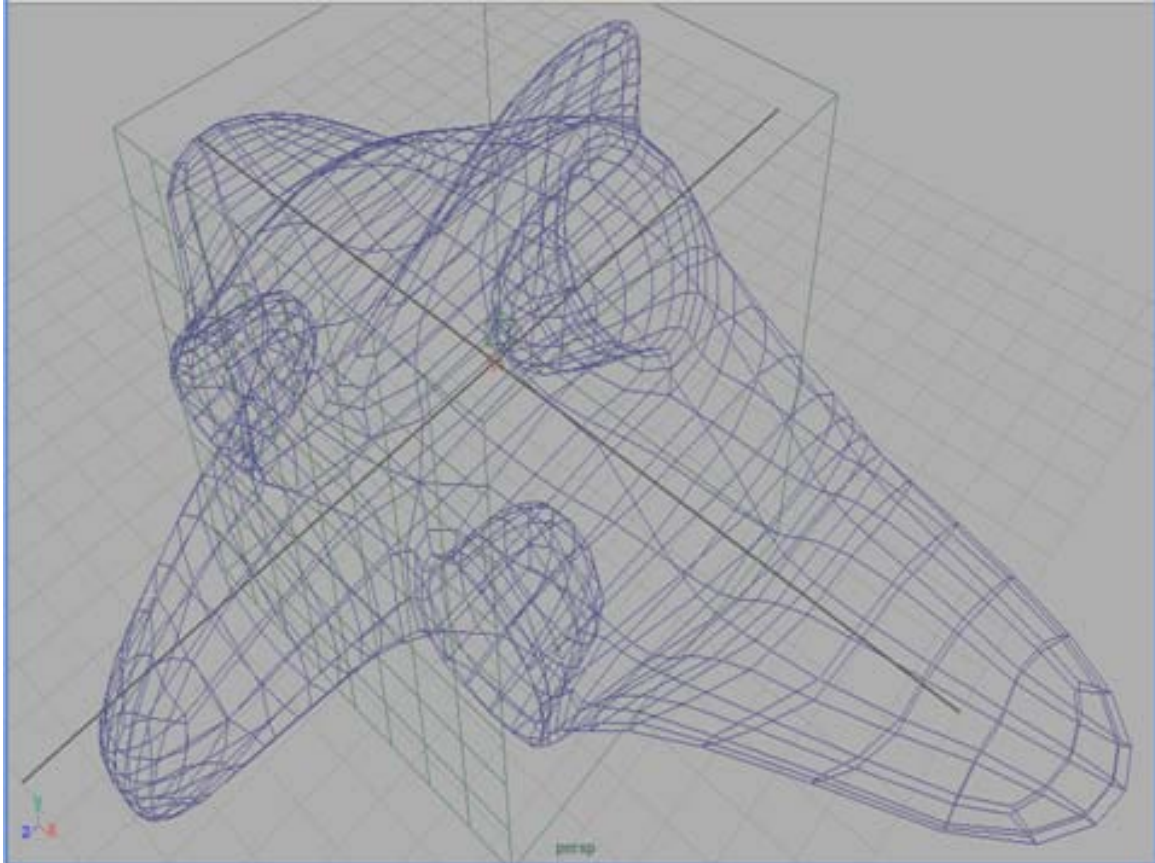


ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ



ΨΗΦΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΣΩ Η/Υ – ΘΕΩΡΙΑ

ΔΡ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΜΑΚΡΗΣ

Τ. Ε. Ι. ΑΘΗΝΩΝ

2012

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. Κεφάλαιο 1 Ο κύκλος παραγωγής προϊόντων και ο ρόλος των ψηφιακών περιβαλλόντων	7
1.1. Ο κύκλος παραγωγής προϊόντων.....	7
1.1.1. Το μοντέλο του Zeid	9
1.1.2. Το μοντέλο των Pahl και Beitz.....	12
1.1.3. Η αναγκαιότητα της χρήσης των τεχνολογιών CAD/CAM/CAE	14
1.2. Ορισμοί περιβαλλόντων CAD / CAM / CAE.....	17
1.3. Ο ρόλος της μοντελοποίησης και της επικοινωνίας.....	20
1.4. Τύποι μοντέλων σχεδίασης.....	21
1.5. Εφαρμογές των μοντέλων σχεδίασης.....	23
1.6. Ταυτόχρονη μηχανική	25
1.7. Μοντελοποίηση με χρήση CAD.....	27
1.8. Αρχιτεκτονική συστημάτων CAD.....	30
1.9. Βιβλιογραφία κεφαλαίου	33
2. Κεφάλαιο 2 Καθορισμός των Μοντέλων	36
2.1. Καθιερωμένες σχεδιαστικές αναπαραστάσεις.....	36
2.1.1. Αναπαράσταση μορφής μέσω γραμμογραφημάτων	37
2.1.2. Η αναπαράσταση της δομής μέσω διαγραμμάτων.....	37
2.1.3. Αντοχές και αδυναμίες των συμβατικών αναπαραστάσεων	39
2.2. Η απεικόνιση γραμμικών σχεδίων – διαγραμμάτων.....	40
2.2.1. Γραμμικό σχέδιο με βοήθεια υπολογιστή (computer aided drafting)	41
2.3. Ψηφιακές αναπαραστάσεις τρισδιάστατων μορφών	44
2.3.1. Παραμετρικές αναπαραστάσεις	45
2.4. Μέθοδοι Τρισδιάστατης μοντελοποίησης	47
2.4.1. Αναπαράσταση 3D αντικειμένων.....	48
2.4.2. Μέθοδος πλαισίου-ακμών (wire-frame)	50
2.4.3. Πλέγματα πολυγώνων (polygon mesh)	53
2.4.4. Παραμετρικά μπαλώματα (patches) επιφανειών	54
2.4.5. Μέθοδοι στερεάς μοντελοποίησης (solid modelling)	58

2.4.6. Κατασκευαστική στερεάς γεωμετρίας (Constructive Solid Geometry).....	61
2.4.7. Αναπαράσταση συνόρου (Boundary Representation – B-Rep).....	64
2.4.8. Σύνθεση μεθόδων μοντελοποίησης	67
2.5. Κατασκευή γενικών μοντέλων	68
2.5.1. Γεωμετρία αναφοράς.....	69
2.5.2. Διαδικασίες εξώθησης (extrusion) – σάρωσης (sweeping).....	71
2.5.3. Διαδικασίες ανύψωσης (lofting).....	72
2.5.4. Συνδιαζόμενες διαδικασίες	74
2.5.5. Επισκόπηση – συμπεράσματα.....	78
2.6. Βιβλιογραφία κεφαλαίου	80
3. Κεφάλαιο 3 Κατηγορίες Ψηφιακών Περιβαλλόντων Σχεδίασης.....	82
3.1. Γενικά Χαρακτηριστικά	82
3.1.1. Φάσεις σχεδίασης.....	83
3.1.2. Τύποι μοντέλων και τρόποι αναπαράστασης.....	84
3.1.3. Εσωτερικές δομές δεδομένων – αντικειμενοστραφείς ικανότητες.....	84
3.1.4. Επικοινωνία / Διάδοση / Συνεργασία.....	88
3.1.5. Βιομηχανίες χρήσεων	89
3.2. Κατηγορίες Γεωμετρικών μοντελοποιητών	90
3.2.1. Εννοιολογικοί μοντελοποιητές – προγράμματα φωτό-ρεαλιστικής απόδοσης (rendering).....	92
3.2.2. Προγράμματα εμπύχωσης άψυχων αντικειμένων-εικόνων (animation).....	93
3.2.3. Προγράμματα βασισμένα-σε-οντότητες (entities-based).....	94
3.2.4. Προγράμματα βασισμένα-σε-συστατικά (components-based)	95
3.2.5. Προγράμματα σχεδίασης ανάπτυξης	97
3.3. Βιβλιογραφία κεφαλαίου	99
4. Κεφάλαιο 4 Σύνηθετες Μέθοδοι Μοντελοποίησης	101
4.1. Δυσκολίες Γεωμετρικών μοντελοποιητών.....	101
4.1.1. Η έννοια του χαρακτηριστικού	102
4.2. Μοντελοποίηση βασισμένη-σε-χαρακτηριστικά.....	105
4.2.1. Χαρακτηριστικό-βάση	108
4.2.2. Σχέσεις γονέας-παιδί	113

4.3. Μοντέλα Συναρμολόγησης	114
4.3.1. Βασικές έννοιες: Συναρμολόγηση και υπό-συναρμολόγηση	117
4.3.2. Περιορισμοί συναρμολόγησης	119
4.3.3. Έλεγχοι παρεμβολής	121
4.3.4. Άλλες λειτουργίες.....	122
4.3.5. Μοντελοποίηση τμημάτων σε Συναρμολογήσεις	124
4.4. Παραμετρική σχεδίαση	125
4.5. Σχεδίαση καθοδηγούμενη με βάση τις διαστάσεις.....	131
4.6. Μοντελοποίηση βασισμένη σε Περιορισμούς	133
4.6.1. Τυπολογία διατάξεων	135
4.6.2. Διαμορφώσεις μερών και πίνακες σχεδίου.....	137
4.6.3. Παράγωγα μέρη	138
4.6.4. Μακροεντολές και κανόνες	138
4.6.5. Επισκόπηση – συμπεράσματα.....	140
4.7. Βιβλιογραφία κεφαλαίου	142

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1 Οι τεχνικές CAD/CAM επιτρέπουν την ανάπτυξη νέων λεξιλογίων σχεδίασης	2
Σχήμα 2 Άμεση προτυποποίηση μοντέλων	4
Σχήμα 1-1 Κύκλος παραγωγής προϊόντων	10
Σχήμα 1-2 Βήματα της σχεδιαστικής διαδικασίας σύμφωνα με τους Pahl and Beitz (1984) .	13
Σχήμα 1-3 Μετασχηματισμοί του μοντέλου κατά τη σχεδίαση	24
Σχήμα 1-4 Αναπαραστάσεις κατά την αξιολόγηση του σχεδίου. (α) Μορφή (β) Κινηματική δομή (γ) ανάλυση αντοχών	25
Σχήμα 1-5 Διαδοχική και Ταυτόχρονη ανάπτυξη από αρχή A μέχρι τέλος T	26
Σχήμα 1-6 Η χρήση των μοντέλων κατά τη σχεδίαση	28
Σχήμα 1-7 Αρχιτεκτονική ενός περιβάλλοντος CAD	31
Σχήμα 2-1 Παράδειγμα ενός διαγράμματος.....	38
Σχήμα 2-2 Ιεραρχική ανάπτυξη διαγραμμάτων.....	39
Σχήμα 2-3 Τύποι γεωμετρικών οντοτήτων διαθέσιμες σε ένα ψηφιακό περιβάλλον CAD	41
Σχήμα 2-4 Μέθοδοι κατασκευής με χρήση σημείου	42
Σχήμα 2-5 Μέθοδοι κατασκευής σχημάτων με γραμμές	43
Σχήμα 2-6 Μέθοδοι κατασκευής τόξων.....	43
Σχήμα 2-7 B-Spline: Το σημείο P ελέγχου τροποποιεί τοπικά τη μορφή της καμπύλης.....	46
Σχήμα 2-8 Μπάλωμα επιφάνειας NURB.....	47
Σχήμα 2-9 Σύστημα συντεταγμένων δεξιού χεριού	48
Σχήμα 2-10 Χρήση τοπικού συστήματος συντεταγμένων	48
Σχήμα 2-11 Αμφισημία σε ένα μοντέλο πλαισίου-ακμών.....	51
Σχήμα 2-12 Μοντέλα αντικειμένων πλαισίου-ακμών	52
Σχήμα 2-13 Μοντέλα επιφάνειας (surface)	54
Σχήμα 2-14 Αναπαραστάσεις ενός συνδέσμου χυτοχάλυβα	55
Σχήμα 2-15 Επιφάνειες Bezier και B-spline	56
Σχήμα 2-16 Πρωταρχικά στερεά συστήματος στερεάς μοντελοποίησης	61
Σχήμα 2-17 Τελεστές Boolean σε κύβο και κύλινδρο.....	62
Σχήμα 2-18 Κατασκευαστικό στερεό μοντέλο από πρωταρχικά στερεά	63
Σχήμα 2-19 Στερεά μοντέλα από ένωση δύο κύβων	63
Σχήμα 2-20 Αναπαράσταση Συνόρου	65
Σχήμα 2-21 Στοιχεία μοντέλου αναπαράστασης συνόρου	66

Σχήμα 2-22 Βασικοί τρόποι δημιουργίας επιφανειών (surfaces)	69
Σχήμα 2-23 Επίπεδα αναφοράς για το μοντέλο φωτιστικού	70
Σχήμα 2-24 Τύποι επιφανειών σάρωσης (sweep)	72
Σχήμα 2-25 Χρήση των οδηγών ανύψωσης (lofting)	73
Σχήμα 2-26 Προκαταρκτική σχεδίαση για μια λαβή πόρτας.....	74
Σχήμα 2-27 Παραδείγματα επιφανειών παραγόμενες από καμπύλες. Έντονες γραμμές = γεννήτριες καμπύλες.....	75
Σχήμα 2-28 Παραδείγματα σύνθετων επιφανειών	76
Σχήμα 3-1 Αντικείμενα σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα βασισμένο στα συστατικά	87
Σχήμα 3-2 Απλουστευμένη χαρτογράφηση των γεωμετρικών μοντελοποιητών	91
Σχήμα 3-3 Τροποποίηση-ενημέρωση αντικειμένου (Graphisoft – Archicad™).....	96
Σχήμα 4-1 Γεωμετρικό μοντέλο (αριστερά) – Σημασιολογικό μοντέλο (δεξιά)	103
Σχήμα 4-2 Δημιουργία χαρακτηριστικών μέσω πράξεων Boole	106
Σχήμα 4-3 Ιστορικό δημιουργίας μοντέλου	106
Σχήμα 4-4 Μοντέλο συνδέσμου βασισμένο σε χαρακτηριστικά	110
Σχήμα 4-5 Μοντελοποίηση στο χαρακτηριστικό-βάση: διαδικασία ανύψωσης (lofting)	112
Σχήμα 4-6 Συναρμολογήσεις αντικειμένων	114
Σχήμα 4-7 Ανάπτυξη μοντέλου συναρμολόγησης.....	115
Σχήμα 4-8 Περιβάλλον CATIA.....	116
Σχήμα 4-9 Αυτόματη δημιουργία τομής.....	118
Σχήμα 4-10 Μοντέλο συναρμολόγησης δομικού συστήματος	119
Σχήμα 4-11 Χαρακτηριστικές σχέσεις ζευγαρώματος μεταξύ χαρακτηριστικών.....	120
Σχήμα 4-12 Εντοπισμός παρεμβολών τμημάτων	121
Σχήμα 4-13 Διευθέτηση παραμετρικών στοιχείων μέσω προτύπων	123
Σχήμα 4-14 Λειτουργία προτύπων (patterns) σε μοντέλο	124
Σχήμα 4-15 Γεωμετρικό Μοντέλο (αριστερά) – Παραμετρικό μοντέλο (δεξιά).....	126
Σχήμα 4-16 Παραμετρικά μοντέλα αντικειμένων – προϊόντων	127
Σχήμα 4-17 Παράμετροι ως μεταβλητές σε μοντέλα	128
Σχήμα 4-18 Παραμετρικές παραλλαγές ανοίγματος μέσω ελέγχου διαστάσεων από πίνακα σχεδίασης.....	130
Σχήμα 4-19 Παραμετρική παραλλαγή αντικειμένου	131

Σχήμα 4-20 Οργάνωση των σκίτσων που βασίζονται μερικώς στην υπάρχουσα γεωμετρία	135
Σχήμα 4-21 Περίβλημα κυψελοειδούς τηλεφώνου: παραμετρικό χαρακτηριστικό	136

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεν υπάρχει σχεδόν καμία πτυχή της ζωής μας σήμερα, η οποία δεν επηρεάζεται από την εργασία των σχεδιαστών – μηχανικών. Τα κτήρια και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούμε, τα οχήματα με τα οποία ταξιδεύουμε, είναι όλα άμεσα προϊόντα της δραστηριότητας του σχεδιασμού. Τα τρόφιμα που καταναλώνουμε αναπτύσσονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία με τη βοήθεια των μηχανολογικών προϊόντων, και οι σχεδιαστές – μηχανικοί σχεδιάζουν και κατασκευάζουν τον εξοπλισμό που τυπώνει τα βιβλία μας, κατασκευάζει τα φάρμακά μας και παράγει τις τηλεοπτικές εικόνες μας. Εάν συγκρίνουμε τα διάφορα σημερινά προϊόντα με εκείνα 40 χρόνια πριν, θα παρατηρήσουμε ότι πολλά από τα προϊόντα είναι μεγάλης πολυπλοκότητας. Θα εντοπίσουμε μια ραγδαία αύξηση στην απόδοση, την ποιότητα και την εκτέλεση τους. Αυτή η βελτίωση έχει επιτευχθεί με την οργάνωση των μεγάλων ομάδων ανθρώπων για να συνεργαστούν για την ανάπτυξη και την κατασκευή των προϊόντων. Σήμερα, αυτές οι ομάδες εργάζονται υπό την αυξανόμενη πίεση να αναπτυχθούν προϊόντα υψηλής απόδοσης και αξιοπιστίας με χαμηλότερο κόστος και σε όλο και πιο σύντομα χρονοδιαγράμματα. Λαμβάνοντας υπόψη αυτήν την πίεση, δεν είναι εκπληκτικό ότι οι σχεδιαστές-μηχανικοί έχουν στραφεί στους υπολογιστές, για να τους βοηθήσουν προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της ανάπτυξης και της κατασκευής προϊόντων. Οι υπολογιστές εμπλέκονται μέσω των ψηφιακών περιβαλλόντων και ο στόχος τους είναι η επεξεργασία πληροφοριών: χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στον καθορισμό και την επεξεργασία των πληροφοριών που συνδέονται:

1. με τη *σχεδίαση* των προϊόντων και
2. με την *οργάνωση* και τη *διαχείριση* των συστημάτων κατασκευής που τα δημιουργούν.

Ο σημειώσεις αυτές έχουν ως στόχο να εξετάσουν πώς τα ψηφιακά περιβάλλοντα χρησιμοποιούνται:

- στην *παραγωγή* και τη *διαχείριση* των πληροφοριών σχεδίασης που περιγράφουν τα προϊόντα, και

- στη διαχείριση των πληροφοριών στο σύστημα κατασκευής που παράγει τα προϊόντα.

Η χρήση των ψηφιακών περιβαλλόντων *σχεδίασης με βοήθεια υπολογιστή* (Computer Aided Design) και *κατασκευής με βοήθεια υπολογιστή* (Computer Aided Manufacturing) στην αρχιτεκτονική και τη σχεδίαση δεν είναι απλά μια συναρπαστική και ακόμα αναδυόμενη περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτές οι τεχνολογίες είναι πλέον εδώ για να μείνουν. Έχουν ανοίξει νέα λεξιλόγια σχεδίασης που έχουν αλλάξει το πρόσωπο της αρχιτεκτονικής και των προϊόντων, (Σχήμα 1). Αποτελούν, επίσης, το έναυσμα μιας αλυσίδας επινοήσεων σε ολόκληρο το περιβάλλον της σχεδίασης και της παραγωγής που έχει καλλιεργηθεί μέσω των εξελίξεων στους τομείς της πληροφορικής και των εξεζητημένων αριθμητικά ελεγχόμενων μηχανών. Οι σημειώσεις αυτές εστιάζουν στην κατανόηση και στην καλλιέργεια της ευαισθησίας στους σχεδιαστές για το πώς να χρησιμοποιήσουν τα νέα αυτά περιβάλλοντα με έναν δημιουργικό τρόπο. Υπογραμμίζουν τις πραγματικές τεχνικές από τις οποίες χώροι, προϊόντα, συστατικά, ή συναρμολογήσεις σχεδιάζονται και κατασκευάζονται μέσω της χρήσης των διαδικασιών *σχεδίασης με βοήθεια-υπολογιστή* και *κατασκευής με βοήθεια-υπολογιστή*.



Σχήμα 1 Οι τεχνικές CAD/CAM επιτρέπουν την ανάπτυξη νέων λεξιλογίων σχεδίασης

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, θα παρουσιαστεί αρχικά η εξέλιξη των τεχνολογιών και των ψηφιακών περιβαλλόντων προκειμένου να γίνει κατανοητό περί τίνος πρόκειται. Ειδικότερα, θα παρουσιαστεί το γεγονός ότι οι υπολογιστές και οι αριθμητικά ελεγχόμενες μηχανές δεν αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα οι μιν από τις δε. Μάλλον, υπήρξε μια συμβιωτική σχέση. Στη συνέχεια, θα αναλυθεί ότι η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών και των ψηφιακών

περιβαλλόντων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διάφορων δομικών μονάδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαμορφώσουν τα διαφορετικά συστήματα για τις ποικίλες δραστηριότητες σχεδίασης και παραγωγής. Αυτές οι πολλές διαφορετικές δομικές μονάδες μπορούν να τεθούν μαζί με ποικίλους τρόπους προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι διαφορετικοί σκοποί. Βασικά, ο πυρήνας ενός συστήματος σχεδίασης και κατασκευής με βοήθεια υπολογιστή, αποτελείται από τρία σημαντικά συστατικά:

- ένα ψηφιακό διαδραστικό περιβάλλον σχεδίασης και ανάλυσης (σύστημα *σχεδίασης με βοήθεια υπολογιστή* – CAD). Σε αυτό παράγονται τα ψηφιακά γεωμετρικά μοντέλα του αντικειμένου που κατασκευάζονται τελικά.
- ένα περιβάλλον ανάλυσης των κατασκευαστικών παραμέτρων (σύστημα *κατασκευής με βοήθεια υπολογιστή* – CAM) όπου ο χρήστης διευκρινίζει με ποιο τρόπο πρόκειται να κατασκευαστεί πραγματικά το ψηφιακά σχεδιασμένο μοντέλο και δημιουργεί μια σειρά ψηφιακών οδηγιών για τις συγκεκριμένες μηχανές ελέγχου, και μία ή περισσότερες *εργαλειομηχανές ελεγχόμενες από υπολογιστή* (CNC).
- ένα περιβάλλον που αφορά σχετικά εργαλεία τα οποία αναλαμβάνουν τη μετάφραση αυτών των ψηφιακών οδηγιών σε πραγματικές μηχανικές διαδικασίες προκειμένου να κατασκευαστεί το αντικείμενο.

Τα διαδραστικά ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης επιτρέπουν σε ένα σχεδιαστή να δημιουργήσει τα περίπλοκα ψηφιακά πρότυπα που επιθυμεί. Αυτά τα ψηφιακά περιβάλλοντα έχουν προηγμένες ικανότητες μοντελοποίησης τόσο επιφανειών όσο και στερεών μοντέλων. Επιπλέον, υποστηρίζουν την παραμετρική σχεδίαση, όπως και τη μοντελοποίηση συναρμολόγησης. Οι ιστορίες της σχεδίασης καθώς και τα βήματα τροποποίησης μπορούν να ανακτηθούν λόγω της ιεραρχικής δομής αυτών των συστημάτων. Τέτοια συστήματα βασίζονται είτε στον έλεγχο των διαστάσεων, είτε στα χαρακτηριστικά, και υποστηρίζουν εφαρμογές σχεδίασης βασισμένες στα υλικά. Τα πιο περιεκτικά ψηφιακά περιβάλλοντα CAD/CAM μπορούν να περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα πακέτα ανάλυσης (π.χ., δομικά, θερμικά, κλπ.), τα οποία βρίσκονται κανονικά σε ένα σύστημα *μηχανικής βοηθούμενης από υπολογιστή* (computer aided engineering – CAE). Μερικά ψηφιακά περιβάλλοντα ταιριάζουν επαρκώς στην αξιολόγηση σχεδίασης,

συμπεριλαμβανομένων των εργονομικών αναλύσεων, των αναλύσεων δαπανών, και ούτω καθεξής.

Ειδικές παράμετροι σχεδίασης για τις διαδικασίες κατασκευής και συναρμολόγησης ενσωματώνονται συχνά στο σχετικό λογισμικό. Ένα συστατικό μιας πλήρους εγκατάστασης ψηφιακών περιβαλλόντων που μπορεί ή όχι να είναι παρόν, είναι η ικανότητα *Ανάστροφης μηχανικής* (Reverse engineering), (ψηφιακή σάρωση ενός υπάρχοντος φυσικού μοντέλου του αντικειμένου και μετατροπή του σε ένα ψηφιακό μοντέλο για περαιτέρω επεξεργασία-τροποποίηση). Πολλά ψηφιακά περιβάλλοντα περιλαμβάνουν, επίσης, τεχνολογίες για δημιουργία πρωτότυπων αξιολόγησης άμεσα από ένα υπολογιστικό – ψηφιακό μοντέλο (Σχήμα 2). Αυτές οι τρισδιάστατες εκτυπώσεις ή τεχνολογίες επεξεργασίας ελεύθερης μορφής (ή άμεσης προτυποποίησης) έχουν καταλάβει τη φαντασία πολλών σχεδιαστών και χαρακτηρίζει τον τομέα των ψηφιακών περιβαλλόντων.



Σχήμα 2 Άμεση προτυποποίηση μοντέλων

Εκτός από τα συστατικά που αναφέρθηκαν πιο πάνω, ένα πλήρως αυτοματοποιημένο ψηφιακό περιβάλλον σχεδίασης και παραγωγής μπορεί ακόμη να περιλαμβάνει συστήματα διαχείρισης υλικών, ρομπότ για τα συναρμολογούμενα μέρη, συστήματα μηχανικής όρασης, συστήματα διαχείρισης διαδικασιών και ελέγχου, συστήματα προγραμματισμού των υλικών πόρων, συστήματα εξασφάλισης ποιότητας, και ένα ολόκληρο πλήθος άλλων πιθανών συστημάτων και τεχνολογιών. Πρέπει να υπογραμμιστεί, εντούτοις, ότι λίγες εγκαταστάσεις περιέχουν πραγματικά όλα αυτά τα συστατικά. Σε ένα περιορισμένο περιβάλλον παραγωγής, παραδείγματος χάριν, μια

εγκατάσταση μπορεί να αποτελείται απλά από κάποιο είδος χαμηλού επιπέδου πακέτου σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή που συνδέεται άμεσα με μια CNC μηχανή ενός τύπου, μέσω ενός βασικού προγράμματος εφαρμογών παραγωγής που επιτρέπει στο χρήστη να ελέγξει άμεσα μια μηχανή.

Η μεγάλη δύναμη των ψηφιακών περιβαλλόντων αναδεικνύεται, όταν ενσωματώνονται τα ξεχωριστά συστήματα σε ένα μεγαλύτερο δικτυωμένο σύστημα πληροφοριών που ενσωματώνει το πλήρες φάσμα των διαφορετικών συμμετεχόντων που τελικά περιλαμβάνεται στον προγραμματισμό, τη σχεδίαση, τον ανεφοδιασμό, την παραγωγή, την εγκατάσταση, το μάρκετινγκ, τη διανομή, και τη χρήση οποιουδήποτε προϊόντος. Οι ανάγκες ανταλλαγής πληροφοριών είναι, φυσικά, κρίσιμες σε αυτές τις σχέσεις. Πολλά διαφορετικά μοντέλα επιχειρήσεων και διαχείρισης έχουν αναπτυχθεί βασισμένα στον τρόπο με τον οποίο αυτές οι σχέσεις είναι δομημένες. Είναι μέσα σε αυτό το μεγαλύτερο πλαίσιο όπου η δύναμη των συστημάτων σχεδίασης και κατασκευής με τη βοήθεια υπολογιστή μπαίνει στο παιχνίδι σε πολλές βιομηχανίες, και είναι μέσω αυτού του πλαισίου όπου πολλές βιομηχανίες σχεδίασης και παραγωγής έχουν αναπτύξει επαναστατικούς τρόπους λειτουργίας τους. Η ανάπτυξη των μοντέλων των προϊόντων που χρησιμοποιούν τα ψηφιακά περιβάλλοντα αποτελεί το θεμέλιο για την εφαρμογή των υπολογιστών στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων, (ο όρος προϊόν χρησιμοποιείται με την ευρύτερη έννοια). Οι πληροφορίες από αυτά τα μοντέλα αποτελούν έπειτα τη βάση για την ανάλυση του σχεδίου, για τον προγραμματισμό και την οργάνωση της δραστηριότητας κατασκευής και για τον έλεγχο των μηχανών που κατασκευάζουν τα προϊόντα.

