν επιφανειακά γεωμετρικά μοντέλα παρέχουν σύνδεση με συστήματα CAM, με χρήση ουδέτερων μορφών αρχείων (γίνεται αναφορά σε άλλο σημείο των σημειώσεων). Τα εξειδικευμένα συστήματα για τη μοντελοποίηση επιφανειών παρέχουν αυξημένες δυνατότητες επεξεργασίας των επιφανειών, όπως ένωση επιφανειών, δημιουργία μπαλωμάτων (patches) για τη διόρθωση ασυνεχειών σε επιφάνειες, κλπ.

5.7. Μεταφορά γεωμετρίας μεταξύ σχεδιαστικών λογισμικών

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

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

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

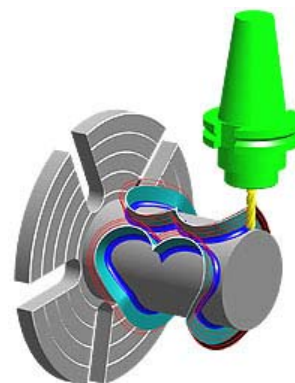
αρχείου dxf, η οποία, λόγω της διείσδυσης της εταιρίας στην αγορά είναι αρκετά διαδεδομένη στα λογισμικά σχεδιασμού. Τα αρχεία μορφής dxf είναι αρχεία αναγνώσιμου κειμένου, στο οποίο περιγράφεται με μαθηματικό τρόπο η γεωμετρία. Περιγράφονται οι συντεταγμένες των σημείων του γεωμετρικού μοντέλου στο χώρο, το είδος κάθε καμπύλης κλπ. Το dxf επειδή έχει αναπτυχθεί από μια εταιρία παραγωγής σχεδιαστικών λογισμικών εργαλείων χρησιμοποιείται κυρίως για μεταφορά γεωμετρίας μεταξύ των προϊόντων της εταιρίας, ενώ οι περισσότερες ανταγωνιστικές εταιρίες δεν το χρησιμοποιούν. Υπάρχουν μορφές αρχείων, οι οποίες δεν προέρχονται από εταιρίες με συναφή προϊόντα και πραγματικά αποτελούν ουδέτερες μορφές αρχείων για τη μεταφορά γεωμετρίας. Τέτοιες μορφές αρχείων είναι τα αρχεία IGES, STL, STEP κλπ. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στη μορφή STEP, η οποία τείνει να καθιερωθεί ως η πιο αξιόπιστη για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών λογισμικών εργαλείων, αποτελεί μια πλατφόρμα, για την ανάπτυξη τεχνικών μεταφοράς δεδομένων μεταξύ συγκεκριμένων λογισμικών. Οι εταιρίες ανάπτυξης λογισμικού αγοράζουν αυτήν την πλατφόρμα και αναπτύσσουν εργαλεία προσαρμοσμένα κάθε φορά στη συνεργασία μεταξύ συγκεκριμένων λογισμικών. Με τον τρόπο αυτό περιορίζονται πιθανά προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση αρχείων ουδέτερης μορφής γενικής χρήσης, όπως το IGES.

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

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

5.8. Βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων CAM

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



Σκοπός της χρήσης ενός συστήματος CAM είναι η καθοδήγηση εργαλειομηχανών, μέσω της δημιουργίας κατάλληλου προγράμματος από το σύστημα CAM, το οποίο μεταφέρεται στον ελεγκτή (controller) της εργαλειομηχανής. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι:

- Ο χρήστης μεταφέρει τη γεωμετρία του αντικειμένου από το σύστημα CAD στο σύστημα CAM. Ελάχιστα συστήματα CAD έχουν ενσωματωμένες δυνατότητες CAM. Όπως έχει αναφερθεί για τη διαδικασία μεταφοράς γεωμετρίας χρησιμοποιούνται ουδέτερες μορφές αρχείων, στις οποίες η γεωμετρία απεικονίζεται με γεωμετρικά μοντέλα, που παρέχουν τη δυνατότητα ορισμού του σχήματος του αντικειμένου με μαθηματικό τρόπο.
- Ο χρήστης ορίζει τα χαρακτηριστικά της κοπής, μέσω παραθύρων διαλόγου και εργαλείων που παρέχονται από το σύστημα CAM. Τα χαρακτηριστικά της κοπής δεν ορίζονται αυτόματα από το σύστημα.
- Το σύστημα CAM προσομοιώνει στην οθόνη του υπολογιστή τη διαδικασία κοπής, εμφανίζοντας τα αποτελέσματα, σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχουν οριστεί. Έτσι γίνεται έλεγχος για λάθη σε σχέση με τις επιθυμητές διαμορφώσεις κάθε αντικειμένου και σε σχέση με τις παραμέτρους της κοπής.
- Η διαδικασία κοπής εξάγεται από το σύστημα CAM σε μορφή προγράμματος, κατάλληλου για προγραμματισμό εργαλειομηχανών (G κώδικας).
- Το πρόγραμμα μεταφέρεται στον ελεγκτή της εργαλειομηχανής και ξεκινάει η διαδικασία κοπής.

Στην παραπάνω διαδικασία για την καθοδήγηση προγραμματιζόμενων εργαλειομηχανών πρέπει να επισημανθούν τα παρακάτω σημεία:

- Για την επιλογή του προγράμματος CAM πρέπει να μελετηθεί η συμβατότητα με το σύστημα CAD που χρησιμοποιείται. Συνήθως δεν υπάρχει δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων συμβατότητας μεταξύ των δύο λογισμικών.
- Για την επιλογή του προγράμματος CAM πρέπει να μελετηθεί η συμβατότητα με τον ελεγκτή της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται. Γενικά όλοι οι ελεγκτές χρησιμοποιούν κάποια μορφή G κώδικα, υπάρχουν όμως κάποιες διαφοροποιήσεις μεταξύ του κώδικα που

χρησιμοποιούν ελεγκτές διαφορετικών εταιριών. Το πλήθος των ελεγκτών που υπάρχουν στην αγορά δεν είναι μεγάλο, αλλά δεν υποστηρίζουν όλα τα συστήματα CAM όλους τους ελεγκτές που είναι διαθέσιμοι στην αγορά. Πρέπει να υποστηρίζεται ο ελεγκτής της εργαλειομηχανής που χρησιμοποιείται από το σύστημα CAM, ή να είναι πλήρως συμβατός με κάποιο τύπο ελεγκτή που υποστηρίζεται από το λογισμικό. Συνήθως δεν υπάρχει δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων συμβατότητας μεταξύ του συστήματος CAM και του ελεγκτή.

- Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο χρήστης πρέπει να ορίσει τις παραμέτρους της παραγωγής κάθε κομματιού. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης ενός συστήματος CAM πρέπει να γνωρίζει πολύ καλά τις μηχανουργικές κατεργασίες, ώστε να μην ορίζει χαρακτηριστικά κοπής, τα οποία είναι εκτός των επιτρεπόμενων τιμών. Για παράδειγμα πρέπει ο χρήστης να ξέρει ότι μια συγκεκριμένη διαμόρφωση μπορεί να δημιουργηθεί με μια μέγιστη τιμή πρόωσης. Αν ορίσει στο σύστημα μια τιμή πρόωσης πάνω από τη μέγιστη, δε θα παραχθεί σωστά η συγκεκριμένη διαμόρφωση. Επιπλέον ο χρήστης ενός συστήματος CAM πρέπει να γνωρίζει τις παραγωγικές δυνατότητες των εργαλειομηχανών που έχει στη διάθεση του. Είναι πιθανό να ορίζει χαρακτηριστικά κοπής, όπως πρόωση και ταχύτητα κοπής ορίζοντας τιμές, εκτός των προδιαγραφών λειτουργίας των εργαλειομηχανών που υπάρχουν στην εκάστοτε παραγωγική διαδικασία.
- Υπάρχει ένα πλήθος παραμέτρων της διαδικασίας κοπής που δεν είναι εφικτό να οριστούν στο σύστημα CAM. Τέτοιες παράμετροι είναι ο τρόπος τοποθέτησης και συγκράτησης του δοκιμίου, ο προσδιορισμός της βέλτιστης διαδικασίας για την μια συγκεκριμένη αλληλουχία διαμορφώσεων, κλπ. Για αυτές τις παραμέτρους έχουν αναπτυχθεί ειδικά λογισμικά εργαλεία (συστήματα virtual manufacturing, όπως το σύστημα της Delmia, της Engineering Animation Inc., κλπ.), τα οποία επιτρέπουν τη μελέτη της διαδικασίας παραγωγής προϊόντων, εκτός από τη δημιουργία του φρασεολογίου παραγωγής και του προγράμματος καθοδήγησης των εργαλειομηχανών.

Γίνεται κατανοητό ότι η διαδικασία καθοδήγησης εργαλειομηχανών, είτε πρόκειται για κοπή (που αναφέρεται στη συγκεκριμένη ενότητα), είτε για άλλη διαμόρφωση είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και απαιτεί σημαντικό θεωρητικό και τεχνικό υπόβαθρο, πέρα από την εκμάθηση της χρήσης του συστήματος CAM. Επίσης η πολυπλοκότητα των σύγχρονων διαδικασιών παραγωγής απαιτεί τη χρήση επιπλέον εργαλείων για μελέτη και προσομοίωση των διαδικασιών παραγωγής, ώστε να αποφεύγονται πιθανά λάθη που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα CAM, όπου ο χρήστης ορίζει τις βασικές παραμέτρους όλης της διαδικασίας.

Κεφάλαιο 6

Νέα Γενιά Λογισμικών Cad

6.1. Εισαγωγή

Στα σύγχρονα λογισμικά CAD έχουν αναπτυχθεί χαρακτηριστικά, τα οποία διαφοροποιούν τη φιλοσοφία σχεδιασμού σε σχέση με τα συστήματα CAD που είχαν αρχικά παρουσιαστεί. Τα χαρακτηριστικά αυτά παρέχουν στο χρήστη σημαντικές δυνατότητες και αυξάνουν σημαντικά την ευελιξία του σχεδιασμού. Για το λόγο αυτό έχουν καθιερωθεί και είναι διαθέσιμα σχεδόν σε όλα τα σύγχρονα συστήματα CAD.

6.2. Χαρακτηριστικά σύγχρονων λογισμικών CAD.

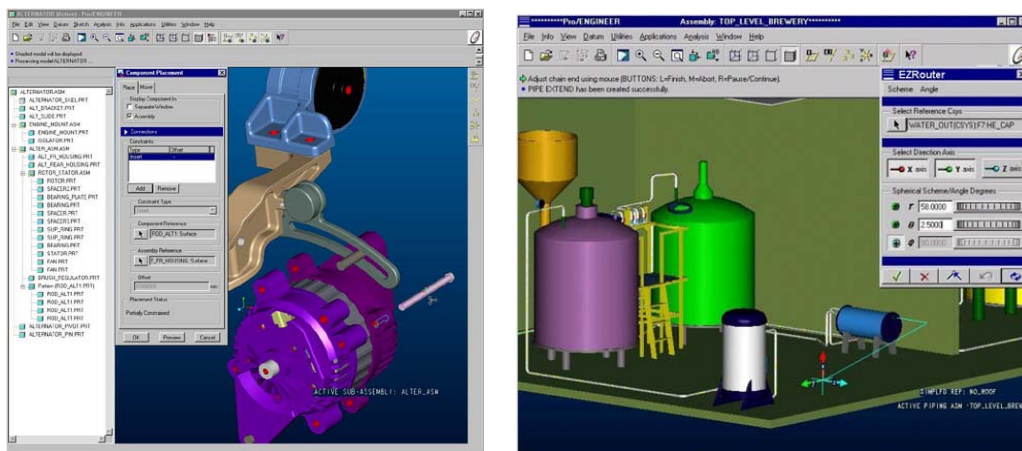
- **Feature based λογισμικά (βασισμένα σε χαρακτηριστικά):** Σχεδιασμός κομματιών, σχεδιάζοντας κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά του χωριστά, π.χ. μια τρύπα είναι ένα χαρακτηριστικό. Αυτή η διαδικασία βοηθάει τους σχεδιαστές, οι οποίοι συνδέουν το σχεδιασμό με τον τρόπο παραγωγής. Μέχρι τώρα γινόταν προσέγγιση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

6.3. Παραδείγματα feature based CAD λογισμικών.

6.3.1. Pro Engineer (www.ptc.com)

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

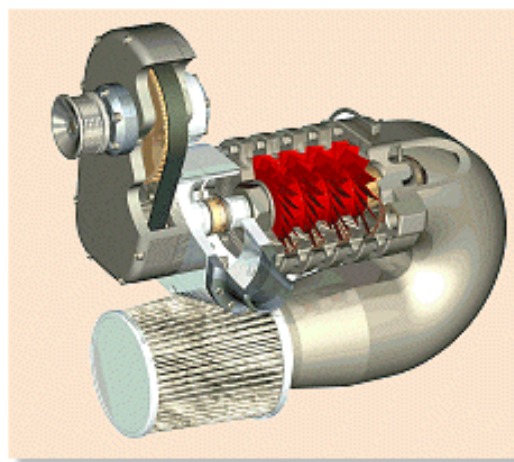
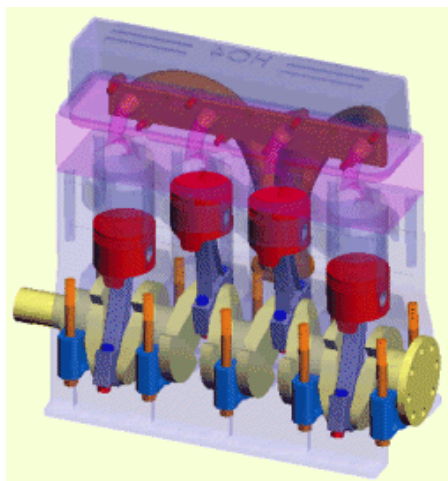
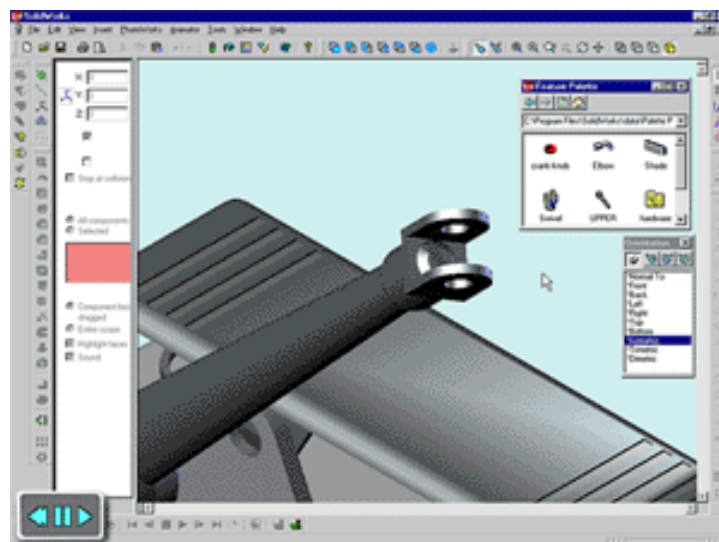
- Plastic advisor: Σχεδιασμός καλουπιών χύτευσης.
- Λαμαρίνα: Κατανομή κομματιών σε φύλλα λαμαρίνας, για μείωση του σκάρτου.
- In part: Βάση δεδομένων με έτοιμα τρισδιάστατα σχέδια από τυποποιημένα εξαρτήματα, όπως βίδες, ρουλεμάν κλπ. Έχει πάνω από 200000 σχέδια. Έχει καταργηθεί ως προϊόν.
- Mechanica: Υπολογισμός καταπονήσεων σε μηχανισμούς.
- Pipes: Σχεδιασμός σωλήνων.
- Assembly: Συναρμολόγηση εξαρτημάτων, για τη δημιουργία μηχανισμών.
- Behavior: Μια νέα εφαρμογή στο σχεδιασμό, όπου τα πρόγραμμα βελτιώνει αυτόματα το σχεδιασμό, μειώνοντας τα βάρους, ή δημιουργώντας αντικείμενα με συγκεκριμένα δυναμικά χαρακτηριστικά, π.χ. συγκεκριμένη θέση κέντρου βάρους κλπ.
- CAM: Το σύστημα CAM είναι ενσωματωμένο στο σύστημα CAD. Το χαρακτηριστικό αυτό παρέχεται από ελάχιστα συστήματα.



Pro Engineer.

6.3.2. Solidworks (www.solidworks.com)

Ανερχόμενος ανταγωνιστής του Pro Engineer με πλεονεκτήματα το χαμηλότερο κόστος και τη μεγάλη φιλικότητα χρήσης. Παρουσιάστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 90 από μια ομάδα, η οποία συμμετείχε στην ανάπτυξη του Pro Engineer και έχει διεισδύσει σε σημαντικό πλήθος εταιριών. Ένα από τα μειονεκτήματα του είναι ότι δεν παρέχει CAM. Επίσης το κόστος αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, λόγω της διάδοσης του λογισμικού.



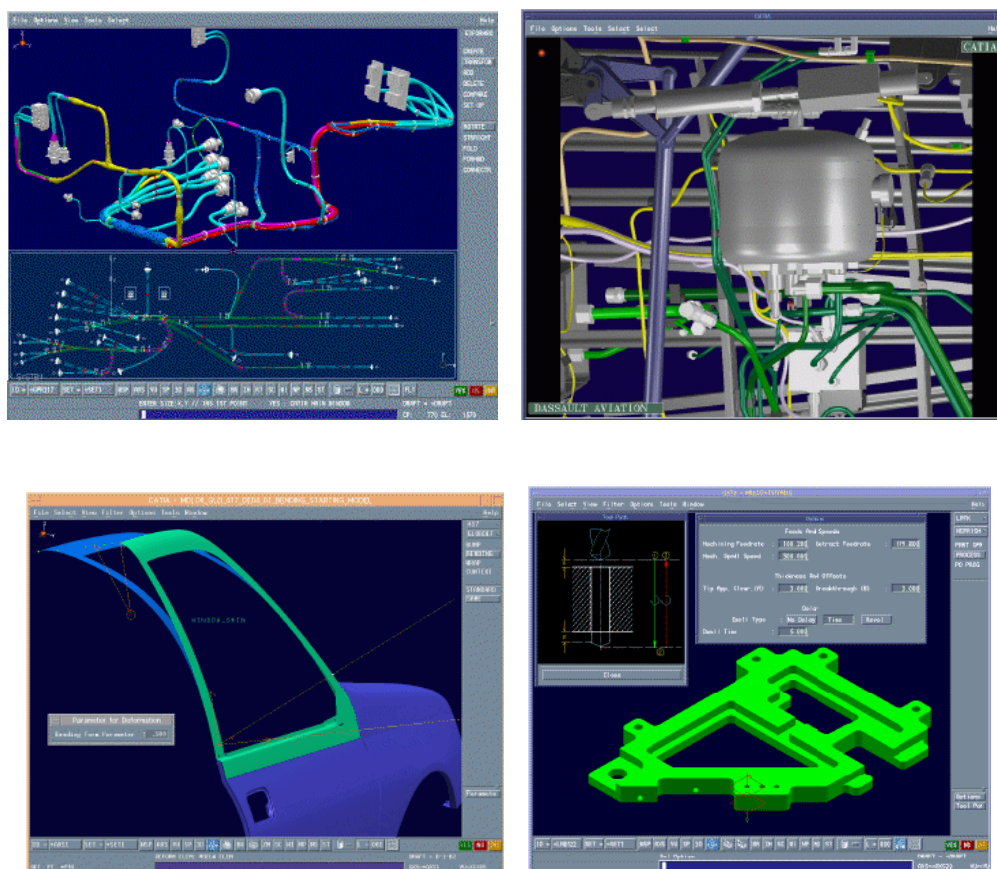
Solidworks.