Πολλές ιδιότητες των προϊόντων πρέπει να μοντελοποιηθούν, συμπεριλαμβανομένων της μορφής, των διαστάσεων, της ανοχής και της δομής. Σε όλες αυτές τις περιοχές, η γεωμετρία, οι εικόνες και ο χωρικός χειρισμός είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες. Γι' αυτόν το λόγο, τα ψηφιακά περιβάλλοντα βασίζονται στην *υπολογιστική γεωμετρία* (computational geometry) και τα *γραφικά υπολογιστών* (computer graphics). Σε αυτό το μέρος των σημειώσεων θα αρχίσουμε με την εξέταση αυτών των τεχνολογιών και πώς εφαρμόζονται στη μοντελοποίηση. Έπειτα, θα εξετάσουμε τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν αντίστοιχα μοντέλα, καθώς και τα πρότυπα και τις σύγχρονες τάσεις στην ανάπτυξη της υπολογιστικής σχεδίασης.

Το κεφάλαιο 1 εισάγει την έννοια των ψηφιακών περιβαλλόντων και εκθέτει το ρόλο τους στο πλαίσιο της διαδικασίας σχεδίασης. Παράλληλα παρέχει μια μη-τεχνική εισαγωγή στο τι είναι τα ψηφιακά περιβάλλοντα και πώς αυτά είναι δομημένα. Το κεφάλαιο 2 αφορά μια συζήτηση σχετικά με τις θεμελιώδεις τεχνικές μοντελοποίησης χρησιμοποιώντας τις διάφορες τεχνικές αναπαράστασης του σχεδιαστικού αντικειμένου με τη χρήση εναλλακτικών μεθόδων. Στο κεφάλαιο 3 το πρώτο μέρος αποτελεί μια επισκόπηση στα ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης και στον τρόπο που χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν τις δραστηριότητες σχεδίασης προϊόντων. Στο δεύτερο μέρος θα εκτεθούν οι κατηγορίες λογισμικού γεωμετρικής μοντελοποίησης. Τέλος στο κεφάλαιο 4 θα εξεταστούν οι σύνθετες μέθοδοι μοντελοποίησης. Τέτοιες μέθοδοι έχουν εξελιχθεί πρώτιστα για να υποστηρίξουν ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης κατά τη φάση σχεδίασης για την ανάπτυξη, και σχεδίασης παραγωγής ή κατασκευής.

Κεφάλαιο 1

Ο κύκλος παραγωγής προϊόντων και ο ρόλος των ψηφιακών περιβαλλόντων

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα τεθεί το πλαίσιο για τη συζήτηση του σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή. Ειδικότερα, θα εξεταστούν τα διάφορα στάδια στη διαδικασία σχεδίασης, όπως επίσης και οι τρόποι που επινοούνται για τα μοντέλα σχεδίασης στις διαφορετικές φάσεις της σχεδιαστικής διαδικασίας. Αυτά τα μοντέλα αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας ποικίλες αναπαραστάσεις και μοντελοποιούν μια σειρά ιδιοτήτων του σχεδίου. Ο ρόλος τους περιλαμβάνει τόσο την περιγραφή του σχεδίου, ενώ είναι ακόμα μια αφηρημένη έννοια, όσο και την επικοινωνία αυτής της περιγραφής σε όλη τη διαδικασία εισαγωγής προϊόντων. Παράλληλα, θα παρουσιαστεί η άποψη ότι τα ψηφιακά περιβάλλοντα παρέχουν τις τεχνικές τόσο για την αυτοματοποίηση των πτυχών αυτής της μοντελοποίησης των σχεδίων, όσο και για τη μοντελοποίηση των σχεδίων με νέους τρόπους. Εν συνεχεία θα συζητηθεί μια γενική περιγραφή ενός ψηφιακού περιβάλλοντος CAD με όρους στοιχείων για τον καθορισμό του μοντέλου, το χειρισμό και την αποθήκευση.

1.1. Ο κύκλος παραγωγής προϊόντων

Στο ξεκίνημα της διαδρομής αυτής, για να κατανοήσουμε καλύτερα τη θέση των ψηφιακών περιβαλλόντων στη διαδικασία σχεδιασμού, πρέπει καταρχάς να εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά του προϊόντος κατά την έλευσή του στην αγορά. Επειδή ο παγκόσμιος ανταγωνισμός είναι τεράστιος, για να επιβιώσουν οι σύγχρονες βιομηχανίες, επιβάλλεται τα νέα προϊόντα που εισάγονται στην αγορά να διαθέτουν καλύτερη ποιότητα (ποιότητα, ΠΟ), χαμηλότερο κόστος (κόστος, Κ), και συντομία στο χρόνο υλοποίησής τους (παράδοση, ΠΡ).

Η εμφάνιση και εξέλιξη των προϊόντων σχετίζεται άμεσα με την ανάγκη που εμφανίζει κάθε φορά η αγορά. Αυτή η ανάγκη θα προσδιοριστεί συνήθως υπό μορφή της

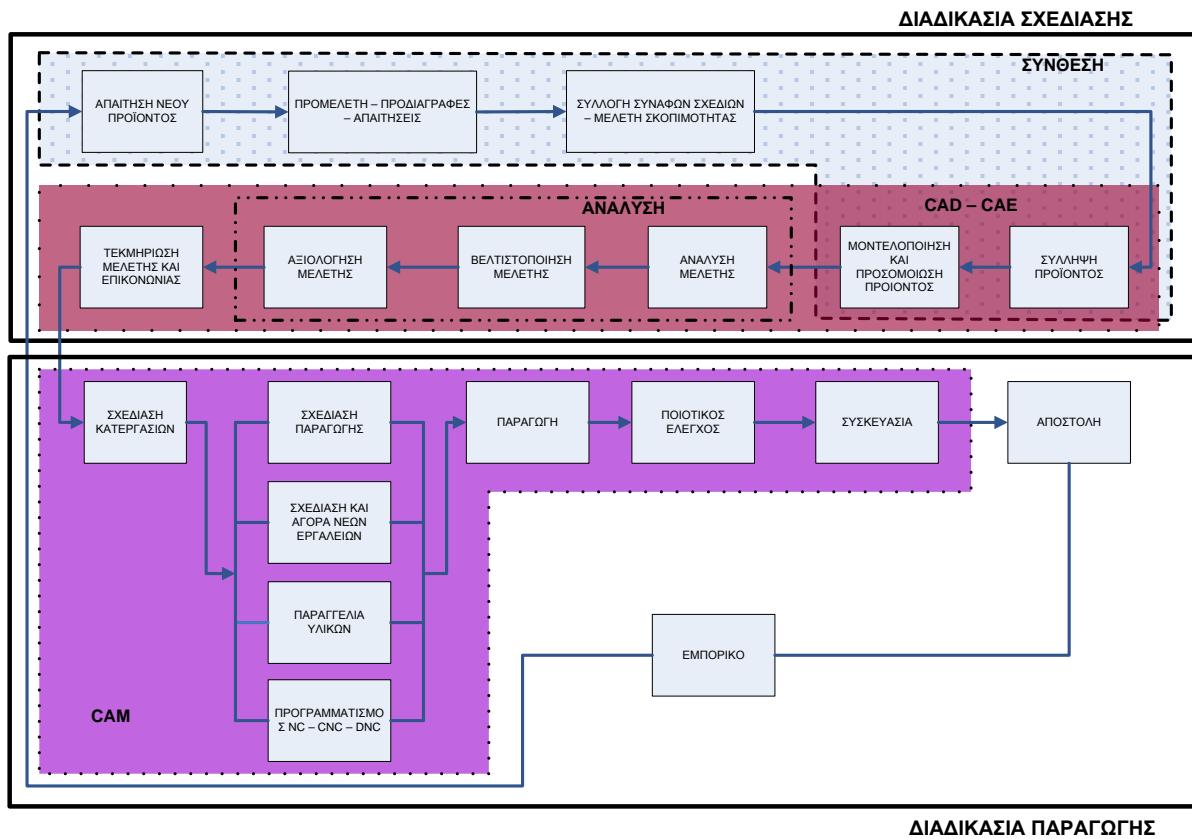
σύνοψης σχεδίασης, η οποία θα αποτελεί τη βάση για την επόμενη ανάπτυξη προϊόντων. Οι σχεδιαστές των προϊόντων θα ερευνήσουν τους τρόπους με τους οποίους η σύνοψη σχεδίασης θα προσεγγιστεί, και αυτοί θα αναπτύξουν τελικά τον πιο πολλά υποσχόμενο τρόπο με λεπτομερείς οδηγίες για την κατασκευή. Σε αυτό, βοηθούν οι σχεδιαστές ανάλυσης, οι οποίοι χρησιμοποιούν τις τεχνικές ανάλυσης και προσομοίωσης για να εξετάσουν τις ικανότητες του αντικειμένου των σχεδιαστικών προτάσεων, και οι σχεδιαστές ανάπτυξης, που εκτελούν την πειραματική εργασία σε εγκαταστάσεις δοκιμών και σε πρωτότυπα, για να κάνουν τους λεπτομερείς καθορισμούς του σχεδίου. Σημαντική είναι και η προσφορά των ερευνητών σχεδιαστών – μηχανικών, οι οποίοι αναλαμβάνουν να εκτελέσουν τη θεωρητική ή πειραματική εργασία, για να συμπληρώσουν τα κενά στην επιλογή των υλικών και στην κατανόηση της σειράς των διαδικασιών ή των τεχνικών που χρησιμοποιούνται. Μόλις αναπτυχθεί λεπτομερώς το σχέδιο, λαμβάνεται από τον αρμόδιο για τη διαδικασία οργάνωσης, ο οποίος θα προσδιορίσει τις διαδικασίες και τις επιχειρήσεις που απαιτούνται για την παραγωγή και συναρμολόγηση ή την κατασκευή του προϊόντος. Η λεπτομέρεια αυτών των διαδικασιών και η λεπτομέρεια των μερών του προϊόντος, χρησιμοποιούνται από τον αρμόδιο για την οργάνωση, τον έλεγχο και τον προγραμματισμό της παραγωγής, καθώς και για τη διαχείρισή της. Αυτή είναι φυσικά μια πολύ ευρεία περιγραφή της μηχανολογικής διαδικασίας. Οι λεπτομέρειες σε κάθε στάδιο μπορεί να ποικίλουν αρκετά, σύμφωνα με τον αριθμό των εμπλεκόμενων ατόμων καθώς και τη φύση και πολυπλοκότητα του προϊόντος. Όλοι όσοι εμπλέκονται στα διάφορα στάδια της διαδικασίας προσπαθούν να εκμεταλλευτούν με τον αποδοτικότερο τρόπο την τεράστια ικανότητα μνήμης του υπολογιστή, τη γρήγορη ταχύτητα επεξεργασίας και τις φιλικές προς το χρήστη δυνατότητες διαδραστικών γραφικών. Με αυτό τον τρόπο είναι εφικτό να αυτοματοποιηθούν και να συνδεθούν μαζί τα ειδάλλως δυσκίνητα και διακριτά καθήκοντα σχεδίασης και παραγωγής, μειώνοντας κατά συνέπεια το χρόνο και το κόστος ανάπτυξης και παραγωγής προϊόντων. Η *σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή* (computer aided design, CAD), η *κατασκευή με τη βοήθεια υπολογιστή* (computer aided manufacturing, CAM), και η *μηχανική με τη βοήθεια υπολογιστή* (computer aided engineer, CAE) είναι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται γι' αυτόν το λόγο κατά τη διάρκεια του κύκλου παραγωγής των προϊόντων. Κατά συνέπεια, για να γίνει κατανοητός ο ρόλος των ψηφιακών περιβαλλόντων CAD/CAM/CAE, είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι ποικίλες

δραστηριότητες και λειτουργίες που πρέπει να ολοκληρωθούν κατά τη διάρκεια του κύκλου παραγωγής των προϊόντων.

Τα τελευταία χρόνια έχουν εκπονηθεί διάφορες μελέτες για να αποδοθεί μια επίσημη περιγραφή των σταδίων ή των στοιχείων της διαδικασίας παραγωγής. Λαμβάνοντας υπόψη την έκταση των καταστάσεων κατά τη σχεδίαση, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι υπάρχουν κάποιες παραλλαγές σε αυτές τις περιγραφές, τόσο στην ορολογία όσο και σε λεπτομέρειες. Τελικά, αυτές συμφωνούν γενικά ότι η σχεδίαση προχωρά με ένα βαθμιαίο τρόπο από κάποια δήλωση αναγκών μέσω προσδιορισμού του προβλήματος (καθορισμός απαιτήσεων), προς μια αναζήτηση λύσεων και ανάπτυξη της επιλεγμένης λύσης για κατασκευή, δοκιμή - έλεγχο και χρήση. Για τις ανάγκες των σημειώσεων θα εξετάσουμε συνοπτικά δύο μοντέλα. Πρώτον του Zeid [1991], και δεύτερον των Pahl και Beitz [1996].

1.1.1. Το μοντέλο του Zeid

Ο κύκλος παραγωγής προϊόντων όπως περιγράφεται από τον Zeid [1991] αποτελείται από δύο κύριες διαδικασίες: τη *διαδικασία σχεδίασης* και τη *διαδικασία κατασκευής*. Εδώ παρουσιάζεται με τις δευτερεύουσες τροποποιήσεις, όπως υποδεικνύουν οι περιοχές με τις έντονες γραμμές, (Σχήμα 1-1). Η *διαδικασία σχεδίασης* αρχίζει από τις απαιτήσεις των πελατών που προσδιορίζονται από το εμπορικό τμήμα και τελειώνει με μια πλήρη περιγραφή του προϊόντος, συνήθως υπό μορφή σχεδίων (κατασκευαστικών – λεπτομερειών). Η *διαδικασία κατασκευής* αρχίζει από τις προδιαγραφές σχεδίασης και τελειώνει με τη αποστολή των πραγματικών προϊόντων.



Σχήμα 1-1 Κύκλος παραγωγής προϊόντων

Οι δραστηριότητες που περιλαμβάνονται στη διαδικασία σχεδίασης μπορούν να ταξινομηθούν κατά ένα μεγάλο μέρος ως δύο τύποι:

- σύνθεση και,
- ανάλυση.

Οι υπό-διαδικασίες της *σύνθεσης* αφορούν τις αρχικές δραστηριότητες σχεδίασης, όπως ο εντοπισμός της ανάγκης σχεδίασης, η διατύπωση των προδιαγραφών σχεδίασης, η μελέτη σκοπιμότητας με τη συλλογή των σχετικών πληροφοριών σχεδίασης, και η σύλληψη σχεδίασης, (Σχήμα 1-1). Έτσι, τα αποτελέσματα των υπό-διαδικασιών της σύνθεσης κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης είναι τα ακόλουθα:

- εννοιολογικό σχέδιο του αναμενόμενου προϊόντος υπό μορφή σκίτσου ή σχεδιαγράμματος που εμφανίζει τις σχέσεις μεταξύ των διάφορων τμημάτων του προϊόντος.

- καθορισμός της λειτουργίας των τμημάτων και της συνολικής λειτουργίας του προϊόντος.
- καθορισμός του πλαισίου των σημαντικότερων οικονομικών υποχρεώσεων που απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί η ιδέα του προϊόντος.

Το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών που παράγονται και που δέχονται επεξεργασία στις υπό-διαδικασίες της σύνθεσης είναι ποιοτικού χαρακτήρα και συνεπώς είναι δύσκολο να συλληφθούν μέσω ενός ψηφιακού συστήματος.

Με την ολοκλήρωση της εννοιολογικής σχεδίασης αρχίζουν οι υπό-διαδικασίες της *ανάλυσης*. Αυτές ξεκινούν με την ανάλυση και βελτιστοποίηση του σχεδίου. Επειδή οι υπό-διαδικασίες ανάλυσης εφαρμόζονται στο μοντέλο παρά στο ίδιο το σχέδιο, παράγεται πρώτα ένα μοντέλο ανάλυσης. Παρά την ταχεία ανάπτυξη της δύναμης και της διαθεσιμότητας των ψηφιακών περιβαλλόντων στη σχεδίαση, η αφαιρετικότητα των μοντέλων ανάλυσης θα είναι απαραίτητη και στο εγγύς μέλλον. Το μοντέλο ανάλυσης λαμβάνεται με την αφαίρεση των περιττών λεπτομερειών από το σχέδιο, τη μείωση των διαστάσεων, και την αναγνώριση και την υιοθέτηση της συμμετρίας. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων που επιτυγχάνονται από αυτές τις δραστηριότητες σχετίζεται άμεσα και καθορίζεται από την ποιότητα του μοντέλου ανάλυσης που επιλέγεται.

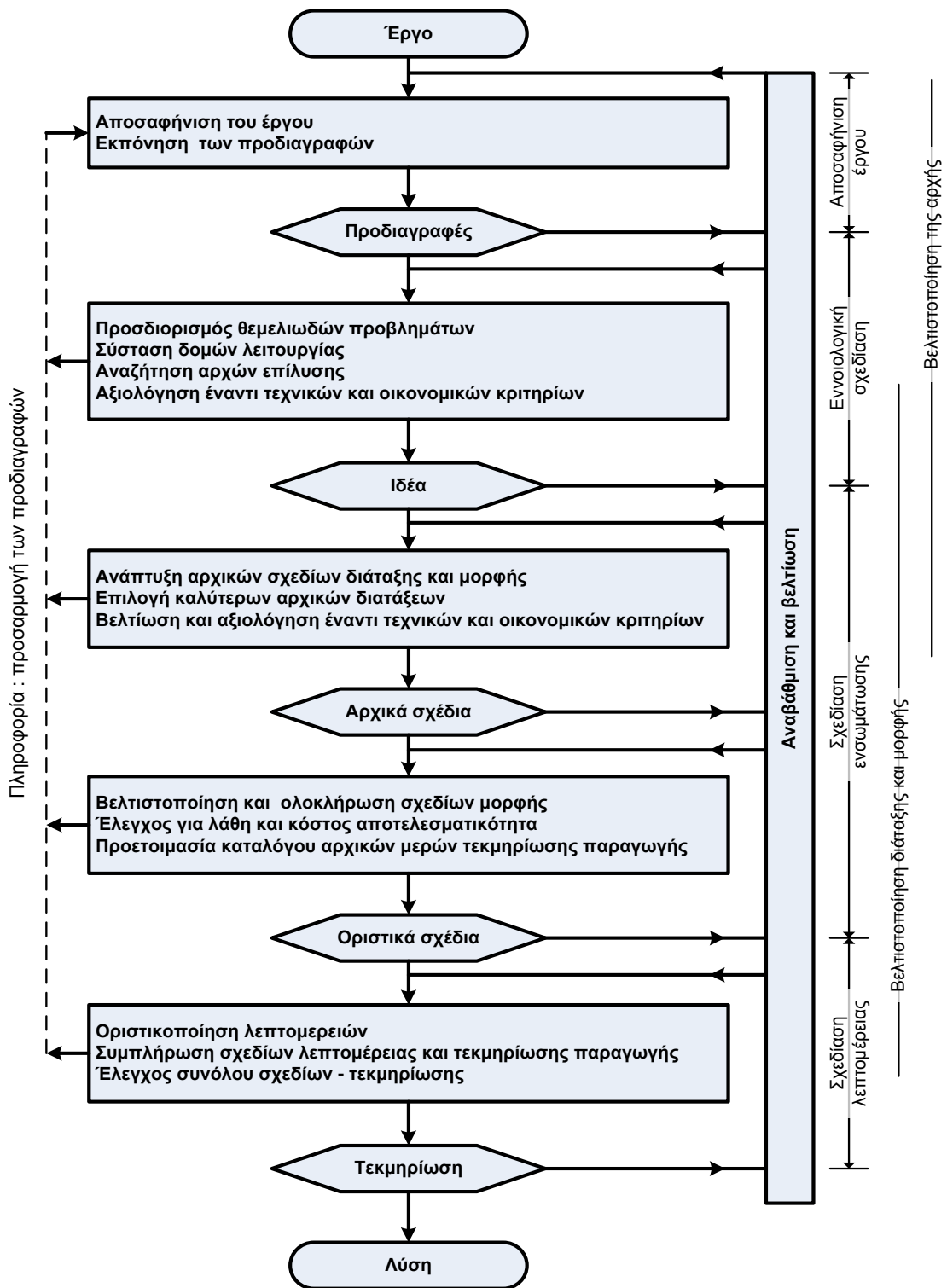
Μόλις ολοκληρωθεί ένα σχέδιο, μετά από τη βελτιστοποίηση ή τη λήψη κάποιων καταρχήν αποφάσεων, αρχίζει η *φάση αξιολόγησης του σχεδίου*. Γι' αυτόν το λόγο κατασκευάζονται τα πρωτότυπα. Η νέα τεχνολογία, αποκαλούμενη *γρήγορη μοντελοποίηση πρωτοτύπου* (rapid prototyping, RP) είναι δημοφιλής για την κατασκευή των πρωτοτύπων. Εάν η φάση της αξιολόγησης του σχεδίου στο πρωτότυπο μοντέλο δείξει ότι το σχέδιο δεν είναι ικανοποιητικό, παρουσιάζει ελλείψεις, κενά ή ατέλειες, τότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται με ένα νέο σχέδιο. Όταν η έκβαση της αξιολόγησης του σχεδίου είναι ικανοποιητική, τότε προετοιμάζεται η *τεκμηρίωση του σχεδίου*. Αυτή περιλαμβάνει την προετοιμασία των σχεδίων, των εκθέσεων, και το κόστος των υλικών. Συμβατικά, τα σχεδιαγράμματα (blueprints) προκύπτουν από τα σχέδια και μεταφέρονται προς τη φάση της κατασκευής.

Η φάση της *διαδικασίας κατασκευής* εκκινεί με τη διαδικασία προγραμματισμού της χρησιμοποιώντας τα σχέδια από τη διαδικασία σχεδίασης, και ολοκληρώνεται με την

παραγωγή των πραγματικών προϊόντων, (Σχήμα 1-1). Η διαδικασία προγραμματισμού ορίζει τις διαδικασίες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και τις κατάλληλες παραμέτρους που πλαισιώνουν τις διαδικασίες αυτές. Στη συνέχεια επιλέγονται οι μηχανές που θα εκτελέσουν τις διαδικασίες. Η σχέση της διαδικασίας προγραμματισμού κατά τη διαδικασία κατασκευής είναι ανάλογη με αυτήν της σύνθεσης κατά τη διαδικασία σχεδίασης: περιλαμβάνει την ιδιαίτερη ανθρώπινη εμπειρία και τις ποιοτικές αποφάσεις. Αυτή η συσχέτιση, που αφορά τη διαδικασία προγραμματισμού, υπονοεί ότι θα ήταν δύσκολο να μηχανογραφηθεί. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία προγραμματισμού, το τελικό-πραγματικό προϊόν παράγεται και ελέγχεται σχετικά με τις ποιοτικές του απαιτήσεις. Τα μέρη που περνούν την επιθεώρηση ποιοτικού ελέγχου συγκεντρώνονται, ελέγχονται λειτουργικά, συσκευάζονται, φέρουν ετικέτες και αποστέλλονται στους πελάτες.

1.1.2. Το μοντέλο των Pahl και Beitz

Στο μοντέλο που προτείνεται από τους Pahl και Beitz (1996) η διαδικασία σχεδίασης περιγράφεται από ένα διάγραμμα ροής που περιλαμβάνει τέσσερις κύριες φάσεις, (Σχήμα 1-2).



Σχήμα 1-2 Βήματα της σχεδιαστικής διαδικασίας σύμφωνα με τους Pahl and Beitz (1984)

Αυτές οι φάσεις μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- *αποσαφήνιση* του έργου. Αυτή περιλαμβάνει τη συλλογή των πληροφοριών για τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς στη σχεδίαση, και την περιγραφή όλων αυτών σε μια σειρά προδιαγραφών,
- *εννοιολογική σχεδίαση*. Εμπεριέχει τον καθορισμό των λειτουργιών που περιλαμβάνονται στο σχέδιο, και τον προσδιορισμό και την ανάπτυξη των κατάλληλων λύσεων
- *σχεδίαση ενσωμάτωσης*. Σε αυτήν τη φάση η εννοιολογική λύση αναπτύσσεται λεπτομερέστερα, τα προβλήματα επιλύονται και οι όποιες αδύνατες πτυχές αποβάλλονται
- *σχεδίαση λεπτομερειών*. Σε αυτήν τη φάση καθορίζονται λεπτομερώς οι διαστάσεις, και διευκρινίζονται οι ανοχές, τα υλικά και η μορφή επιμέρους συστατικών του σχεδίου για την επικείμενη κατασκευή.

Όπως παρατηρούμε, το Σχήμα 1-2 παρουσιάζει μια ευθεία ακολουθία των σταδίων που αποτελούν τη διαδικασία σχεδίασης. Παρόλα αυτά όμως, στην πράξη οι κύριες φάσεις δεν είναι πάντα καθορισμένες με σαφήνεια και, επιπλέον, υπάρχει μια αμετάβλητη ανατροφοδότηση προς τα προηγούμενα στάδια και συχνά επαναλήψεις μεταξύ των σταδίων.

1.1.3. Η αναγκαιότητα της χρήσης των τεχνολογιών CAD/CAM/CAE

Γενικά, και τα δύο μοντέλα της διαδικασίας σχεδίασης που παρουσιάστηκαν ανωτέρω ακολουθούν μια αρκετά παραδοσιακή άποψη, κατά την οποία υπάρχει μια ακολουθία σταδίων σχεδίασης, που εν συνεχεία ακολουθείται από την κατασκευή. Όλο και περισσότερο, εντούτοις, η πίεση να μειωθούν τα χρονοδιαγράμματα σχεδίασης και ανάπτυξης προϊόντων οδηγεί τις επιχειρήσεις να κατευθύνουν τη σχεδίαση, την ανάπτυξη, την ανάλυση και την προετοιμασία των πληροφοριών κατασκευής, παράλληλα. Σ' αυτόν τον τομέα έχουν δοθεί διάφορα ονόματα, όπως *Ταυτόχρονη Μηχανική* ή *Παράλληλη Μηχανική* (Concurrent Engineer). Ειδικότερα δε, ακολουθείται από εκείνες τις επιχειρήσεις που παράγουν καθιερωμένα προϊόντα και όπου απαιτούνται νέα μοντέλα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το θέμα της παράλληλης μηχανικής θα εξεταστεί παρακάτω σε αυτό το κεφάλαιο.

Μέχρι αυτό το σημείο έχει περιγραφεί ένας χαρακτηριστικός κύκλος παραγωγής προϊόντων. Θα ακολουθήσει μια ανασκόπηση, για να δειχθεί πώς το ψηφιακά περιβάλλοντα, μέσω των τεχνολογιών CAD/CAM/CAE, υιοθετούνται κατά αυτόν τον κύκλο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα ψηφιακά περιβάλλοντα δε χρησιμοποιούνται ευρέως στη φάση σύνθεσης της διαδικασίας σχεδίασης, επειδή δε χειρίζονται καλά τις ποιοτικές πληροφορίες. Εντούτοις, στην υπό-διαδικασία της σύνθεσης, παραδείγματος χάριν, ένας σχεδιαστής έχει τη δυνατότητα να συλλέξει επαρκώς τις σχετικές πληροφορίες σχεδίασης για τη μελέτη σκοπιμότητας με τη χρησιμοποίηση μιας εμπορικής βάσης δεδομένων, καθώς και να συλλέξει πληροφορίες από θεματικούς καταλόγους με τον ίδιο τρόπο.

Επειδή τα ψηφιακά περιβάλλοντα δεν αποτελούν ακόμα ένα ισχυρό εργαλείο για τη διανοητική δημιουργική διαδικασία, συνεπώς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν δημιουργικά στη φάση της σχεδιαστικής σύλληψης. Ωστόσο, τα ψηφιακά περιβάλλοντα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά σε αυτήν τη φάση με το να παραχθούν αποτελεσματικά τα διάφορα εννοιολογικά σχέδια. Η παραμετρική μοντελοποίηση ή η ικανότητα μακρο-προγραμματισμού της *σχεδιογράφησης με βοήθεια υπολογιστή* (computer aided drafting) ή η *γεωμετρική μοντελοποίηση* (geometric modelling) μπορεί να είναι χρήσιμες μέθοδοι για αυτό το καθήκον. Τέτοιες μέθοδοι ενσωματώνονται σε χαρακτηριστικά παραδείγματα του λογισμικού σχεδίασης με βοήθεια υπολογιστή (CAD).