6.3.3. Dassault Catia (www.dassault.com)

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

- Mechanical Design Solutions.
- Drafting Solutions.
- Shape Design & Styling Solutions.
- Equipment and Systems Engineering Solutions.
- Analysis and Simulation Solutions.
- Manufacturing Solutions.
- Plant Design.

- Shipbuilding Solutions.
- CATIA application architecture.

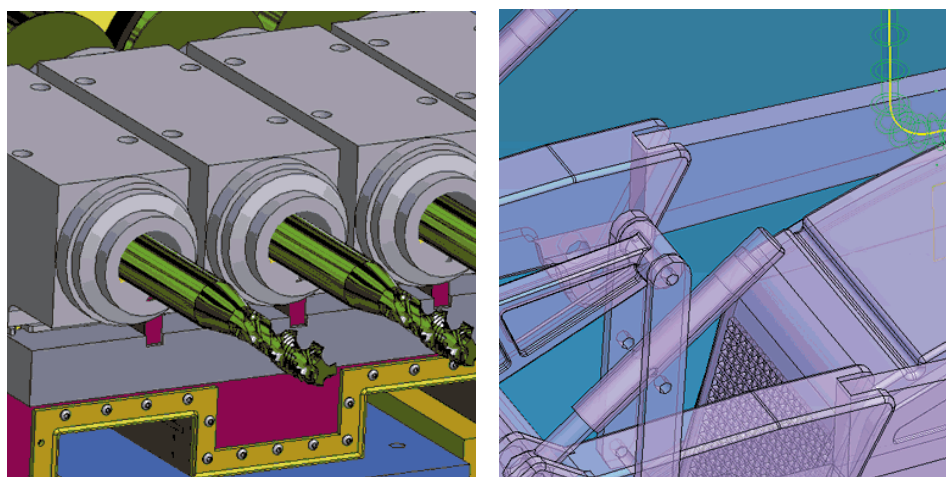


CATIA.

6.3.4. Autodesk Inventor (www.autodesk.com)

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

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



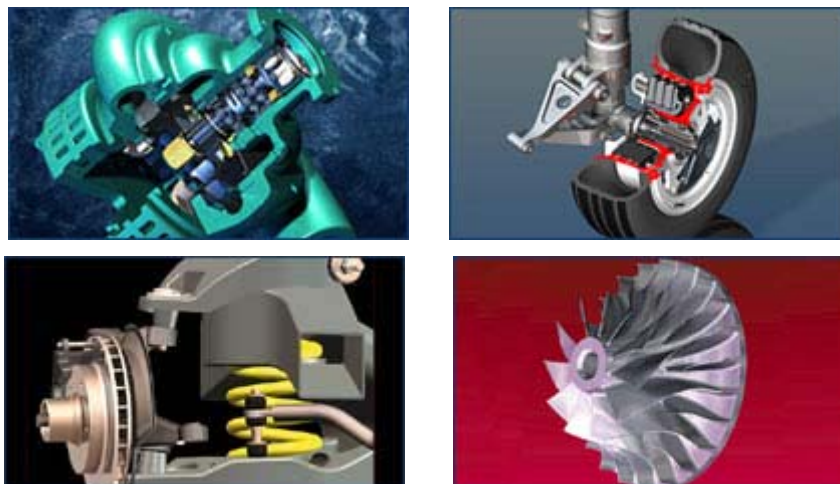
Autodesk Inventor.

6.3.5. EDS (www.ugsolutions.com)

Η EDS είναι από τις πρώτες εταιρίες που ασχολήθηκαν με συστήματα μηχανολογικών εφαρμογών σε υπολογιστή. Μετά από μια περίοδο ύφεσης, η εταιρία με το σύστημα CAD Unigraphics, το οποίο αναπτύσσει, έχει καταφέρει να αποσπάσει αρκετές εταιρίες από τη Dassault. Το λογισμικό CAD Unigraphics αποτελεί ένα τμήμα από τα διαθέσιμα λογισμικά της εταιρίας, η οποία στοχεύει στην παροχή ολοκληρωμένων και ειδικευμένων εφαρμογών για όλα τα στάδια σχεδιασμού και παραγωγής του προϊόντος.



Η φιλοσοφία των προϊόντων της EDS.



Unigraphics.

Κεφάλαιο 7

Εισαγωγή στην Τεχνολογία Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (Rapid Prototyping)

7.1. Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή γίνεται εισαγωγική αναφορά στην τεχνολογία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης.

7.2. Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας Ταχείας Πρωτοτυποποίησης

Τεχνολογία κατασκευής φυσικών πρωτοτύπων (μοντέλων) στρώμα-στρώμα (layer by layer). Η τεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα χρήσης διάφορων υλικών. Κάθε τύπος μηχανής ταχείας πρωτοτυποποίησης παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής αντικειμένων από μια συγκεκριμένη ομάδα υλικών (πλαστικά, ρητίνες, μεταλλικά, κλπ.).

Διαφορά από μηχανές NC: Κατασκευάζουν μοντέλα προσθέτοντας υλικό και όχι αφαιρώντας.

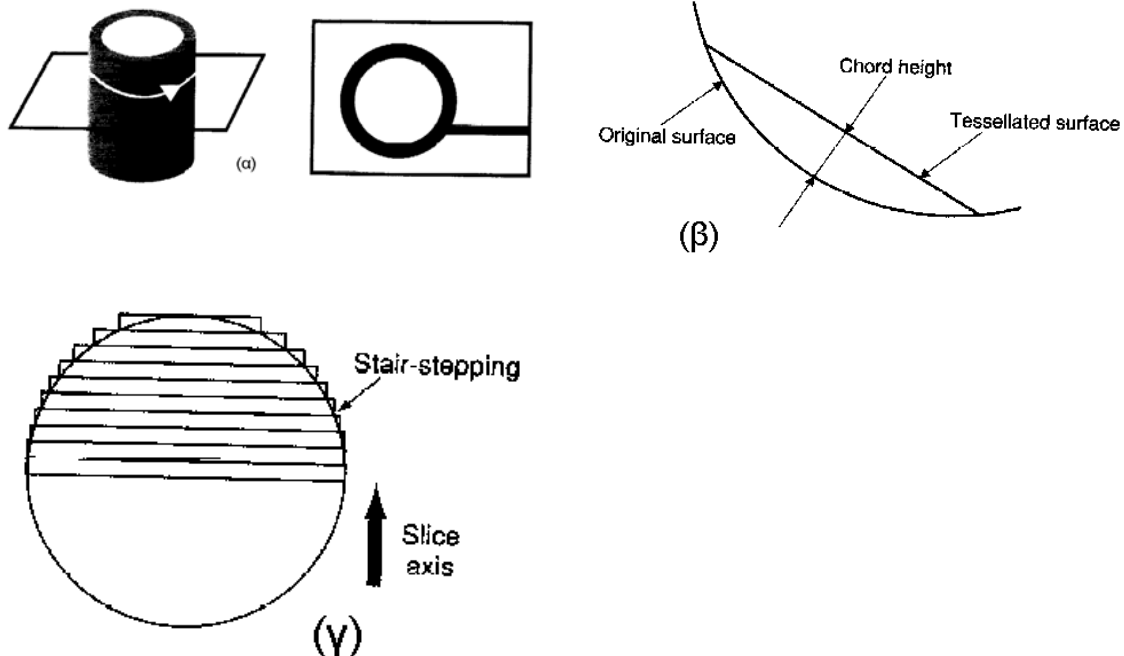
Πλεονέκτημα χρήσης της τεχνολογίας Ταχείας Πρωτοτυποποίησης: Οι εταιρίες κατασκεύαζαν φυσικά πρωτότυπα με παραδοσιακές μεθόδους, σε μηχανές κατεργασιών (τόρνους, φρέζες κλπ.), για λειτουργικό έλεγχο των προϊόντων τους, με πολύ υψηλό κόστος (σταμάτημα παραγωγής, χρήση πρώτων υλών, εργαζομένων, η διαδικασία αυτή απαιτεί πολύ χρόνο).

Η ταχεία πρωτοτυποποίηση μείωσε το χρόνο κατασκευής μοντέλων κάθε πολυπλοκότητας σε ώρες αντί για ημέρες, εβδομάδες ή ακόμα και μήνες. Αποτελεί πλέον για πολλές εταιρείες έναν απαραίτητο κρίκο στην διαδικασία εξέλιξης των προϊόντων.

7.3. Η Διαδικασία της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης

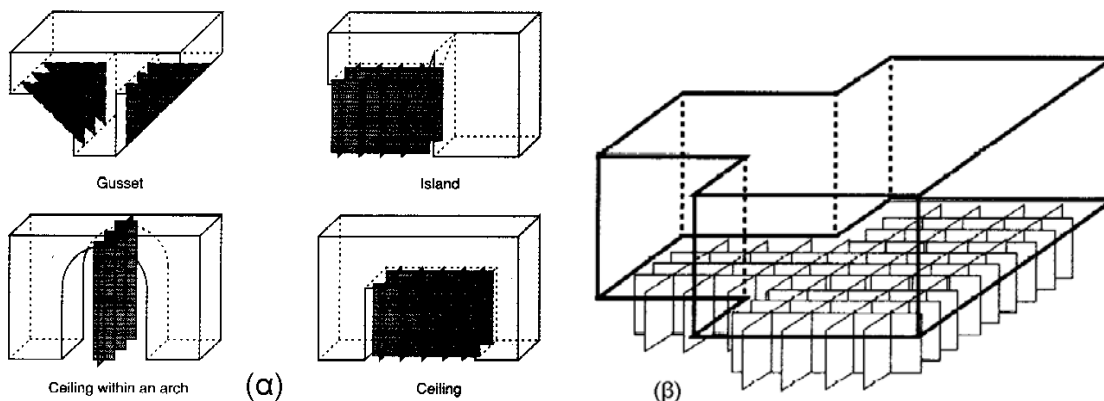
7.3.1. Εισαγωγή Γεωμετρίας

- Απαιτείται μοντέλο στερεών ή μοντέλο επιφανειών.
- Τα δεδομένα που δέχονται οι μηχανές είναι τύπου STL, στο οποίο το αντικείμενο αναπαρίσταται ως πλέγμα συνδεδεμένων τριγώνων, (tessellated object ή faceted object). Το STL αρχείο είναι σε ASCII (πίνακας 3), ή σε Binary format.
 - Τα προτερήματα του αρχείου STL 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.
 - Τα μειονεκτήματα του αρχείου STL είναι:
 - Πληθώρα και περίσσεια δεδομένων (Κάθετο διάνυσμα, πολλές φορές η ίδια κορυφή).
 - Σφάλμα προσέγγισης καμπυλών
 - Σφάλματα στρογγυλοποίησης
 - Έλλειψη πληροφόρησης, ως προς το είδος του κάθε γεωμετρικού στοιχείου, δηλ. κύκλος, ευθεία, κλπ.
- Η διαίρεση του μοντέλου σε τρίγωνα μπορεί να έχει προβλήματα.



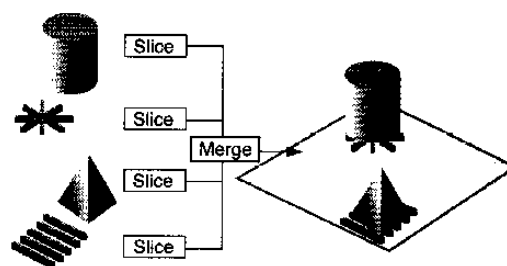
7.3.2. Στηρίγματα

- Στηρίγματα απαιτούνται για περιπτώσεις που η άνω επιφάνεια που δημιουργείται είναι μεγαλύτερη από τη βάση και για την αρχική στήριξη του αντικειμένου.
- Η μορφή τους επηρεάζει σημαντικά το τελικό πρωτότυπο και καλό θα είναι ο χρήστης να μοντελοποιεί αυτά τα στηρίγματα.



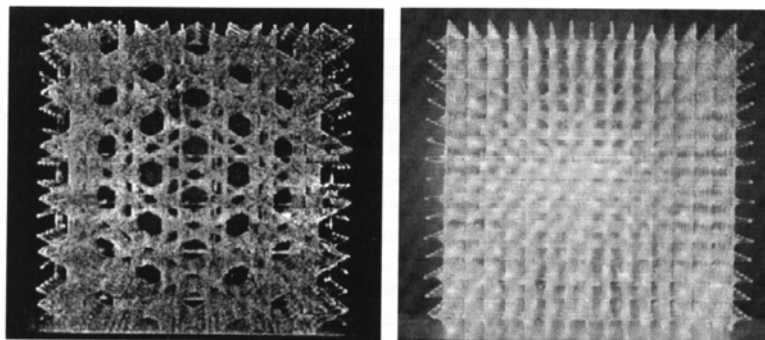
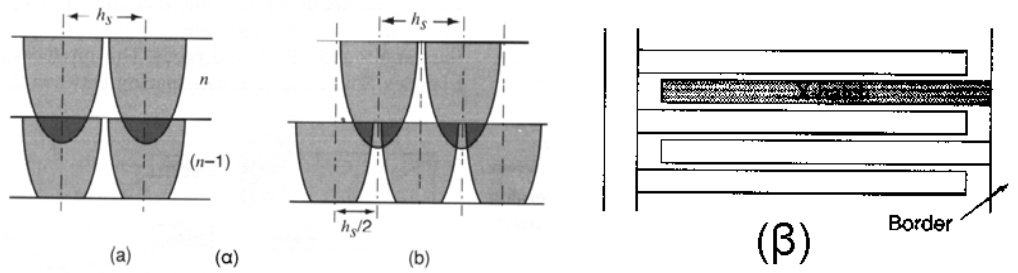
7.3.3. Τομή και Ένωση

- Το μοντέλο τέμνεται με μια σειρά από επίπεδα, που ενώνονται στη συνέχεια μεταξύ τους. Το πάχος κάθε στρώματος εξαρτάται από τη μηχανή.
- Μπορούμε να έχουμε και περισσότερα του ενός τεμάχια σε μια πλατφόρμα.
- Ο τρόπος με τον οποίο γεμίζει η μηχανή με υλικό το τεμάχιο ονομάζεται μέθοδος γεμίσματος (hatch style), και σημαντικοί παράγοντες είναι η απόσταση μεταξύ γραμμών γεμίσματος (hatch spacing), αντιστάθμιση πλάτους γραμμής και συντελεστής συστολής (shrinkage factor).
- Στο γέμισμα πρώτα γίνεται η περιβάλλουσα και μετά γεμίζει το εσωτερικό (Internal hatch).
- Το εσωτερικό γεμίζει με διαφορετικές μεθόδους, όπως:
 - Tri-Hatch. το γέμισμα γίνεται παράλληλα στον x, και υπό γωνία 60° και 120° ως προς τον x. Απόσταση μεταξύ γραμμών 1.27 mm.
 - WEAVE. Γραμμές παράλληλα ως προς x και y. Απόσταση 0.11 in. Επιτυγχάνει καλή ακρίβεια.
 - STAR(Staggered Alternate Retract)-WEAVE. Εισάγει την έννοια του Staggered hatch, σχ.8.13α, Alternate Hatch και Retract Hatch, σχ.8.13β.
 - QuickCast, σχ.8.14. Χρησιμοποιείται όταν το πρωτότυπο χρησιμοποιείται για καρδιά σε investment casting. Η απόσταση γεμίσματος είναι μεγάλη και το πρωτότυπο είναι μισογεμάτο.

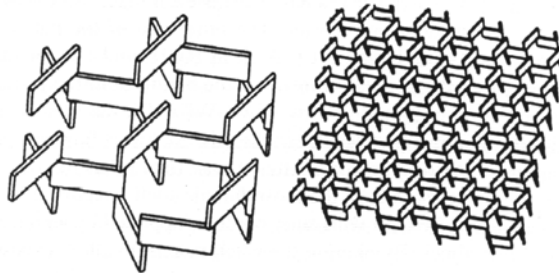


➤ ACES (Accurate, Clear, Epoxy Solid).

➔ Οι διάφοροι μέθοδοι αποσκοπούν στο να εξαλείψουν τις εσωτερικές τάσεις.



(a)



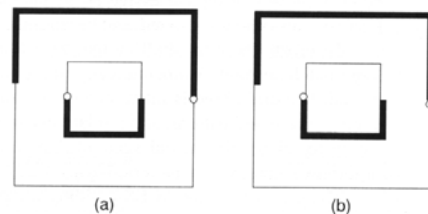
(b)

Η μέθοδος Quick Cast. (a) V.1.1 χρησιμοποιεί ισόπλευρα τρίγωνα και τετράγωνα, (b) V2.0 χρησιμοποιεί εξαγωνικό πλέγμα.

7.3.4. Αντιστάθμιση Πάχους Γραμμής (Line width compensation)

➔ Έχει την ίδια σημασία με την αντιστάθμιση του κοπτικού εργαλείου.

➔ Η τιμή της αντιστάθμισης είναι θέμα και εμπειρίας.



(a)

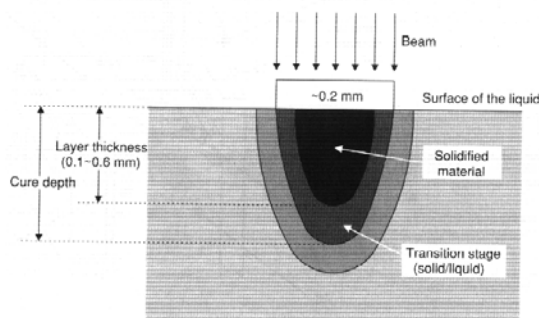
(b)

7.3.5. Παράγοντας Συστολής

Ο πολυμερισμός αυξάνει την πυκνότητα του υλικού με συνέπεια να μειώνεται ο όγκος του. Μετά τη στερεοποίηση συστέλλεται. Πρέπει να το έχουμε προβλέψει.

7.3.6. Βάθος Επίδρασης (Cure depth)

Είναι το βάθος μέχρι το οποίο η ακτίνα laser έχει επίδραση στο υλικό. Αυτό πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το πάχος της στρώσης



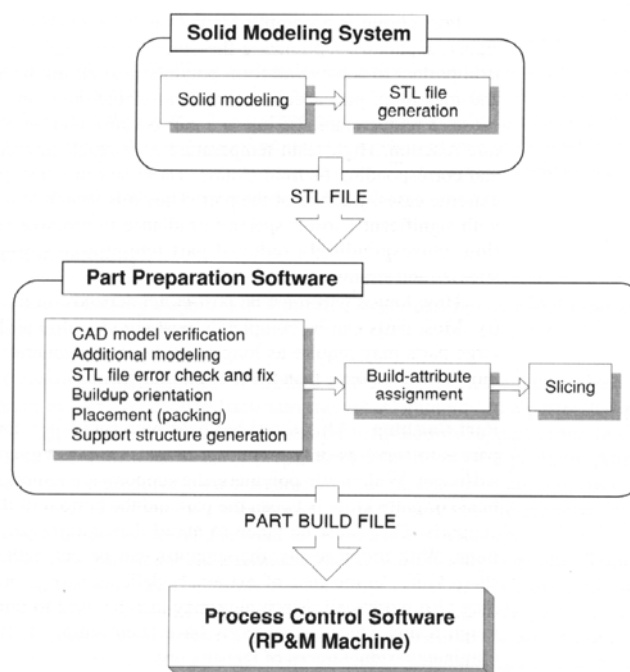
7.3.7. Τελική Επεξεργασία Πρωτοτύπου

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας ακολουθεί η απομάκρυνση του πρωτοτύπου, ο καθαρισμός του από τα στηρίγματα, η δεύτερη επεξεργασία και η αποπεράτωση του πρωτοτύπου.

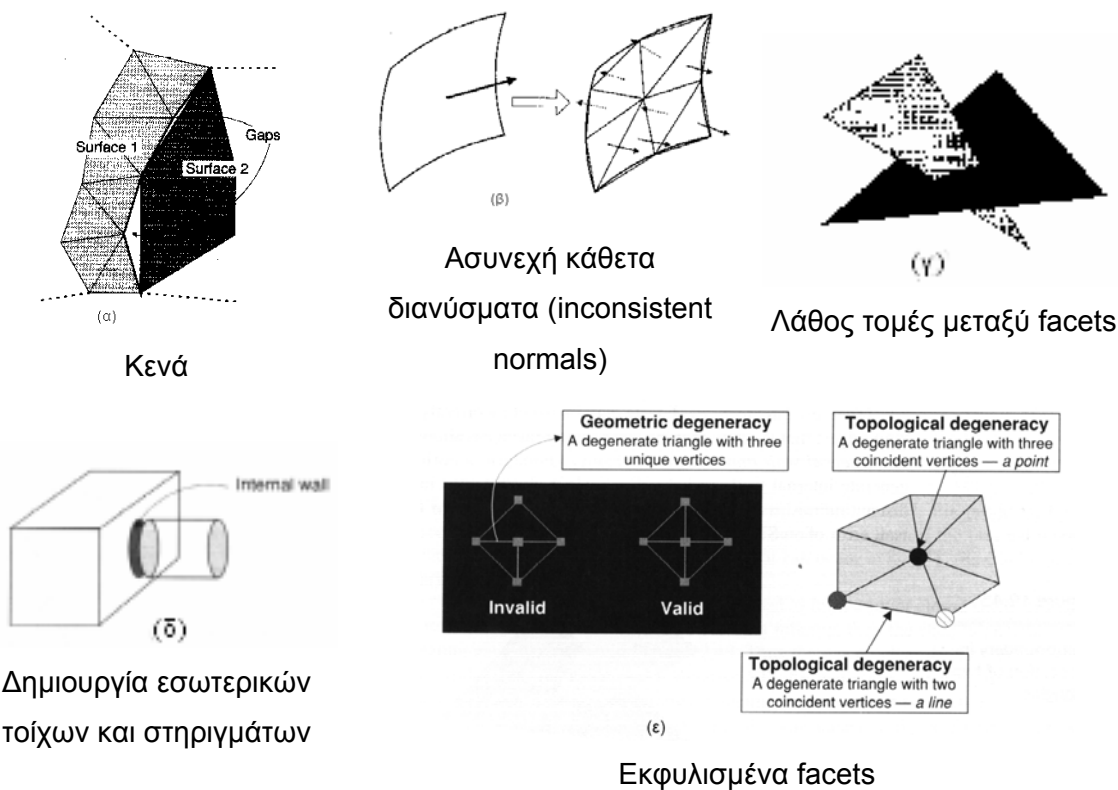
7.4. Μεταφορά Δεδομένων σε Συστήματα Ταχείας Προτυποποίησης

7.4.1. Λειτουργίες λογισμικού για Ταχεία Προτυποποίηση

- Το κόστος κατασκευής συνδέεται άμεσα με την ποσότητα της δουλειάς που ξοδεύεται για την προετοιμασία των δεδομένων και το πραγματικό 'χτίσιμο' του μοντέλου.
- Βασικό κριτήριο αξιολόγησης οποιοδήποτε εργαλείου λογισμικού είναι η ελαχιστοποίηση του πλήθους των επαφών που πρέπει να κάνουν ο σχεδιαστής και ο κατασκευαστής ή η βελτίωση της μεταξύ τους επικοινωνίας.

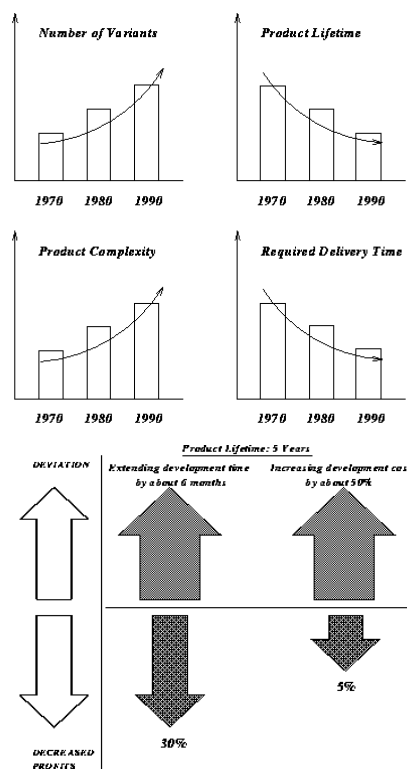


7.4.2. Δημιουργία Αρχείου STL: Προβλήματα



7.5. Η Τεχνολογία Ταχείας Προτυποποίησης σε σχέση με την Κατεργασία

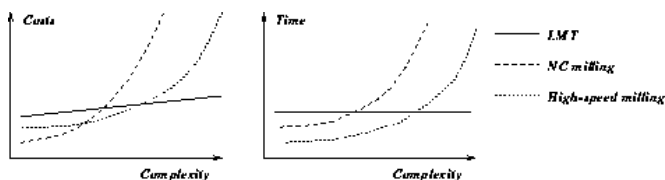
- Οι αλλαγές που έχουν γίνει στις ανάγκες των βιομηχανιών.
- Παράγοντας κλειδί η αποδοτικότητα. Περισσότερο σημαντικό για τα αποτελέσματα, είναι ο χρόνος ανάπτυξης και όχι το κόστος.
- Η τεχνολογία της ταχείας προτυποποίησης επιτρέπει να ετοιμάζεται ένα φυσικό μοντέλο, όσο γρήγορα ετοιμάζεται και ένα μοντέλο σε τρισδιάστατη μορφή σε ένα σύστημα CAD. Το φυσικό μοντέλο είναι ένα τέλειο εργαλείο επικοινωνίας.
- Επιπρόσθετα, τα μοντέλα που παράγονται μέσω της μεθόδου χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για tests λειτουργικότητας και για την επίτευξη εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν για δοκιμές πριν την παραγωγή.



- Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν τα λάθη να εντοπισθούν σε πιο πρώιμο στάδιο, όπου οι αλλαγές δεν κοστίζουν πολύ.
- Έχει εκτιμηθεί πως εφαρμόζοντας τεχνολογίες ταχείας προτυποποίησης αποτελεσματικά, ο χρόνος ανάπτυξης για εργαλεία μπορεί να μειωθεί στο μισό.
- Άλλη μια σημαντική όψη είναι το κόστος της εισαγωγής αλλαγών στο σχεδιασμό ενός προϊόντος.
- Ωστόσο, η μέθοδος δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την ανάπτυξη προϊόντων αν δεν χρησιμοποιείται ένα 3D CAD σύστημα για να δημιουργηθεί πρώτα το μοντέλο του προϊόντος.

7.6. Η Τεχνολογία Ταχείας Προτυποποίησης σε σύγκριση με συμβατικές μεθόδους

- Η Τεχνολογία ταχείας προτυποποίησης δεν αντικαθιστά, ούτε πρόκειται να αντικαταστήσει ολοκληρωτικά τις συμβατικές τεχνολογίες, όπως πχ. η κατεργασία με NC.
- Στις μεθόδους Ταχείας Προτυποποίησης ο χρόνος και το κόστος παραμένουν σχεδόν σταθερά σε σχέση με την πολυπλοκότητα του μοντέλου, αντίθετα με τις συμβατικές τεχνολογίες.



- Η τεχνολογία της ταχείας προτυποποίησης έχει ξεκάθαρα πλεονεκτήματα όταν η πολυπλοκότητα ενός κομματιού μεγαλώνει.
- Γενικά, η πολυπλοκότητα ενός κομματιού δεν μπορεί να καθοριστεί απόλυτα, όμως σίγουρα περιέχει τα παρακάτω συστατικά:
 - Το μέγεθος του μοντέλου.
 - Το ύψος και πάχος των τοιχωμάτων
 - Την αναλογία μεταξύ αυτών των δύο.
 - Το συνολικό αριθμό επιφανειών στο μοντέλο που έχει εξαχθεί από το σύστημα CAD.
 - Τις απαιτήσεις των ανοχών.
 - Τον τύπο του συστήματος CAD, που δημιουργεί τα μονοπάτια των εργαλείων.

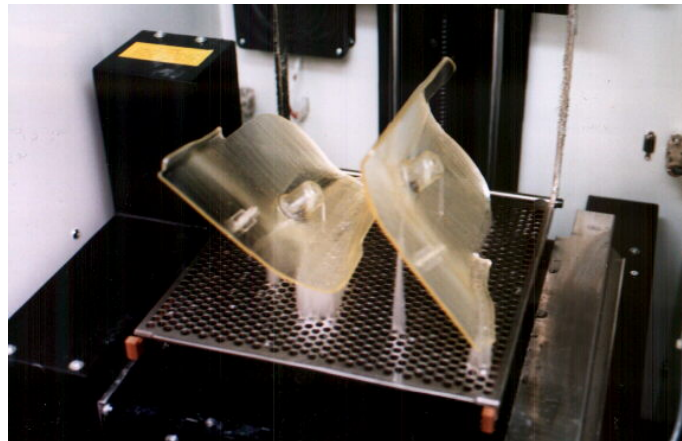
7.7. Διαθέσιμες τεχνολογίες

Κάθε τεχνολογία έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και είναι κατάλληλη για συγκεκριμένη γεωμετρία κομματιών.

7.7.1. Στερεολιθογραφία

- Κομμάτια από ρητίνες (τοξικά, αποφεύγεται η επαφή με το ανθρώπινο δέρμα).

- Δυνατότητα πολύπλοκης γεωμετρίας με μεγάλη ακρίβεια.
- Υψηλό κόστος υλικών, μηχανής, κλπ.
- Μικρή αντοχή κομματιών.
- Μικρή δυνατότητα επεξεργασίας επιφανειών.
- Κομμάτια 25 X 25 X 25 cm.
- Αρχή λειτουργίας: Η ρητίνη σε υγρή μορφή στερεοποιείται με τη βοήθεια ακτίνας laser. Τελικά μένει μόνο το πρωτότυπο με τα supports. Η υπόλοιπη ρητίνη απομακρύνεται, αφού παραμένει σε υγρή μορφή.



7.7.2 FDM

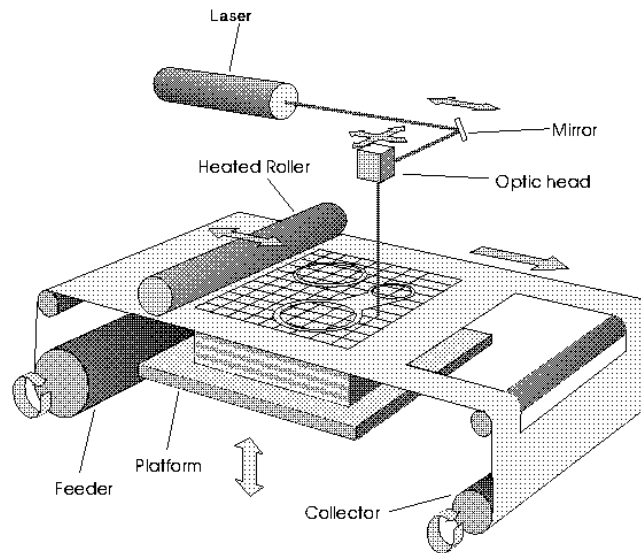
- Κομμάτια από πλαστικό.
- Μεγάλη αντοχή κομματιών.
- Δυνατότητα συναρμολόγησης κομματιών και ελέγχου δυναμικών χαρακτηριστικών.
- Μέση ακρίβεια.
- Μέσο κόστος κομματιών.
- Τραχεία επιφάνεια κομματιών.
- Μικρή δυνατότητα επεξεργασίας επιφανειών.
- Κομμάτια 25 X 25 X 25 cm.
- Δυνατότητα χρήσης σε περιβάλλον γραφείου.
- Αρχή λειτουργίας: Το πλαστικό βρίσκεται σε θερμοκρασία 1 – 2 βαθμούς πάνω από το θερμοκρασία τήξης, οπότε είναι οριακά σε υγρή μορφή. Γίνεται έγχυση από ακροφύσιο, οπότε η θερμοκρασία πέφτει και στερεοποιείται το πλαστικό, χτίζοντας το πρωτότυπο.



7.7.3 LOM

- Κομμάτια από χαρτί (το τελικό αντικείμενο φαίνεται ότι είναι από ξύλο, αφού το χαρτί προέρχεται από το ξύλο).
- Χαμηλή ακρίβεια.
- Δυνατότητα επιφανειακής κατεργασίας.
- Καλή τραχύτητα.
- Χαμηλό κόστος.
- Αρκετά γρήγορη κατασκευή κομματιού.
- Κομμάτια 25 X 25 X 25 cm.
- Αρχή λειτουργίας: Το χαρτί βρίσκεται σε μορφή ρολού με κόλλα στην πάνω και την κάτω επιφάνεια. Το ρολό ξετυλίγεται και κόβεται με τη βοήθεια laser στο σχήμα της τρέχουσας

διατομής. Κάθε διατομή που κόβεται εναποτίθεται πάνω από την προηγούμενη διατομή, που έχει κοπεί. Το τελικό πρωτότυπο έχει τη μορφή ξύλου (εξάλλου το χαρτί προέρχεται από ξύλο).



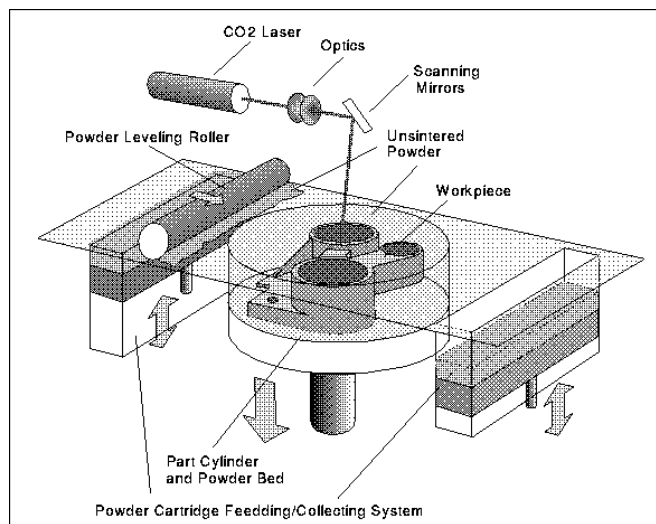
7.7.4. 3D Printers

- Κομμάτια από πλαστικό σε επιτραπέζια συστήματα.
- Παρόμοια χαρακτηριστικά με τις FDM, αλλά με πιο χαμηλή ακρίβεια και κόστος.
- Μεγάλη ταχύτητα κατασκευής κομματιών και μέτρια ακρίβεια.
- Κομμάτια με τραχεία επιφάνεια.
- Δυνατότητα χρήσης χρωμάτων.
- Μεγάλη αντοχή κομματιών.
- Αρχή λειτουργίας: Παρόμοια με την FDM, αλλά με σημαντικά χαμηλότερη ακρίβεια και ποιότητα επιφάνειας.



7.7.5. Sintering

- Μεγάλη γκάμα υλικών, κυρίως νάιλον. Βασικό χαρακτηριστικό η δυνατότητα κατασκευής μεταλλικών κομματιών.
- Δεν απαιτούνται στηρίγματα (supports).
- Κομμάτια με τραχεία επιφάνεια, στην οποία μπορεί να γίνει κατεργασία για τη βελτίωση της ποιότητας της.
- Μεγάλη αντοχή κομματιών, ακρίβεια και κόστος.
- Δυνατότητα συναρμολόγησης εξαρτημάτων.
- Μεγαλύτερος χρόνος κατασκευής κομματιού.
- Δυνατότητα κατασκευής σχετικά μεγάλων αντικειμένων (κομμάτια διαστάσεων μέχρι 0.5 m).
- Αρχή λειτουργίας: Η σκόνη στερεοποιείται με τη βοήθεια ακτίνας laser. Τελικά μένει μόνο το πρωτότυπο και το υπόλοιπο υλικό απομακρύνεται, αφού παραμένει σε μορφή σκόνης.