Η υπο-διαδικασία ανάλυσης της διαδικασίας σχεδίασης είναι η περιοχή όπου τα ψηφιακά περιβάλλοντα αποκαλύπτουν την αξία τους. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλά διαθέσιμα πακέτα λογισμικού τα οποία ταξινομούνται στην κατηγορία *μηχανική με βοήθεια υπολογιστή* (Computer Aided Engineering – CAE). Ένα πρόβλημα που προκύπτει με τη χρησιμοποίησή τους είναι η επεξεργασία μοντέλου ανάλυσης. Εντούτοις, δε θα αποτελούσε καθόλου πρόβλημα εάν το μοντέλο ανάλυσης είχε προέλθει αυτόματα από το εννοιολογικό σχέδιο. Όπως ειπώθηκε προηγουμένως, το μοντέλο ανάλυσης δεν προέρχεται αυτούσιο από το εννοιολογικό σχέδιο, αλλά παράγεται με την εξάλειψη των περιττών λεπτομερειών από το σχέδιο ή με τη μείωση των διαστάσεών του. Το κατάλληλο επίπεδο αφαίρεσης διαφέρει, ανάλογα με τον τύπο ανάλυσης και την επιθυμητή ακρίβεια της λύσης. Κατά συνέπεια, είναι δύσκολο να αυτοματοποιηθεί αυτή η διαδικασία αφαίρεσης, και αναλόγως το μοντέλο ανάλυσης δημιουργείται συχνά χωριστά. Αποτελεί κοινή πρακτική η δημιουργία μιας αφηρημένης μορφής του σχεδίου χρησιμοποιώντας ένα σύστημα

σχεδιογράφησης με βοήθεια υπολογιστή, ή ένα σύστημα γεωμετρικής μοντελοποίησης (geometric modelling), ή μερικές φορές με τη χρησιμοποίηση αντίστοιχης ενσωματωμένης ικανότητας των πακέτων ανάλυσης. Καθώς τα εργαλεία ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν το ψηφιακό μοντέλο γίνονται αρκετά ισχυρά, ώστε να δίνουν ένα αποτέλεσμα ανάλυσης τόσο ακριβές όσο αυτό από το ισοδύναμο πείραμα σε ένα πραγματικό πρωτότυπο, τα ψηφιακά πρότυπα θα τείνουν να αντικαταστήσουν σταδιακά τα πραγματικά πρωτότυπα. Αυτή η τάση θα αυξηθεί καθώς η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας μας παρέχει πλέον τη δυνατότητα να λαμβάνουμε από το ψηφιακό μοντέλο το ίδιο αποτέλεσμα που παίρνουμε από το πραγματικό πρωτότυπο. Η δραστηριότητα της κατασκευής των ψηφιακών μοντέλων καλείται *εικονική προτυποποίηση* (Virtual Prototyping – VP). Το εικονικό πρωτότυπο μπορεί, επίσης, να παραχθεί από ένα είδος γεωμετρικής μοντελοποίησης που είναι εξειδικευμένη για εκείνο τον σκοπό.

Η τελική φάση της διαδικασίας σχεδίασης είναι η *τεκμηρίωση του σχεδίου*. Σε αυτήν τη φάση, η *σχεδιογράφηση με βοήθεια υπολογιστή* (Computer Aided Drafting) είναι ένα ισχυρό εργαλείο. Επίσης, η ικανότητα αρχειοθέτησης φακέλων των συστημάτων σχεδιογράφησης με βοήθεια υπολογιστή επιτρέπει τη συστηματική αποθήκευση και την ανάκτηση των εγγράφων.

Μια άλλη φάση, όπου χρησιμοποιούνται εξίσου ευρέως τα ψηφιακά περιβάλλοντα, είναι η φάση της διαδικασίας κατασκευής. Έτσι, όλα τα ψηφιακά περιβάλλοντα που αφορούν τις δραστηριότητες αυτής της διαδικασίας μπορούν να ταξινομηθούν ως περιβάλλοντα *κατασκευής με βοήθεια υπολογιστή* (CAM). Για παράδειγμα, ένας τύπος λογισμικού CAM αποτελεί το *περιβάλλον προγραμματισμού διαδικασιών με βοήθεια υπολογιστή* (Computer-Aided Process Planning – CAPP), που συμβάλλει στη δραστηριότητα προγραμματισμού των διαδικασιών που ακολουθούνται. Όπως αναφέρεται προηγουμένως, ο προγραμματισμός διαδικασίας είναι δύσκολο να αυτοματοποιηθεί, και έτσι ένα 100% αυτόματο λογισμικό CAPP δεν είναι διαθέσιμο αυτήν την περίοδο.

Σήμερα η πλήρης διαδικασία δημιουργίας προϊόντων, συμπεριλαμβανομένης της προετοιμασίας παραγωγής, επιτελείται εντελώς μέσω των τεχνικών που στηρίζονται στα περιβάλλοντα CAx-. Σύμφωνα με τους διάφορους τομείς εφαρμογής και χρήσης τα διαφορετικά συστήματα CAx- αναπτύχθηκαν, με ονομασίες από τις διαφορετικές CAx-

μεθόδους: Styling με βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Styling - CAS), Αισθητική σχεδίαση με βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Aesthetic Design - CAAD), Εννοιολογικό σχέδιο με βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Conceptual Design - CACD).

Όλες αυτές οι διαφορετικές τεχνολογίες καλύπτονται από την έκφραση Σχεδίαση με βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Design - CAD). Δύο πολύ σημαντικοί τομείς CAx αναπτύχθηκαν ιστορικά σχεδόν ανεξάρτητα: η Παραγωγή με βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Manufacturing - CAM) και η Μηχανική με βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Engineering - CAE). Με την αυξανόμενη ολοκλήρωση αυτών των περιβαλλόντων CAx η διαχείριση των δεδομένων και των πληροφοριών έγιναν όλο και περισσότερο σημαντικές παράμετροι. Σήμερα το σύνθετο δίκτυο των περιβαλλόντων CAx και των διάφορων δεδομένων τους δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί χωρίς την ύπαρξη συστημάτων Διαχείρισης Δεδομένων Προϊόντων (Product Data Management Systems - PDMS). Αυτά τα περιβάλλοντα θεωρούνται ως η σπονδυλική στήλη της σύγχρονης ανάπτυξης προϊόντων και επεκτείνονται συνεχώς για να υποστηρίξουν ολόκληρο τον κύκλο της ζωής προϊόντων. Αυτή η γενική διαχείριση πληροφοριών οδηγεί στην έννοια Διαχείρισης Κύκλου ζωής Προϊόντος (Product Lifecycle Management - PLM).

Μέχρι στιγμής έχει γίνει αναφορά στο πώς τα ψηφιακά περιβάλλοντα υιοθετούνται στον κύκλο παραγωγής προϊόντων και πώς οι στόχοι, που κάθε φορά τίθενται, επιτυγχάνονται αποτελεσματικότερα με τη χρήση των συστημάτων CAD/CAM/CAE. Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί ο καθορισμός των τεχνολογιών αυτών.

1.2. Ορισμοί περιβαλλόντων CAD / CAM / CAE

Όπως αναφέρεται στο προηγούμενο τμήμα, η *σχεδίαση με βοήθεια υπολογιστή* (Computer Aided Design, CAD) είναι η τεχνολογία που αφορά τη χρήση των ψηφιακών περιβαλλόντων για να βοηθήσει στη δημιουργία, την τροποποίηση, την ανάλυση, και τη βελτιστοποίηση ενός σχεδίου [Groover & Zimmers, 1984]. Κατά συνέπεια, οποιοδήποτε πρόγραμμα ενός ψηφιακού περιβάλλοντος που ενσωματώνει α) γραφικά υπολογιστή και β) ένα πρόγραμμα εφαρμογής που διευκολύνει τις λειτουργίες της διαδικασίας σχεδίασης, είναι ταξινομημένο ως λογισμικό *σχεδίασης με βοήθεια υπολογιστή* (CAD). Με άλλα λόγια, τα περιβάλλοντα CAD μπορούν να ποικίλουν από τα γεωμετρικά εργαλεία για τη διαχείριση

μορφών στο ένα άκρο, μέχρι τα προσαρμοσμένα προγράμματα εφαρμογής, όπως εκείνα για την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση, στο άλλο άκρο [Zeid, 1991]. Μεταξύ αυτών των δύο άκρων, τα χαρακτηριστικά εργαλεία που είναι διαθέσιμα σήμερα περιλαμβάνουν την ανάλυση ανοχών, τους υπολογισμούς ιδιοτήτων μάζας, όπως και την απεικόνιση των αποτελεσμάτων ανάλυσης, για να αναφέρουμε μερικά από αυτά.

Ο βασικότερος ρόλος ενός περιβάλλοντος *σχεδίασης με βοήθεια υπολογιστή* (CAD) είναι ο καθορισμός της γεωμετρίας του σχεδίου (ένα μηχανικό μέρος, αρχιτεκτονική δομή, κτηριολογική διάταξη, και ούτω καθεξής), δεδομένου ότι η γεωμετρία του σχεδίου είναι ουσιαστικός παράγοντας σε όλες τις επόμενες δραστηριότητες των φάσεων στον κύκλο παραγωγής προϊόντων. Η *σχεδιογράφηση με βοήθεια υπολογιστή* (computer aided drafting) και η *γεωμετρική μοντελοποίηση* (geometric modelling) χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά για αυτόν το σκοπό. Γι' αυτό, αυτές οι μέθοδοι θεωρούνται λογισμικό CAD. Επιπλέον, η γεωμετρική αναπαράσταση που δημιουργείται μέσω αυτών των συστημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για άλλες λειτουργίες στα συστήματα CAE/CAM. Αυτό είναι ένα από τα μέγιστα οφέλη ενός περιβάλλοντος *σχεδίασης με βοήθεια υπολογιστή* (CAD), επειδή η χρήση του μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικό χρόνο και να μειώσει τα λάθη που προκαλούνται σε διαφορετική περίπτωση με τον απαραίτητο επαναπροσδιορισμό εξαρχής της γεωμετρίας του σχεδίου κάθε φορά που απαιτείται. Επομένως, ισχύει ότι τα συστήματα σχεδιογράφησης με βοήθεια υπολογιστή και τα συστήματα γεωμετρικής μοντελοποίησης είναι τα σημαντικότερα συστατικά ενός περιβάλλοντος *σχεδίασης με βοήθεια υπολογιστή* (CAD).

Η *κατασκευή με βοήθεια υπολογιστή* (Computer Aided Manufacturing – CAM) είναι η τεχνολογία που αφορά τη χρήση των ψηφιακών περιβαλλόντων που προγραμματίζουν, διαχειρίζονται, και ελέγχουν τις διαδικασίες κατασκευής μέσω είτε της άμεσης είτε της έμμεσης διεπαφής των ψηφιακών περιβαλλόντων με τους πόρους παραγωγής των εγκαταστάσεων. Ένας από τους πλέον ώριμους τομείς των περιβαλλόντων CAM είναι ο *αριθμητικός έλεγχος* (numerical control – NC). Πρόκειται για την τεχνική της χρήσης προγραμματισμένων οδηγιών μέσω προγραμματισμού για τον έλεγχο μιας εργαλειομηχανής που κόβει, τρυπά, κάμπτει, ή μετατρέπει το ακατέργαστο υλικό σε ολοκληρωμένο τμήμα ή προϊόν. Τα ψηφιακά περιβάλλοντα έχουν πια την ικανότητα να παραγάγουν ένα αξιοσημείωτο μέγεθος οδηγιών NC βασισμένων στα γεωμετρικά στοιχεία

από τη βάση δεδομένων CAD συν τις πρόσθετες πληροφορίες που παρέχονται από τους σχεδιαστές.

Μια άλλη σημαντική λειτουργία των περιβαλλόντων CAM είναι ο *προγραμματισμός των ρομπότ*, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν σε ειδική εργασιακή ρύθμιση για την επιλογή και τον προσδιορισμό θέσης εργαλείων και κομματιών προς κατεργασία από τις μηχανές NC. Αυτά τα ρομπότ μπορούν να εκτελέσουν μεμονωμένα καθήκοντα, όπως η συγκόλληση ή η συναρμολόγηση ή να μεταφέρουν τον εξοπλισμό ή τα μέρη μέσα στο χώρο εργασίων.

Έναν ακόμη στόχο των ψηφιακών περιβαλλόντων αποτελεί ο *προγραμματισμός των διαδικασιών*. Ακόμα κι αν ο εξολοκλήρου αυτόματος προγραμματισμός διαδικασιών είναι σχεδόν ανέφικτος, όπως αναφέρεται προηγουμένως, μια σχεδίαση διαδικασίας για ένα μέρος μπορεί να παραχθεί, εάν τα σχέδια διαδικασίας για παρόμοια μέρη υπάρχουν ήδη. Αυτός ο στόχος ολοκληρώνεται είτε με τη χρησιμοποίηση της *μοντελοποίησης βασισμένης σε χαρακτηριστικά* (Feature-based Modeling, FbM) είτε με την *αναγνώριση χαρακτηριστικών* (feature recognition). Και οι δύο αυτές μέθοδοι αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια. Επιπρόσθετα, ένα ψηφιακό περιβάλλον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τις πρώτες ύλες, την παραγγελία και την προμήθειά τους. Αυτή η δραστηριότητα καλείται *προγραμματισμός υλικών απαιτήσεων* (Material Requirements Planning – MRP).

Η *μηχανική με βοήθεια υπολογιστή* (Computer Aided Engineering – CAE) είναι μια τεχνολογία που αφορά τη χρήση ψηφιακών περιβαλλόντων, για να καταστεί εφικτή η ανάλυση ενός υπό μελέτη προϊόντος μέσω της γεωμετρικής του αναπαράστασης από ένα περιβάλλον CAD. Ένα τέτοιο περιβάλλον επιτρέπει στο σχεδιαστή να εξομοιώσει και να μελετήσει τη συμπεριφορά ενός προϊόντος έτσι, ώστε το σχέδιο να μπορεί να ανακαθοριστεί και να βελτιστοποιηθεί. Τα εργαλεία των περιβαλλόντων CAE είναι διαθέσιμα για ένα ευρύ φάσμα αναλύσεων.

Κατά συνέπεια, τα περιβάλλοντα CAD/CAM/CAE επιμελούνται την αυτοματοποίηση των συγκεκριμένων λειτουργιών του κύκλου παραγωγής προϊόντων και επικεντρώνονται στο να τις καταστήσουν αποδοτικότερες. Ωστόσο, επειδή δε συνδέθηκαν μέχρι σήμερα όσο αποτελεσματικά θα έπρεπε, δεν έχουν πραγματοποιήσει πλήρως τη δυνατότητα της ενσωμάτωσης των δραστηριοτήτων σχεδίασης και κατασκευής του κύκλου παραγωγής

προϊόντων. Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, μια νέα τεχνολογία αποκαλούμενη *ολοκληρωμένη δια ηλεκτρονικού υπολογιστή κατασκευή* (Computer-Integrated Manufacturing – CIM) έχει εισαχθεί. Τα περιβάλλοντα CIM στοχεύουν στη σύνδεση των χωριστών “νησιών της αυτοματοποίησης” σε ένα αποδοτικό σύστημα. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων στα ψηφιακά περιβάλλοντα ως τρόπο για να εκτελεστεί μια ολόκληρη επιχείρηση αποτελεσματικότερα, που ασκεί επίδραση και σε άλλες διαχειριστικές λειτουργίες εκτός από τη σχεδίαση και τη παραγωγή που αφορούν τα περιβάλλοντα CAD/CAM/CAE. Το πλαίσιο CIM λέγεται συχνά ότι αφορά περισσότερο μια επιχειρησιακή φιλοσοφία παρά ένα υπολογιστικό σύστημα.

1.3. Ο ρόλος της μοντελοποίησης και της επικοινωνίας

Στο παρόν σύγγραμμα, η έννοια του σχεδιαστή που εργάζεται με τα μοντέλα των σχεδίων είναι θεμελιώδης στην επεξεργασία της *σχεδίασης με βοήθεια υπολογιστή* (CAD). Έχει μεγάλη σημασία να διακρίνουμε τα μοντέλα της διαδικασίας σχεδίασης με τα πραγματικά (φυσικά) μοντέλα των σχεδίων. Τα μοντέλα της διαδικασίας σχεδίασης προσπαθούν να περιγράψουν τα *πρότυπα* (patterns) που ακολουθούν οι σχεδιαστές κατά τη σχεδίαση των προϊόντων. Καθ’ όλη τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδίασης το σχέδιο είναι σε αφαίρεση: το φυσικό χειροποίητο αντικείμενο δεν υπάρχει, μέχρι να κατασκευαστεί ή να παραχθεί βιομηχανικά. Δημιουργείται, λοιπόν, στους εμπλεκόμενους η ανάγκη ύπαρξης κάποιων μοντέλων του σχεδίου, προκειμένου να αξιολογήσουν, να τροποποιήσουν και να χειριστούν το προς σχεδίαση αντικείμενο. Ο Tomiyama και οι συνεργάτες του (1989) προτείνουν τη δυνατότητα ύπαρξης τέτοιων μοντέλων ως διαφορετικών αναπαραστάσεων. Η μοντελοποιημένη γεωμετρία ενός σχεδιαστικού τμήματος μπορεί, π.χ. να αναπαρασταθεί με διαφορετικούς τρόπους. Εάν το σχέδιο είναι πολύ απλό, οι τρόποι αυτοί μπορούν ακριβώς να συμπίπτουν με τις ιδέες στο μυαλό του σχεδιαστή. Πέραν όμως των πιο στοιχειωδών σχεδίων, για όλα τα υπόλοιπα απαιτούνται τρόποι εκτενέστερης αναπαράστασης.

Τα μοντέλα σχεδίασης χρησιμοποιούνται για ποικίλους λόγους. Στο πιο βασικό επίπεδο, χρησιμοποιούνται από το σχεδιαστή για να καταγράψουν και να χειριστούν τις ιδέες - ως βοηθός μνήμης - και για να παρέχουν μια βάση για την αξιολόγηση του σχεδίου. Εντούτοις, η διαδικασία σχεδίασης αναλαμβάνεται σπάνια από έναν σχεδιαστή και,

επομένως, τα μοντέλα διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία του σχεδίου μεταξύ των συμμετεχόντων στη διαδικασία και σε εκείνους που περιλαμβάνονται στην κατασκευή, την ανάπτυξη και την κατόπιν χρήση του προϊόντος.

Η περιγραφή της διαδικασίας σχεδίασης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1-1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επεξηγήσει τον τρόπο που η αναπαράσταση και η επικοινωνία εισχωρούν στη διαδικασία. Στο στάδιο εννοιολογικής σχεδίασης (conceptual design), μια αναπαράσταση των σχεδιαστικών απαιτήσεων θα κοινοποιηθεί στο σχεδιαστή. Οι διάφορες αναπαραστάσεις των ιδεών θα χρησιμοποιηθούν για να αξιολογήσουν τις πιθανές λύσεις, και η επιλεγμένη λύση θα καταγραφεί με κάποιο τρόπο και θα διαβιβαστεί στη φάση ενσωμάτωσης, την οποία μπορεί καλά να αναλάβει ένας άλλος σχεδιαστής. Η φάση ενσωμάτωσης θα παράγει τα περαιτέρω επεξηγηματικά μοντέλα του σχεδίου, το οποίο θα διαβιβαστεί πάλι στη φάση λεπτομέρειας, στην οποία επαναλαμβάνεται παρομοίως η ακολουθία παραγωγής περισσότερο λεπτομερών σχεδίων. Μια περιγραφή του υπό σχεδίαση αντικειμένου, με τις οδηγίες για τη βιομηχανική παραγωγή του, θα κοινοποιηθεί στους υπεύθυνους κατασκευής του, και είναι πιθανό ότι περαιτέρω αναπαραστάσεις θα παραχθούν για εκείνους που εμπλέκονται στη δοκιμή, τη συντήρηση και χρήση του αντικειμένου.

Δεδομένου ότι τόσο μεγάλη δραστηριότητα σχεδίασης πραγματοποιείται από μεγάλες ομάδες – για τη σχεδίαση αυτοκινήτων και αεροσκαφών, παραδείγματος χάριν, χρησιμοποιούνται πολλοί άνθρωποι – η ουσία της σχεδίασης είναι η απρόσκοπτη διανομή-κυκλοφορία των πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων. Έτσι, η επικοινωνία αποδεικνύεται εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας σε όλες τις φάσεις του κύκλου σχεδίασης-κατασκευής προϊόντων.

1.4. Τύποι μοντέλων σχεδίασης

Το μοντέλο διαδικασίας σχεδίασης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1-2 παρουσιάζει ένα δείγμα της ποικιλίας αναπαραστάσεων που απαιτούνται κατά τη διαδικασία σχεδίασης. Υπάρχουν φράσεις όπως η *“ανάπτυξη προκαταρκτικών σχεδίων”* και η *“ολοκλήρωση των λεπτομερών σχεδίων”*. Στην πράξη, ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί ένα πλήθος διαφορετικών μοντέλων ανάλογα με ποια ιδιότητα, (ή/και ιδιότητες), του σχεδίου πρόκειται να

μοντελοποιηθεί, και ποιος είναι ο στόχος, ή ο δέκτης, για οποιαδήποτε επικοινωνία (Tjalve, 1979). Ο σχεδιαστής πρέπει, στις διάφορες χρονικές στιγμές, να μοντελοποιήσει τη λειτουργία ενός σχεδίου, τη δομή του (πώς τα διάφορα μέρη συντίθενται), τη μορφή ή το σχήμα των συστατικών μερών, και τα υλικά, τις ιδιότητες της επιφάνειας και τις διαστάσεις που απαιτούνται. Μπορεί, επίσης, να καθορίσει τα μαθηματικά μοντέλα, ή τις βασισμένες σε υπολογιστή αναπαραστάσεις, για να βοηθήσει στην αξιολόγηση ενός σχεδίου. Οι πιθανοί στόχοι για την επικοινωνία περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τους συνεργάτες σχεδιαστές, το υπεύθυνους κατασκευής και εργαστηρίων, και τους χρήστες του τελικού προϊόντος. Για οποιοδήποτε ιδιαίτερο συνδυασμό μοντελοποιημένης ιδιότητας και δέκτη θα υπάρξει ένας τύπος μοντέλου και μια τεχνική για τη γένεσή του που θα είναι η πιο κατάλληλη.

Από όλες τις μοντελοποιημένες ιδιότητες, η μορφή και η δομή είναι ιδιαίτερης σημασίας στη σχεδίαση. Η περισσότερο κατάλληλη μέθοδος αναπαράστασης αυτών είναι παραδοσιακά η παραστατική-διαγραμματική (graphical) μέθοδος. Για πολλές ειδικότητες σχεδιαστών – παραδείγματος χάριν, σχεδιαστές μηχανών, γεφυρών και οχημάτων – ένα πολύ μεγάλο μέρος του καθήκοντός τους είναι να καθοριστεί η μορφή και η διάταξη των συστατικών μερών του σχεδίου. Αυτό επιτυγχάνεται συμβατικά από τα σχέδια της μορφής. Άλλες ειδικότητες σχεδιαστών ασχολούνται περισσότερο με τη δομή της συναρμολόγησης των συστατικών στοιχείων, για να διαμορφώσουν ένα σχέδιο, με τον τρόπο που αυτά τα στοιχεία συνδέονται, και με τις ροές (π.χ. της ενέργειας ή του υλικού) μεταξύ των τμημάτων (αυτή η προσέγγιση καλείται συχνά προσέγγιση μηχανικής συστημάτων). Τα παραδείγματα σε αυτήν την τελευταία περίπτωση αφορούν τη σχεδίαση ηλεκτρικών ή υδραυλικών κυκλωμάτων, ή τη σχεδίαση των εργοστασιακών διαδικασιών. Σε αυτές τις περιοχές η αναπαράσταση των σχεδίων μέσω των διαγραμμάτων που παρουσιάζουν τη δομή, ή τη ρύθμιση των συστημάτων, είναι ύψιστης σημασίας.

Ο αποδέκτης του μηνύματος της επικοινωνίας επηρεάζει ειδικότερα την τεχνική που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του μοντέλου. Στα αρχικά στάδια της σχεδίασης, ο σχεδιαστής θα διερευνήσει συχνά τις ιδέες με τη σκιαγράφηση, με ελάχιστη ή καμία λεπτομέρεια. Εντούτοις, όταν παράγονται οι πληροφορίες για τη βιομηχανική κατασκευή, απαιτείται μια επιμελέστερη τεχνική και μια προσεκτική παραγωγή των σχεδίων και των διαγραμμάτων, για να παρουσιάσουν όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες.

Τέλος, για να είναι επιτυχής οποιαδήποτε επικοινωνία, η “γλώσσα” που υιοθετείται πρέπει να συμφωνηθεί και να γίνει κατανοητή από όλους εκείνους που συμμετέχουν σε αυτή. Η πολυπλοκότητα της σχεδίασης σε πολλές περιοχές, και η ανάγκη να αποφευχθεί η παρερμηνεία και η ασάφεια στην καθοδήγηση του πώς πρέπει να γίνει κάτι, σημαίνουν ότι τα μοντέλα σχεδίασης πρέπει να προσαρμοστούν στα συμφωνηθέντα πρότυπα που καθορίζουν τη σύνταξη των γλωσσών. Αυτό το θέμα θα εξεταστεί πάλι στο επόμενο κεφάλαιο, το οποίο θα κάνει μια επισκόπηση, εν συντομία, της συμβατικής αναπαράστασης των σχεδίων χρησιμοποιώντας τα σχέδια και τα διαγράμματα.

1.5. Εφαρμογές των μοντέλων σχεδίασης

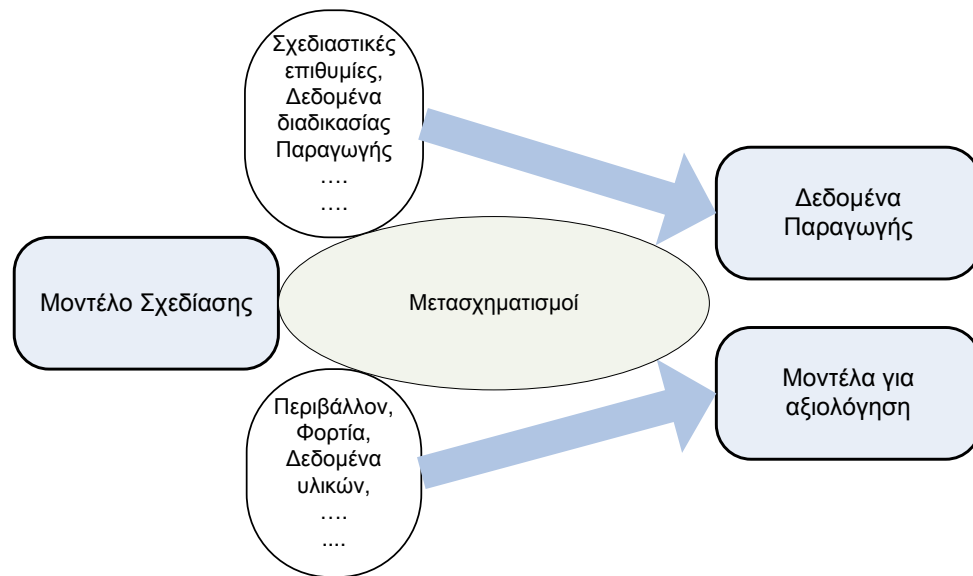
Το προηγούμενο τμήμα επικεντρώθηκε σε εκείνα τα μοντέλα σχεδίασης που δημιουργούνται από το σχεδιαστή, και υπογράμμισε ότι η μορφή και η δομή είναι οι κυρίαρχες ιδιότητες οι οποίες μοντελοποιούνται κατά τη σχεδίαση. Ας γυρίσουμε τώρα στον αποδέκτη της επικοινωνίας, για να εξετάσουμε το είδος των ενεργειών που πραγματοποιούνται με τις πληροφορίες σχεδίασης που παραλαμβάνονται. Αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες μορφές - τύπους:

- ενέργειες αξιολόγησης, που λαμβάνονται για να αξιολογήσουν τις ιδιότητες ή την αξία του σχεδίου, και
- ενέργειες που παράγουν τις πληροφορίες από το μοντέλο προκειμένου να προχωρήσει συνήθως η βιομηχανική κατασκευή του.