Κεφάλαιο 8

Εισαγωγή στην Τεχνολογία Rapid Tooling

8.1. Εισαγωγή

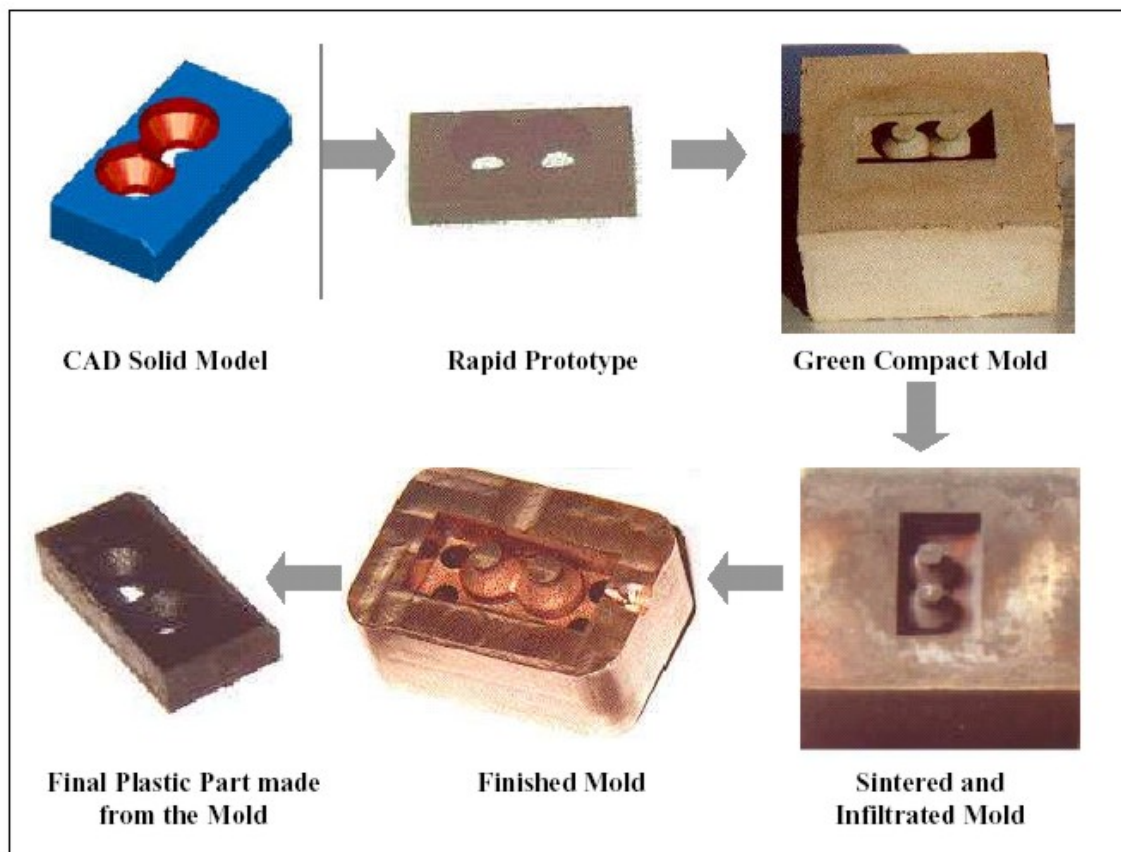
Στην ενότητα αυτή γίνεται εισαγωγική αναφορά στην τεχνολογία της Rapid Tooling.

8.2. Γενικά χαρακτηριστικά για τις μεθόδους Rapid Tooling

- Έχουν ως στόχο τη μείωση του χρόνου κατασκευής εξαρτημάτων σε σχέση με τις συνήθεις μεθόδους κατεργασίας.
- Αφορούν κυρίως την κατασκευή καλουπιού, από το οποίο θα προκύψει το αντικείμενο, που πρόκειται να κατασκευαστεί.
Στις περισσότερες μεθόδους πρέπει να υπάρχει αρχικά το αντικείμενο, είτε σε πραγματική μορφή, είτε σε μορφή πρωτοτύπου, κατασκευασμένου με κάποια μέθοδο ταχείας πρωτοτυποποίησης.
- Παρέχουν τη δυνατότητα κατασκευής πρωτοτύπων σε κάποιες ποσότητες, γρήγορα, οικονομικά και με μεγάλη ποικιλία υλικών. Ανάλογα με το μέθοδο, το καλούπι που θα κατασκευαστεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός μόνο αντικειμένου, μερικών δεκάδων, εκατοντάδων ή χιλιάδων αντικειμένων.
- Τα καλούπια που κατασκευάζονται με τη χρήση των μεθόδων Rapid Tooling μπορεί να είναι μεταλλικά (σιδηρούχα ή μη σιδηρούχα υλικά) ή πλαστικά (θερμοπλαστικά, ουρεθάνες, κλπ.).
- Δεν είναι εφικτή η χρήση όλων των μεθόδων σε όλες τις παραγωγικές διαδικασίες.
- Έχουν αναπτυχθεί πολλές και διαφορετικές μέθοδοι. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου σε κάθε σύστημα επηρεάζεται από παραμέτρους, όπως ο απαιτούμενος χρόνος κατασκευής του δοκιμίου, το υλικό του δοκιμίου και του καλουπιού για την παραγωγή του, το απαιτούμενο πλήθος αντικειμένων που πρέπει να κατασκευαστούν, η επιθυμητή ακρίβεια του δοκιμίου, κλπ.
- Σημαντική παράμετρο για την ανάπτυξη των μεθόδων αποτελεί η εξέλιξη στην τεχνολογία των υλικών.

- Το κόστος κατασκευής καλουπιών μπορεί να μειωθεί έως 40% από την αντικατάσταση συμβατικών τεχνολογιών με τεχνολογίες Rapid Tooling.

8.3. Σκοπιμότητα χρήσης μεθόδων Rapid Tooling στην παραγωγή προϊόντων



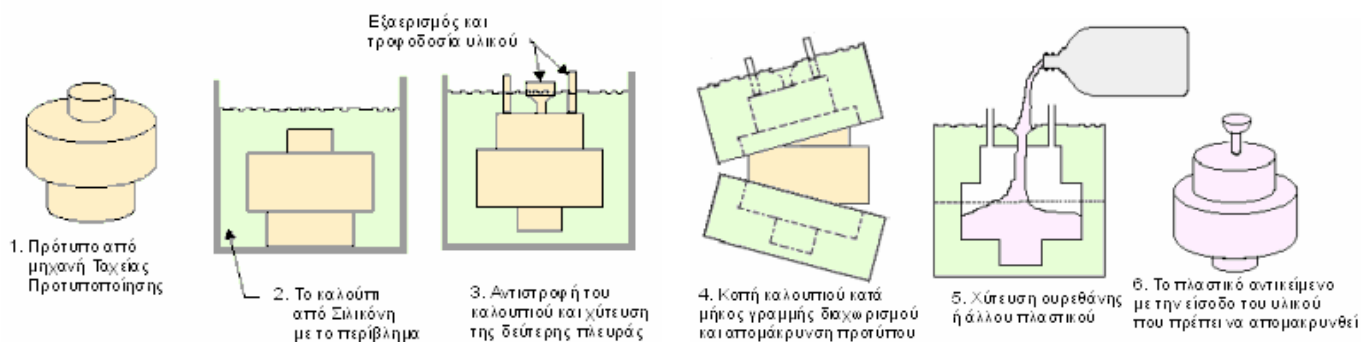
8.4. Ιστορικά στοιχεία για τις μεθόδους Rapid Tooling

- **1993**: Παρουσιάστηκε η πρώτη μέθοδος Rapid Tooling από την εταιρία Soligen Technologies Inc.
- **1995**: Η εταιρία D.T.M. Corp. ανέπτυξε μια μέθοδο για την κατασκευή μεταλλικών καλουπιών με τη χρήση μεθόδων Rapid Tooling.
- **1995** -: Έχουν παρουσιαστεί πολλές διαφορετικές τεχνολογίες από διάφορες εταιρίες (π.χ. EOS, 3D Systems, κλπ.).

8.5. Έμμεσοι Μέθοδοι Rapid Tooling

8.5.1. RTV Molding/Urethane Casting

- Καλούπια από σιλικόνη.
- Κατασκευάζονται περίπου 10 αντικείμενα από πολυουρεθάνη, τα οποία επιδέχονται μηχανική κατεργασία. Επίσης μπορούν να κατασκευαστούν κομμάτια από άλλα υλικά, όπως κερι, τα οποία δεν επιδέχονται μηχανική κατεργασία.
- Απαιτείται πρωτότυπο για την κατασκευή του καλουπιού, οι διαστάσεις του οποίου πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η συρρίκνωση της σιλικόνης.
- Σε κάποιες εφαρμογές μπορεί να γίνει ενδιάμεση επεξεργασία με άμμο, ώστε να μπορεί να αφαιρεθεί το αντικείμενο, όταν κατασκευαστεί το καλούπι.
- Ο χρόνος σκλήρυνσης του καλουπιού μπορεί να είναι από 30 λεπτά ως 40 ώρες.
- Έχουν παρουσιαστεί 3 παραλλαγές της μεθόδου:
 - Gravity Casting: Έγχυση βασισμένη στη βαρύτητα.
 - Vacuum Cast Molding: Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο Εργαστήριο του μαθήματος.
 - Thin Wall RIM: 3 έως 4 αντίγραφα την ώρα.
 - RIM - Reaction Injection Molding: Χρήση συστήματος έγχυσης ρητίνης, χωρίς θαλάμους κενού.
- Η σκλήρυνση του κομματιού γίνεται γρήγορα, λόγω της ανάμειξης των ρητινών.



8.5.2. Spin Casting

- Καλούπια από σκληρυμένο ελαστικό, (όπως και τα σιλικόνης) που τίθενται κατά ακτινικό τρόπο σε ένα δισκοειδές εργαλείο.
- Γίνεται χύτευση πολυουρεθάνης ή κραμάτων ψευδαργύρου. Το γέμισμα του καλουπιού γίνεται με τη βοήθεια της φυγοκέντρου δύναμης, που εξασκείται από την περιστροφή του δισκοειδούς εργαλείου.
- Ιδανική διαδικασία για τη μορφοποίηση μικρών χυτών από ψευδάργυρο, τα οποία τελικά θα παραχθούν χυτοπρεσαριστά.
- Εάν η διαδικασία γίνει με προσοχή, τότε το εργαλείο της φυγοκεντρικής χύτευσης μπορεί να παράγει μέχρι 100 αντικείμενα, προτού χαλάσει. Μπορούν να χυτευθούν και αντικείμενα από κράματα με χαμηλό σημείο τήξης.
- Τα προτερήματα της φυγοκεντρικής χύτευσης είναι:
 - Η επιλογή των υλικών, από πολυουρεθάνη μέχρι ψευδάργυρο.
 - Η διαδικασία είναι σχετικά γρήγορη και τα εργαλεία σχετικά φθηνά.
- Τα μειονεκτήματα είναι:
 - Το μέγεθος των αντικειμένων είναι μικρό.
 - Δεν αποτελεί κανονική διαδικασία παραγωγής, με αποτέλεσμα οι μηχανικές ιδιότητες του αντικείμενου από ψευδάργυρο να μην είναι ίδιες με τις ιδιότητες του χυτοπρεσαριστού αντικείμενου.

8.5.3. Cast Resin Tooling

- Απλή και οικονομική μέθοδος παραγωγής εργαλείου για χύτευση υπό πίεση (injection molding) θερμοπλαστικών αντικειμένων.
- Τοποθετείται το πρότυπο σε ένα κιβώτιο, χαράσσεται η γραμμή διαχωρισμού (parting line), βάφεται και στη συνέχεια χύνεται ρητίνη πάνω από το πρότυπο μέχρις ότου σχηματιστεί το μισό του εργαλείου. Στη συνέχεια μετά τη δημιουργία του πρώτου μισού του εργαλείου, επαναλαμβάνεται η διαδικασία για το άλλο μισό εργαλείο.
- Χρησιμοποιείται ποικιλία ρητινών με διαφορετικά μηχανικά και θερμικά χαρακτηριστικά (οι εποξικές είναι οι πιο συνήθεις).
- Οι ρητίνες αναμιγνύονται με σκόνη ή σφαιρίδια αλουμινίου, για να βελτιωθεί η θερμική αγωγιμότητα και η αντοχή σε συστολή του εργαλείου και για να μειωθεί το κόστος της ρητίνης.
- Τα εργαλεία αυτά παράγουν 100 έως 200 χυτά αντικείμενα, παρ' όλο που είναι δυνατόν να κατασκευαστούν μέχρι 1,000 αντικείμενα, ανάλογα με το υλικό που χυτεύεται.
- Τα προτερήματα της μεθόδου είναι:
 - Γρήγορη και σχετικά απλή διαδικασία.

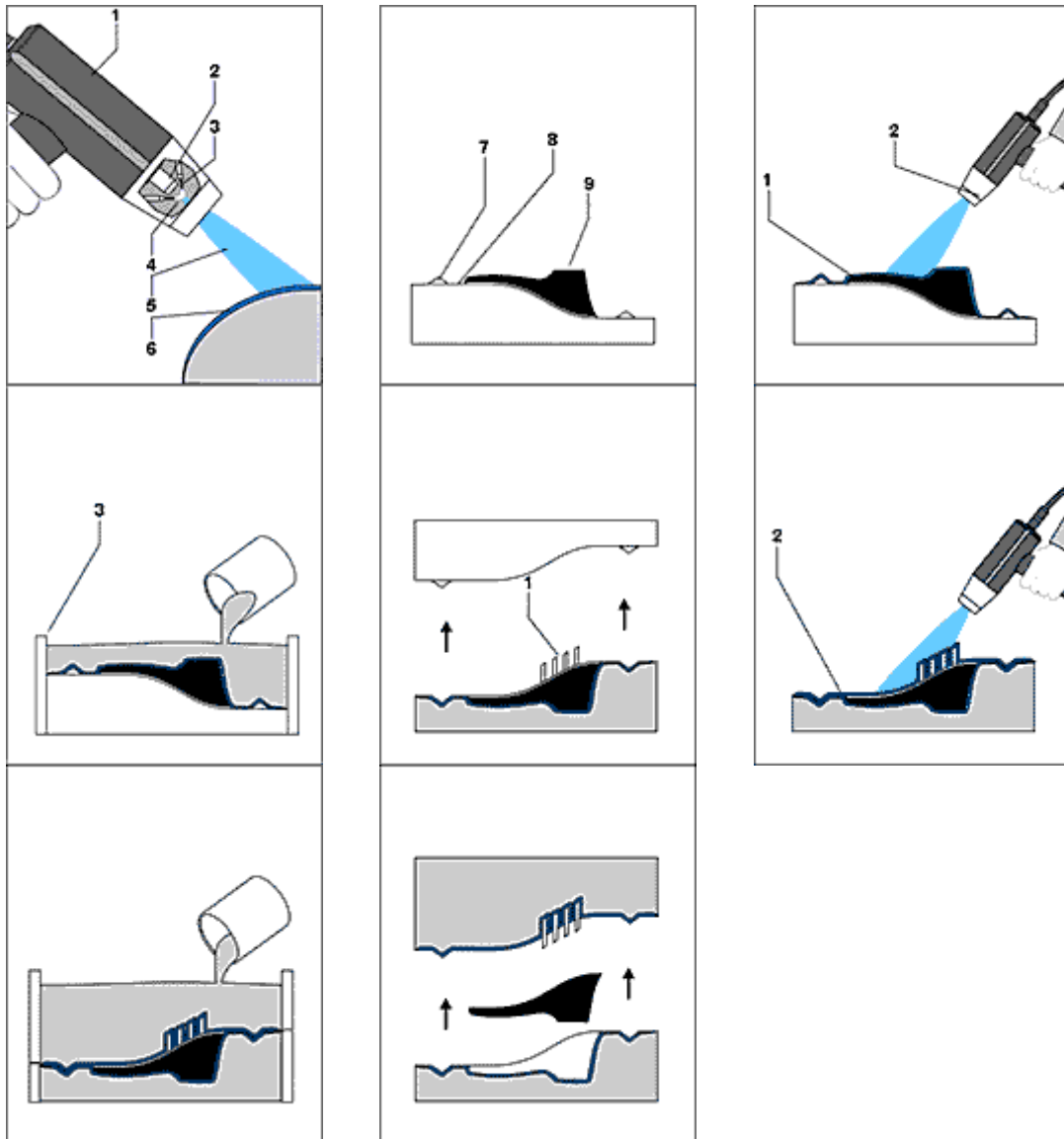
- Μπορεί να παράγει αντικείμενα από τα περισσότερα θερμοπλαστικά υλικά, όπως πολυπροπυλένιο και ABS.
- ➔ Το μειονέκτημα είναι:
 - Η χαμηλή αντοχή του καλουπιού.
 - Η διαδικασία είναι κατάλληλη για σχετικά απλά αντικείμενα.
 - Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του υλικού του καλουπιού έχει ως αποτέλεσμα μεγάλους χρόνους παραγωγής.

8.5.4. Spray Metal Tooling

- ➔ Κράμα ψευδαργύρου / αλουμινίου ψεκάζεται από ακροφύσιο πάνω στο πρωτότυπο και δημιουργείται ένα περίβλημα με πάχος 0.060 – 0.125 in.
- ➔ Το κέλυφος που δημιουργείται ενισχύεται στη συνέχεια με ρητίνη υψηλής επεξεργασίας ή κράμα μετάλλων χαμηλής τήξης.
- ➔ Στο καλούπι μπορεί να γίνει χύτευση μεγάλης γκάμας υλικών από πολυπροπυλένιο, έως σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού.
- ➔ Απαιτείται χωριστή διαδικασία για τα δύο επιμέρους κομμάτια του καλουπιού.
- ➔ Σημαντικό ρόλο έχει η προετοιμασία το πρωτοτύπου, το οποίο πρέπει να επιστρωθεί με άμμο και να λειανθεί, αφού όλες οι ατέλειες γίνονται εμφανείς στο κέλυφος κατά τον ψεκασμό.
- ➔ Συνήθως κατασκευάζεται πρωτότυπο από ουρεθάνη, γιατί υπάρχει πιθανότητα να καταστραφεί το πρωτότυπο που θα χρησιμοποιηθεί.
- ➔ Οι διαχωριστικές επιφάνειες μεταξύ του πρωτοτύπου και του καλουπιού γίνονται με πηλό.
- ➔ Όλο το καλούπι τοποθετείται σε πλαίσιο από αλουμίνιο ή χάλυβα, για να απορροφούνται οι πιέσεις του καλουπιώματος.
- ➔ Τα καλούπια μπορούν να επιμεταλλωθούν, για να αυξηθεί η αντοχή τους.
- ➔ Παραλλαγές της μεθόδου:
 - Sprayed Steel: Χρησιμοποιούνται πολλαπλές κεφαλές ψεκασμού. Η διαδικασία παράγει πολύ πιο σκληρά εργαλεία με συνέπεια να επιτυγχάνεται μια πολύ πιο χρήσιμη διαδικασία από τα συμβατικά εργαλεία ψεκασμού. Έχει αγοραστεί από τη Ford Motor Company (Dearborn, Michigan) Το κύριο πλεονέκτημα της διαδικασίας Sprayform είναι ότι είναι κατάλληλη για μεγάλα εργαλεία ειδικά για καλούπια αποτύπωσης ελάσματος (sheet metal stamping dies).



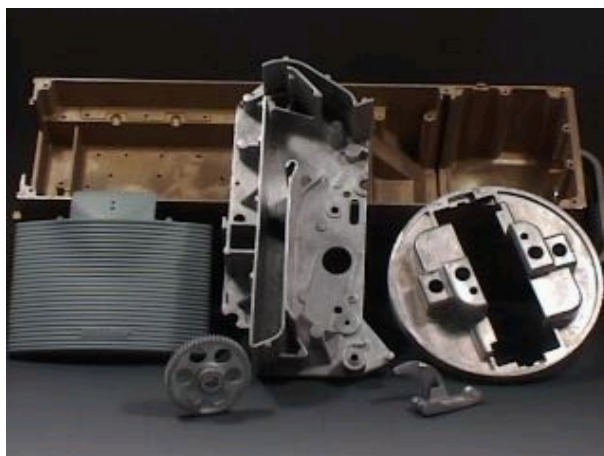
- Rapid Solidification Process: Μπορεί να αποθέσει εκατοντάδες κιλά υλικού ανά ώρα, ενώ η συμβατική τροφοδοσία με ηλεκτρόδιο αποθέτει 7 kg/ώρα. Αυτό σημαίνει ότι η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία όλου του εργαλείου, ενώ η κλασική μέθοδος δημιουργεί μόνο το κέλυφος και αυτό απαιτεί πρόσθετη ενίσχυση. Ένας περιορισμός επί του παρόντος είναι το μέγεθος που είναι περίπου 150 mm.



8.5.5. Rubber Plaster Mold (RPM)

- ➔ Κατασκευάζεται ένα θετικό πρωτότυπο του αντικειμένου στην SLA.
- ➔ Το πρωτότυπο χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλουπιού από σιλικόνη.
- ➔ Με το καλούπι από σιλικόνη κατασκευάζεται ένα silicon rubber πρωτότυπο, ίδιο με το SLA πρωτότυπο.
- ➔ Το πρωτότυπο αυτό χρησιμοποιείται για την κατασκευή του καλουπιού.

- Το silicon rubber πρωτότυπο απομακρύνεται και μέταλλο χύνεται μέσα στην κοιλότητα, για τη δημιουργία του καλουπιού.



8.5.6. Rubber Plaster Casting

- Χρησιμοποιείται για την κατασκευή εξαρτημάτων αλουμινίου με πολύπλοκο σχήμα, τα οποία απαιτούν καλύτερη ποιότητα επιφάνειας από αυτή που θα μπορούσε να κατασκευαστεί με κάποια άλλη μέθοδο, όπως η Sand Casting.
- Χρησιμοποιείται ένα θετικό πρωτότυπο του αντικειμένου, κατασκευασμένο στη LOM, γύρω από το οποίο τοποθετείται ένα στρώμα rubber.
- Γύρω από το στρώμα rubber τοποθετείται γύψος και το στρώμα rubber αφαιρείται.
- Μέταλλο χύνεται μέσα στην κοιλότητα του γύψου, ο οποίος σπάζεται και απομακρύνεται.

8.5.7. Electroforming

- Ένα παχύ κέλυφος (μερικά χιλιοστά) αποτίθεται με ηλεκτρισμό πάνω σε ένα πρότυπο. Πριν αρχίσει η ηλεκτρική απόθεση η επιφάνεια πρέπει να είναι ηλεκτρικά αγωγίμη.
- Μετά την επικάλυψη, το κέλυφος απομακρύνεται και υποστηρίζεται με ένα κατάλληλο υλικό.
- Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την παραγωγή εργαλείων για σόλες υποδημάτων, με πολύπλοκες μορφές από μοντέλα κεριού.
- Το νικέλιο είναι ένα σύνηθες υλικό για ηλεκτροδιαμόρφωση, και έχει καλή θερμική αγωγιμότητα και αντοχή.
- Η διαδικασία δίνει αξιόπιστες αναπαραγωγές του πρότυπου, αλλά έχει περιορισμό ως προς τις μορφές που μπορεί να αποδώσει, ιδιαίτερα για βαθιές και στενές σχισμές ή οπές.

8.5.8. Cast Aluminum and Zinc Kirksite Tooling

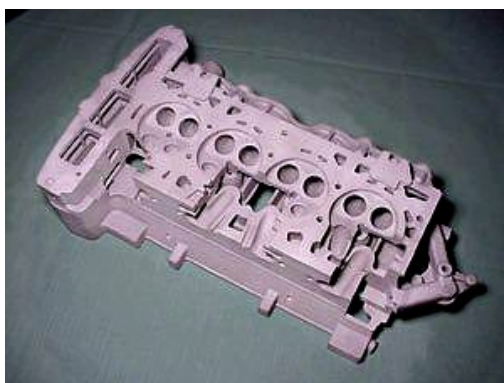
Χρησιμοποιώντας εργαλεία σιλικόνης, παράγεται μια κοιλότητα γύρω από το μοντέλο. Εντύτοις, αντί να παραχθεί ένα αντίγραφο από ρητίνες, η κοιλότητα της σιλικόνης γεμίζει με κεραμικό.

Μετά την ξήρανση το κεραμικό αντίγραφο τοποθετείται σε ένα στήριγμα και καλύπτεται με λειωμένο μέταλλο.

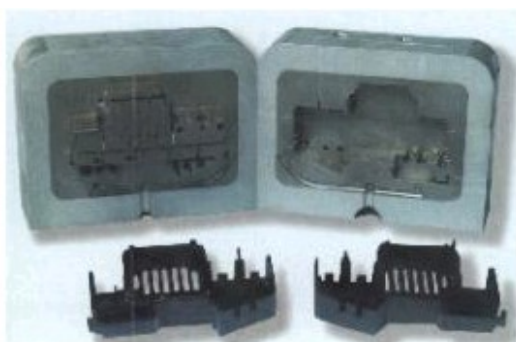
Εργαλεία από χυτό αλουμίνιο και ψευδάργυρο αποτελούν μια απλή και φθηνή μέθοδο δημιουργίας εργαλείων. Στα μειονεκτήματα είναι η παραμόρφωση των εργαλείων, προβλήματα ακρίβειας λόγω συστολής και γεωμετρικών περιορισμών (δηλ. δεν μπορούμε να έχουμε λεπτά χαρακτηριστικά).

8.5.9. Direct Investment Casting

- Χρησιμοποιούνται πρωτότυπα από ρητίνες, τα οποία τελικά καίγονται.
- Συνολικός απαιτούμενος χρόνος 3 έως 4 εβδομάδες.
- Αντικείμενα από 1 έως 36 in.



8.5.10. 3D Keltool

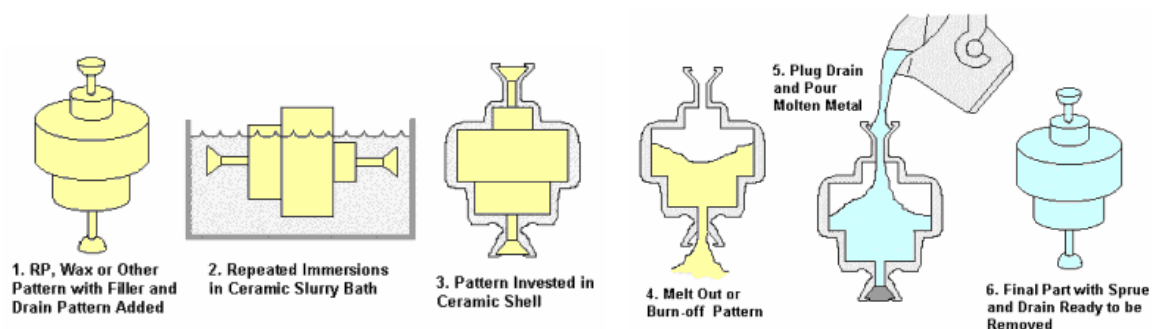


- Μέθοδος για την γρήγορη και οικονομική παραγωγή μαλακών εξαρτημάτων, με μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Το ολοκληρωμένο τεμάχιο Keltool έχει μεγάλη αντοχή και επιτρέπει την περαιτέρω επεξεργασία.
- Κατασκευή από 100 έως 1 εκ. Αντικείμενα με ένα καλούπι.
- Απαιτείται αρχικό πρωτότυπο και η δημιουργία ενδιάμεσου πρωτοτύπου με την τεχνολογία RTV.

- Το ενδιάμεσο πρωτότυπο τοποθετείται σε μια βάση, η οποία γεμίζεται με σκόνη, που στερεοποιείται με τεχνολογία αντίστοιχη με την sintering της τεχνολογίας RP.

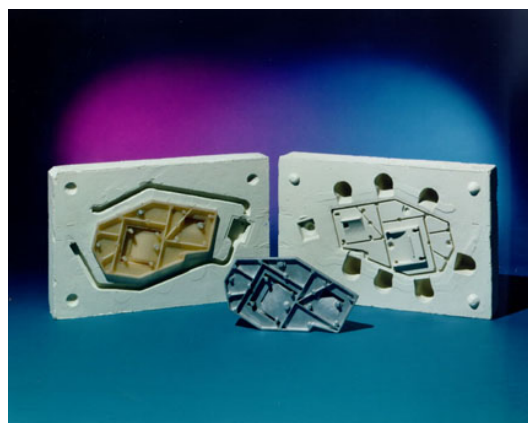
8.5.11. Indirect Investment Casting

- Αντίστοιχη διαδικασία με την Direct Investment Casting, με τη διαφορά ότι το πρωτότυπο είναι από κερί, το οποίο, για να απομακρυνθεί, λιώνει κατά τη διάρκεια κατασκευής του καλουπιού.



8.5.12. Composite Tooling (Epoxy Tooling)

- Απαιτούμενος χρόνος 2 έως 6 εβδομάδες.
- Μείωση κόστους 50 – 70% σε σχέση με τα εξαρτήματα αλουμινίου.
- Παραγωγή ιδιαίτερα ανθεκτικών αντικειμένων από epoxy. Η επιλογή του υλικού γίνεται με βάση τις απαιτήσεις και την εμπειρία των κατασκευαστών.
- Κατασκευάζει αντικείμενα από καλούπια με ψεκασμό, με διαδικασία παρόμοια με την RTV.
- Απαιτείται πρωτότυπο για την κατασκευή του καλουπιού.



- Κατασκευάζεται ένα ενδιάμεσο RTV καλούπι, για την αναπαραγωγή του αντικειμένου σε ουρεθάνη, γιατί το αντικείμενο συνήθως καταστρέφεται κατά τη διάρκεια του epoxy molding.
- Γίνεται πολλαπλή επεξεργασία σκλήρυνσης. Απαιτούμενος χρόνος από 30 λεπτά έως πάνω από 40 ώρες.
- Το καλούπι κατεργάζεται, για να τοποθετηθούν οπές, κλπ.
- Πρέπει να μελετηθεί εκ νέου το σχέδιο, ώστε να επιβεβαιωθεί η δυνατότητα εξαγωγής του αντικειμένου από το καλούπι.

8.5.13. PHAST (Prototype Hard and Soft Tooling)

- Αναπτύχθηκε από την Procter & Gamble και παρουσιάστηκε το 1997.
- Κατασκευάζει τις εσωτερικές διαμορφώσεις καλουπιού από την αντίστροφη γεωμετρική μορφή αντικειμένων σε 2 ημέρες. Συνολικός απαιτούμενος χρόνος 2 έως 3 εβδομάδες.
- Καλούπια 8 – 12 in με ικανότητα κατασκευής 50 – 500 τεμαχίων.



8.5.14. Quickcast



- Παρόμοια διαδικασία με την Investment Casting, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούνται πρωτότυπα στερεολιθογραφίας, αντί για πρωτότυπα από κερί.
- Το πρωτότυπο κατασκευάζεται σε 1 έως 2 μέρες και έχει κυψελωτό γραμμοσκιασμένο σχήμα. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, το πρωτότυπο ελέγχεται για διαρροή, αφού πρέπει να είναι αεροστεγές.
- Ο συνολικός απαιτούμενος χρόνος για την ολοκλήρωση της



διαδικασίας είναι 1 έως 4 εβδομάδες.

- Το πρωτότυπο καίγεται κατά τη διαδικασία, αφήνοντας πολύ μικρό υπόλειμμα.
- Το πρωτότυπο επικαλύπτεται με κεραμικό και πραγματοποιείται διαδικασία ανάφλεξης, για να καεί το πρωτότυπο.

8.5.15. Sand Casting

- Δημιουργούνται αποτυπώματα πρωτοτύπων αντικειμένων σε καλούπια από άμμο, στα οποία γίνεται χύτευση μετάλλου.
- Η μέθοδος χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεταλλικών αντικειμένων, με χαμηλή επιφανειακή ποιότητα, οπότε συνήθως χρησιμοποιείται για ογκώδη αντικείμενα.
- Παραγωγή μεγάλου αριθμού τεμαχίων.
- Χρησιμοποιούνται πρωτότυπα από τη LOM.



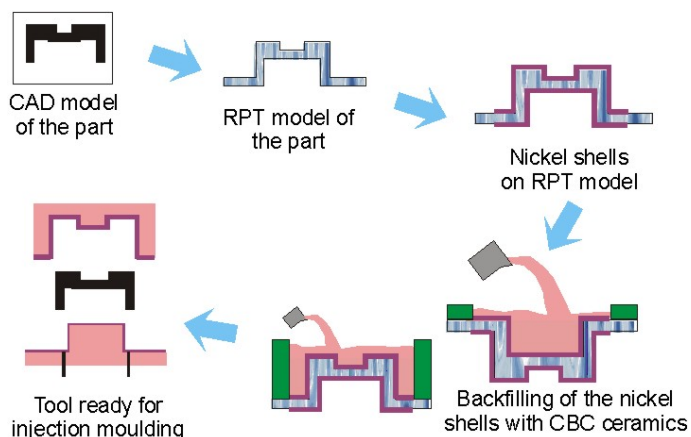
8.5.16. Topographic Shell Formation (TSF)

- Αναπτύχθηκε από την εταιρία Formus και αφορά την κατασκευή φυσικών πρωτοτύπων από 3D CAD σχέδια.
- Ενδείκνυται για την κατασκευή μεγάλων αντικειμένων.
- Το χτίσιμο του μοντέλου γίνεται σε επίπεδα. Δημιουργούνται διαδοχικά επίπεδα πυριτίου και κεριού παραφίνης. Το κερί ψεκάζεται σε λιωμένη μορφή από μια βαλβίδα.
- Το πρωτότυπο φινιρίζεται με μια διαδικασία λείανσης της επιφάνειας και στη συνέχεια επενδύεται με γύψο ή Duratec, το οποίο στεγανοποιείται, επικαλύπτεται με κερί και γυαλίζεται.

- Το πρωτότυπο αυτό χρησιμοποιείται για την κατασκευή του καλουπιού, το οποίο μπορεί να είναι από υαλοβάμβακα, epoxy ή αφρό.

8.5.17. Nickel Ceramic Composite (NCC)

- Κατασκευάζεται ένα πρωτότυπο συνήθως στην SLA, το οποίο έχει παραπάνω μισή ίντσα στην κατάλληλη διεύθυνση, σα να μην ήταν το καλούπι κλειστό κατά την κατασκευή του.
- Το πρωτότυπο επικαλύπτεται με ηλεκτροδιαμορφωμένο νικέλιο με πάχος περίπου 0.1 in.
- Στη συνέχεια ψήνεται με θερμαινόμενο κεραμικό, το οποίο γεμίζει το κενό ανάμεσα στο κέλυφος και στο πλαίσιο του καλουπιού.
- Τα καλούπια έχουν ακριβώς την ίδια επιφάνεια με το πρωτότυπο SLA που χρησιμοποιήθηκε.
- Το καλούπι μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 6 X 6 X 6 in³ και είναι κατάλληλο για injection.
- Το καλούπι έχει διάρκεια ζωής 10000 έως 50000 τεμάχια.
- Η μέθοδος είναι ακόμη υπό ανάπτυξη.



8.5.18. Polysteel

- Η μέθοδος αναδιπλασιάζει μοντέλα RP για την παραγωγή πολύπλοκων καλουπιών injection διαφόρων μεγεθών.
- Το καλούπι μπορεί να κατασκευαστεί σε 2 έως 3 μέρες από τη στιγμή που θα υπάρχει το πρωτότυπο.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από 100 διαφορετικά υλικά με διαφορετικές τεχνολογίες μορφοποίησης.
- Τα δύο μέρη του καλουπιού παράγονται από ημιστερεό μίγμα πολυμερούς / χάλυβα, το οποίο διαμορφώνεται με βάση το πρωτότυπο.
- Το καλούπι είναι περισσότερο ανθεκτικό από αλουμίνιο 6061 T6.
- Το καλούπι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περισσότερα από 18000 τεμάχια.
- Η μέθοδος είναι περισσότερο ακριβής από άλλες μεθόδους Rapid Tooling, με ποσοστό συρρίκνωσης μόνο 0.0001 inch/inch.

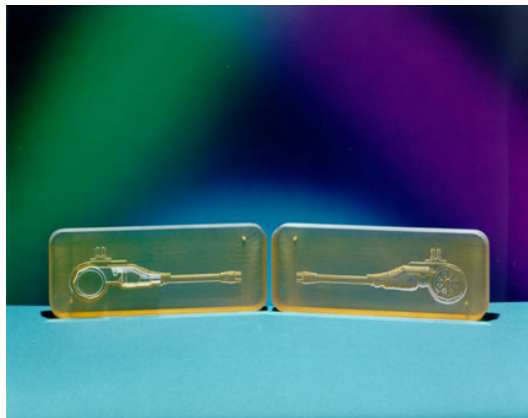


- Δεν υπάρχει περιορισμός στο μέγεθος του καλουπιού.

8.6. Άμεσοι Μέθοδοι Rapid Tooling

8.6.1. Direct Aim (Aces Injection Molding)

- Κατασκευή του καλουπιού απευθείας στην SLA, χωρίς τη χρήση πρωτοτύπου.
- Χρόνος κατασκευής περίπου 1 εβδομάδα.
- Δημιουργείται ένα ενδιάμεσο περίβλημα από το ίδιο υλικό, ώστε να μπορεί να αφαιρεθεί το αντικείμενο από το καλούπι.
- Παραγωγή αντικειμένων από θερμοπλαστικά, αλουμίνιο, κεραμικά και χαμηλής τήξεως μέταλλα.
- Τα μέρη του καλουπιού συναρμολογούνται και ευθυγραμμίζονται.
- Οι επιφάνειες των αντικειμένων επιδέχονται επεξεργασία για βελτίωση της ποιότητάς τους.



8.6.2. SLS RapidSteel (Rapid Tool)

- Μέθοδος παρόμοια με τη sintering της τεχνολογίας RP. Η σκόνη αποτελείται από σφαιρίδια ανθρακούχου χάλυβα επικαλυμμένα με θερμοπλαστική συγκολλητική ύλη (green part).
- Τα καλούπια έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα, η οποία επιτρέπει την κατασκευή τοιχωμάτων μέχρι 0,040 in.
- Το καλούπι κατασκευάζεται με βάση το πρωτότυπο του αντικειμένου, το οποίο τοποθετείται σε επιφάνεια αλουμινίου και περικλείεται από ράβδους χαλκού.
- Το green part μετατρέπεται σε καλούπι υψηλής πυκνότητας μέσα σε κλίβανο. Στους 300° C λιώνει το πλαστικό πολυμερές, στους 700° C αρχίζει να τήκεται η σκόνη σιδήρου και στους 1120° C ο χαλκός λιώνει και διεισδύει στο αντικείμενο μέσω τριχοειδούς κίνησης. Ο χαλκός που δεν διεισδύει, προσκολλάται στην επιφάνεια του αλουμινίου και έτσι το αντικείμενο αφαιρείται εύκολα μετά την ψύξη.
- Τα καλούπια είναι 60 % σίδηρος και 40 % χαλκός.