Σε κάθε περίπτωση οι ενέργειες περιλαμβάνουν

α) την εξαγωγή των πληροφοριών από την αναπαράσταση του σχεδίου, και

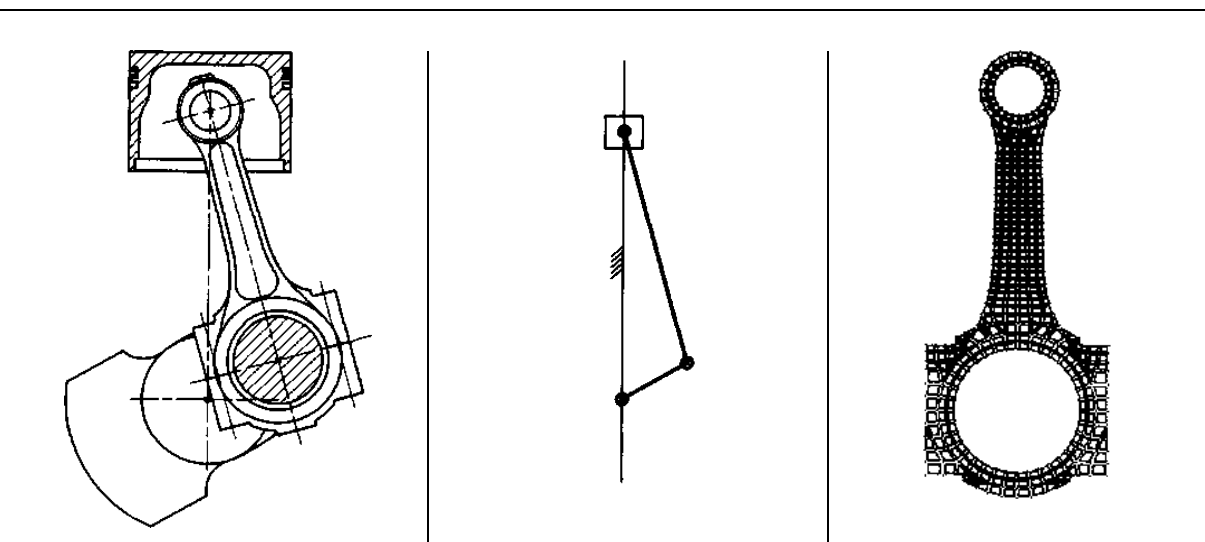
β) το συνδυασμό του σχεδίου με τις συμπληρωματικές πληροφορίες, για να διαμορφώσουν ένα νέο μοντέλο, (Σχήμα 1-3).



Σχήμα 1-3 Μετασχηματισμοί του μοντέλου κατά τη σχεδίαση

Θεωρείστε τώρα, για παράδειγμα, την αξιολόγηση των συνδετικών ράβδων που συνδέουν το στροφαλοφόρο άξονα μιας μηχανής αυτοκίνητου με τα έμβολά της. Το Σχήμα 1-4 παρουσιάζει σχέδια – διαγράμματα αυτών των τριών συστατικών που παράγονται από ένα μοντέλο CAD. Ένας αναλυτής μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το μοντέλο για τις ακόλουθες αξιολογήσεις:

- οπτική αξιολόγηση, από την επιθεώρηση του σχεδίου ή του μοντέλου CAD, ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει καμία προφανής αδύναμη περιοχή,
- αξιολόγηση της μάζας των τμημάτων, από την ανάλυση του μοντέλου CAD,
- αξιολόγηση της αντοχής των συστατικών σε φορτίσεις, καθώς αυτά εξετάζονται ως επιμέρους στοιχεία ενός μηχανισμού, (Σχήμα 1-4-β),
- αξιολόγηση των φορτίων, παραδείγματος χάριν, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο ανάλυσης πεπερασμένων-στοιχείων, (Σχήμα 1-4-γ).



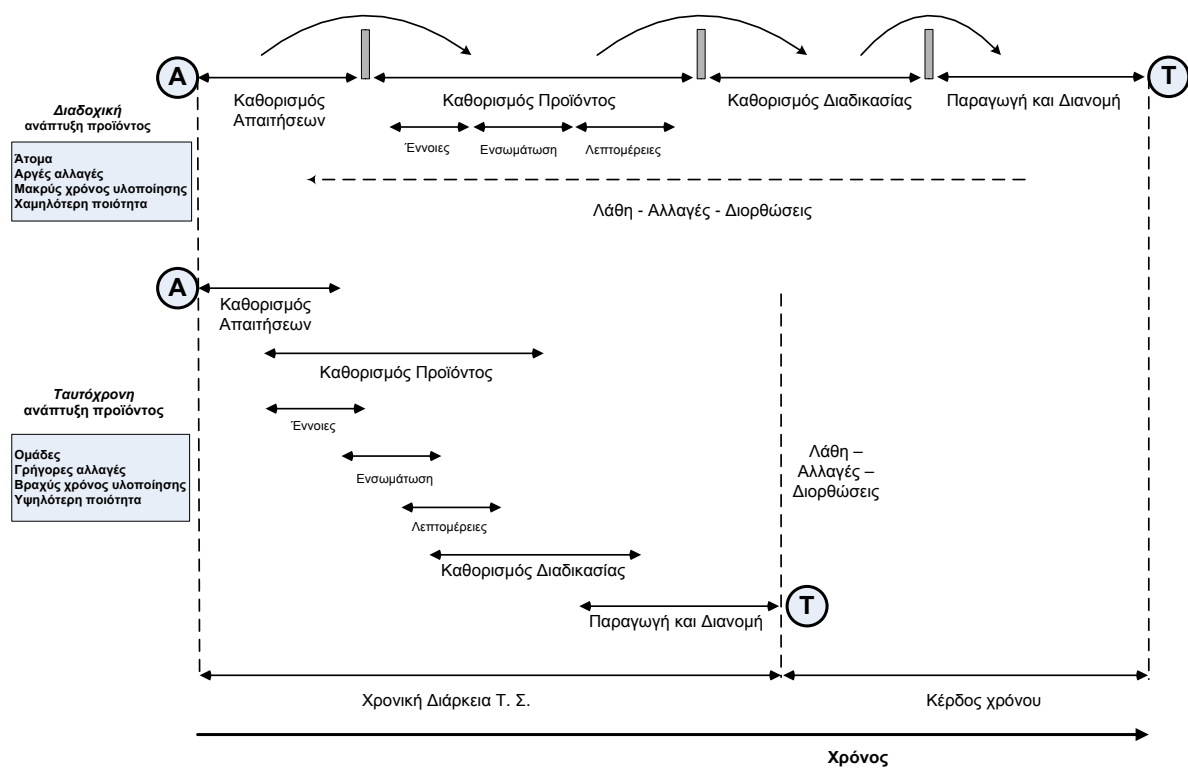
Σχήμα 1-4 Αναπαραστάσεις κατά την αξιολόγηση του σχεδίου. (α) Μορφή (β) Κινηματική δομή (γ) ανάλυση αντοχών

Σε ένα μεταγενέστερο στάδιο, τα σχέδια των συστατικών του σχεδιαστικού έργου θα γίνουν λεπτομερέστερα, και από αυτά οι σχεδιαστές – μηχανικοί της βιομηχανικής κατασκευής θα εξαγάγουν τις απαραίτητες πληροφορίες για τη σχεδίαση και για τον έλεγχο των μηχανών παραγωγής.

1.6. Ταυτόχρονη μηχανική

Στην παραδοσιακή διαδικασία σχεδίασης, οι πλήρεις περιγραφές του σχεδίου παράγονται υπό μορφή διαφόρων ειδών σχεδίων και διαγραμμάτων. Αυτές εκδίδονται έπειτα από το τμήμα σχεδίασης μιας επιχείρησης για την αναλυτική αξιολόγηση, και για την προετοιμασία των σχεδίων και των οδηγιών για τη βιομηχανική κατασκευή. Αναπόφευκτα, οι ειδικοί της κατασκευής και οι αναλυτές σχεδίασης βρίσκουν πτυχές του σχεδίου οι οποίες κρίνουν ότι πρέπει να βελτιωθούν. Ως εκ τούτου, μετά τον έλεγχο, το σχέδιο επιστρέφεται στο τμήμα σχεδίασης για την τροποποίηση και την επανέκδοση των σχεδίων. Σε μερικές περιπτώσεις η διαδικασία αυτή – του ελέγχου και της επανέκδοσης – μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές – ένας μεγάλος αεροδιαστημικός κατασκευαστής υποστηρίζει ότι τροποποιεί κάθε σχεδίαση 4,5 φορές κατά μέσο όρο πριν από την τελική έκδοση - και έτσι ολόκληρη η διαδικασία είναι και χρονικά και οικονομικά δαπανηρή. Επιπλέον, επειδή οι εκτιμήσεις των κατασκευαστών και άλλων ειδικών λαμβάνονται υπόψη αφότου έχουν παραχθεί τα σχέδια σχεδίασης, το τμήμα σχεδίασης τείνει να επικεντρωθεί στις

λειτουργικές πτυχές του σχεδίου εις βάρος της ευκολίας της κατασκευής, της συντηρησιμότητας, κτλ. Για να υπερνικηθούν όλοι αυτοί οι περιορισμοί επινοήθηκε η *ταυτόχρονη μηχανική*, η οποία συγκεντρώνει μια ομάδα σχεδίασης, που έχει στη διάθεσή της τον κατάλληλο συνδυασμό ειδικής πείρας, για να εξετάζει κατά τη διαδικασία σχεδίασης όλα τα στοιχεία του κύκλου ζωής των προϊόντων, από τη σύλληψη της ιδέας, την κατασκευή και τη χρήση στην υπηρεσία, μέχρι τη συντήρηση και την εξουδετέρωση (καταστροφή).



Σχήμα 1-5 Διαδοχική και Ταυτόχρονη ανάπτυξη από αρχή Α μέχρι τέλος Τ

Η παραδοσιακή προσέγγιση στην ανάπτυξη προϊόντων περιγράφεται συχνά ως προσέγγιση «πέρα από τον τοίχο», επειδή κάθε τμήμα που συμμετέχει στη διαδικασία τείνει να ολοκληρώσει την εργασία του και έπειτα, μεταφορικά, να τη ρίξει στο επόμενο τμήμα, που διαχωρίζεται με τοίχο από το προηγούμενο. Αυτά τα εμπόδια στην επικοινωνία μεταξύ των φάσεων ανάπτυξης προϊόντων καταρρίπτονται στην ταυτόχρονη μηχανική. Ως αποτέλεσμα η τελευταία επιτρέπει την ταχύτερη και πιο απαντητική ανάπτυξη προϊόντων

και μια υψηλότερη ποιότητά τους. Στο Σχήμα 1-5 (βασισμένο στους Prasad (1995) και Solhenius (1992)), συγκρίνονται οι δύο προσεγγίσεις, η διαδοχική και η ταυτόχρονη (παράλληλη).

Υπάρχουν, βεβαίως, περιπτώσεις στις οποίες η ταυτόχρονη μηχανική δεν είναι απαραίτητως η καλύτερη προσέγγιση, ειδικά όπου υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων, ή όπου αναπτύσσεται μια πολύ ριζική έννοια σχεδίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ίσως να είναι αρμόζον να αναπτυχθούν οι λειτουργικές πτυχές ενός σχεδίου σε έναν καλό βαθμό βεβαιότητας, πριν την αξιολόγηση των κατασκευαστικών και άλλων ζητημάτων των κύκλων ζωής του αντικειμένου, (AitSahlia et al, 1995).

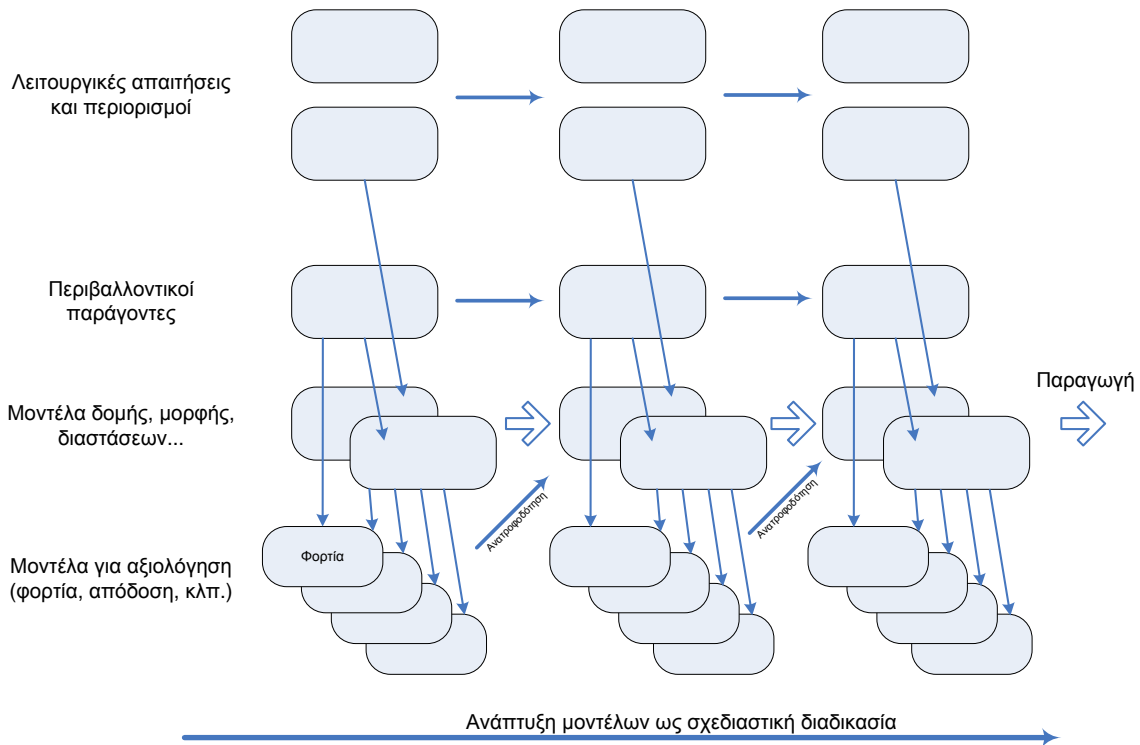
1.7. Μοντελοποίηση με χρήση CAD

Στη διάρκεια της διαδικασίας σχεδίασης, το σχέδιο καθορίζεται σταδιακά και αφαιρετικά, έως ότου αποκτήσει την τελική του μορφή για τη βιομηχανική παραγωγή ή την κατασκευή του. Για να υποστηρίξουν την ανάπτυξη του σχεδίου, οι σχεδιαστές κατασκευάζουν μια σειρά μοντέλων των διάφορων πτυχών του σχεδίου χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές αναπαράστασης. Διαδοχικά ή ταυτόχρονα, όσοι εμπλέκονται στην αξιολόγηση του σχεδίου και στην κατασκευή του προϊόντος εξάγουν πληροφορίες από αυτά τα μοντέλα και, κατά τη διαδικασία, διαμορφώνουν τα νέα μοντέλα που θα τους βοηθήσουν στην εργασία τους.

Το Σχήμα 1-6 παρουσιάζει αυτήν την ανάπτυξη μοντέλων σε μια ταυτόχρονη διαδικασία σχεδίασης. Τα μοντέλα που παρουσιάζονται αφορούν μοντέλα των πληροφοριών που απαιτούνται για την κατασκευή του προϊόντος: μορφολογία, διαστάσεις, συνθήκες επιφάνειας, δομή κτλ. Τα μοντέλα αυτά αναπτύσσονται ως πυρήνας της διαδικασίας σχεδίασης. Παράλληλα, αναπτύσσονται τα εξής:

- μοντέλα λειτουργικών και άλλων απαιτήσεων πελατών για το σχέδιο, επειδή αυτές μπορούν, επίσης, να αναπτυχθούν και να αλλάξουν καθώς εξελίσσεται η σχεδίαση,
- μοντέλα των περιορισμών στο σχέδιο, που επιβάλλονται, παραδείγματος χάριν, από τα διαθέσιμα υλικά και τις διαδικασίες κατασκευής,
- μοντέλα των φορτίων που εφαρμόζονται στο σχέδιο,

- μοντέλα που χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν την απόδοση του σχεδίου - παραδείγματος χάριν, για θερμική ανάλυση, ή για αεροδυναμική αξιολόγηση του.



Σχήμα 1-6 Η χρήση των μοντέλων κατά τη σχεδίαση

Σε αυτή τη σειρά σημειώσεων, ο ρόλος των περιβαλλόντων CAD στη διαδικασία σχεδίασης θα παρουσιαστεί μέσα στο πλαίσιο αυτής της περιγραφής. Ο στόχος των περιβαλλόντων CAD είναι να χρησιμοποιηθούν οι υπολογιστές τόσο κατά τη μοντελοποίηση όσο και κατά την επικοινωνία μεταξύ των σχεδίων. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται μαζί. Συγκεκριμένα :

- σε βασικό επίπεδο, τα περιβάλλοντα CAD επιθυμούν να αυτοματοποιήσουν ή να βοηθήσουν καθήκοντα, όπως είναι η παραγωγή των σχεδίων ή των διαγραμμάτων και η ανάπτυξη καταλόγων των μερών σε ένα σχέδιο,
- σε προηγμένο επίπεδο, επιδίωξη των περιβαλλόντων CAD είναι να παρέχουν στο σχεδιαστή νέες τεχνικές, ώστε να αποκτά βελτιωμένες ικανότητες στη διαδικασία σχεδίασης.

Ο όγκος της ανάπτυξης στα εμπορικά περιβάλλοντα CAD επικεντρωνόταν μέχρι πρόσφατα στις ακόλουθες δύο κατευθύνσεις.

α) Στη μοντελοποίηση της μορφής των προϊόντων. Παρείχαν δηλαδή διάφορες τεχνικές, για να ενισχύσουν τη διαδικασία αναπαράστασης της μορφής που χρησιμοποιεί τα συμβατικά σχέδια. Επίσης, παρείχαν τις νέες τεχνικές μοντελοποίησης, ή

β) Στα συστήματα για βοήθεια στην παραγωγή των διαγραμμάτων και την εν συνεχεία αξιολόγηση των σχεδίων που αναπαρίστανται από αυτά τα διαγράμματα.

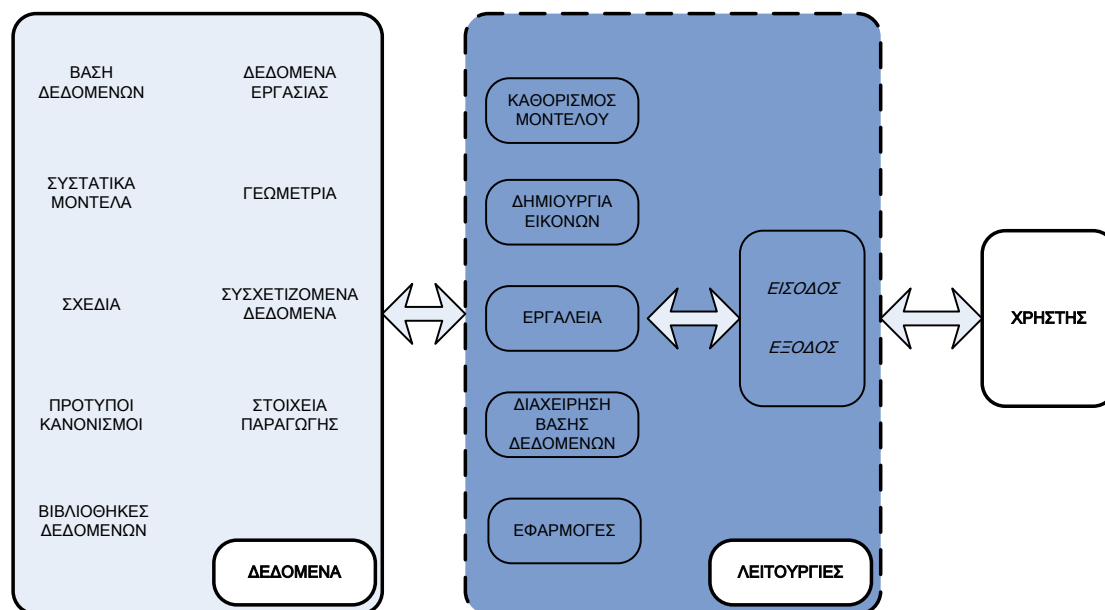
Απώτερος στόχος της αρωγής που προσφέρουν τα ψηφιακά περιβάλλοντα στις συμβατικές τεχνικές μοντελοποίησης είναι η βελτίωση της παραγωγικότητας του σχεδιαστή, καθώς αυτοματοποιούν τις πιο επαναλαμβανόμενες και κουραστικές πτυχές της σχεδίασης, και η βελτίωση της ακρίβειας των μοντέλων σχεδίασης. Οι νέες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί σε μια προσπάθεια να υπερνικηθούν οι περιορισμοί που τίθενται στη συμβατική πρακτική, ιδιαίτερα όσον αφορά στην πολυπλοκότητα – π.χ. στην πολυπλοκότητα της μορφής μερικών σχεδίων, όπως τα αυτοκίνητα ή στην περιπλοκή της δομής προϊόντων όπως τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Το περιβάλλον CAD οφείλει, επομένως, να επιτρέψει στο σχεδιαστή να αντιμετωπίσει ένα στόχο με έναν τρόπο περισσότερο ακριβή και γρήγορο απ' ό,τι οι προηγούμενες μέθοδοι σχεδιασμού ή με έναν τρόπο που θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί με άλλα μέσα. Φυσικά σε πολλές περιπτώσεις μπορούν να επιτευχθούν και τα δύο αυτά οφέλη. Το Σχήμα 1-6 παρουσιάζει τα μοντέλα του σχεδίου να είναι αναπτυγμένα και ανακαθορισμένα σε όλη τη διαδικασία σχεδίασης και να εφαρμόζονται στα διάφορα στάδια αξιολόγησης του σχεδίου ή στην παραγωγή των πληροφοριών για την κατασκευή. Η προσέγγιση αυτή αντιστοιχεί με την άποψη ότι το περιβάλλον CAD πρέπει να περιλάβει την ανάπτυξη μιας κεντρικής περιγραφής του σχεδίου με την οποία πρέπει να τροφοδοτηθούν όλες οι εφαρμογές στη σχεδίαση και τη βιομηχανική παραγωγή. Αυτό υπονοεί ότι οι τεχνικές που βασίζονται σε υπολογιστή για την ανάλυση και την προσομοίωση του σχεδίου και για την παραγωγή των οδηγιών κατασκευής πρέπει να ενσωματωθούν στενά στις τεχνικές μοντελοποίησης της μορφής και της δομής του σχεδίου. Μια κεντρική περιγραφή σχεδίασης αποτελεί, επιπλέον, μια άριστη βάση για την ταυτόχρονη ανάπτυξη όλων των πτυχών ενός σχεδίου στις δραστηριότητες της ταυτόχρονης μηχανικής.

Σε γενικές γραμμές, το περιβάλλον CAD θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε όλη τη διαδικασία σχεδίασης. Στην πράξη, όμως, η χρήση του στα αρχικά στάδια – όπου οι πολύ ανακριβείς αναπαραστάσεις, όπως τα σκίτσα, χρησιμοποιούνται εκτενώς – έχει περιοριστεί. Πρέπει, επίσης, να τονιστεί ότι αυτή τη στιγμή το περιβάλλον CAD δε βοηθά το σχεδιαστή στα δημιουργικότερα μέρη της σχεδίασης, όπως η παραγωγή των πιθανών σχεδιαστικών λύσεων, ή σε εκείνες τις πτυχές που περιλαμβάνουν το σύνθετο συλλογισμό στη σχεδίαση – παραδείγματος χάριν, στην αξιολόγηση από την οπτική εξέταση των σχεδίων, εάν ένα συστατικό μπορεί να κατασκευαστεί ή εάν ταιριάζει με την προδιαγραφή. Αυτές οι πτυχές αποτελούν, εντούτοις, το αντικείμενο της ιδιαίτερης τρέχουσας έρευνας, και οι πιθανές διαδρομές για τη μελλοντική ανάπτυξη των συστημάτων CAD θα εξεταστούν σε μελλοντική σειρά των σημειώσεων.

1.8. Αρχιτεκτονική συστημάτων CAD

Μέχρι τώρα, τα περιβάλλοντα CAD έχουν περιγραφεί με πολύ γενικούς όρους. Μια αρχιτεκτονική των συστημάτων CAD, πιο συγκεκριμένα, μπορεί να θεωρηθεί ότι συστήνεται από τα παρακάτω:

- υλικό: ο υπολογιστής και ο σχετικός περιφερειακός εξοπλισμός
- λογισμικό: το πρόγραμμα (-ατα) που εκτελούνται στο υλικό
- δεδομένα: η δομή δεδομένων που δημιουργείται και που χειρίζεται από το λογισμικό
- ανθρώπινες γνώσεις και δραστηριότητες.



Σχήμα 1-7 Αρχιτεκτονική ενός περιβάλλοντος CAD

Τα περιβάλλοντα CAD δεν είναι τίποτα παραπάνω από συχνά μεγάλα και σύνθετα προγράμματα. Το λογισμικό κανονικά περιλαμβάνει έναν αριθμό από διαφορετικά δεδομένα και ανάλογες λειτουργίες που επεξεργάζονται τα δεδομένα τα οποία εν συνεχεία αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων με διαφορετικούς τρόπους. Αυτές οι αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων, των λειτουργιών και του χρήστη, απεικονίζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 1-7. Τα στοιχεία που περιλαμβάνουν αφορούν στα εξής στάδια:

- *καθορισμό μοντέλου:* παραδείγματος χάριν, για την πρόσθεση γεωμετρικών στοιχείων σε ένα μοντέλο της μορφής ενός συστατικού,
- *χειρισμό μοντέλου:* για μετακίνηση, αντιγραφή, διαγραφή, επιμέλεια ή ειδήλλως τροποποίηση των στοιχείων στο μοντέλο σχεδίασης,
- *παραγωγή εικόνων:* για να παραγάγει τις εικόνες του μοντέλου σχεδίασης σε μια οθόνη υπολογιστή ή σε κάποια συσκευή εκτύπωσης,
- *αλληλεπίδραση χρήστη:* για να χειριστεί τις εντολές που εισάγονται από το χρήστη και για να παρουσιάσει το εξαγόμενο στο χρήστη για τη λειτουργία του συστήματος
- *διαχείριση βάσεων δεδομένων:* για τη διαχείριση των αρχείων που αποτελούν τη βάση δεδομένων,

- *εφαρμογές*: αυτά τα στοιχεία του λογισμικού δεν τροποποιούν το μοντέλο σχεδίασης, αλλά το χρησιμοποιούν για να παράγουν τις πληροφορίες για την αξιολόγηση, την ανάλυση ή τη βιομηχανική κατασκευή του,
- *υποστήριξη*: τα μέρη του λογισμικού που δεν έχουν άμεσα επιπτώσεις στο μοντέλο σχεδίασης, αλλά τροποποιούν τη λειτουργία του συστήματος με κάποιο τρόπο (π.χ. για να επιλέξει το χρώμα που χρησιμοποιείται για την επίδειξη, ή τις μονάδες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός μοντέλου μερών).

Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μπορούν να παρασχεθούν από τα διαφορετικά προγράμματα που λειτουργούν σε μια κοινή βάση δεδομένων, ή από ένα ενιαίο πρόγραμμα που περικλείει όλα τα στοιχεία.

Το πλαίσιο αυτό που περιγράφει την αρχιτεκτονική των περιβαλλόντων CAD έχει χρησιμοποιηθεί για να καθοδηγήσει τη δομή του πρώτου μέρους αυτών των σημειώσεων.

1.9. Βιβλιογραφία κεφαλαίου

- AitSahlia F., Johnson E. and Will P. (1995). Is concurrent engineering always a sensible proposition? IEEE Transactions on Engineering Management. 42(2), 166-70.
- Chang T.-C., Wysk R. A., Wang H.-P. (1998). Computer-aided manufacturing. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Cross N. (1994). Engineering Design Methods: Strategies for Product Design. 2nd. edn. Chichester: John Wiley.
- Dankwort C. W., Weidlich R., Guenther B., Blaurock J. E. (2004). Engineers' CAx education—it's not only CAD. Computer-Aided Design 36, 1439–1450.
- Finger S. and Dixon J. R. (1989). A review of research in mechanical engineering design, Part II: Representations, analysis, and design for the life cycle. Research in Engineering Design. 1(2), 121-38.
- French M. J. (1985). Conceptual Design for Engineers. London: The Design Council/Springer.
- Hubka, V. (1982). Principles of Engineering Design. London: Butterworth Scientific.
- Lee K. (1999). Principles of CAD/CAM/CAE systems. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- Mcmahon C., Browne J., (1998). CAD/CAM: Principles, Practice, and Manufacturing Management (2nd Edition). Addison Wesley Longman.
- Ohsuga S. (1989). Towards intelligent CAD systems. Computer-aided Design. 21(5), 315-37.
- Oxman R., (2006). Theory and design in the first digital age, Design Studies, Volume 27, Issue 3, May 2006, Pages 229-265.
- Pahl G. and Beitz W. (1996). "Engineering Design: A Systematic Approach", (2 edition) ,London: Springer-Verlag.
- Prasad B. (1995). Sequential versus concurrent engineering - an analogy. Concurrent Engineering: Research and Applications. 3(4), 250-5.
- Prasad B. (1996a). Concurrent Engineering Fundamentals, Vol. 1: Integrated Product and Process Organisation. Englewood Cliffs, NJ: PTR Prentice Hall.
- Prasad B. (1996b). Concurrent Engineering Fundamentals, Vol. 2: Integrated Product Development. Englewood Cliffs, NJ: PTR Prentice Hall.
- Pugh S. (1991). Total Design. Harlow: Addison Wesley Longman.
- Salzberg S. and Watkins M. (1990). Managing information for concurrent engineering: challenges and barriers. Research in Engineering Design. 2(1), 35-52.