8.6.3. Direct Metal Laser Sintering EOSINT M

- Εμπορικό σύστημα της εταιρίας **EOS** για Direct Laser Sintering μεταλλικής κόνεως.
- Υπάρχει δυνατότητα κατεργασίας των κομματιών.
- Μπορούν να κατασκευαστούν πολύπλοκα σχήματα που δεν μπορούν να κοπούν με συμβατικά εργαλεία, απευθείας από τα CAD δεδομένα.



8.6.4. Direct Croining Process (DCP) – EOSINT S

- Σύντηξη με laser. Γίνεται χρήση ειδικής μηχανής της **EOS**.
- Τα καλούπια για χυτά πολύπλοκα μεταλλικά εξαρτήματα κατασκευάζονται από χώμα χυτηρίου με επικάλυψη σε λίγες ώρες από το αρχείο CAD.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σειρά παραγωγής μικρών αντικειμένων.
- Δεν απαιτείται η χρήση πρωτοτύπου.

8.6.5. Copper Polyamide Tooling

- Με τη διαδικασία αυτή με τη χρήση laser γίνεται σύντηξη κόνιας χαλκού με πολυαμίδιο, για τη δημιουργία του εργαλείου.
- Η διαδικασία δείχνει μια αύξηση στην σκληρότητα του εργαλείου και στη μετάδοση της θερμότητας έναντι των άλλων μεθόδων μαλακών εργαλείων. Τα χαρακτηριστικά αυτά παρέχονται από το χαλκό και δίνουν στον χρήστη τη δυνατότητα να λειτουργεί το καλούπι σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που προσεγγίζουν αυτές της κανονικής διαδικασίας παραγωγής.
- Το κύριο μειονέκτημα είναι η χαμηλή αντοχή του εργαλείου.

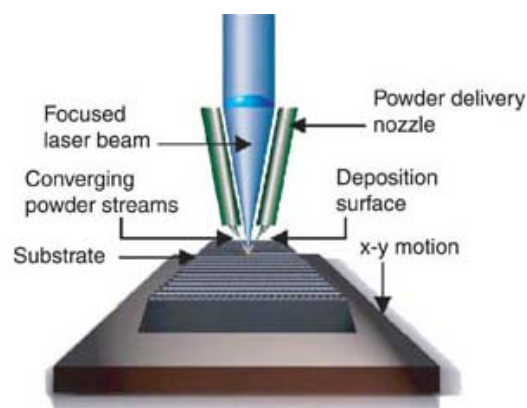
8.6.6. Laminated Tooling

- Τα εργαλεία από στρώματα είναι μια εναλλακτική μέθοδος δημιουργίας κοιλοτήτων από μηχανές ταχείας προτυποποίησης.
- Η αρχή λειτουργίας είναι ίδια με τη μέθοδο Στρωματικής Δημιουργίας Αντικειμένων (Laminated Object Manufacturing - LOM), προσαρμοσμένη σε μεταλλικό έλασμα. Η κοπή γίνεται με laser ή με δέσμης νερού (water jet).

- Τα στρώματα συγκρατούνται με πρόσδεση ή με σύνδεση διάχυσης.
- Λόγω του σχετικά μεγάλου πάχους των ελασμάτων (περίπου 1 mm) η τελική επιφάνεια του εργαλείου δεν είναι καλή. Συνεπώς, απαιτείται κάποια τελική επεξεργασία.
- Τα στρωματικά εργαλεία έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε μια ποικιλία τεχνικών όπως, φουσητά καλούπια, χύτευση υπό πίεση και θερμική διαμόρφωση. Επίσης, εξετάζεται η χρήση τους σε χυτόπρεσες υπό πίεση.
- Η διάρκεια ζωής του εργαλείου είναι συνάρτηση του αρχικού υλικού του ελάσματος.
- Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των εργαλείων από στρώματα είναι η ικανότητά τους να αλλάζουν την σχεδίαση του εξαρτήματος γρήγορα, αντικαθιστώντας μερικά στρώματα (εάν δεν είναι κολλημένα). Ειδικά κανάλια ψύξης είναι επίσης εφικτό να ενοποιηθούν μέσα στο σχέδιο του εργαλείου και η μέθοδος είναι κατάλληλη για μεγάλα εργαλεία.
- Το κύριο μειονέκτημα είναι η απαιτούμενη τελική επεξεργασία για την απομάκρυνση των σκαλοπατιών που δημιουργούνται από τη διαδικασία.

8.6.7. LENS

- Στο σύστημα αυτό μεταλλική κόνια τοποθετείται σε ένα μπάνιο λειωμένου μετάλλου που έχει δημιουργηθεί από μια εστιασμένη ακτίνα laser Nd:YAG.
- Η διαδικασία παραγωγής γίνεται σε θάλαμο χαμηλής πίεσης αργού και είναι σε περιβάλλον ελεύθερο από οξυγόνο.
- Ένα σύστημα κίνησης κινεί μια πλατφόρμα οριζόντια και κάθετα καθώς η ακτίνα laser διαγράφει την διατομή του αντικειμένου που πρόκειται να παραχθεί. Μετά τη δημιουργία ενός στρώματος του αντικειμένου, το ακροφύσιο παραοχής της κόνιας του μετάλλου κινείται προς τα επάνω για την δημιουργία του επόμενου στρώματος.

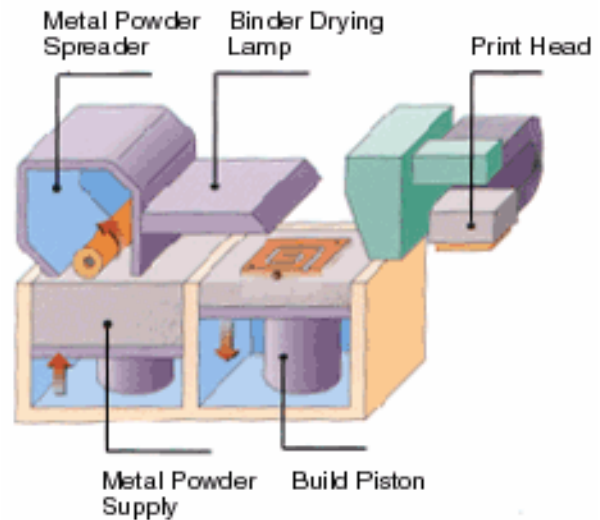


- Σήμερα έχει επιτευχθεί η παραγωγή εξαρτημάτων από ανοξειδωτο χάλυβα 316 και 304, από σούπερ-κράματα με βάση το νικέλιο, όπως το Inconel 625, 690 και 718, χάλυβα εργαλείων H13, τανγκστένιο - tungsten, Ti-6Al-4V κράματα τιτανίου και and νικέλιο αλουμίνιο (nickel aluminides).

- Το κύριο προτέρημα είναι 100% πυκνά αντικείμενα.
- Το μειονέκτημα είναι κακή τελική επιφάνεια και περιορισμός ως προς τον ορισμό λεπτομερειών του εξαρτήματος.

8.6.8. Prometal

- Τρισδιάστατος εκτυπωτής, για τη δημιουργία μεταλλικών αντικειμένων και εργαλείων.
- Η μηχανή μπορεί να δημιουργήσει χαλύβδινα εξαρτήματα μεγέθους 300x300x250 mm.
- Στις εφαρμογές της μεθόδου είναι η παραγωγή εργαλείων για χύτευση υπό πίεση, διαμόρφωση σε κενό, φυσητά καλούπια, πρότυπα από αφρό και για άμεση διαμόρφωση αντικειμένων από κονία μετάλλου.



8.6.9. Direct Shell Production Casting (DSPC)

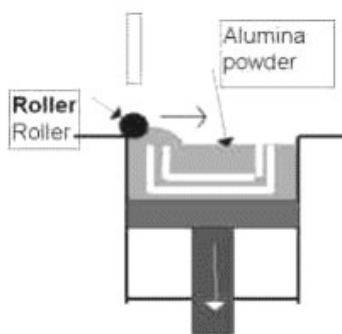


Fig 1. Alumina ceramic powder spread in a thin layer.

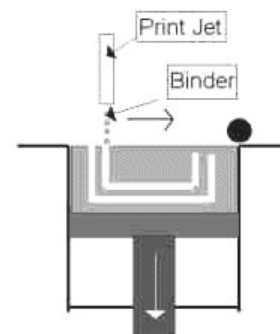


Fig 2. Print jet projecting binder into layer profile.

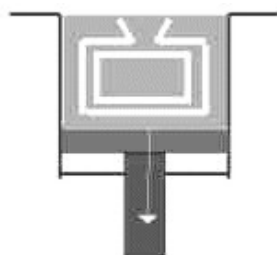


Fig 3. Completed shell is extracted from bin and excess powder removed.

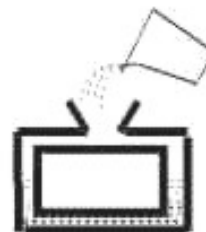


Fig 4. Shell is fired and ready to accept molten alloy.

- Παραγωγή κεραμικών καλουπιών άμεσα από 3D CAD αρχεία.
- Δεν απαιτείται χρήση πρωτοτύπου.
- Στο σύστημα CAD σχεδιάζεται απευθείας το καλούπι για την κατασκευή του εξαρτήματος. Μπορούν έτσι να κατασκευαστούν πολλά καλούπια για το αντικείμενο.
- Το 3D μοντέλο κατασκευάζεται με μέθοδο παρόμοια με την sintering της τεχνολογίας RP.
- Όλα τα λιωμένα μέταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χύτευση σε καλούπια DSPC.
- Με τη μέθοδο αυτή περιορίστηκε η ανάγκη για κατασκευή καλουπιών μικρής διάρκειας, παρέχεται η δυνατότητα εύκολης κατασκευής εναλλακτικών σχεδίων ή του ίδιου εξαρτήματος με διαφορετικά κράματα.

8.6.10. Controlled Metal Build-up (CMB)

- Η μέθοδος CMB αποθέτει το υλικό από ένα σύρμα χάλυβα και ένα laser 1-2 kW HDL συγκολλάει το χάλυβα στην επιφάνεια ενός εξαρτήματος. Με κοπή υψηλής ταχύτητας ομαλοποιεί κάθε επίπεδο πριν αρχίσει η απόθεση στο επόμενο επίπεδο.

8.7. Σύνοψη

- Όπως φαίνεται έχουν αναπτυχθεί πολλοί μέθοδοι για rapid tooling.
- Οι περισσότεροι μέθοδοι απαιτούν ένα αρχικό πρότυπο, παρ' όλο που αυξάνει ο αριθμός αυτών που προσφέρουν ένα άμεσο τρόπο δημιουργίας του εργαλείου.
- Στο άμεσο διάστημα οι έμμεσοι μέθοδοι θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται, επειδή αυτοί οι μέθοδοι είναι ήδη οι πιο ανεπτυγμένοι.
- Στο απώτερο μέλλον οι εταιρείες θα υιοθετήσουν τις άμεσες μεθόδους δημιουργίας εργαλείων επειδή οι μέθοδοι αυτοί απαλείφουν ένα στάδιο – τη χρήση των προτύπων – που μπορεί να μειώσει το χρόνο που απαιτείται για την παραγωγή του εργαλείου και τη βελτίωση της ακρίβειας της διαδικασίας.

Κεφάλαιο 9

Εισαγωγή στην τεχνολογία της Ανάστροφης Μηχανολογίας (Reverse Engineering)

9.1. Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή γίνεται εισαγωγική αναφορά στην τεχνολογία της Ανάστροφης Μηχανολογίας.

9.2. Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας Ανάστροφης Μηχανολογίας

- Η Ανάστροφη Μηχανολογία αποτελεί τεχνική για την παραγωγή τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων από αντικείμενα, μετρώντας τις διαστάσεις τους.
- Η διαδικασία σχεδιασμού αντικειμένων με τη βοήθεια υπολογιστή ξεκινάει με κάποια ιδέα, η οποία εξελίσσεται σε ένα σχεδιαστικό μοντέλο και καταλήγει στο να τροφοδοτήσει τη διαδικασία παραγωγής με το τελικό αντικείμενο. Στην Ανάστροφη Μηχανολογία το υπάρχον αντικείμενο μετρείται και τα ψηφιοποιημένα δεδομένα μετατρέπονται σε γεωμετρικό μοντέλο.
- Τεχνικές παραγωγής με τη βοήθεια υπολογιστή μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να κατασκευαστούν νέα αντικείμενα από το γεωμετρικό αυτό μοντέλο.

9.3. Περιγραφή τεχνικών ψηφιοποίησης

Όλες οι τεχνικές μοντελοποίησης, που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα αναφέρονται σε μοντέλα, τα οποία σχεδιάζονται και κατασκευάζονται εξ' ολοκλήρου σε ψηφιακή μορφή στον υπολογιστή. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, υπάρχει ένα φυσικό μοντέλο ή κάποια δεδομένα, από τα οποία είναι επιθυμητή η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου στον Η/Υ. Αν για παράδειγμα πρέπει να συμπεριληφθεί ένα ανθρώπινο κεφάλι σε ένα animation, μπορούν να ληφθούν μετρήσεις από το άτομο και να εισαχθούν τα δεδομένα σε ένα τρισδιάστατο μοντελοποιητή.

Μια τέτοια εφαρμογή απαιτεί κάποια μέθοδο, για να ληφθούν πληροφορίες από τον πραγματικό κόσμο με στόχο την εισαγωγή τους στον Η/Υ. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως ψηφιοποίηση,

αφού μετατρέπει τις πληροφορίες από το φυσικό περιβάλλον στην ψηφιακή μορφή, που απαιτείται από το λογισμικό του Η/Υ. Υπάρχει ένα πλήθος από τεχνικές ψηφιοποίησης. Άλλες τεχνικές μετατρέπουν τα τρισδιάστατα δεδομένα σε δισδιάστατη αναπαράσταση και κάποιες τεχνικές δίνουν απευθείας τρισδιάστατα μοντέλα.

Μια τεχνική που εφαρμόζεται απευθείας στα φυσικά μοντέλα είναι η πένα τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Ακουμπώντας το άκρο της πέννας στην επιφάνεια του αντικειμένου, του οποίου επιθυμείται να γίνει ψηφιοποίηση, παράγεται μια ομάδα από τρισδιάστατες XYZ συντεταγμένες, τις οποίες ο υπολογιστής αποθηκεύει. Κάθε φορά που το άκρο της πέννας ακουμπάει στην επιφάνεια αποθηκεύεται και μια συντεταγμένη. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η προσέγγιση των συντεταγμένων που αναπαριστούν όλα τα χαρακτηριστικά σημεία με μια επιφάνεια, η οποία ορίζεται από τα σημεία αυτά, και στην ουσία είναι ένα πολυγωνικό μοντέλο, που ανταποκρίνεται στη γεωμετρία της επιφάνειας.

Για να μπορέσει να παραχθεί η επιφάνεια αυτή, θα πρέπει να επιλεγθούν τα σημεία διατηρώντας μια συνέχεια με την πένα, οπότε πρέπει να έχουν καθοριστεί από πριν ποια σημεία θα αποθηκευτούν και με ποια σειρά. Ένας τρόπος, για να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο είναι σχεδιάζοντας ευθείες πάνω στην επιφάνεια, δημιουργώντας ένα πλέγμα και επιλέγοντας τους κόμβους του πλέγματος.

Η πυκνότητα του πλέγματος δεν είναι ίδια για όλο το αντικείμενο. Εκεί που το σχήμα είναι πιο πολύπλοκο, όπως σε σημεία με μεγάλη καμπυλότητα, η πυκνότητα του πλέγματος είναι μεγαλύτερη, και γενικά έτσι υπάρχει η δυνατότητα να απεικονίζονται καλύτερα οι λεπτομέρειες.

Για να προσδιορίζεται ο προσανατολισμός της πέννας, γίνεται χρήση υπερηχητικών κυμάτων σε διάφορες διευθύνσεις και μετράται ο απαιτούμενος χρόνος, για να φτάσει κάθε κύμα στο άκρο της πέννας. Τελικά σε μια οθόνη απεικονίζονται τα σημεία, που έχουν ψηφιοποιηθεί και, όταν επιλέγουν όλα τα σημεία, το λογισμικό κατασκευάζει την επιφάνεια με πολύγωνα, μετατρέποντας κάθε σημείο σε κορυφή για ένα πολύγωνο.

Μια διαφορετική τεχνική τρισδιάστατης μοντελοποίησης βασίζεται στην αρχή της δημιουργίας μιας επιφάνειας από τις καμπύλες, που δημιουργούν το περίγραμμα της. Αρχικά δημιουργείται μια σειρά από καμπύλες στο περίγραμμα και με βάση αυτές γίνεται επικάλυψη με μια επιφάνεια, η οποία είναι, είτε πολυγωνικό πλέγμα, είτε παραμετρική επιφάνεια.

Η δυσκολία της μεθόδου αναφέρεται στον τρόπο, με τον οποίο σχεδιάζεται το περίγραμμα. Η πιο διαδεδομένη τεχνική είναι αυτή της σάρωσης με ακτίνα laser της επιφάνειας και της

δημιουργίας ενός πλήθους από σημεία. Το αντικείμενο τοποθετείται σε μια περιστρεφόμενη βάση και η ακτίνα laser ακολουθεί την ακτίνα του αντικειμένου. Αυτό που μετράται και αποθηκεύεται είναι η διαδρομή της ακτίνας, σε κάθε θέση, για μια πλήρη περιστροφή του αντικειμένου και στην οθόνη του Η/Υ απεικονίζεται το περίγραμμα του αντικειμένου, για τη συγκεκριμένη διατομή. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις διατομές του αντικειμένου και, με βάση τα περιγράμματα, παράγεται μια επιφάνεια. Η ακτίνα laser έχει τη δυνατότητα να ακολουθεί όλες τις λεπτομέρειες του αντικειμένου και το βήμα, με το οποίο δημιουργεί τα περιγράμματα, μπορεί να είναι πολύ μικρό, παράγοντας πολύπλοκα σχήματα με μεγάλη ακρίβεια.

Η τεχνική αυτή με τη χρήση της ακτίνας laser είναι πολύ ουδέτερη και αποθηκεύει ένα μεγάλο πλήθος από πληροφορίες, αλλά δεν έχει καθόλου τη δυνατότητα να ξεχωρίσει, αν κάποιες από αυτές είναι χρήσιμες ή όχι. Για παράδειγμα χρησιμοποιεί ίδια πυκνότητα σημείων σε λεπτομέρειες και σε τμήματα, που κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο.