Schodek D., Bechthold M., Griggs K., Kao K. M., Steinberg M. (2004). Digital Design and Manufacturing. Hoboken, New Jersey: John Willey & Sons.

Solhenius G. (1992). Concurrent engineering. Annals of the CIRP. 41(2), 645-55.

Suh Nam P. (1990). The Principles of Design. New York: Oxford University Press.

Tjalve E., Andreasen M. M. and Frackmann Schmidt F. (1979). Engineering Graphic Modelling. London: Newnes-Butterworths.

Tomiyama T., Kiriyaama T., Takeda H., Xue D. and Yoshikawa H. (1989). Metamodel: A key to intelligent CAD systems. Research in Engineering Design. 1(1), 19-34.

Ullman, D. G. (2003) "Toward the ideal mechanical engineering design support system", Research in Engineering Design, 13:55-64

Zeid, I. (1991). CAD/CAM Theory and Practice. New York: McGraw-Hill.

Κεφάλαιο 2

Καθορισμός Μοντέλων

Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια εισαγωγή στα ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης και τον τρόπο που χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν τις διαφορετικές δραστηριότητες σχεδίασης μέσω μιας συνοπτικής συζήτησης σχετικά με τις θεμελιώδεις τεχνικές μοντελοποίησης. Πρώτον, θα γίνει μια ανασκόπηση της συμβατικής προσέγγισης στην αναπαράσταση μοντέλων μορφής και δομής από γραμμικά σχέδια και διαγράμματα. Αυτή θα ακολουθηθεί από μια εξερεύνηση των τρόπων με τους οποίους τα *γραφικά υπολογιστών* (computer graphics) και η *υπολογιστική γεωμετρία* (computational geometry) μπορούν να βοηθήσουν στη μοντελοποίηση. Ειδικότερα, θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των μεθόδων αναπαράστασης, όπως τα *πλαίσια-ακμών* (wire-frame), οι *επιφάνειες* (surfaces), τα *καμπύλα πολύγραμμα* (splines) και τα *στερεά* (solids). Δεύτερον, θα παρουσιαστούν βασικά χαρακτηριστικά των ψηφιακών περιβαλλόντων σχεδίασης. Κατόπιν, ακολουθεί μια επισκόπηση των διαφοροποιήσεων μεταξύ των εννοιολογικών μοντελοποιητών, της *φωτό-ρεαλιστικής απόδοσης* (rendering), των προγραμμάτων *κίνησης* (animation), της *σκιαγράφησης βασισμένης-σε-οντότητες* (entity-based), των περιβαλλόντων *βασισμένων-σε-συστατικά* (component-based), και των περιβαλλόντων σχεδίασης ανάπτυξης. Η κατανόηση του τρόπου που οι τρισδιάστατες μορφές μπορούν να αναπαρασταθούν συσχετίζεται πολύ με το τι μπορεί ή δεν μπορεί να κάνει ένα λογισμικό.

2.1. Καθιερωμένες σχεδιαστικές αναπαραστάσεις

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η σειρά των μοντέλων που χρησιμοποιούνται προκειμένου να περιγράψουν τα διάφορα σχέδια. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι υπερισχύουν δύο τύποι μοντέλων οι οποίοι αφορούν :

- τη *μορφή*, περιλαμβάνοντας τα σχέδια των συστατικών και τη ρύθμισή τους στις συναρμολογήσεις, και

- τη *δομή* περιλαμβάνοντας τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τα συστατικά τμήματα ενός προϊόντος και πώς αυτά συνδέονται μεταξύ τους.

Επίσης, παρουσιάστηκε ότι η επιτυχής επικοινωνία απαιτεί η γλώσσα επικοινωνίας να καθοριστεί καλά και να γίνει κατανοητή και από το περιβάλλον αποστολής και από το περιβάλλον δέκτη του μηνύματος. Στην περίπτωση των σχεδίων και των διαγραμμάτων οι κανόνες ή η *σύνταξη* για την παραγωγή τους έχουν αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια πολλών ετών, και είναι πλέον καλά τυποποιημένοι στα πρότυπα που προωθούνται από τις οργανώσεις προτύπων πολλών χωρών και, σε μερικές περιπτώσεις, ακόμη και επιχειρήσεων.

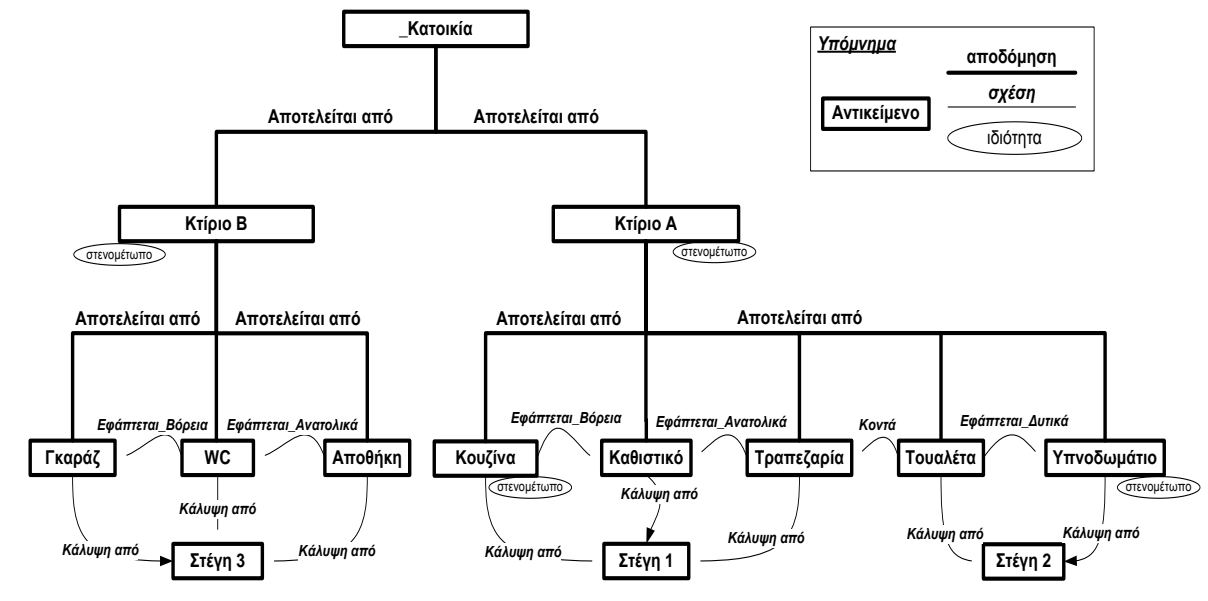
2.1.1. Αναπαράσταση μορφής μέσω γραμμογραφημάτων

Η τεχνική απόδοσης των τρισδιάστατων μορφών στο δισδιάστατο χώρο με τη βοήθεια των γραμμογραφημάτων - σε χαρτί ή σε μια οθόνη υπολογιστή - είναι γνωστή ως *Παραστατική Γεωμετρία*. Αυτός ο κλάδος της γεωμετρίας έχει την προέλευσή του στην αρχαιότητα. Η παράλληλη προβολή για τη δημιουργία μιας εικόνας της γεωμετρίας, μιας δομής, ήταν γνωστή στους ρωμαϊκούς χρόνους, και η προβολή στα πολλαπλά επίπεδα εικόνων ασκήθηκε στο Μεσαίωνα, ειδικότερα στο αρχιτεκτονικό γραμμικό σχέδιο. Η λογική της τεχνικής, όπως χρησιμοποιείται σήμερα, έχει αναπτυχθεί από αρχές που προτάθηκαν από το Γάλλο στρατιωτικό μηχανικό Gaspard Monge (1746-1818). Ο Monge τυποποίησε τη μέθοδο αναπαράστασης της μορφής με την προβολή των απόψεων ενός αντικειμένου σε δύο κάθετα μεταξύ τους επίπεδα: ένα κάθετο επίπεδο στο οποίο σχεδιάζονται οι όψεις, και ένα οριζόντιο επίπεδο στο οποίο σχεδιάζονται οι κατόψεις, (Booker, 1979).

2.1.2. Η αναπαράσταση της δομής μέσω διαγραμμάτων

Στα διαγράμματα η λογική ή φυσική δομή ενός συστήματος, από την άποψη των πρωταρχικών μερών και της σχέσης μεταξύ αυτών, της συναρμολόγησης παρουσιάζεται από μια σειρά *συμβόλων* που ενώνονται με *συνδέσεις*. Οι *κανόνες* για τα *σύμβολα*, και για τις *συνδέσεις*, ρυθμίζονται πάλι από τις *συμβάσεις* που έχουν καθιερωθεί στα διάφορα πρότυπα. Οι οδηγίες και οι *συμβάσεις* για την προετοιμασία των διαγραμμάτων είναι εύλογα κοινές για όλους τους επιστημονικούς τομείς, (παραδείγματος χάριν, στο Ηνωμένο Βασίλειο περιγράφονται στο Βρετανικό Πρότυπο BS5070, και στις Ηνωμένες Πολιτείες πάλι

στη σειρά Ansi Y14), αλλά η σύνταξη για τα σύμβολα ποικίλλει κάπως μεταξύ των επιστημονικών τομέων. Στα διάφορα στάδια της διαδικασίας σχεδίασης έχει διαπιστωθεί ότι απαιτούνται διαφορετικοί τύποι και είδη γραμμικών σχεδίων. Το ίδιο πράγμα ισχύει για τα διαγράμματα: σε ένα αρχικό στάδιο της διαδικασίας σχεδίασης μπορεί μόνο να είναι δυνατό να καθοριστούν οι γενικές σχέσεις μεταξύ των μερών ενός συστήματος, και ένα διάγραμμα με κουτιά μπορεί να είναι το πιο κατάλληλο, (Σχήμα 2-1).

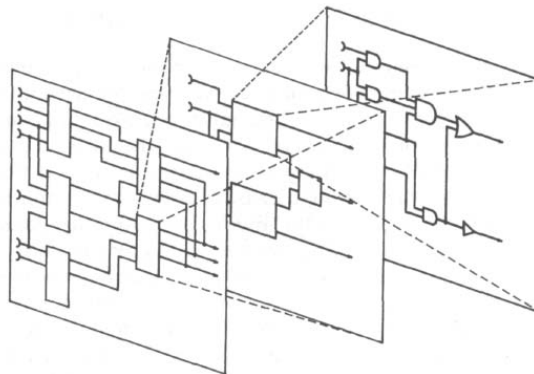


Σχήμα 2-1 Παράδειγμα ενός διαγράμματος

Με την εκμετάλλευση των αναπαραστάσεων, όπως τα διαγράμματα με κουτιά, ο σχεδιαστής είναι σε θέση να υποδιαιρέσει ένα πρόβλημα σχεδίασης σε μικρότερα και πιο εύχρηστα τμήματα. Αυτά μπορούν στη συνέχεια να υποδιαιρεθούν, έτσι ώστε να λαμβάνεται μια ιεραρχική αποδόμηση του προβλήματος. Μια ισχυρή τεχνική σχεδίασης, που χρησιμοποιείται πολύ από τους σχεδιαστές συστημάτων, είναι η πραγματοποίηση αυτής της αποδόμησης σε διαδοχικά χαμηλότερα και πιο λεπτομερή επίπεδα της σχεδίασης.

Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή ως από επάνω προς τα κάτω (top down) σχεδίαση. Η πρακτική ενθαρρύνεται από ένα χαρακτηριστικό της διαγραμματικής αναπαράστασης που επιτρέπει ένα σύμβολο σε ένα επίπεδο να αναπαραστήσει ένα διάγραμμα σε ένα πιο λεπτομερές επίπεδο, (Σχήμα 2-2). Θα φανεί αργότερα ότι αυτό το χαρακτηριστικό των

διαγραμμάτων έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μερικούς κλάδους των ψηφιακών περιβαλλόντων.



Σχήμα 2-2 Ιεραρχική ανάπτυξη διαγραμμάτων

2.1.3. Αντοχές και αδυναμίες των συμβατικών αναπαραστάσεων

Οι συμβατικές αναπαραστάσεις των σχεδίων έχουν μεγάλες αντοχές, και έχουν εξυπηρετήσει καλά σχεδιαστές – αρχιτέκτονες – μηχανικούς για πολλά χρόνια. Σχεδόν οποιοδήποτε προϊόν, από μηχανήματα ακρίβειας μέχρι τις μεγάλες κατασκευές όπως κτήρια, γέφυρες, ή αεροσκάφη, μπορεί να αναπαρασταθεί μέσω της παραστατικής γεωμετρίας (αν και μπορεί να χρειαστούν 100.000 τεμάχια γραμμικών σχεδίων και άλλων εγγράφων για να καθοριστεί κάτι τόσο σύνθετο όσο ένα αεροσκάφος). Τα διαγράμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαραστήσουν ουσιαστικά οποιοδήποτε σύστημα που μπορεί να επινοηθεί. Υπάρχουν, εντούτοις, διάφοροι περιορισμοί στις συμβατικές προσεγγίσεις. Αρχικά, απαιτείται η ικανότητα στην κατασκευή και την ερμηνεία των γραμμικών σχεδίων. Αφετέρου, είναι δυνατό να υπάρξουν αντιφατικά ή λανθασμένα μοντέλα – ίσως απόψεις ενός γραμμικού σχεδίου που δεν αντιστοιχούν μεταξύ τους, ή διαγράμματα με συνδέσεις χωρίς αντιστοίχιση σε σύμβολα. Τέλος, η πολυπλοκότητα στο προϊόν μπορεί να φέρει τις τεχνικές στα όριά τους. Παραδείγματος χάριν, μια ορισμένη γεωμετρία μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να αναπαρασταθεί με τη χρήση των γραμμικών σχεδίων – ιδιαίτερα όπου υπάρχουν σύνθετες, διπλής καμπυλότητας επιφάνειες, όπως στα σώματα αυτοκινήτων ή αεροσκαφών. Στους τομείς όπως η σχεδίαση ηλεκτρονικών συστημάτων, ο αριθμός στοιχείων σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ή σε ένα συγκρότημα

ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορεί να είναι εξαιρετικά δύσκολο να αναπαρασταθεί με τη χρήση των διαγραμμάτων που παράγονται χειρονακτικά.

2.1.3.1. Εξαγωγή των πληροφοριών από σχέδια – διαγράμματα

Έχει τονιστεί ότι η κύρια αναπαράσταση του μοντέλου ενός σχεδίου χρησιμοποιείται για να παραγάγει τα περαιτέρω μοντέλα για την αξιολόγηση και για την παραγωγή των πληροφοριών για τη βιομηχανική κατασκευή. Εδώ βρίσκεται ίσως η μέγιστη αδυναμία των συμβατικών μεθόδων. Η παραγωγή των νέων μοντέλων απαιτεί από το σχεδιαστή να προσδιορίσει οπτικά τις πληροφορίες που απαιτούνται από ένα γραμμικό σχέδιο ή ένα διάγραμμα. Σε αυτό το σημείο βρίσκεται και η ανεπάρκεια. Τα γραμμικά σχέδια διαβάζονται εύκολα με λάθος τρόπο - είτε λόγω ασάφειας ή λάθους στη *σχεδίαση*, είτε απλά λόγω ανθρώπινου λάθους στην *ερμηνεία*. Σε άλλες περιπτώσεις η αντίληψη ενός γραμμικού σχεδίου - παραδείγματος χάριν, μιας σύνθετης μορφής - μπορεί να είναι σωστή, αλλά διαφορετική από άλλες ερμηνείες του ίδιου γραμμικού σχεδίου. Όποτε υπάρχει μια μετεγγραφή από ένα γραμμικό σχέδιο για εξαγωγή πληροφοριών, υπάρχει ο κίνδυνος λάθους ή παρερμηνείας.

2.2. Η απεικόνιση γραμμικών σχεδίων – διαγραμμάτων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο διαπιστώθηκε ότι ένα ψηφιακό περιβάλλον CAD μπορεί να συμβάλει στην αυτοματοποίηση και βελτίωση των υπάρχουσών τεχνικών, ή στην παροχή νέων μεθόδων. Η παραγωγή μέσω υπολογιστή των γραμμικών σχεδίων και των διαγραμμάτων εμπίπτει κατά ένα μεγάλο μέρος στην πρώτη κατηγορία, και επιδιώκει να βελτιώσει τη διαδικασία μοντελοποίησης του σχεδίου με την αύξηση δύο βασικών παραγόντων:

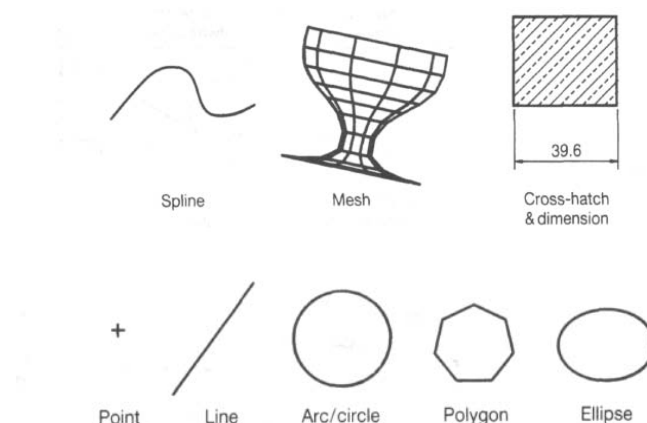
- της *ταχύτητας* με την οποία τα σχέδια μπορούν να αναπαρασταθούν, και
- της *ακρίβειας* της αναπαράστασης.

Αυτό επιτυγχάνεται εν μέρει με την παροχή των ημιαυτόματων διευκολύνσεων για καθήκοντα όπως ο υπομνηματισμός των γραμμικών σχεδίων με διαστάσεις και ετικέτες, ή για σύνθετες κατασκευές, αλλά ειδικότερα με τη διευκόλυνση της επαναλαμβανόμενης χρήσης της γεωμετρίας γραμμικών σχεδίων. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται ουσιαστικά ο

κίνδυνος λαθών μετεγγραφής στη διάδοση της γεωμετρίας κατά τη διαδικασία σχεδίασης, και, όπως θα φανεί αργότερα, στην εξαγωγή των γεωμετρικών πληροφοριών για την ανάλυση και τη βιομηχανική κατασκευή.

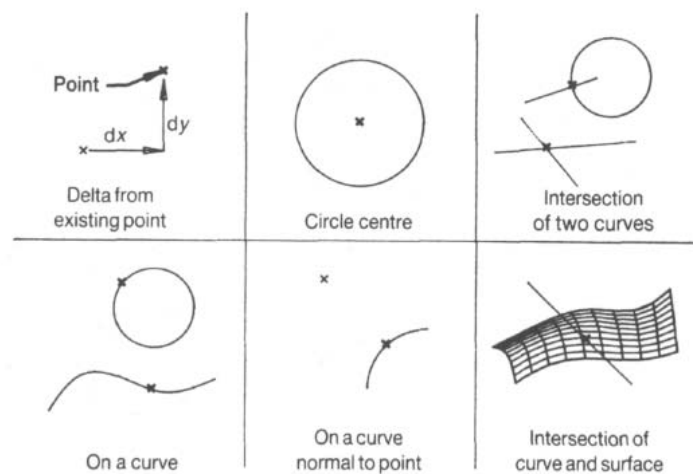
2.2.1. Γραμμικό σχέδιο με βοήθεια υπολογιστή (computer aided drafting)

Σε αυτή τη φάση εξέτασης της υπολογιστικής αναπαράστασης των γραμμικών σχεδίων, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται μόνο στην αναπαράσταση της γεωμετρίας. Οι διαδικασίες απεικόνισης και επιμέλειας του μοντέλου, του υπομνηματισμού - τεκμηρίωσής του για την παρουσίαση διαστάσεων, υλικών και άλλων δεδομένων, θα συζητηθούν στα επόμενα κεφάλαια. Η ίδια η αναπαράσταση είναι, γενικά, ίδια με αυτήν που χρησιμοποιείται στο κανονικό γραμμικό σχέδιο. Τα ίδια πρότυπα θα χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε είναι δυνατόν, και το γραμμικό σχέδιο θα είναι μια συλλογή σημείων, γραμμών, τόξων, κωνικών τομών και άλλων καμπυλών (μοναδιαία γεωμετρικά στοιχεία καλούνται συχνά *οντότητες* – entities) που διευθετούνται σε ένα δυσδιάστατο επίπεδο. Μερικά παραδείγματα των τύπων των γεωμετρικών οντοτήτων που είναι διαθέσιμοι σε ένα δημοφιλές ψηφιακό περιβάλλον CAD παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-3. Αυτές οι οντότητες θα καθοριστούν κανονικά από το σύστημα από την άποψη των αριθμητικών τιμών για τις συντεταγμένες τους ή άλλα δεδομένα. Παραδείγματος χάριν, μια γραμμή μπορεί να καθοριστεί από τις τιμές συντεταγμένων x και y των σημείων έναρξης και τέλους, και ούτω καθεξής.



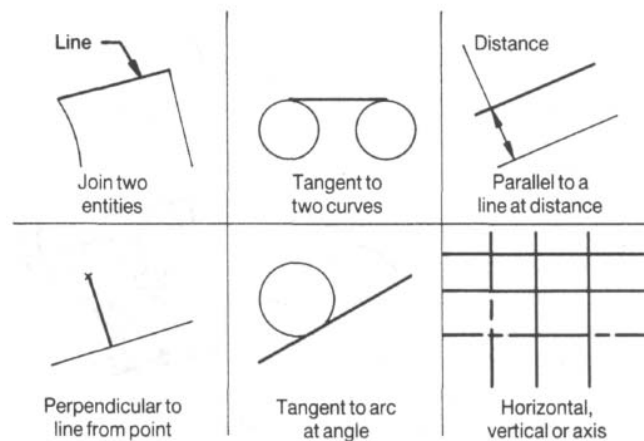
Σχήμα 2-3 Τύποι γεωμετρικών οντοτήτων διαθέσιμες σε ένα ψηφιακό περιβάλλον CAD

Στο γραμμικό σχέδιο με το χέρι, το μέγεθος της αναπαράστασης περιορίζεται από το φυσικό μέγεθος του φύλλου σχεδίασης, και έτσι τα αντικείμενα των διαφορετικών μεγεθών προσαρμόζονται με την αλλαγή της κλίμακας σχεδίασης. Σε ένα ψηφιακό περιβάλλον CAD τέτοιοι περιορισμοί δεν υπάρχουν. Το μοντέλο κατασκευάζεται από ένα σύνολο υπολογιστικών διαδικασιών μέσα σε ένα δισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων (x-y), που περιορίζεται μόνο από τους περιορισμούς στο μέγεθος των αριθμών που μπορεί να αποθηκεύσει και να χειριστεί αποτελεσματικά ένας υπολογιστής (σε ένα σύστημα τα όρια του συστήματος συντεταγμένων είναι, παραδείγματος χάριν, 9.999.999 χιλιοστά ή ίντσες σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, και αυτό είναι αρκετά κάτω από τα όρια που επιβάλλονται από την αναπαράσταση δεδομένων στον υπολογιστή). Κατά συνέπεια, στο ψηφιακό περιβάλλον CAD, τα σχέδια πρέπει να κατασκευαστούν σε κανονικό μέγεθος (είτε για μια γέφυρα είτε για ένα όργανο ακρίβειας). Η κλίμακα αναπαραγωγής είναι σημαντική μόνο όταν το γραμμικό σχέδιο αναπαράγεται σε μια οθόνη υπολογιστών ως ένα αντίγραφο σε χαρτί μιας εκτύπωσης είτε ως πρωτότυπο υπό κλίμακα από μηχάνημα προτυποποίησης.



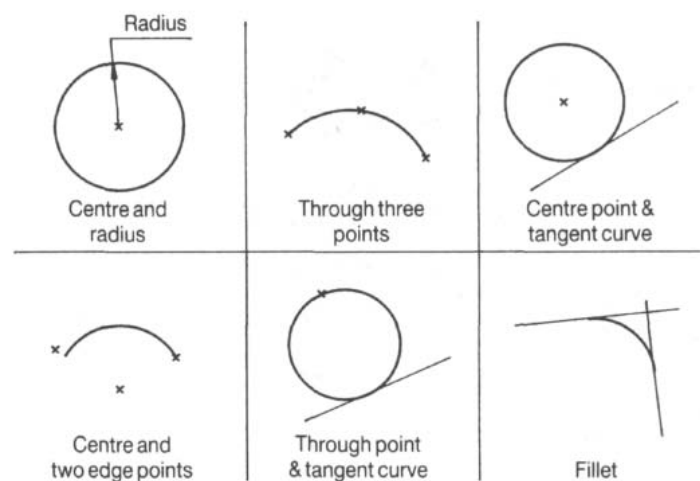
Σχήμα 2-4 Μέθοδοι κατασκευής με χρήση σημείου

Το ψηφιακό περιβάλλον CAD παρέχει, επίσης, στο σχεδιαστή μια πλούσια ποικιλία τεχνικών για τον καθορισμό των γεωμετρικών οντοτήτων. Αυτές εμφανίζονται ίσως καλύτερα στα παραδείγματα από ένα τυπικό εμπορικό σύστημα.



Σχήμα 2-5 Μέθοδοι κατασκευής σχημάτων με γραμμές

Τα Σχήματα 2.4-2.6 επεξηγούν έναν μικρό αριθμό των πολλών διαθέσιμων μεθόδων σε ένα σύστημα για τον καθορισμό σημείων, γραμμών και τόξων αντίστοιχα (ως άσκηση, μπορεί ο αναγνώστης να διερευνήσει τις διαθέσιμες μεθόδους στο σύστημα ψηφιακό περιβάλλον CAD στο οποίο έχει πρόσβαση).



Σχήμα 2-6 Μέθοδοι κατασκευής τόξων

Οι διευκολύνσεις για την παραγωγή σημείου χρήζουν ιδιαίτερου ενδιαφέροντος: στο ψηφιακό περιβάλλον CAD το μοντέλο αναπτύσσεται συχνά από ένα δίκτυο σημείων επάνω στο οποίο κατασκευάζονται άλλες γεωμετρικές οντότητες. Αυτά τα σημεία μπορούν να είναι τα ίδια οντότητες σημείου, ή συνεπαγόμενα σημεία σχετικά με άλλες οντότητες ή

διατομές. Μπορούν, επίσης, να εισαχθούν από το σχεδιαστή με την είσοδο μιας τιμής συντεταγμένων ή υποδεικνύοντας μια θέση στην οθόνη του υπολογιστή. Για να βοηθήσουν την κατασκευή, πολλά συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα να παραγάγουν ένα πλέγμα στο επίπεδο κατασκευής του συστήματος έτσι ώστε οι θέσεις που υποδεικνύονται από το χρήστη περιορίζονται να βρίσκονται στα σημεία του πλέγματος. Άλλες δυνατότητες είναι εκείνες που επιτρέπουν την κατασκευή νέων γεωμετρικών οντοτήτων από τις υπάρχουσες καμπύλες, ειδικότερα οι ρουτίνες συνδυασμού για την παραγωγή των τόξων ενώσεων, (Σχήμα 2-6).

Επειδή η γεωμετρία των συστατικών μπορεί να καθοριστεί ακριβώς και μπορεί να κατασκευαστεί σε πλήρες μέγεθος, ο κίνδυνος λάθους στη δημιουργία και την εξέταση ενός βασισμένου σε υπολογιστή γραμμικού σχεδίου είναι χαμηλότερος απ' ό,τι στο αντίστοιχο με το χέρι γραμμικό σχέδιο. Ένα τέτοιο όφελος ενισχύεται με λειτουργίες για τη δημιουργία διαστάσεων και άλλο υπομνηματισμό άμεσα από το αποθηκευμένο μοντέλο. Αυτές οι λειτουργίες συνδυαζόμενες με τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης αποθηκευμένων μοντέλων, και επιμέλειας της βάσης δεδομένων, είναι μια ισχυρή βοήθεια για τους σχεδιαστές.

2.3. Ψηφιακές αναπαραστάσεις τρισδιάστατων μορφών

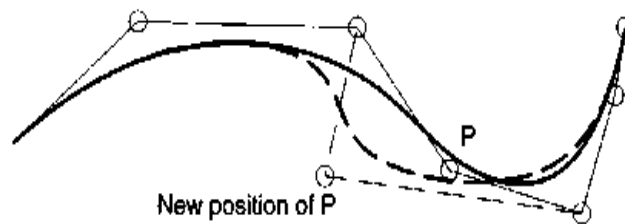
Σε οποιοδήποτε ψηφιακό περιβάλλον μοντελοποίησης, η δυνατότητα να καθοριστούν ακριβώς οι συστατικές γραμμές, *επιφάνειες* (surfaces), και *στερεά* (solids) είναι ύψιστης σημασίας. Η ακριβής αναπαράσταση των μοντέλων οντοτήτων γίνεται ένα βασικό ζήτημα στο πλαίσιο του CAD/CAM, δεδομένου ότι το ψηφιακό μοντέλο όχι μόνο χρησιμεύει ως ένα εργαλείο σχεδίασης αλλά και οδηγεί τις συσκευές μοντελοποίησης γρήγορης προτυποποίησης ή τις *ελεγχόμενες με υπολογιστή αριθμητικές μηχανές* (computer numerically control CNC) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής. Οποιαδήποτε ανακρίβεια του ψηφιακού μοντέλου, μεταφράζεται άμεσα σε ένα ανεπιθύμητο δομικό συστατικό ή συνθήκη. Όταν ένα σχέδιο μοντελοποιείται με σκοπό την αναπαράσταση ή την *φωτο-ρεαλιστική απόδοση* (rendering), είναι συχνά άσχετο και ακόμη παρεμποδιστικό να του επιβάλλεται αυτή η ίδια ακρίβεια. Εάν είναι ή όχι επιθυμητή η εμφάνιση μιας συνεχούς *επιφάνειας* (surface), παραδείγματος χάριν, (η οποία είναι πραγματικά βασισμένη σε μια ψηφιακά συνεχή αναπαράσταση) δεν είναι σημαντική

εφόσον η επιφάνεια φαίνεται πειστική. Αυτές οι ίδιες μικρές ασυνέχειες των επιφανειών, εντούτοις, θα παρήγαν αναπόφευκτα τεράστια προβλήματα στην φάση της παραγωγής.

Αυτό το τμήμα παρουσιάζει τους βασικούς τρόπους αναπαράστασης των τρισδιάστατων μορφών χρησιμοποιώντας *πλαίσια-ακμών* (wire-frame), *πολυγωνικά πλέγματα* (polygonal meshes), *μπαλώματα* (patches), *παραμετρικές επιφάνειες* (parametric surface patches), και *στερεά* (solids). Πολλοί γεωμετρικοί μοντελοποιητές, ειδικά εκείνοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για την εννοιολογική μοντελοποίηση, υποστηρίζουν ένα μίγμα αυτών των οντοτήτων που επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν το στιδήποτε καλύτερο ανταποκρίνεται στις ανάγκες αναπαράστασης τους. Τα περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης στηρίζονται συνήθως στα *μπαλώματα παραμετρικής επιφάνειας* (parametric surface patches) και τις αναπαραστάσεις *στερεών* (solids). Έτσι, αυτά προσφέρουν τον υψηλότερο βαθμό ακρίβειας όσον αφορά τις αριθμητικά ελεγχόμενες διαδικασίες κατασκευής που τέτοια μοντέλα προορίζονται τελικά να υποστηρίξουν.

2.3.1. Παραμετρικές αναπαραστάσεις

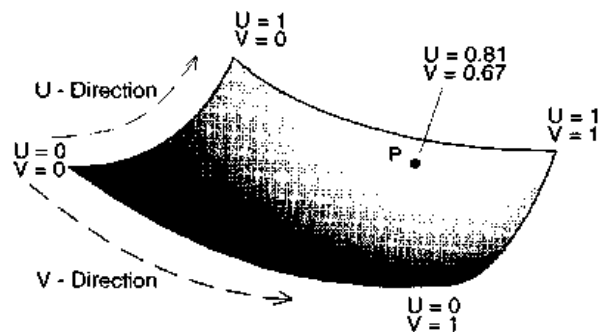
Υπάρχουν δύο πλήρως διαφορετικοί τρόποι για την περιγραφή των μοντέλων οντοτήτων σε ένα ψηφιακό περιβάλλον μοντελοποίησης: παραμετρικοί και μη-παραμετρικοί. Πολλά προηγούμενα περιβάλλοντα CAD υιοθέτησαν έναν μη-παραμετρικό τρόπο αναπαράστασης. Εδώ όλες οι μορφές προέρχονται τελικά από κωνικές τομές (conic sections) όπως γραμμές, τόξα, ελλείψεις, παραβολές, και υπερβολές. Αυτά τα τμήματα (κύκλοι, ελλείψεις, παραβολές, και υπερβολές) προέρχονται απλά από τη διατομή ενός επιπέδου που στρέφεται με διαφορετικούς τρόπους επί ενός κώνου. Ενώ οι κωνικές τομές επιτρέπουν τη μοντελοποίηση ενός ευρέως φάσματος μορφών, είναι ανεπαρκείς να περιγράψουν τις σύνθετες επιφάνειες, οι οποίες είναι παρούσες σε πολλά καθημερινά αντικείμενα. Η ανάγκη να μοντελοποιηθούν ψηφιακά τα αεροπλάνα ή τα αυτοκίνητα παρακίνησε την ανάπτυξη των παραμετρικών αναπαραστάσεων. Αυτές υιοθετούνται τώρα ευρέως, και όλα τα εργαλεία σχεδίασης ανάπτυξης στηρίζονται αναπόφευκτα σε αυτές. Οι χαρακτηριστικές παραμετρικές οντότητες είναι καμπύλες splines και Nonuniform Rational B-Spline (NURBS) *μπαλώματα* (patches) επιφάνειας, (Σχήμα 2-7).



Σχήμα 2-7 B-Spline: Το σημείο P ελέγχου τροποποιεί τοπικά τη μορφή της καμπύλης

Οι παραμετρικά αναπαριστώμενες καμπύλες και επιφάνειες περιγράφονται μέσω των πολυωνυμικών εκφράσεων που επιτρέπουν τον υπολογισμό των παραμέτρων μορφής σε οποιοδήποτε σημείο της οντότητας. Στις καμπύλες splines και τα *μπαλώματα* (patches) NURBS, αυτές οι εκφράσεις επιτρέπουν την τοπική τροποποίηση των μορφών αφήνοντας τη γενική γεωμετρία αμετάβλητη. Η ένωση των καμπυλών και των επιφανειών κατά έναν ομαλό τρόπο – με μια συνεχή κυρτότητα – με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται: Μια μορφή μπορεί να προσαρμοστεί, για να ενωθεί με μια παρακείμενη μορφή ομαλά, χωρίς η τοπική κυρτότητα να έχει επιπτώσεις στη γενική μορφή, όπως θα συνέβαινε στα τόξα ή τα τμήματα σφαιρών. Οι παραμετρικές αναπαραστάσεις δεν είναι μόνο εξαιρετικά χρήσιμες στη μοντελοποίηση των σύνθετων μορφών. Οι πρόσφατα χρησιμοποιημένες splines και οι NURBS είναι εξίσου σε θέση να αναπαραστήσουν απλή γεωμετρία βασισμένη στις κωνικές τομές – υπερνικώντας έτσι μια ανεπάρκεια των προηγούμενων παραμετρικών αναπαραστάσεων όπως η Coons και τα *μπαλώματα* (patches) Beziers. Ένα παραμετρικό μπάλωμα επιφάνειας επιτρέπει συχνά τον προσδιορισμό θέσης των σημείων και των καμπυλών σύμφωνα με ένα σχετικό u και v σύστημα συντεταγμένων στην επιφάνειά του, (Σχήμα 2-8). Χαρακτηριστικά οι τέσσερις άκρες ενός μπαλώματος θα έχουν τις αντίστοιχες τιμές του u και v ως 0 και 1. Για να εντοπιστεί ένα σημείο στο μπάλωμα, οι χρήστες προσδιορίζουν τη συντεταγμένη u και v μεταξύ 0 και 1, προσδιορίζοντας κατά συνέπεια μια σχετική ή παραμετρική παρά μια απόλυτη θέση της οντότητας στην επιφάνεια.

Είναι ακόμα χρήσιμο να αναφερθεί ότι η “καμπύλη spline” που συζητείται έχει το ιστορικό της προηγούμενο εύκαμπτο βοήθημα σχεδίων των εργατών φτιαγμένο από λεπτό ξύλο ή μέταλλο που χρησιμοποιήθηκε εκτενώς στη ναυπηγική βιομηχανία.

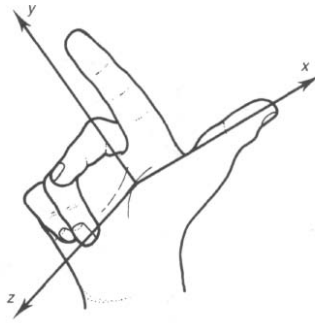


Σχήμα 2-8 Μπάλωμα επιφάνειας NURB

2.4. Μέθοδοι Τρισδιάστατης μοντελοποίησης

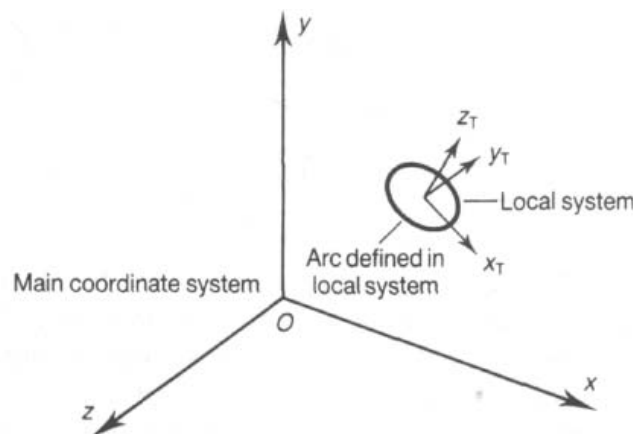
Στα προηγούμενα τμήματα παρουσιάστηκε ότι η ορθογραφική προβολή ως μέσο αναπαράστασης της γεωμετρίας του σχεδίου παρουσιάζει αρκετούς σοβαρούς περιορισμούς. Ως συνέπεια αυτών των περιορισμών, διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την αναπαράσταση της γεωμετρίας, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους που δε στηρίζονται στην προβολή στο επίπεδο. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν την κατασκευή μιας μοναδικής αναπαράστασης της γεωμετρίας των συστατικών στον τρισδιάστατο χώρο. Με τη χρησιμοποίηση μιας μοναδικής αναπαράστασης, αποφεύγεται η πιθανότητα λάθους, κάτι έμφυτο στη χρήση των πολλαπλών απόψεων ενός συστατικού. Το πιο σημαντικό, εντούτοις, είναι ότι μια τέτοια μοναδική αναπαράσταση είναι, ενδεχομένως, πολύ πιο χρήσιμη ως βάση για τις εφαρμογές που περιλαμβάνουν την εξέταση του μοντέλου για την εξαγωγή πληροφοριών, την ανάλυση και την κατασκευή του.

Οι μέθοδοι τρισδιάστατης μοντελοποίησης που έχουν αναπτυχθεί περιλαμβάνουν την αναπαράσταση της γεωμετρίας ως συλλογή γραμμών και άλλων καμπυλών, ή επιφανειών, ή στερεών (solids) στο χώρο. Αυτές οι μέθοδοι θα εξεταστούν στη συνέχεια παρακάτω, αλλά πρώτα πρέπει να εξηγηθούν μερικές ορολογίες. Έχει δειχθεί ότι τα σχέδια κατασκευάζονται σε ένα δισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων. Αντίστοιχα τα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα κατασκευάζονται στο τρισδιάστατο χώρο - χαρακτηριστικά σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, (Σχήμα 2-9).



Σχήμα 2-9 Σύστημα συντεταγμένων δεξιού χεριού

Κανονικά για το γενικό καθορισμό του μοντέλου υπάρχει ένα σταθερό σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται – αυτό καλείται *Καθολικό Σύστημα Συντεταγμένων* (Global Coordinate System - GCS). Επιπλέον, ένα κινούμενο *Σύστημα Συντεταγμένων Εργασίας* (Work Coordinate System-WCS) χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στην σύσταση του μοντέλου. Παρατηρήστε, παραδείγματος χάριν, στο Σχήμα 2-10 ότι ο καθορισμός ενός τόξου ή μιας καμπύλης κωνικής τομής υποστηρίζεται από τη χρήση ενός συστήματος συντεταγμένων του οποίου το x - y επίπεδο είναι παράλληλο προς το επίπεδο της καμπύλης.



Σχήμα 2-10 Χρήση τοπικού συστήματος συντεταγμένων

2.4.1. Αναπαράσταση 3D αντικειμένων

Για την αναπαράσταση αντικειμένων κατά τις τρεις διαστάσεις υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες μεθόδων:

- *προσεγγιστική*, και
- *ακριβής*.

Η *προσεγγιστικές* μέθοδοι αφορούν την εφαρμογή τεχνικών όπως αυτή της αναπαράστασης αντικειμένων μέσω πλευρών, είτε μέσω δικτύων (meshes). Το εύρος αυτών των μεθόδων περιορίζεται στην αναπαράσταση των πραγματικών αντικειμένων μέσω επιφανειών. Σε γενικές γραμμές αυτές η *προσεγγιστικές* μέθοδοι επιτρέπουν την διακριτή μέτρηση του τρισδιάστατου αντικειμένου και τη χρήση απλών γεωμετρικών στοιχείων για μοντελοποίηση της γεωμετρίας και της τοπολογίας του. Οι περιορισμοί που διακρίνουν αυτές τις μεθόδους είναι:

- ύπαρξη απωλειών την ακρίβεια του αντικειμένου
- υψηλή ποιότητα συνεπάγεται μεγάλο μέγεθος δεδομένων στο μοντέλο της αναπαράστασης.
- Εύκολη ρήξη στη συνέχεια του μοντέλου λόγω έλλειψης ακρίβειας.
- Μη αποδοτική για συγκεκριμένες εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια στην αναπαράσταση των αντικειμένων τους.

Τα πλεονεκτήματα της προσεγγιστικής μεθόδου είναι :

- εύκολη εφαρμογή, χωρίς να απαιτούνται ειδικές γνώσεις ή πολύπλοκα περιβάλλοντα,
- εύκολη λήψη στοιχείων που αφορούν το υπό αναπαράσταση αντικείμενο (π.χ. μέσω 3D scanner),
- εύκολη εκτέλεση φωτορεαλιστικών αποδόσεων (rendering),
- πολλαπλοί αλγόριθμοι εφαρμογής.

Οι ακριβείς μέθοδοι αφορούν την εφαρμογή πιο προηγμένων τεχνικών για την τρισδιάστατη αναπαράσταση των αντικειμένων. Οι τεχνικές μπορεί να είναι οι ακόλουθες, πλαισίου-ακμών, παραμετρικών επιφανειών, και τα στερεών μοντέλων (Κατασκευή Στερεάς Γεωμετρίας-CSG, και Αναπαράσταση Συνόρου-BRep). Όλες αυτές οι μέθοδοι δημιουργούν ,πρώτον μοντέλα των οποίων η γεωμετρία αναπαρίστανται πλήρως μέσω μαθηματικών, και

δεύτερον αποδίδουν ακριβώς τόσο τις γεωμετρικές ιδιότητες του αντικειμένου όσο και τις τοπολογικές ιδιότητες. Οι περιορισμοί αυτών των μεθόδων είναι οι ακόλουθοι:

- πολύπλοκες δομές δεδομένων στα μοντέλα που χρησιμοποιούν.
- ακριβοί (οικονομικά και χρονικά) αλγόριθμοι εφαρμογής
- μεγάλη ποικιλία formats, με λεπτές διαφορές μεταξύ τους και αδυναμία επικοινωνίας.
- δύσκολη λήψη κα εξόρυξη δεδομένων από τα τρισδιάστατα μοντέλα,
- απαραίτητη μετάφραση για την εκτέλεση φωτορεαλιστικών αποδόσεων (rendering).

Παρά τα όποια μειονεκτήματα αυτών των μεθόδων προσφέρουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα. Σε γενικές γραμμές αυτά είναι τα ακόλουθα:

- μοντέλα υψηλής ακρίβειας,
- δυνατότητες προσομοιώσεων, (εξομοίωση, μοντελοποίηση καταστάσεων, κλπ.),
- ποικιλία στα περιβάλλοντα μοντελοποίησης
- απόδοση φυσικών ιδιοτήτων των αντικειμένων,
- πολλαπλές εφαρμογές στις διαδικασίες σχεδίασης,
- συμπαγή μοντέλα που αναπαριστούν πλήρως τα πραγματικά αντικείμενα.

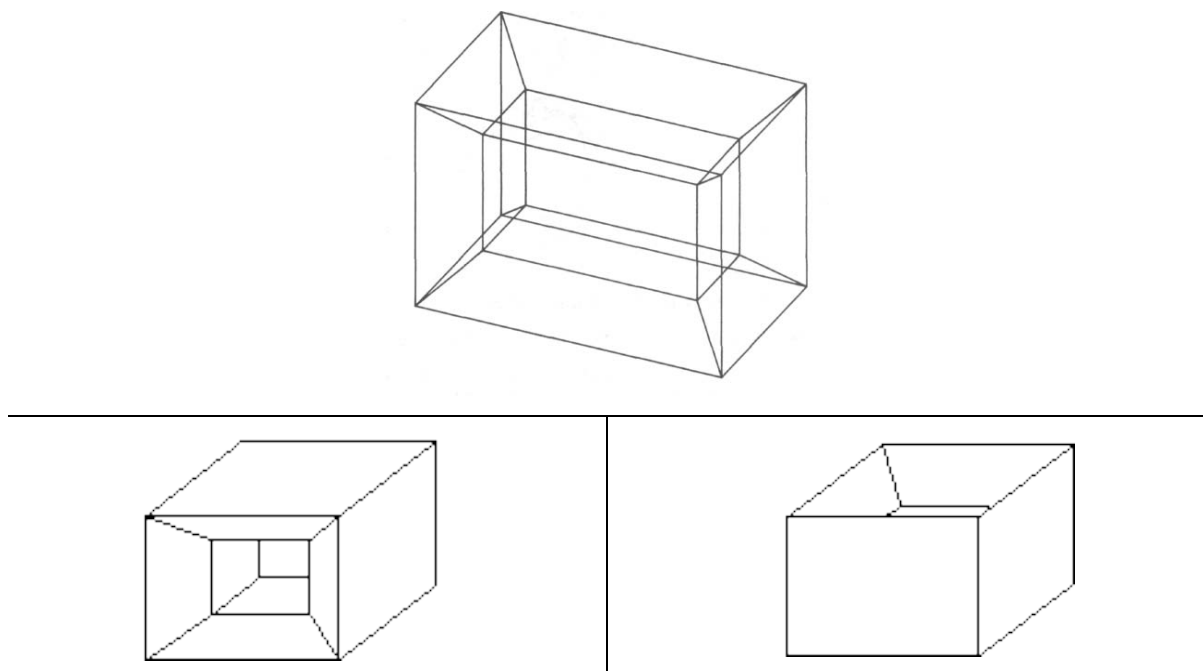
Υπό το πρίσμα των παραπάνω προσεγγίσεων καταλαβαίνουμε ότι τα τρισδιάστατα μοντέλα που αναπαριστούν αντικείμενα του πραγματικού κόσμου είναι εικονικά αντικείμενα. Ένα τρισδιάστατο μοντέλο φέρει όλες τις πληροφορίες που αφορούν τη μορφή του αντικειμένου και την συμπεριφορά του.

2.4.2. Μέθοδος πλαισίου-ακμών (wire-frame)

Η πρώτη από τις τρισδιάστατες μεθόδους και υπολογιστικά η απλούστερη, είναι η μέθοδος πλαισίου-ακμών (wire-frame). Σε αυτή τη μέθοδο η γεωμετρία ορίζεται ως μια σειρά γραμμών και καμπυλών που αναπαριστούν τις ακμές, και ίσως κατευθείαν τις τομές – τμήματα, του αντικειμένου. Το όνομα αυτής της μεθόδου προκύπτει από την σαν-ακμές εμφάνιση των μοντέλων όταν απεικονίζονται στην οθόνη υπολογιστή ή σε ένα αντίγραφο

σε χαρτί. Το μοντέλο *πλαισίου-ακμών* (wire-frame) είναι αποδοτικό για τη μεταβίβαση και την εξαγωγή κατά προσέγγιση γεωμετρικών πληροφοριών για ένα αντικείμενο χωρίς να καταλαμβάνει χώρο αποθήκευσης για να το περιγράψει λεπτομερέστερα. Η μέθοδος *πλαισίου-ακμών* (wire-frame) είναι σχετικά απλή στη χρήση, και είναι η περισσότερο οικονομική από τις υπόλοιπες τρισδιάστατες μεθόδους, από την άποψη των απαιτήσεων σε υπολογιστικό χρόνο και μνήμη. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την προκαταρκτική εργασία διάταξης, για την επίλυση μερικών γεωμετρικών προβλημάτων, ή για την καθιέρωση γενικών χωρικών σχέσεων για ένα σχέδιο.

Τα μοντέλα *πλαισίου-ακμών* (wire-frame) μπορούν να προβληθούν επάνω σε ένα δισδιάστατο επίπεδο εικόνων με ποικίλες τεχνικές για να δημιουργηθεί μια τρισδιάστατη εικόνα. Οι θέσεις των επιπέδων σχημάτων και των τύπων προβολής μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα στα περισσότερα συστήματα. Οι ορθογραφικές και αξονομετρικές προβολές είναι κοινές. Οι πλάγιες και προοπτικές προβολές, επίσης, χρησιμοποιούνται ευρέως.

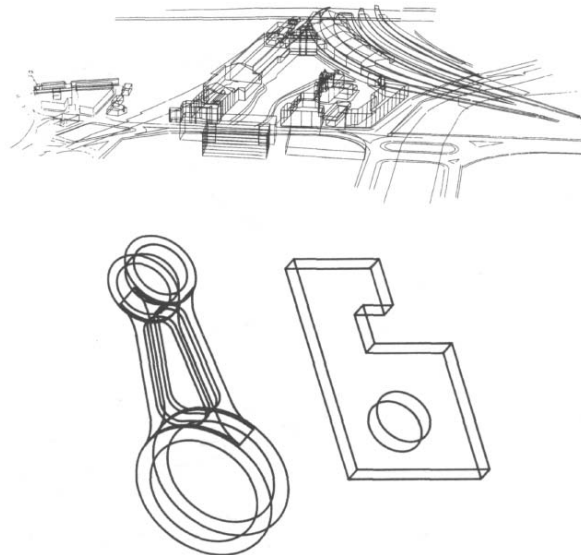


Σχήμα 2-11 Αμφισημία σε ένα μοντέλο *πλαισίου-ακμών*

Τα μοντέλα *πλαισίου-ακμών* (wire-frame), εντούτοις, δεν υποστηρίζουν τα είδη χειρισμών και αριθμητικών διαδικασιών που χαρακτηριστικά απαιτούνται στα

ολοκληρωμένα περιβάλλοντα σχεδίασης και κατασκευής με βοήθεια υπολογιστή. Η μέθοδος αυτή μπορεί, επίσης, να είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ο δυναμικός χειρισμός ή η επίδειξη του μοντέλου (π.χ. να ζωντανέψει την κίνηση ενός μηχανισμού), αλλά παρουσιάζει διάφορες σοβαρές ανεπάρκειες, όταν χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει τα σχεδιαστικά αντικείμενα. Αυτές οι ανεπάρκειες περιλαμβάνουν:

- Ασάφεια στην αναπαράσταση και τα πιθανά ανέφικτα αντικείμενα. Το κλασικό παράδειγμα είναι από αυτή την άποψη ο κύβος με τις επικλινείς έδρες (faces) και μια κεντρική οπή, (Σχήμα 2-11). Εκτείνεται η οπή από εμπρός έως πίσω, από επάνω έως τη βάση, ή από αριστερά έως δεξιά;
- Ανεπάρκεια στην εικονογραφική αναπαράσταση. Η παράλληλη προβολή μπορεί να καταστήσει τον προσανατολισμό των μοντέλων δύσκολο να ερμηνευθεί - παραδείγματος χάριν, δεν είναι δυνατό να ειπωθεί ποια γωνία του κύβου στο Σχήμα 2-11 είναι η κοντινότερη προς το θεατή. Τα σύνθετα μοντέλα είναι δύσκολο να ερμηνευθούν (Σχήμα 2-11). Οι ακμές από διάφορα περιγράμματα (π.χ. των κυλίνδρων) δεν μπορούν να παραχθούν κανονικά. Κάποια βελτίωση μπορεί να ληφθεί με την εισαγωγή βάθους, στην οποία οι πιο μακριά από το θεατή γραμμές απεικονίζονται λιγότερο έντονα για να αποδώσουν μια εντύπωση του βάθους.



Σχήμα 2-12 Μοντέλα αντικειμένων πλαισίου-ακμών

- Περιορισμένη δυνατότητα να υπολογιστούν οι μηχανικές ιδιότητες ή οι γεωμετρικές διατομές.
- Περιορισμένη χρησιμότητα ως βάση για την κατασκευή ή την ανάλυση.
- Αδυναμία αριθμητικού καθορισμού των πραγματικών επιφανειών (surfaces), λόγω χρήσης μόνο των ακμών για να συσταθεί το μοντέλο.
- Αδυναμία παροχής των συνήθως αναγκαίων ικανοτήτων, όπως η συγχώνευση των σύνθετων επιφανειών για τη διαμόρφωση νέων.

Οι διαδικασίες όπως *σάρωση* (swept), *εξώθηση* (extrude), ή *περιστροφή* (revolved) διευκολύνουν την ανάπτυξη των μοντέλων *πλαisiού-ακμών* (wire-frame) επιτρέποντας σε ένα χρήστη να εξωθήσει ή να ωθήσει ένα σχήμα που προσδιορίζεται σε ένα απλό δισδιάστατο περιβάλλον από το δισδιάστατο επίπεδό του. Οποιαδήποτε *πολύγραμμα* (polyline), παραδείγματος χάριν, μπορεί να μεταφερθεί – μετατοπιστεί ορθογώνια στο επίπεδο ή να περιστραφεί γύρω από έναν άξονα στο επίπεδο για να δημιουργήσει την εικόνα μιας σύνθετης ογκομετρικής οντότητας. Τα *πολύγωνα* (polygons) μπορούν να δημιουργηθούν και να εξωθηθούν, να περιστραφούν, ή να συρθούν για να σχηματίσουν τις σύνθετες μορφές.

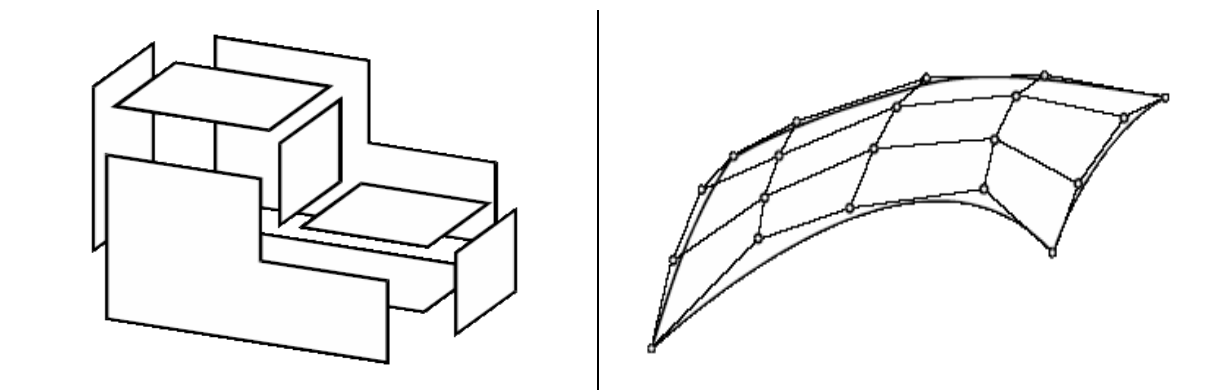
2.4.3. Πλέγματα πολυγώνων (polygon mesh)

Τα *πλέγματα πολυγώνων* (polygon mesh) είναι απλά μορφές συνδεδεμένων πολυγωνικών επιφανειών. Το *πλέγμα* (mesh) καθορίζεται από την άποψη του *πλαisiού-ακμών* (wire-frame), κορυφών και των διάφορων τύπων πολυγώνων. Οι τριγωνικές μορφές χρησιμοποιούνται συχνά, δεδομένου ότι οποιαδήποτε τρία κομβικά σημεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν ένα στοιχείο επιπέδου *πλέγματος* (mesh). Άλλες μορφές είναι, επίσης, δυνατές. Διάφοροι τρόποι καθορισμού και τροποποίησης ενός *πλέγματος* (mesh) χρησιμοποιούνται, όπως η αναπαράσταση κάθε πολυγώνου από έναν κατάλογο συντεταγμένων κορυφών ή η χρησιμοποίηση των δεικτών σε έναν κατάλογο κορυφών ή σε έναν κατάλογο *πλαisiού-ακμών* (wire-frame). Ένα σημαντικό ζήτημα είναι να είναι γνωστό πότε το *πλέγμα* (mesh) είναι εσωτερικά συνεπές – δηλαδή όταν κλείνουν όλα τα πολύγωνα, να μην υπάρχει κανένα χάσμα μεταξύ τους, ή να μην υπάρχει καμία αποσυνδεδεμένη κορυφή. Ακόμα και όταν εφαρμοστεί επιτυχώς αυτή η μέθοδος, μια

επιφάνεια από τα επίπεδα τμήματα μπορεί να είναι μόνο μια προσέγγιση της πραγματικής μορφής. Σαφώς, μπορούν να υπάρξουν σημαντικά σφάλματα που εισάγονται στον καθορισμό μιας μορφής. Επίσης, η επιφάνεια δεν ελέγχεται καλά υπό μια αριθμητική έννοια. Ως εκ τούτου οι κρίσιμες ακριβείς διαστασιολογικές πληροφορίες – παραδείγματος χάριν, η ακριβής απόσταση από ένα σημείο σε μια καμπύλη σε ένα επίπεδο αναφοράς – δεν είναι διαθέσιμες. Η προσέγγιση μιας μορφής μπορεί να βελτιωθεί κάνοντας τα στοιχεία ολοένα και μικρότερα αλλά με κόστος την αυξανόμενη μνήμη και το χρόνο εκτέλεσης. Παρόλα αυτά, αυτή η μέθοδος παραμένει ακόμα ευρέως χρησιμοποιημένη.