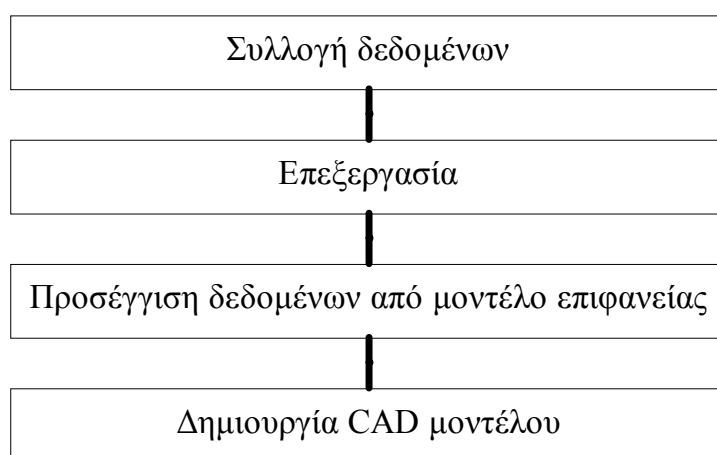
Και οι δύο τεχνικές που προαναφέρθηκαν μπορούν να δώσουν πολύ χρήσιμες πληροφορίες, ανάλογα με τη φύση του αντικειμένου, που πρόκειται να ψηφιοποιηθεί. Έχουν όμως τον αξιοσημείωτο περιορισμό, ότι εξετάζουν μόνο τις εξωτερικές επιφάνειες. Αν για παράδειγμα το αντικείμενο, που θα ψηφιοποιηθεί, αποτελείται από μια μεταλλική σφαίρα μέσα σε μία ημιδιαφανή πλαστική σφαίρα και οι δύο μέθοδοι θα προσδιορίσουν μόνο τη πλαστική σφαίρα. Επίσης μπορεί η γεωμετρία να είναι τέτοια, που να μην επιτρέπει την πρόσβαση, ούτε στην πένα, ούτε στην ακτίνα, όπως στην περίπτωση σχήματος σαν μανιτάρι, όπου από την κάτω εσωτερική πλευρά δεν υπάρχει η δυνατότητα να δοθούν πληροφορίες με καμία από αυτές τις μεθόδους.

Αυτοί οι περιορισμοί μπορεί να είναι σημαντικοί σε κάποιες περιπτώσεις. Έχουν αναπτυχθεί κάποιες τεχνικές για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων, ειδικά σε προβλήματα της ιατρικής. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στον τεμαχισμό του αντικειμένου σε κάθετες φέτες και στη δημιουργία του μοντέλου από την ένωση των φετών αυτών. Τέτοιες τεχνολογίες είναι οι ακτίνες Χ, οι Υπολογιστική Αξονική Τομογραφία (Computerized Axial Tomography) κ.α. Όλες βασίζονται στην εκπομπή ενός σήματος ικανού να διαπεράσει συγκεκριμένα υλικά του ανθρώπινου σώματος. Όταν το σήμα φτάσει στο επιθυμητό υλικό, ανακλάται, δίνοντας πληροφορίες στον Η/Υ για τη θέση του υλικού. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι περιέχει σε μεγάλο βαθμό το ανθρώπινο σφάλμα, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση που οι φέτες δεν επιλεγούν ομοιόμορφα, οπότε το τελικό μοντέλο θα είναι παραμορφωμένο.

9.4 Τομείς εφαρμογής

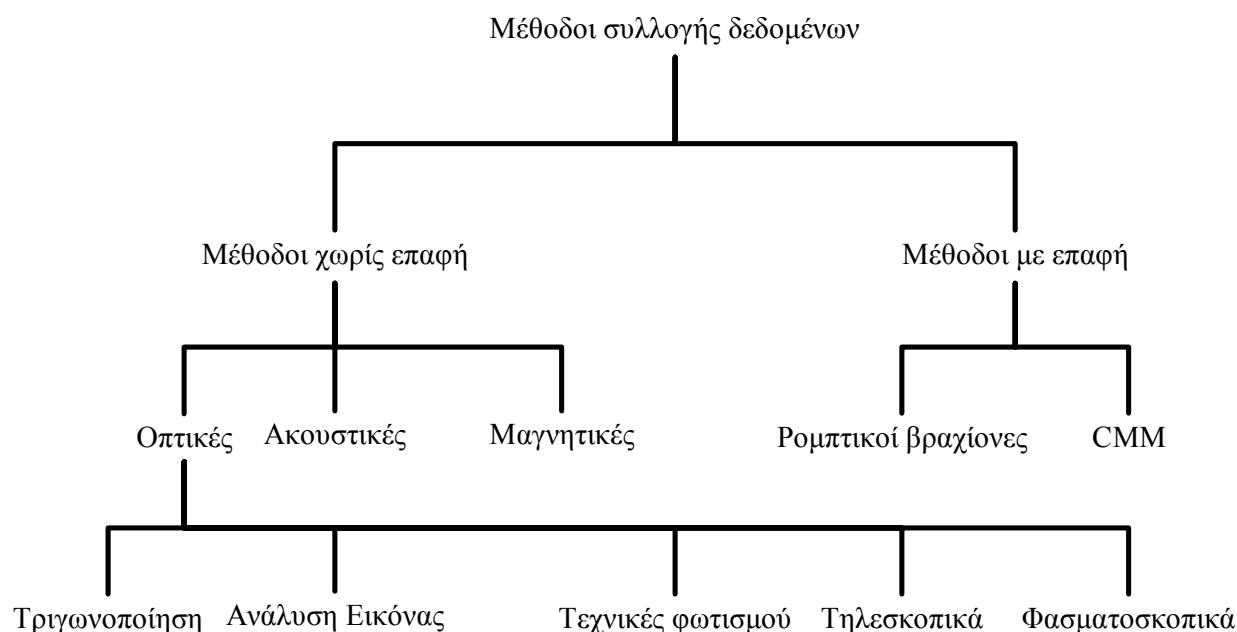
- Παραγωγή ενός ανταλλακτικού εξαρτήματος, χωρίς να είναι διαθέσιμα τα αρχικά σχέδια ή οι προδιαγραφές.
- Επιστήμη της αρχαιολογίας, όπου δεν υπάρχουν γεωμετρικά μοντέλα από αντικείμενα, γιατί έχουν σχεδιαστεί σε προγενέστερες περιόδους, είτε πρόκειται για αντίκες ή αντικείμενα αρχαιολογικής σημασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ψηφιοποίηση των σχημάτων των αντικειμένων είναι ο μοναδικός τρόπος για τη δημιουργία ενός γεωμετρικού μοντέλου για την αναπαράστασή τους.
- Σχεδιασμό αντικειμένων για αξιολόγηση της αισθητικής τους.
- Εφαρμογές δημιουργίας ενδυμάτων και υποδημάτων ραμμένων στα μέτρα του πελάτη, με μετρήσεις που λαμβάνονται από σαρωτές σώματος (body scanners) για ρούχα ή ειδικές μηχανές για υποδήματα.

9.5. Βασικά βήματα στις τεχνικές Ανάστροφης Μηχανολογίας



9.5.1. Μέθοδοι συλλογής δεδομένων

- Συνήθως απαιτείται επεξεργασία των επιφανειών, πριν αρχίσει η μέτρηση, για να είναι εφικτή η συλλογή δεδομένων.
- Μέθοδοι χωρίς επαφή: Τα δεδομένα συλλέγονται με τη μορφή παράλληλων καμπυλών, που αντιστοιχούν στο περίγραμμα του αντικειμένου, που προκύπτει από ένα νοητό κάθετο επίπεδο τομής στη θέση της μέτρησης.
- Μέθοδοι με επαφή: Τα δεδομένα συλλέγονται με τη μορφή νέφους σημείων.



9.5.2. Επεξεργασία

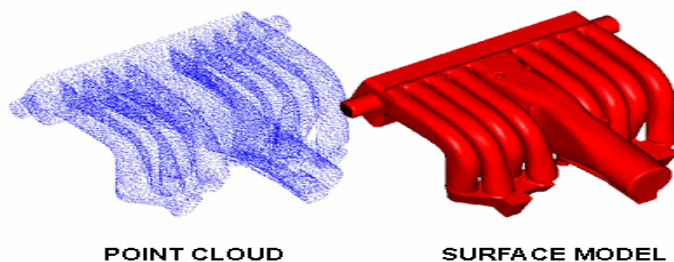
Τα ψηφιακά δεδομένα επεξεργάζονται, για να αποφευχθούν προβλήματα (ασυνέχειες, τεμνόμενα δεδομένα κλπ.) στη δημιουργία του μοντέλου.

9.5.3. Προσέγγιση δεδομένων από επιφάνεια

Η προσέγγιση των δεδομένων από γεωμετρικό μοντέλο επιφάνειας αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο στις μεθόδους Ανάστροφης Μηχανολογίας, αφού εμπεριέχει σημαντικές δυσκολίες και επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια του μοντέλου που θα προκύψει από τις μετρήσεις. Η μεθοδολογία για την προσέγγιση των δεδομένων από γεωμετρικό μοντέλο επιφάνειας περιγράφεται στη συνέχεια:

- Τα δεδομένα ομαδοποιούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε ομάδα στοιχείων να μπορεί να προσεγγιστεί από μια επιφάνεια. Το βασικότερο πρόβλημα, το οποίο παρουσιάζεται είναι να υπάρχουν ασυνέχειες στη δομή των δεδομένων.
- Το σύστημα δεν μπορεί να αναγνωρίσει το είδος της επιθυμητής επιφάνειας που θα κατασκευαστεί.
- Υπάρχουν μέθοδοι αναπαράστασης των γεωμετρικών μοντέλων σε συστήματα CAD προσεγγιστικές και είτε ακριβείς. Κάθε μια από αυτές ικανοποιεί τις απαιτήσεις συγκεκριμένων προβλημάτων.
- Ακόμα και με τα πιο εξελιγμένα εμπορικά προγράμματα, τα μοντέλα που μπορούν να παραχθούν απεικονίζονται με τριγωνοποιημένες επιφάνειες, το οποίο δεν είναι αποδεκτό.

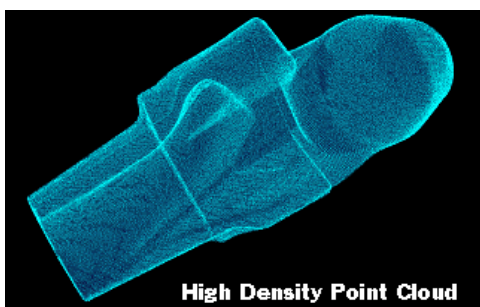
9.6. Εφαρμογές Ανάστροφης Μηχανολογίας



POINT CLOUD

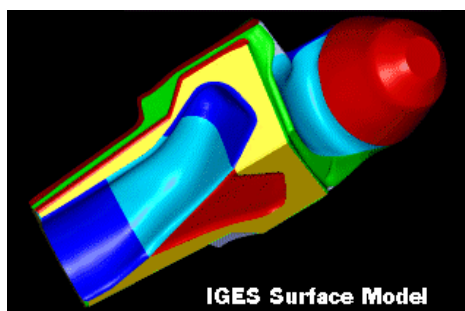
SURFACE MODEL

Δημιουργία επιφανειακού μοντέλου από νέφος σημείων



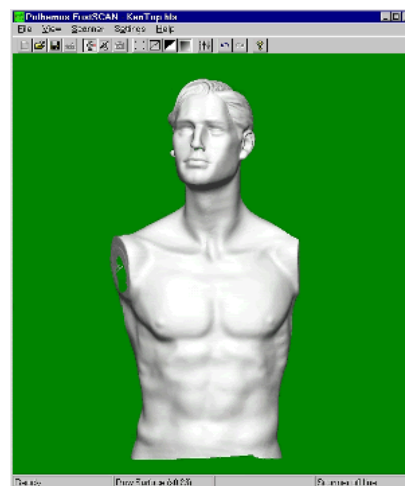
High Density Point Cloud

Νέφος σημείων υψηλής πυκνότητας.



IGES Surface Model

Δημιουργία επιφανειακού μοντέλου από νέφος σημείων.



Σύστημα FastScan της Polhemus.



Σύστημα της 3D Scanners.



Ο γερανός με το laser scanner της Cyberware μπροστά από το Δαυίδ του Μιχαήλ Αγγέλου.

Κεφάλαιο 10

Εισαγωγή στην Τεχνολογία Εικονικής Πραγματικότητας για την Ανάπτυξη Βιομηχανικών Εφαρμογών

10.1. Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή γίνεται εισαγωγική αναφορά στην τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας και τις εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

10.2. Τι είναι Εικονική Πραγματικότητα

- Η εικονική πραγματικότητα είναι η τεχνολογία, με την οποία προσομοιώνεται η συμπεριφορά πραγματικών κόσμων σε υπολογιστικό περιβάλλον, με τη βοήθεια κατάλληλου συστήματος προσομοίωσης.
- Βασικό χαρακτηριστικό είναι η συμμετοχή του χρήστη στο περιβάλλον προσομοίωσης, μέσω κατάλληλων περιφερειακών συσκευών, που περιέχονται σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας.

10.3. Τι δεν είναι Εικονική Πραγματικότητα

- Εφαρμογές με δισδιάστατα γραφικά και δυνατότητες αλληλεπίδρασης.
- Εφαρμογές γραφιστικής με τρισδιάστατα γραφικά.
- Τρισδιάστατα εφέ, όπως αυτά στον κινηματογράφο

10.4. Τομείς εφαρμογής της Εικονικής Πραγματικότητας

- Αναπαράσταση αντικειμένων και χώρων με δυνατότητα περιήγησης.
 - ◆ Αρχαιολογικά μνημεία.
 - ◆ Αρχιτεκτονικές εφαρμογές.
 - ◆ Εικονικά εργοστάσια.

- ◆ Σχεδιασμό προϊόντων για αισθητική αξιολόγηση.
- Προσομοίωση λειτουργίας μηχανισμών: Εφαρμογή σε κάθε είδους μηχανισμό στη φάση του σχεδιασμού για προσδιορισμό της λειτουργίας του.
- Προσομοίωση διαδικασιών: Εφαρμογή σε εργονομικές μελέτες και μελέτες για τον προσδιορισμό της δυνατότητας πραγματοποίησης εργασιών.

10.5. Επιπτώσεις από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία

- Επιχειρηματική γνώση.
- Επενδύσεις σε εξοπλισμό.
- Διαχείριση προμηθευτών.
- Σχεδιομελέτη προϊόντος.
- Προσδιορισμός κόστους.
- Διαχείριση επιχειρηματικού κινδύνου.
- Επικοινωνία με τον πελάτη.
- Επικοινωνία επιχειρήσεων.
- Παραγωγή στο εργοστάσιο.

10.6. Πλεονεκτήματα από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία.

- Προσδιορισμός της δυνατότητας υλοποίησης εργασιών χωρίς αυτές να έχουν πραγματοποιηθεί. Εναλλακτικά σενάρια μπορούν να αξιολογηθούν χωρίς να έχει γίνει η κατασκευή κάποιου πρωτότυπου.
- Αξιοπιστία στον προσδιορισμό του κόστους και του χρονοδιαγράμματος παραγωγής.
- Χρήση μεθόδων μοντελοποίησης και προσομοίωσης, οι οποίες συμβάλλουν στην επίτευξη ευελιξίας στην παραγωγή και συνεπώς στη μείωση του κόστους του προϊόντος.
- Βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων από τα στελέχη της επιχείρησης.
- Βελτίωση της παραγωγής, καθώς παρέχεται η δυνατότητα σχεδιασμού παράλληλα με τη σχεδίαση του προϊόντος.
- Βελτίωση της μορφής των εξαρτημάτων (design for assembly).

10.7. Αποτελέσματα από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία.

- Υψηλή ποιότητα των προϊόντων.
- Χαμηλότερα κόστη παραγωγής.
- Λιγότερα πρωτότυπα.

- Βελτίωση της ακρίβειας του σχεδιασμού και των κατεργασιών.
- Ελαχιστοποίηση των κινδύνων.
- Μειωμένος χρόνος για την εισαγωγή του προϊόντος στην αγορά.
- Λιγότερα προβλήματα κατά την έναρξη αλλά και την εξέλιξη της παραγωγής.

10.8. Λειτουργικά χαρακτηριστικά συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας

- Τρισδιάστατη οπτικοποίηση δεδομένων.
- Περιήγηση στο εικονικό περιβάλλον.



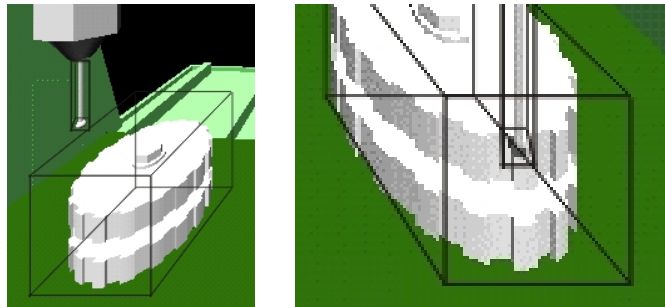
- Αλληλεπίδραση με αντικείμενα στο εικονικό περιβάλλον.



- Προσομοίωση φυσικών φαινομένων.
 - ◆ Να μοντελοποιούνται οι πιο κρίσιμες συμπεριφορές του πραγματικού κόσμου για την αξιολόγηση του στο εικονικό περιβάλλον.
 - ◆ Να επιλέγονται για προσομοίωση φαινόμενα που είναι εφικτό να προσομοιωθούν.
 - ◆ Να χρησιμοποιούνται τεχνικές που αυξάνουν όσο είναι δυνατόν τη ρεαλιστικότητα του συστήματος, ώστε ο χρήστη να μπορεί ευκολότερα να συνδέει το κατασκευασμένο περιβάλλον προσομοίωσης με τον αντίστοιχο πραγματικό κόσμο.
- Εικονικό περιβάλλον.

10.9. Τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας

- Μοντελοποίηση αντικειμένων.
- Περιορισμοί κίνησης στα εικονικά αντικείμενα.
- Οπτικοποίηση τρισδιάστατων χώρων.
- Ρεαλιστική απεικόνιση γεωμετρικών μοντέλων.
- Έλεγχος συγκρούσεων.



10.10. Περιφερειακά συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας

→ Συστήματα προσδιορισμού θέσης και προσανατολισμού.

- ◆ Μηχανικά.
- ◆ Οπτικά.
- ◆ Συστήματα με υπερήχους.
- ◆ Ηλεκτρομαγνητικά συστήματα.



10.11. Συσκευές εισόδου δεδομένων σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας

→ Τρισδιάστατα ποντίκια (3D Mouse).