2.4.4. Παραμετρικά μπαλώματα (patches) επιφανειών

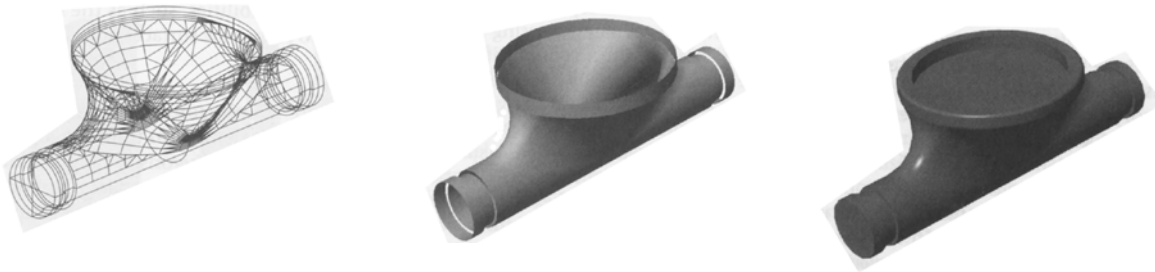
Οι γραμμές οριοθέτησης ενός μοντέλου *πλαισίου-ακμών* (wire-frame) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαμορφώσουν τις δισδιάστατες επιφάνειες που θα δημιουργήσουν στη συνέχεια ένα μοντέλο τρισδιάστατης επιφάνειας. Ένα μοντέλο *επιφάνειας* (surface) χρησιμοποιεί έτσι τα δισδιάστατα στοιχεία για να περιγράψει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο στο χώρο.



Σχήμα 2-13 Μοντέλα επιφάνειας (surface)

Αυτά τα είδη μοντέλων χρησιμοποιούνται ευρέως για λόγους οπτικής παρουσίασης, δεδομένου ότι οι επιφάνειες μπορούν να χρωματιστούν, να σκιαστούν, και να τους αποδοθούν υφές, ενώ επίσης χρησιμοποιούνται σε υψηλού επιπέδου εφαρμογές, όπως η σχεδίαση αυτοκίνητων. Τα μοντέλα *επιφάνειας* (surface) μπορούν να παράγουν όψεις που πλησιάζουν την *φωτο-ρεαλιστική απόδοση* (rendering). Αυτές οι όψεις μπορεί να έχουν κρυφές επιφάνειες (hidden surfaces). Μπορεί να τους αποδοθούν διάφορες ιδιότητες

επιφάνειας (όπως χρώμα, σύσταση, κ.λπ.), να προσδιορίζονται οπτικές πηγές, σκιασμένες επιφάνειες (surfaces), και ούτω καθ' εξής, (Σχήμα 2-14).



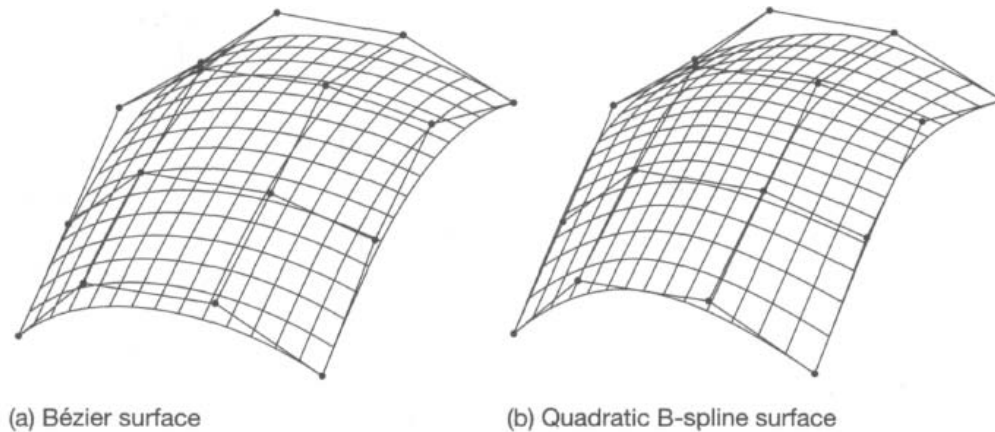
Σχήμα 2-14 Αναπαραστάσεις ενός συνδέσμου χυτοχάλυβα

Πολλές από τις ασάφειες των μοντέλων του *πλαisiου-ακμών* (wire-frame) ξεπερνιούνται με τη χρήση της δεύτερης από τις τρεις κύριες τρισδιάστατες μεθόδους αναπαράστασης – τη *μοντελοποίηση επιφάνειας* (surface modelling). Όπως υπονοεί το όνομά της, αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την αναπαράσταση του μοντέλου με το καθορισμό μερικών ή όλων των επιφανειών στο συστατικό αντικείμενο. Άλλη μια φορά, η αναπαράσταση περιλαμβάνει γενικά μια σειρά γεωμετρικών οντοτήτων, με την κάθε επιφάνεια να διαμορφώνει μια μόνο οντότητα.

Οι ορισμοί επιφάνειας εμπίπτουν γενικά σε μια από τρεις κύριες κατηγορίες.

- Στην πρώτη κατηγορία, οι επιφάνειες προσαρμόζονται σε σειρές σημείων δεδομένων, αποκαλούμενων σημεία ελέγχου, και η επιφάνεια παράγεται είτε για να διέρχεται από τα σημεία, είτε για να προσεγγίζει τα σημεία. Το Σχήμα 2-15 παρουσιάζει παραδείγματα επιφανειών της πρώτης κατηγορίας, τα οποία προσεγγίζουν ορθογώνιες σειρές σημείων ελέγχου. Οι ιδιαίτερες επιφάνειες που παρουσιάζονται σε αυτό το διάγραμμα είναι τύποι γνωστοί ως επιφάνειες Bezier και B-spline.
- Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις επιφάνειες που είναι βασισμένες σε καμπύλες: τέτοιες επιφάνειες μπορούμε να φανταστούμε ότι συστήνουν ένα δέρμα πάνω από έναν σκελετό *πλαisiου-ακμών* (wire-frame).

- Στην τρίτη και τελική κατηγορία, οι επιφάνειες καθορίζονται για την προσέγγιση μεταξύ άλλων επιφανειών.



Σχήμα 2-15 Επιφάνειες Bezier και B-spline

Η μοντελοποίηση επιφάνειας (surface modelling) εφαρμόζεται εκτενώς σε εκείνους τους κλάδους της μηχανικής, όπως στη βιομηχανία κατασκευής αυτοκινήτων ή στη βιομηχανία κατασκευών φορμών και καλουπιών. Η μοντελοποίηση επιφάνειας (surface modelling) έχει επιτρέψει τόσο τη σύλληψη της μορφής αυτών των μοντέλων, όσο και την περαιτέρω χρήση για τα μοντέλα μηχανικής. Τα μοντέλα επιφάνειας παρουσιάζουν πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα μοντέλα πλαισίου-ακμών (wire-frame) στη βιομηχανική κατασκευή και την ανάλυση. Τα μοντέλα επιφάνειας (surface) χρησιμοποιούνται ευρέως για την οπτικοποίηση των σχεδίων. Όπως συμβαίνει με τα πλαίσια-ακμών (wire-frame), τα μοντέλα επιφάνειας (surface) μπορούν να απεικονιστούν μέσω διάφορων εναλλακτικών προβολών (ορθογραφική, πλάγια, αξονομετρική, και προοπτική). Για να ενισχύσουν-βελτιώσουν μια τρισδιάστατη όψη ενός μοντέλου επιφάνειας (surface), οι επιφάνειες που δεν είναι κανονικά ορατές από την άποψη του παρατηρητή είναι κρυμμένες. Υπάρχει μια ποικιλία απλών και σύνθετων αλγόριθμων κρυφής επιφάνειας (hidden surface) για τον υπολογισμό και την παρουσίαση των επιπέδων με έναν οπτικά ρεαλιστικό τρόπο, με τα πίσω επίπεδα να καλύπτονται από τα μπροστινά επίπεδα.

Οι παραγόμενες από υπολογιστή επιφάνειες έχουν χρησιμοποιηθεί, επίσης, ευρέως και πέραν της περιοχής σχεδίασης. Παραδείγματος χάριν, μια από τις αρχικές εφαρμογές τους ήταν στον καθορισμό οικογενειών καλαποδιών παπουτσιού, και στο “*ξεδίπλωμα*” ή την “*ανάπτυξη*” των μορφών για την αποκοπή του δέρματος παπουτσιών. Πιο πρόσφατα, τα μοντέλα επιφάνειας έχουν χρησιμοποιηθεί για να κατασκευάσουν τα καλούπια μέσα στα οποία εκχύνεται το υλικό για τα πέλματα των παπουτσιών. Εφαρμόζονται, επίσης, σε άλλους τομείς της βιομηχανίας ενδυμάτων, καθώς και σε τομείς όπως η αγγειοπλαστική και η υαλουργία. Ενώ σε πολλά περιβάλλοντα CAD/CAM απαιτούνται ακριβέστερα συστήματα μοντελοποίησης, τα μοντέλα *επιφάνειας* (surface) βρίσκουν ακόμα ευρεία χρήση στο περιβάλλον παραγωγής.

Η ισχύς και οι αδυναμίες της μεθόδου *επιφάνειας* μπορούν να φανούν ειδικά στη μοντελοποίηση αντικειμένων, όπως ο οργανισμός του αυτοκινήτου. Το ισχυρό σημείο της μεθόδου αυτής είναι η αποβολή ως επί το πλείστον των έμφυτων ασαφειών της μεθόδου *πλαίσιου-ακμών* (wire-frame). Έτσι, το μοντέλο επιφάνειας παρέχει μια άριστη βάση για την παραγωγή των πληροφοριών κατασκευής και των στοιχείων ανάλυσης (π.χ. μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων για τους υπολογισμούς ακαμψίας των σωμάτων). Επιπλέον, οι σχεδόν αυθαίρετα σύνθετες μορφές μπορούν να μοντελοποιηθούν επακριβώς, και τα μοντέλα μπορούν να διανεμηθούν σε όλους εκείνους που εμπλέκονται στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων που απαιτούν πρόσβαση σε αυτά.

Ενώ τα μοντέλα *επιφάνειας* (surface) είναι η κινητήρια δύναμη της βιομηχανίας οπτικοποίησης, έχουν τους περιορισμούς τους. Γενικά είναι μια μέθοδος πιο απαιτητική υπολογιστικά από τη μέθοδο *πλαίσιου-ακμών* (wire-frame) και απαιτεί μάλλον περισσότερη ικανότητα κατά την κατασκευή και χρήση τους (αυτά ισχύουν ειδικότερα για τους περισσότερους τύπους επιφάνειας ελεύθερης-μορφής, όπως οι σμιλευμένες επιφάνειες). Δεδομένου ότι οι όγκοι καθορίζονται μόνο από οριοθετούσες επιφάνειες, δεν μπορούν να υποστηρίξουν πολλά είδη εφαρμογών. Οι ιδιότητες όπως η μάζα ή η αδράνεια δεν μπορούν να προσδιοριστούν, κάτι το οποίο περιορίζει τη χρήση των μοντέλων *επιφάνειας* (surface) στον κόσμο εφαρμοσμένης σχεδίασης και μηχανικής. Τα εργαλεία ανάλυσης, όπως η ανάλυση πεπερασμένων-στοιχείων, δεν μπορούν συχνά να συνεργαστούν με τα μοντέλα *επιφάνειας* (surface). Τα μοντέλα οποιασδήποτε πολυπλοκότητας είναι δύσκολο να ερμηνευθούν, εκτός αν παρατηρούνται με αφαίρεση των κρυμμένων επιφανειών. Δεν

υπάρχει επίσης, όπως στην περίπτωση των αναπαραστάσεων *πλαισίου-ακμών* (wire-frame), τίποτα έμφυτο στη μέθοδο *μοντελοποίησης επιφάνειας* (surface modelling) προκειμένου να αποτραπούν τα διφορούμενα ή λανθασμένα μοντέλα.

Στη μέθοδο αυτή οι επιφάνειες μπορούν να είναι ασυνεχείς, ή μπορούν να αλληλοεισέρχονται ή να αυτό-διασταυρώνονται. Η οπτική επιθεώρηση του μοντέλου είναι απαραίτητη προκειμένου να προσδιοριστεί η φυσικά μη εφικτή γεωμετρία. Γενικά, δεν υπάρχει καμία σύνδεση μεταξύ των επιφανειών. Εάν μια επιφάνεια τροποποιηθεί, ο σχεδιαστής πρέπει έπειτα να επιλύσει τις οποιεσδήποτε συνέπειες εκείνης της αλλαγής στις παρακείμενες επιφάνειες (π.χ. εάν μια άκρη είναι κοινή). Δεν υπάρχει, επίσης, καμία ένδειξη του μέρους του μοντέλου που είναι “στερεό” - με άλλα λόγια, η αναπαράσταση ενός αντικειμένου είναι απλά μια συλλογή των επιφανειών χωρίς τις υψηλότερου επιπέδου πληροφορίες για το στερεό αντικείμενο.

Τέλος, υπάρχει ορισμένη γεωμετρία επιφάνειας που είναι δύσκολο να αναπαρασταθεί με τη χρησιμοποίηση των τρεχόντων μεθόδων μοντελοποίησης επιφάνειας. Όπως σημειώνεται, πολλά συστήματα της αρχικής φάσης σχεδίασης δεν ήταν ικανά να αναπαραστήσουν τις περικλείουσες ή αποκομμένες επιφάνειες και κάποιες μορφές επιφάνειας παρουσιάζουν ακόμα δυσκολίες παραγωγής στους σύγχρονους μοντελοποιητές.

2.4.5. Μέθοδοι στερεάς μοντελοποίησης (solid modelling)

Οι πληρέστερες και ακριβείς ψηφιακές αναπαραστάσεις μιας διαθέσιμης μορφής είναι τα *στερεά* (solids) μοντέλα. Αυτά λαμβάνουν υπόψη τον ογκομετρικό χώρο που περιλαμβάνεται μέσα στις οριοθετούσες επιφάνειες, και βασίζονται σε πολύ πλουσιότερες δομές δεδομένων από τα απλούστερα μοντέλα των μεθόδων *πλαισίου-ακμών* (wire-frame) ή *επιφάνειας* (surface). Κατ' αυτόν τον τρόπο οι σύνθετοι γεωμετρικοί χειρισμοί μεταξύ ογκομετρικών *στερεών* (solids) μπορούν να εκτελεστούν, και τα ίδια μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη πολλών σύνθετων υπολογισμών. Τέτοιες ιδιότητες είναι εξαιρετικά σημαντικές σε ένα πλαίσιο τόσο σχεδίασης όσο και εφαρμοσμένης μηχανικής.

Δεδομένου ότι τα στερεά (solids) μοντέλα αναπαριστούν τα πραγματικά ογκομετρικά αντικείμενα, πρέπει απαραίτητως να καθοριστούν σαφώς και να συσταθούν τοπολογικά καλά. Οι οριοθετούσες επιφάνειες πρέπει να διαμορφώσουν ένα κλειστό όγκο, και μερικά περιβάλλοντα δεν επιτρέπουν τις αιωρούμενες γραμμές ή τις περιπλανώμενες επιφάνειες. Οι δυνατότητες της αναπαράστασης μέσω στερεών είναι οι ακόλουθες:

- πλήρης αναπαράσταση του χώρου,
- δημιουργία ολοκληρωμένου μοντέλου,
- δημιουργία κατασκευαστικών σχεδίων,
- δημιουργία συναρμολογήσεων μέσω τμημάτων του αντικειμένου,
- υπολογισμός φυσικών ιδιοτήτων (όγκος, κέντρο βάρους, επιφάνεια),
- λεπτομερής ανάλυση κατασκευών, και
- δημιουργία πρωτότυπων (στερεολιθογραφία).

Η χρήση των στερεών (solids) μοντέλων γίνεται επιτακτική σε πολλές εφαρμογές, όπου οποιαδήποτε ασάφεια είναι προβληματική, ιδιαίτερα εκείνες που περιλαμβάνουν τις περίπλοκες διαδικασίες κατασκευής με βοήθεια υπολογιστή (CAM). Πολλά κατασκευασμένα αντικείμενα είναι, τελικά, απαραίτητως πραγματικά ογκομετρικά αντικείμενα που πρέπει να καθοριστούν σαφώς και να συσταθούν τοπολογικά επαρκώς, διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να υπάρξουν ως ενιαία φυσικά αντικείμενα. Οι αιωρούμενες γραμμές ή οι περιπλανώμενες επιφάνειες μπορούν να απεικονιστούν οπτικά σε μια οθόνη και μπορούν να είναι ιδιαίτερα χρήσιμες κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων της σχεδίασης, προκειμένου να βοηθήσουν να διαμορφωθεί μια εικόνα του τελικού αντικειμένου, αλλά τελικά δεν μπορούν να κατασκευαστούν.

Οι τελικές εφαρμογές των στερεών (solids) μοντέλων είναι πολλές. Μόνο τα στερεά (solids) μοντέλα επιτρέπουν υπολογισμό των σχετικών με την μάζα ιδιοτήτων (όπως η αδράνεια ή τα κέντρα μάζας). Άλλες χρήσεις για τις στερεές αναπαραστάσεις των τμημάτων περιλαμβάνουν την παραγωγή του πλέγματος (mesh) που απαιτείται για τις αναλύσεις μέσω πεπερασμένων-στοιχείων (finite elements) (δομικές, θερμικές, δόνησης κ.ο.κ.), την παραγωγή και τον έλεγχο των ιδιαίτερα σύνθετων αριθμητικά ελεγχόμενων μηχανών κοπής (NC), τη διδασκαλία των βιομηχανικών ρομπότ για αναγνώριση ορισμένων μορφών και

πολλές άλλες εφαρμογές. Οι μέθοδοι γεωμετρικών αναπαραστάσεων αντικειμένων που έχουμε εξετάσει παραμένουν ικανοποιητικές για πολλούς σχεδιαστικούς σκοπούς, αλλά η αυξανόμενη εφαρμογή των υπολογιστών στη σχεδιαστική (μηχανολογική) ανάλυση, ή στην παραγωγή των πληροφοριών κατασκευής, σημαίνει ότι μια ιδανική αναπαράσταση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πληρέστερη. Σε κάθε περίπτωση, η στερεά μορφή του αντικειμένου πρέπει να προκύψει από το μοντέλο.

Μια “πληροφοριακά πλήρης” αναπαράσταση, με τα λόγια των Requicha και Voelcker (1982), ορίζεται ότι «θα επέτρεπε (τουλάχιστον καταρχήν) σε οποιαδήποτε καθορισμένη με σαφήνεια γεωμετρική ιδιότητα οποιουδήποτε αναπαριστώμενου στερεού να υπολογιστεί αυτόματα». Επιπλέον, όσο πληρέστερη είναι η αναπαράσταση, τόσο μικρότερη είναι η απαίτηση για ανθρώπινη μετεγγραφή μεταξύ των μοντέλων, και έτσι τόσο μικρότερος ο κίνδυνος λαθών στη μεταγραφή. Οι μέθοδοι *στερεάς μοντελοποίησης* (solid modelling) έχουν αναπτυχθεί με στόχο να παρέχουν μια τέτοια αναπαράσταση, με κάποια επιτυχία, έτσι ώστε τώρα να είναι η αναπαράσταση επιλογής για τις πιο προηγμένες εφαρμογές CAD. Η *στερεά μοντελοποίηση* (solid modelling) είναι μια φυσική επέκταση από τη χρήση των ουσιαστικά “μονοδιάστατων” οντοτήτων (καμπύλες) ή των “δυσδιάστατων” οντοτήτων (επιφάνειες), στη μοντελοποίηση της μορφής που χρησιμοποιεί τα τρισδιάστατα στερεά. Ο Woodwark (1986) προτείνει ότι μια επιτυχής μέθοδος για την αναπαράσταση των *στερεών* (solids) πρέπει να είναι:

- πλήρης και σαφής
- κατάλληλη για τον κόσμο των αντικειμένων
- πρακτική στη χρήση με τα υπάρχοντα συστήματα υπολογιστών.

Έχουμε παρουσιάσει ότι οι μέθοδοι *πλασιού-ακμών* και *επιφάνειας* αποτυγχάνουν στον πρώτο από αυτούς τους όρους. Για τη *στερεά μοντελοποίηση* (solid modelling) έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι. Από αυτές καμία δεν είναι ακόμα ικανοποιητική εξ ολοκλήρου, αλλά δύο από αυτές είναι πιο επιτυχημένες και έχουν ευρύτερη εφαρμογή στην ανάπτυξη των ψηφιακών περιβαλλόντων. Αυτές είναι :

- η κατασκευαστική προσέγγιση, της οποίας η ευρύτατα εφαρμοσμένη παραλλαγή είναι η μέθοδος *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας* (Constructive Solid Geometry που

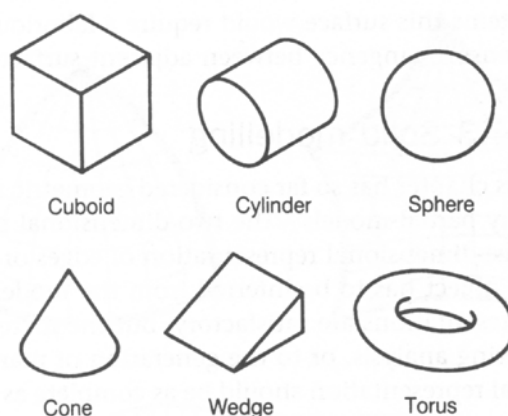
καλείται CSG ή C-*rep* εν συντομία, και είναι, επίσης, γνωστή ως *σύνολο-θεωρητική* ή μέθοδος Boole) που έχει ιδιαίτερες διακρίσεις στα ψηφιακά περιβάλλοντα CAD, και

- η μέθοδος *Αναπαράστασης Συνόρου* (Boundary Representation, αποκαλούμενη μερικές φορές B-*rep* εν συντομία ή μέθοδος *βασισμένη-σε-γράφο*) που κυριαρχεί στα σύγχρονα ψηφιακά περιβάλλοντα CAD.

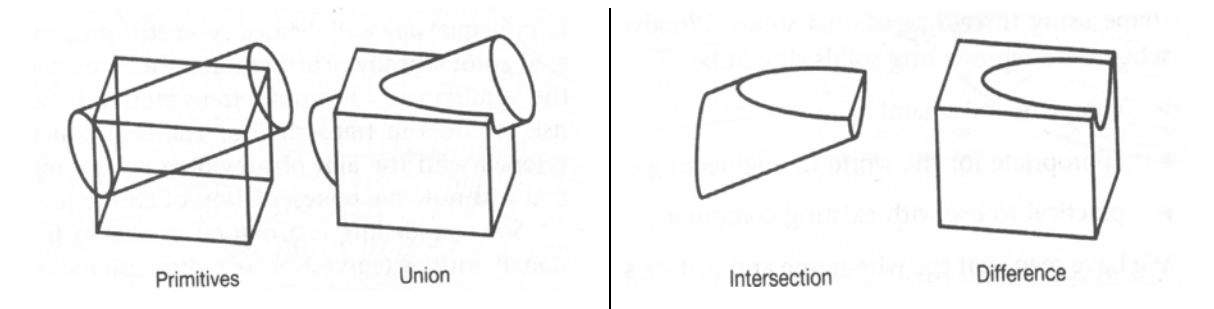
Άλλες τεχνικές θα εξεταστούν στο επόμενο κεφάλαιο, όταν θα συζητηθούν λεπτομερέστερα μερικές από τις θεωρητικές πτυχές της *στερεάς μοντελοποίησης* (solid modelling).

2.4.6. Κατασκευαστική στερεάς γεωμετρίας (Constructive Solid Geometry)

Στην μέθοδο *Κατασκευαστικής Στερεάς Γεωμετρίας* (CSG), τα μοντέλα κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τους συνδυασμούς απλών *πρωταρχικών στερεών* (primitive solids), όπως οι κύβοι, οι κύλινδροι, οι σφαίρες, οι κώνοι και παρόμοια. Τα πρωταρχικά στερεά που χρησιμοποιούνται από ένα σύστημα *στερεάς μοντελοποίησης* (solid modelling) παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-16. Το εναλλακτικό όνομα για τη *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας* (CSG) μέθοδο, *σύνολο-θεωρητική μοντελοποίηση*, προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο τα πρωταρχικά στερεά (primitive solids) συνδυάζονται χρησιμοποιώντας τους τελεστές *ένωσης* (union), *διατομής* (intersection) και *διαφοράς* (difference) της θεωρίας συνόλων.



Σχήμα 2-16 Πρωταρχικά στερεά συστήματος στερεάς μοντελοποίησης



Σχήμα 2-17 Τελεστές Boolean σε κύβο και κύλινδρο

Τελεστής *ένωση* (union). Λαμβάνοντας υπόψη δύο στερεά A και B , ο τελεστής *ένωση* (union) περικλείει όλα τα σημεία στο χώρο που περιλαμβάνονται στα μέλη A ή B (που εκφράζεται από την Boolean έκφραση $A \cup B$). Με τη χρησιμοποίηση της ένωσης ουσιαστικά δημιουργούμε ένα καινούργιο στέρεο που έχει τον όγκο και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στερεών από τα οποία προέρχεται.

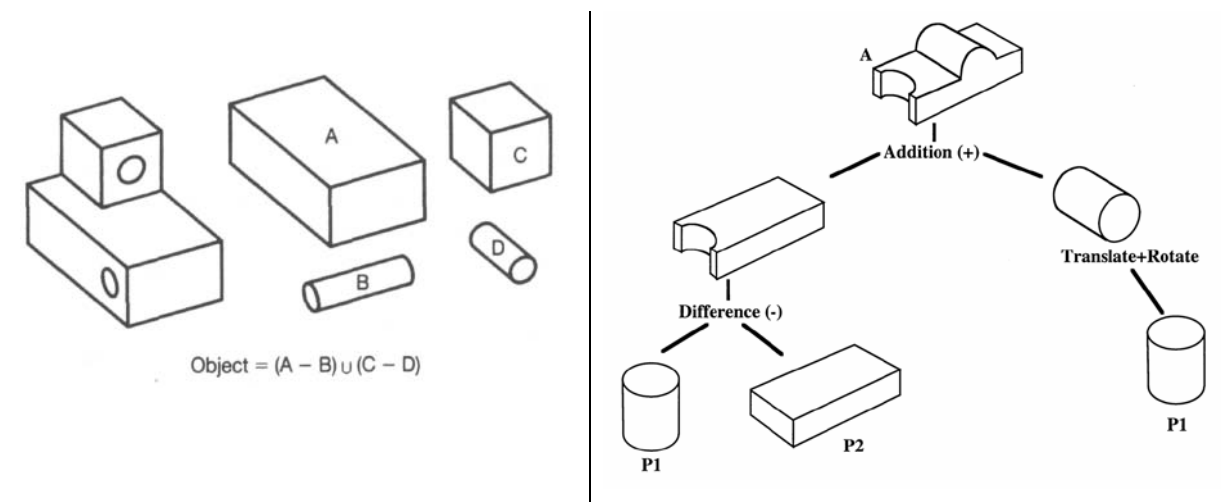
Τελεστής *διατομή* (intersection). Λαμβάνοντας υπόψη δύο στερεά A και B , ο τελεστής *διατομή* (intersection) περικλείει ομοίως όλα τα σημεία που περιλαμβάνονται στα μέλη A και B , που εκφράζονται ως $A \cap B$. Όταν χρησιμοποιούμε την τομή τότε το δημιουργούμενο στερεό προκύπτει από τον κοινό όγκο των στερεών.