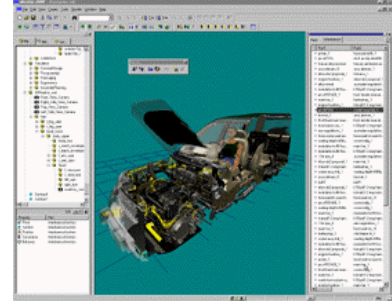


→ Γάντια δεδομένων (data gloves).



10.12. Συσκευές εξόδου σε συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας

- Συσκευές ανάδρασης δύναμης.
- Γυαλιά τρισδιάστατης απεικόνισης.



- Κράνος Εικονικής Πραγματικότητας.



- CAVE.



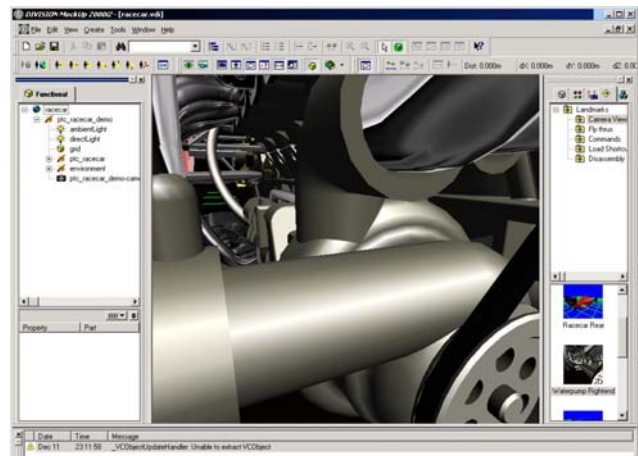
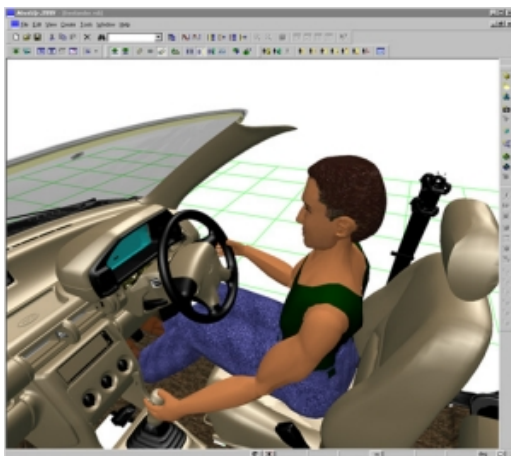
10.13. Χαρακτηριστικά λογισμικού Εικονικής Πραγματικότητας

- Εισαγωγή γεωμετρικών μοντέλων.
- Χρήση Βιβλιοθηκών.
- Επίπεδο απεικόνισης λεπτομερειών.
- Κλιμάκωση, περιστροφή και μεταφορά αντικειμένων.
- Καθορισμός της συμπεριφοράς των αντικειμένων.
- Χαρακτηριστικά προσομοίωσης μηχανισμών.
- Απεικόνιση κινούμενων γραφικών.
- Ανίχνευση συγκρούσεων.

- Παράλληλοι κόσμοι.
- Χρήση φωτισμού.
- Ήχος.
- Προσομοίωση.
- Υποστήριξη περιφερειακών.
- Στερεοσκοπική απεικόνιση.
- Προσδιορισμός θέσης και προσανατολισμού.
- Δικτυακές λειτουργίες.

10.14. Λογισμικό Εικονικής Πραγματικότητας

- Λογισμικό VRML.
- Λογισμικό Division.



- Λογισμικό Sense8.



10.15. Χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας για την προσομοίωση διαδικασιών στη βιομηχανία

- Οπτικοποίηση μηχανολογικών σχεδίων.

- Εκπαίδευση προσωπικού.
- Αξιολόγηση εργονομικών παραμέτρων.
- Οπτικοποίηση εικονικών πρωτοτύπων.
- Μελέτη σεναρίων συντήρησης και επισκευής μηχανισμών.
- Προσομοίωση της συναρμολόγησης μηχανισμών.
- Διαχείριση της διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντος.
- Προσομοίωση διαδικασιών παραγωγής.
- Ανάπτυξη τεχνικών για συνεργασία ομάδων σε μεγάλα έργα.
- Παράλληλη μηχανική.
- Προσομοίωση των δυναμικών χαρακτηριστικών μηχανισμών.
- Ανάλυση καταπονήσεων.

10.16. Πλεονεκτήματα από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία

- Προσδιορισμός της δυνατότητας υλοποίησης εργασιών χωρίς αυτές να έχουν πραγματοποιηθεί. Εναλλακτικά σενάρια μπορούν να αξιολογηθούν χωρίς να έχει γίνει η κατασκευή κάποιου πρωτότυπου.
- Αξιοπιστία στον προσδιορισμό του κόστους και του χρονοδιαγράμματος παραγωγής.
- Χρήση μεθόδων μοντελοποίησης και προσομοίωσης, οι οποίες συμβάλλουν στην επίτευξη ευελιξίας στην παραγωγή και συνεπώς στη μείωση του κόστους του προϊόντος.
- Βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων από τα στελέχη της επιχείρησης.
- Βελτίωση της παραγωγής, καθώς παρέχεται η δυνατότητα σχεδιασμού παράλληλα με τη σχεδίαση του προϊόντος.
- Βελτίωση της μορφής των εξαρτημάτων (design for assembly).

10.17. Αποτελέσματα από τη χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη βιομηχανία

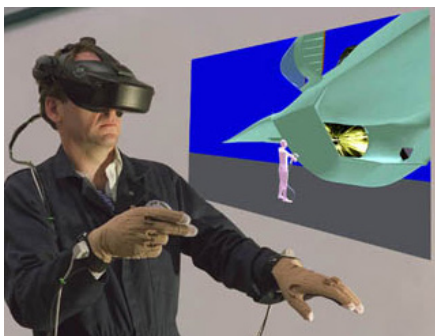
- Υψηλή ποιότητα των προϊόντων.
- Χαμηλότερα κόστη παραγωγής.
- Λιγότερα πρωτότυπα.
- Βελτίωση της ακρίβειας του σχεδιασμού και των κατεργασιών.
- Ελαχιστοποίηση των κινδύνων.
- Μειωμένος χρόνος για την εισαγωγή του προϊόντος στην αγορά.
- Λιγότερα προβλήματα κατά την έναρξη αλλά και την εξέλιξη της παραγωγής.

10.18. Παραδείγματα βιομ. εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας

→ Volkswagen, Chrysler: Αισθητικός και εργονομικός σχεδιασμός.



→ Boeing, EAI: Έλεγχος εφικτότητας σε διαδικασίες συναρμολόγησης.



→ Caterpillar: Σχεδιασμός προϊόντος, προσδιορισμός λειτουργικών χαρακτηριστικών.



Κεφάλαιο 11

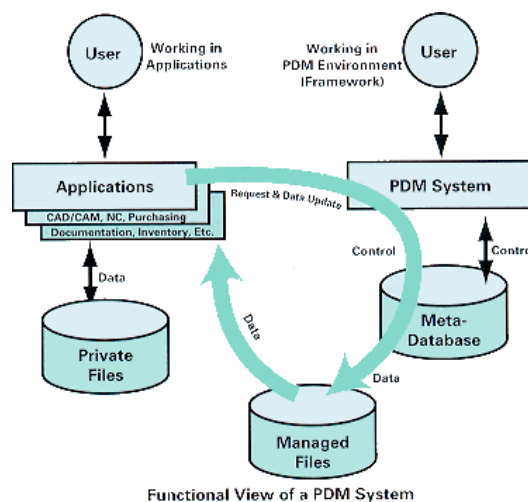
Εισαγωγή στα Συστήματα Διαχείρισης Δεδομένων Προϊόντος (Product Data Management)

11.1. Εισαγωγή

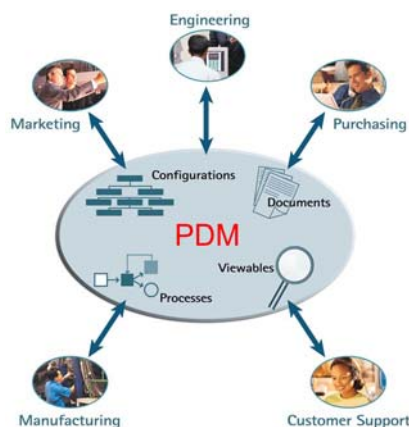
Στην ενότητα αυτή γίνεται εισαγωγική αναφορά στα συστήματα Διαχείρισης Δεδομένων Προϊόντος.

11.2. Ορισμός

Τα Συστήματα Διαχείρισης Δεδομένων (Product Data Management – PDM), έχουν ως αντικείμενο τη διαχείριση όλων των δεδομένων που δημιουργούνται ή χρησιμοποιούνται από μια επιχείρηση. Τα δεδομένα αυτά απαιτείται να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ενός προϊόντος ή την αναβάθμιση των υπαρχόντων. Τα Συστήματα αυτά λοιπόν διαχειρίζονται όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος.



Η θέση των συστημάτων PDM στις λειτουργίες μιας εταιρίας.



Ο ρόλος των συστημάτων PDM (εικόνα Parametric Technology Corporation).

11.3. Ανάγκη που οδήγησε στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων

- Απαιτήση για συνεχή μείωση του χρόνου ανάπτυξης του προϊόντος.
- Επιτάχυνση των διαδικασιών μελέτης.
- Ενοποίηση εργαλείων ανάπτυξης προϊόντων (CAD, CAM, CAE, CIM, MRP, κλπ.).
- Υπάρχουν κτιριακές εγκαταστάσεις σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.
- Χρησιμοποιούνται ποικίλα λογισμικά εργαλεία για διάφορες εφαρμογές.
- Υπάρχει συνεργασία με πολλούς προμηθευτές, με τους οποίους η εταιρία πρέπει να βρίσκεται σε επαφή εύκολα και γρήγορα.
- Οι πελάτες είναι απαιτητικοί και είναι αυτοί που καθορίζουν πολλές φορές τις προδιαγραφές για το προϊόν που θα αγοράσουν.

11.3. Λειτουργίες Συστημάτων PDM

- Καταγραφή των διαδικασιών (Process Capture).
- Διαχείριση των διαδικασιών (Process Management). Επιμέρους λειτουργίες:
 - ✚ Προσδιορισμός των επιπτώσεων στα δεδομένα κατά τη διάρκεια της χρήσης τους από τα άτομα της εταιρίας.
 - ✚ Προσδιορισμός της ροής των δεδομένων μεταξύ των εργαζομένων.
- Καταγραφή όλων των αλλαγών που προκύπτουν στις δύο παραπάνω εργασίες κατά την εκτέλεση του έργου.
- Καταγραφή των δεδομένων και των αλλαγών που γίνονται σε αυτά (Data Capture and Management). Επιμέρους λειτουργίες:
 - ✚ Αξιολόγηση των επιμέρους τμημάτων του προϊόντος.
 - ✚ Αξιολόγηση εγγράφων.
 - ✚ Ανάκληση δεδομένων.
- Ενημέρωση των χρηστών για τις αλλαγές στα δεδομένα για κάθε προϊόν.

11.4. Χαρακτηριστικά συστημάτων PDM

- Η τεχνολογία και τα συστήματα Product Data management (Συστήματα Διαχείρισης Δεδομένων) στηρίζονται κυρίως στις υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες μέσω του διαδικτύου. Για το λόγο αυτό τα συστήματα Διαχείρισης Δεδομένων έχουν εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια, όπου η υποδομή και η εξάπλωση του διαδικτύου έχει φτάσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο.
- Τα συστήματα PDM ξεκίνησαν ως εφαρμογές που αναπτυσσόταν μέσα στις εταιρείες λογισμικού (In-house applications).
- Τα συστήματα PDM συνδέονται με τεχνολογίες Just In Time (JIT) και Total Quality Control (TOC).
- Τα συστήματα PDM προσαρμόζονται στις λειτουργίες κάθε εταιρίας και ο χρόνος εγκατάστασης είναι αρκετά μεγάλος. Κάθε εφαρμογή συστήματος προσαρμόζεται και αναπτύσσεται στις ανάγκες κάθε εταιρίας, οπότε κάθε εφαρμογή είναι ανεξάρτητη και διαφέρει από τις υπόλοιπες.

11.5. Πλεονεκτήματα από τη χρήση συστημάτων PDM

- Μειωμένος χρόνος εισαγωγής στην αγορά.
 - ✚ Επιταχύνει την εκτέλεση των έργων από την άμεση παροχή πληροφόρησης.
 - ✚ Υποστηρίζει παράλληλη μηχανική.
 - ✚ Επιτρέπει στις υπεύθυνες ομάδες να έχουν συνεχή πρόσβαση στα δεδομένα.
- Βελτίωση της παραγωγικότητας στην ομάδα σχεδίασης.
 - ✚ Μειώνει τον αριθμό των αλλαγών που απαιτούνται στη σχεδίαση.
 - ✚ Μειώνει το χρόνο διαχείρισης της πληροφορίας.
 - ✚ Αυξάνει την επαναχρησιμοποίηση παλαιών σχεδίων.
- Βελτίωση της ακρίβειας στη σχεδίαση και στην παραγωγή.
 - ✚ Καλύτερη διαχείριση των ειδικοτήτων των ομάδων.
 - ✚ Ευκολία στη χρήση.
- Ενιαία δεδομένα.
- Καλύτερος έλεγχος του έργου.
- Καλύτερη διαχείριση των αλλαγών στη σχεδίαση.
- Βελτίωση ποιότητας δεδομένων.
- Συνεισφέρει στην ολική ποιότητα.

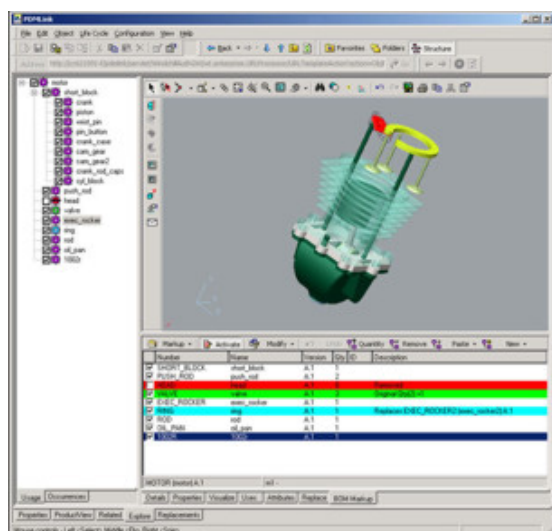
11.6. Αποτελέσματα από τη χρήση συστημάτων PDM

- Αποτελούν την αρχή και τον πυρήνα για την ενοποίηση όλων των λογισμικών που χρησιμοποιούνται σε εταιρίες.
- Αποτελούν ένα τρόπο σύνδεσης των εταιριών με τους προμηθευτές και τους πελάτες τους.
- Αλλάζουν τις μεθόδους ανάπτυξης προϊόντων, αναγκάζοντας τις εταιρίες να οργανώσουν καλύτερα τις λειτουργίες τους.
- Αλλάζουν την επικοινωνία της εταιρίας με τους προμηθευτές και τους πελάτες, οι οποίοι εμπλέκονται στη διαδικασία της ανάπτυξης προϊόντων.

11.7. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα PDM

Αρκετά από τα συστήματα PDM έχουν αναπτυχθεί εσωτερικά στις εταιρίες και δεν υπάρχουν ως εμπορικά προϊόντα.

Ένα από τα πιο διαδεδομένα εμπορικά συστήματα PDM είναι το Windchill της Parametric Technology, το οποίο εγκαθίσταται και στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως πλατφόρμα για την ανάπτυξη του συστήματος PDM, με βάση τις λειτουργίες της εταιρίας. Οι περισσότερες λειτουργίες του λογισμικού λειτουργούν μέσω διαδικτύου.



Windchill.

Συστήματα PDM έχουν αναπτύξει κάποιες από τις εταιρίες που ανέπτυσαν συστήματα σχεδιασμού, όπως η Delmia (έχει αγοραστεί από τη Dassault) και η Engineering Animation Inc.

Βιβλιογραφία - Αναφορές

1. K. LEE. Principles of CAD/CAM/CAE Systems, 1999.
2. N. Μπιλάλης, Μελέτη Σχεδίαση με χρήση Η/Υ, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2001.
3. N. Μπιλάλης, Ειδικά Θέματα Σχεδιομελέτης με Η/Υ, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2001.
4. Χρ. Παπαδόπουλος, Σχεδιασμός με Υπολογιστή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 1994.
5. Charles Fine, Clockspeed, 1998.
6. I. ZEID. CAD/CAM theory and practice. McGraw Hill, New York, 1991.
7. M. MANTYLA. An introduction to solid modelling. Computer science press, 1988.
8. D.F. ROGERS and J.A. ADAMS. Mathematical Elements for Computer Graphics. McGraw Hill, New York, 1987.
9. G. MULLINEUX. CAD: Computational Concepts and methods. Kogan Pres, 1986.
10. J. ROONEY and P. STEADMAN (editors). Principles of Computer – Aided Design. Pitman/Open University, 1987.
11. G.FARIN. Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design. Academic Press, Third Edition, 1993.
12. L. PIEGL. Fundamental Developments in Computer Aided Geometric Design. Academic Press, 1993.
13. W. BOEHM and G. FARIN. Computer Aided Geometric Design: Geometric Principles and Applications. Eurographics Seminar, 1991.
14. D.F. ROGERS. Procedural Elements for Computer Graphics. McGraw Hiff, New York, 1985.
15. A.A.G. REQUICHA and H.B. VOELCKER. Boolean operations in solid modelling: Boundary evaluation and merging algorithms. Proc. IEEE, 3(7):30-44, Oct. 1983.
16. A.A.G. REQUICHA and H.B. VOELCKER. Solid modelling: a historical summary and contemporary assessment. IEEE Computer Graphics and Applications, 2(2):9-24, March 1982.
17. Sense8 Solutions, www.sense8.com.
18. Engineering Animation, www.eai.com.
19. Delmia Solutions, www.deneb.com.
20. Polhemus, www.polhemus.com.
21. Parametric Technology Corporation, www.ptc.com.
22. Solidworks, www.solidworks.com.
23. EDS, www.eds.com.
24. Autodesk, www.autodesk.com.
25. Dassault Systems, www.dassault.com.
26. Stratasys, www.stratasys.com.
27. Helisys, www.helisys.com.

28. 3D systems, www.3dsystems.com.
29. DTM, www.dtm-corp.com.
30. Engineering Animation Inc. <http://www.eai.com>.
31. Fraunhofer Institute for Industrial Engineering, www.iao.fhg.de.
32. IEEE Computer Graphics & Applications, Vol. 19, No. 6, November/December 1999.
33. Iowa State University, www.vrac.iastate.edu.
34. Concurrent Technologies Corporation, www.vr.ctc.com.
35. National Center for Supercomputing Applications, www.ncsa.uiuc.edu.
36. Evans & Sutherland Computer Corporation, Salt Lake City, Utah, USA, www.es.com.
37. Light Work Design, www.lightwork.com.