Υπάρχουν δύο αποτελέσματα της διαδικασίας *διαφοράς* (difference) μεταξύ των δύο αντικειμένων: εκείνα τα σημεία που περιλαμβάνονται στο A και όχι στο B ($A \setminus B$, επίσης γράφεται και $A - B$), και εκείνα τα σημεία που περιλαμβάνονται στο B και όχι στο A ($B \setminus A$, επίσης γράφεται και $B - A$). ενώ η αφαίρεση προκαλεί την αφαίρεση όγκου από ένα ή περισσότερα στερεά, ίσο με τον όγκο του στερεού που θέλουμε να αφαιρέσουμε. Το Σχήμα 2-17 παρουσιάζει την επίδραση αυτών των τελεστών σε έναν κύβο και έναν κύλινδρο.

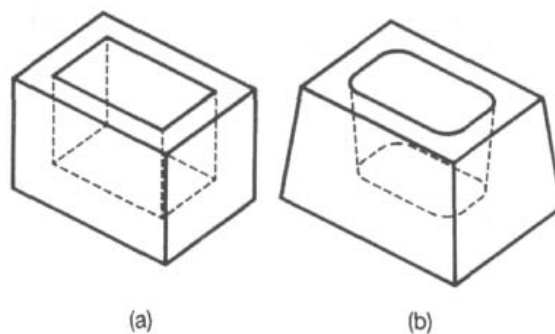
Τα αποτελέσματα των διαδικασιών είναι περαιτέρω σύνθετα στερεά, τα οποία μπορούν να συνδυαστούν με άλλα πρωταρχικά ή σύνθετα στερεά για να δημιουργήσουν επιπλέον μορφές. Παραδείγματος χάριν, για να δημιουργήσουν το πρότυπο που παρουσιάστηκε στο Σχήμα 2-18, απαιτήθηκαν τέσσερα πρωταρχικά στερεά (δύο ορθογώνιοι κύβοι και δύο κύλινδροι). Σε πολλά σχεδιαστικά αντικείμενα, μπορεί να απαιτούνται εκατοντάδες πρωταρχικών στερεών (solids) (ή με μεγαλύτερη ακρίβεια, των αντιγράφων ή των περιπτώσεων (instances) πρωταρχικών στερεών (solids) στις ιδιαίτερες θέσεις και

κατευθύνσεις στο χώρο), καθιστώντας τη διαδικασία εισαγωγής ενδεχομένως παρατεταμένη. Τα μοντέλα της μεθόδου *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας (CSG)* έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι πολύ συμπαγή, και παρέχουν εγγύηση για τη μοντελοποίηση έγκυρων στερεών χωρίς ασάφειες.

Παράλληλα, αυτή η μέθοδος κατασκευής μοντέλων είναι τέτοια, ώστε αρκετά σύνθετες μορφές μπορούν να αναπτυχθούν σχετικά γρήγορα, μέσα στους περιορισμούς του συνόλου πρωταρχικών στερεών (solids), διαθέσιμων μέσα στο σύστημα. Τα μοντέλα, εντούτοις, αποθηκεύονται σε μια μορφή στην οποία οι ακμές και οι επιφάνειες που προκύπτουν από το συνδυασμό των πρωταρχικών στερεών (solids) πρέπει να υπολογιστούν σε περίπτωση που χρειάζονται (π.χ. όταν παράγεται μια επίδειξη του μοντέλου), πράξη η οποία συνοδεύεται από μειονέκτημα στην απόδοση.



Σχήμα 2-18 Κατασκευαστικό στερεό μοντέλο από πρωταρχικά στερεά



Σχήμα 2-19 Στερεά μοντέλα από ένωση δύο κύβων

Ο υπολογισμός των διατομών μεταξύ των επιφανειών των πρωταρχικών στερεών (solids), για λόγους αξιολόγησης ή άλλης ανάλυσης του μοντέλου, είναι ένα από τα βασικά υπολογιστικά ζητήματα στη μέθοδο *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας* (CSG). Η απλή μορφή που παρουσιάστηκε στο Σχήμα 2-19 απαίτησε ακριβώς δύο περιπτώσεις πρωταρχικών στερεών (solids) και ενός τελεστή Boole (αν και στην πραγματικότητα υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους αυτό το μοντέλο θα μπορούσε να έχει καθοριστεί. Ένα μοντέλο *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας* (CSG) δεν είναι, γενικά, μια μοναδική αναπαράσταση ενός αντικειμένου). Με την εφαρμογή κωνικότητας στις πλευρές του κύβου, και την εσωτερική ακτίνα καμπύλωσης (όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-19), χρειάστηκαν 22 περιπτώσεις πρωταρχικών στερεών (solids) και απαιτήθηκαν 21 διαδικασίες Boole. Οι πιο σύνθετες μορφές, όπως εκείνες που βρίσκονται στα πλαίσια του αυτοκινήτου, είναι για πρακτικούς λόγους αδύνατες να μοντελοποιηθούν με τη χρήση της μεθόδου *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας* (CSG) με το είδος του συνόλου πρωταρχικών στερεών (solids) που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-16, και τα συστήματα δεν μπορούν εύκολα να ενσωματώσουν τα πιο γενικά *μπαλώματα* (patches) επιφάνειας.

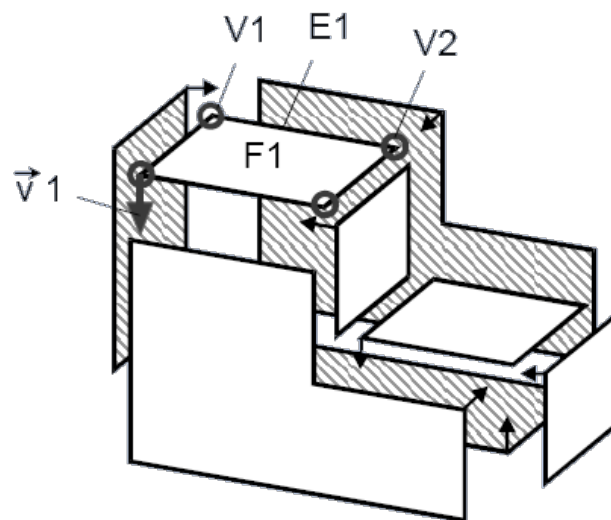
2.4.7. Αναπαράσταση συνόρου (Boundary Representation – B-Rep)

Είναι γνωστό ότι τα μοντέλα της μεθόδου επιφάνειας δεν περιέχουν καμία πληροφορία για τις συνδέσεις μεταξύ των επιφανειών, ούτε για το ποιο μέρος ενός αντικειμένου είναι στερεό. Επιπλέον, δεν παρέχονται πληροφορίες που αφορούν τη σύνδεση μεταξύ των επιφανειών (που θα καλούνται εδώ *έδρες* (faces)), και ακόμη δεν προσδιορίζεται η στερεά πλευρά οποιασδήποτε έδρας. Η μέθοδος η οποία καλύπτει τέτοια στοιχεία είναι η δεύτερη από τις κύριες μεθόδους μοντελοποίησης στερεών (solids) – η μέθοδος *Αναπαράστασης Συνόρου* (Boundary Representation). Τα ψηφιακά περιβάλλοντα CAD ενσωματώνουν μεθόδους για την τοπολογική συνέπεια των μοντέλων (δηλ. ότι δεν υπάρχει καμία πρόσθετη ή ελλείπουσα έδρα ή σύνδεση) και επίσης ότι τα μοντέλα δεν φέρουν κάποια γεωμετρική ανωμαλία. Η τοπολογική συνέπεια εν μέρει επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση μιας δομής δεδομένων στην οποία οι *έδρες* (faces) συνδέονται (με τις κατάλληλες σχέσεις γειτνίασης) με τις οριοθετούσες *ακμές* (edges) τους, οι οποίες συνδέονται στη συνέχεια με τις οριοθετούσες *κορυφές* (vertices) τους (σημεία τέλους) σε

μια ομοιόμορφη δομή. Η γεωμετρική συνέπεια επιτυγχάνεται, επίσης, με την εξασφάλιση ότι το μοντέλο καθορίζει το όριο-σύνορο ενός “λογικού” στερεού αντικείμενου, όπως σημειώνεται από τον Mantyla (1988), στο οποίο:

- οι έδρες (faces) του μοντέλου δεν κόβουν η μια την άλλη εκτός από τις κοινές κορυφές ή ακμές
- τα όρια (σύνορα) των εδρών (faces) είναι απλοί βρόχοι ακμών που δεν αυτό-τέμνονται
- το σύνολο εδρών (faces) του μοντέλου κλείνει για να σχηματοποιήσει το πλήρες δέρμα του μοντέλου χωρίς να λείπουν κάποια μέρη.

Οι δύο πρώτοι όροι απαγορεύουν τα αυτό-τεμνόμενα αντικείμενα, και επιβάλλονται εξασφαλίζοντας ότι η επιφάνεια των στερεών (solids) μορφών συνόρου, στην οποία κάθε σημείο στην επιφάνεια έχει μια πλήρη δυσδιάστατη γειτονιά άλλων σημείων στην επιφάνεια - με άλλα λόγια, κάθε σημείο στο μέρος μπορεί να φανταστεί ότι περιβάλλεται από έναν δίσκο μιας επιφάνειας που θα μπορούσε να ξετυλιχτεί σε επίπεδα (Mantyla, 1988). Ο τρίτος όρος απαγορεύει την ύπαρξη “ανοικτών” αντικείμενων.

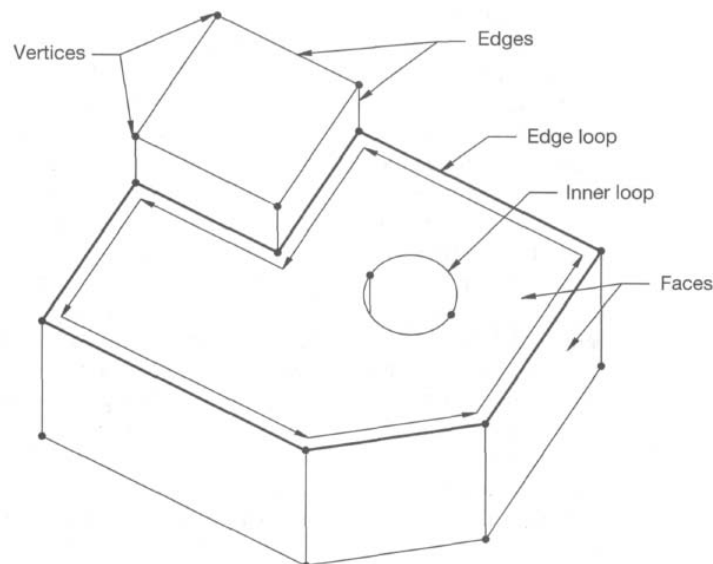


Σχήμα 2-20 Αναπαράσταση Συνορίου

Η απλούστερη μορφή μοντέλου Αναπαράστασης Συνορίου είναι αυτή που αναπαριστά όλες τις έδρες (faces) ως οριζόντια επίπεδα ή όψεις (facets) (Σχήμα 2-20). Μια καμπύλη επιφάνεια, όπως ένας κύλινδρος, αναπαρίσταται σε ένα τέτοιο μοντέλο ως μια

σειρά όψεων που προσεγγίζουν την επιφάνεια. Μια τέτοια αναπαράσταση, γνωστή ως πολυέδρο μοντέλο, είναι σχετικά απλή υπολογιστικά, και, επομένως, έχει τα πλεονεκτήματα απόδοσης, τα οποία την καθιστούν ευρέως χρησιμοποιημένη στα συστήματα απεικόνισης, τα παιχνίδια, τους προσομοιωτές πτήσης και άλλα παρόμοια περιβάλλοντα.

Εντούτοις η προσέγγιση αυτή είναι σαφώς περιορισμένη στο βαθμό στον οποίο μπορεί να διαμορφώσει τις “πραγματικές” μορφές, όπως τα διάφορα σχεδιαστικά στοιχεία. Αυτά τα αντικείμενα απαιτούν τη δυνατότητα μοντελοποίησης γενικών κυρτών επιφανειών. Οι πρώτοι μοντελοποιητές περιορίστηκαν συχνά σε επιφάνειες όπως κύλινδροι, κώνοι και σφαίρες, εν μέρει για λόγους υπολογισμού διατομής που συζητήθηκαν ανωτέρω, αν και οι περισσότεροι εμπορικοί μοντελοποιητές αναπαράστασης συνόρου (B-ger) ενσωματώνουν τώρα την τεχνολογία επιφανειών ελευθέρως-μορφής (free-form surfaces). Ειδικότερα, χρησιμοποιούν ως βάση για τη γεωμετρική περιγραφή των καμπυλών και των επιφανειών τις καμπύλες non-uniform rational B-spline (NURBS). Οι έδρες (faces) τέτοιων μοντέλων αναπαράστασης συνόρου είναι επιφάνειες που περιβάλλονται από εξωτερικούς και εσωτερικούς βρόχους ακμών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-21.



Σχήμα 2-21 Στοιχεία μοντέλου αναπαράστασης συνόρου

Σε αντίθεση με τα μοντέλα που δημιουργούνται μέσω της *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας (CSG)*, τα μοντέλα *Αναπαράστασης Συνόρου* αποθηκεύουν τις πληροφορίες για τις *έδρες (faces)* και τις *ακμές (edges)* ενός μοντέλου ρητά σε μια αποτιμημένη μορφή. Αυτή παρέχει πλεονεκτήματα απόδοσης στη μέθοδο, επειδή οι πληροφορίες για ορισμένες εφαρμογές του μοντέλου μπορούν να εξαχθούν άμεσα από τη δομή δεδομένων. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν την παραγωγή των εικόνων του μοντέλου για λόγους εξέτασης, και τον υπολογισμό της επιφάνειας του εμβαδού των μοντέλων - απλά το άθροισμα των εμβαδών κάθε μιας από τις *έδρες (faces)*. Ένα μειονέκτημα της αναπαράστασης είναι, εντούτοις, ότι το ποσό δεδομένων που αποθηκεύονται είναι σχετικά μεγάλο, και επομένως τα μοντέλα *Αναπαράστασης Συνόρου* τείνουν να απαιτήσουν τα μεγάλα αρχεία δεδομένων.

2.4.8. Σύνθεση μεθόδων μοντελοποίησης

Όπως σημειώνεται, οι διαφορετικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση μέσω των μεθόδων *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας (CSG)* και *αναπαράστασης συνόρου (B-rep)* παρέχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στις αντίστοιχες μεθόδους. Τα μοντέλα *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας (CSG)* τείνουν να είναι λιγότερο επιρρεπή σε αριθμητικά ή υπολογιστικά λάθη ή περιορισμούς και να έχουν πλεονεκτήματα απόδοσης, όπου απαιτείται η δοκιμή ιδιότητας μέλους (δηλ. προσδιορίζοντας εάν ένα σημείο βρίσκεται σε ένα αντικείμενο). Τα μοντέλα της *αναπαράστασης συνόρου (B-rep)* τείνουν να προσφέρουν βελτιωμένη απόδοση στην παραγωγή παρουσιάσεων και περισσότερη ευελιξία στις μορφές που μπορούν να μοντελοποιηθούν. Γι' αυτούς τους λόγους, πολλά αρχικά πρακτικά συστήματα ήταν υβρίδια των δύο τεχνικών και χρησιμοποίησαν και τις δύο αναπαραστάσεις. Παραδείγματος χάριν, ένας μοντελοποιητής *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας (CSG)* μπορεί να χρησιμοποιήσει μια αναπαράσταση συνόρου έδρας για λόγους επίδειξης και για ορισμένες κατά προσέγγιση αναλύσεις να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα της τεχνικής *αναπαράστασης συνόρου (B-rep)*, αλλά μπορεί να διατηρήσει την ακριβή σύνολο-θεωρητική αναπαράσταση για την παραγωγή της γεωμετρίας σχεδίων και μιας ακριβούς γεωμετρικής ανάλυσης. Πολλά συστήματα αναπαράστασης συνόρου χρησιμοποιούν, επίσης, τις τεχνικές από τη μέθοδο *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας (CSG)*. Γενικά, η δυνατότητα για το συνδυασμό σύνολο-θεωρητικό στερεών (*solids*), και εισαγωγής στοιχείων με χρήση των

πρωταρχικών στερεών (solids), όπως κύλινδροι, κύβοι, σφαίρες και σφήνες, συμπεριλαμβάνεται στα συστήματα αναπαράστασης συνόρου, και μερικά συστήματα που χρησιμοποιούν την αποθήκευση στοιχείων αναπαράστασης συνόρου μπορούν, επίσης, να διατηρήσουν ένα αρχείο των σύνολο-θεωρητικών διαδικασιών που διενεργούνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής ενός μοντέλου. Η μέθοδος *αναπαράστασης συνόρου* (B-rep) έχει φτάσει να είναι η ευρύτερα εφαρμοσμένη αναπαράσταση στα ψηφιακά περιβάλλοντα CAD. Αυτό συμβαίνει για τρεις κύριους λόγους.

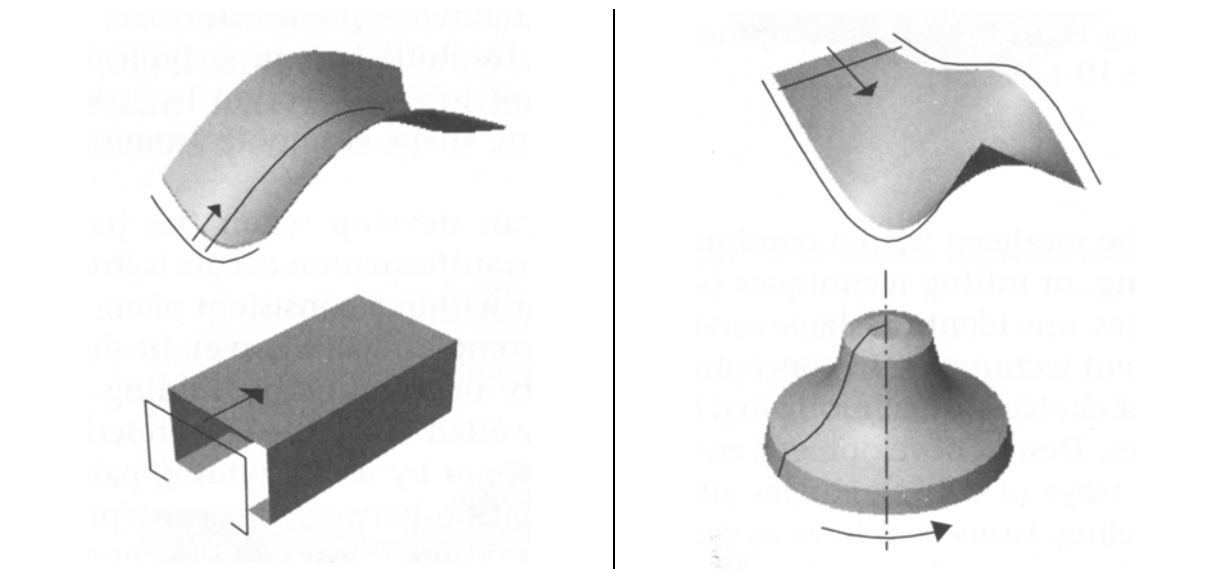
- οι γεωμετρικοί περιορισμοί της μεθόδου *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας* (CSG) που σημειώθηκαν ανωτέρω. Η απόδοση των συστημάτων *αναπαράστασης συνόρου* (B-rep) είναι πολύ ανώτερη από αυτήν των συστημάτων CSG για τα μοντέλα οποιασδήποτε σημαντικής μηχανολογικής πολυπλοκότητας.
- η μετατροπή από μοντέλο *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας* (CSG) σε μοντέλο *αναπαράστασης συνόρου* (B-rep) είναι σχετικά απλή. Το αντίστροφο δεν ισχύει. Δεν υπάρχει κανένας ολικός αλγόριθμος για τη μετατροπή των μοντέλων *αναπαράστασης συνόρου* (B-rep) σε μοντέλα *Κατασκευαστική Στερεάς Γεωμετρίας* (CSG), και έτσι δεν υπάρχει καμία γενική ανταλλαξιμότητα μεταξύ των δύο προσεγγίσεων.
- η ύπαρξη μιας αυξανόμενης τάσης στα εμπορικά ψηφιακά περιβάλλοντα μοντελοποίησης να συνδυάζουν τεχνικές *στερεάς μοντελοποίησης* (solid modelling) υπό των μεθόδων αναπαραστάσεων επιφάνειας και *πλαίσιου-ακμών* (wireframe) σε ένα λίγο πολύ ενοποιημένο πλαίσιο, από το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την πιο κατάλληλη τεχνική για ένα δεδομένο πρόβλημα. Η χρήση των *ακμών* (καμπύλες) και των *εδρών* (faces) (επιφάνειες) ως βάση για τα στερεά σε ένα σύστημα *αναπαράστασης συνόρου* (B-rep) διευκολύνει αυτήν την προσέγγιση. Τέτοια συστήματα προσφέρουν γενικά τη δυνατότητα για μετατροπές μεταξύ των σχημάτων-μεθόδων - παραδείγματος χάριν, για να επανέλθουν από ένα στερεό μοντέλο *αναπαράστασης συνόρου* (B-rep) σε ένα μοντέλο που συστήνεται από επιφάνειες που συνδέονται με ένα πλαίσιο ακμών.

2.5. Κατασκευή γενικών μοντέλων

Σε αυτό το μέρος παραθέτουμε εν συντομία μερικούς από τους πρωταρχικούς τρόπους κατασκευής γεωμετρικών μοντέλων μέσω μιας προοπτικής προσανατολισμένης

προς το χρήστη. Οι μέθοδοι που περιγράφονται ισχύουν τόσο στη δημιουργία μορφών επιφάνειας (surface) όσο και των μορφών στερεών (solids), στα περιβάλλοντα εννοιολογικής μοντελοποίησης και σχεδίασης ανάπτυξης (Σχήμα 2-22).

Υποτίθεται ότι ο αναγνώστης γνωρίζει συνηθισμένες ενέργειες, όπως η δημιουργία οντοτήτων (σημείων, γραμμών και καμπυλών), και έχει μια ευχέρεια με τη γενική επιμέλεια και το χειρισμό των οντοτήτων (εισαγωγή (insert), μετακίνηση (move), αντιγραφή (copy), περιστροφή (rotation), αντικατοπτρισμό (mirror), κλιμάκωση (scale), διαγραφή (delete), κ.λπ.).



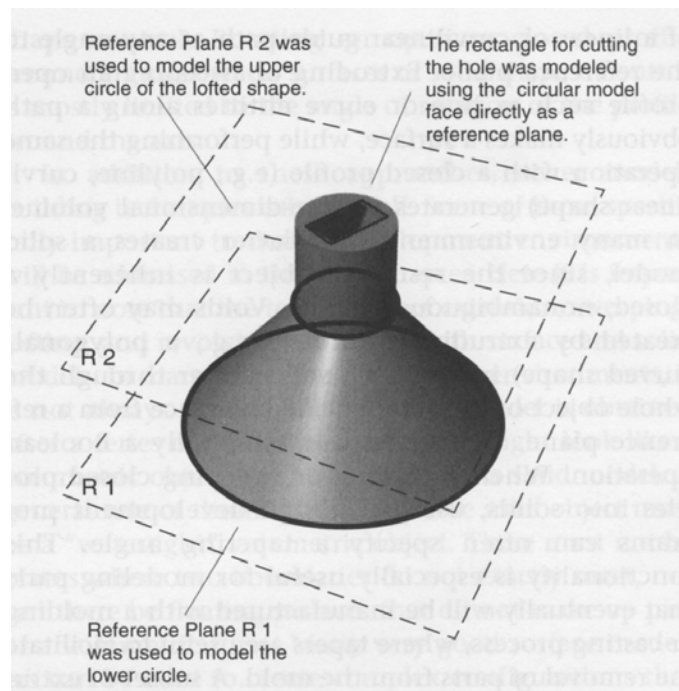
Σχήμα 2-22 Βασικοί τρόποι δημιουργίας επιφανειών (surfaces)

2.5.1. Γεωμετρία αναφοράς

Τα περισσότερα κοινά περιβάλλοντα λογισμικού προϋποθέτουν ότι ένα ενεργό επίπεδο αναφοράς (επίσης καλούμενο επίπεδο κατασκευής ή σκίτσων) πρέπει να προσδιορίζεται αρχικά με σκοπό τη μοντελοποίηση, (Σχήμα 2-23. Το κωνικό στοιχείο είναι ανυψωμένο (lofted) μεταξύ δύο κύκλων, ο κύλινδρος είναι μια εξωθημένη μορφή). Τέτοια επίπεδα μπορούν ή όχι να είναι ορατά στο παράθυρο διεπαφής (interface) με το χρήστη. Χαρακτηριστικά τα επίπεδα x - y , x - z και y - z χρησιμοποιούνται συνήθως στο καθολικό

(καρτεσιανό) σύστημα συντεταγμένων x,y,z , αλλά τα επίπεδα μπορεί, επίσης, να αντιγραφούν-μετακινηθούν ή να περιστραφούν από κάποιο άλλο επίπεδο.

Εναλλακτικά, οι οντότητες μοντελοποίησης, όπως τα σημεία και οι γραμμές ή τα μοντέλα εδρών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοριστούν τα επίπεδα αναφοράς. Σε μερικά συστήματα, ακόμη και οι σύνθετες επιφάνειες που έχουν δημιουργηθεί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επιφάνειες αναφοράς. Στα περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης η χρησιμοποίηση των οντοτήτων μοντελοποίησης για τον καθορισμό επιπέδων αναφοράς δημιουργεί μια εξάρτηση μεταξύ του μοντέλου και των επιπέδων αναφοράς. Αλλαγές του μοντέλου οδηγούν σε μια αναπροσαρμογή του επιπέδου αναφοράς που έχει επιπτώσεις στη συνέχεια σε εκείνα τα μέρη του μοντέλου που εξαρτώνται από αυτό το επίπεδο.



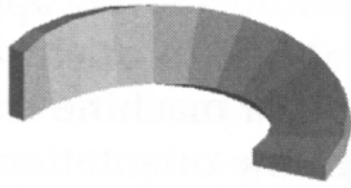
Σχήμα 2-23 Επίπεδα αναφοράς για το μοντέλο φωτιστικού

Τα συστήματα συντεταγμένων μπορούν να είναι καθολικά ή σε σχετικά σε συνάρτηση με τα μοντέλα. Τα σχετικά συστήματα συντεταγμένων – που καθορίζονται από το χρήστη – είναι συχνά χρήσιμα κατά την εξαγωγή της γεωμετρίας του μοντέλου με έναν συγκεκριμένο προσανατολισμό, όπως μπορεί να είναι κατάλληλα για μια ιδιαίτερη εφαρμογή. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εξαγωγή της γεωμετρίας σχεδίασης από

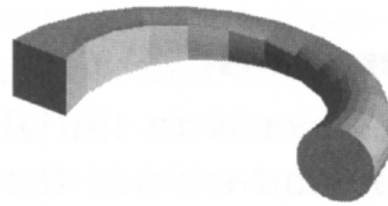
ένα περιβάλλον σχεδίασης ανάπτυξης προς ένα πρόγραμμα εφαρμογών κατασκευής. Εδώ, οι χρήστες μπορούν να επιθυμούν να προσανατολίσουν το ψηφιακό μοντέλο σύμφωνα με μια συγκεκριμένη σχέση με ένα περιβάλλον μηχανών που μπορεί να είναι διαφορετικό από τον προσανατολισμό στο μοντέλο σχεδίασης.

2.5.2. Διαδικασίες εξώθησης (extrusion) – σάρωσης (sweeping)

Ένας κοινός τρόπος δημιουργίας ενός αντικειμένου είναι να σχεδιαστούν αρχικά οι οντότητες (καμπύλες, κύκλοι, τετράγωνα, κλπ.) σε ένα επίπεδο αναφοράς και κατόπιν να *εξωθηθούν* (extrude) ή να *σαρωθούν* (sweep) κατά μήκος ενός ίχνους. Μια εξώθηση εκτελείται γενικά κάθετα προς το επίπεδο αναφοράς των αρχικών οντοτήτων, ενώ η *σάρωση* (sweep) επιτρέπει τον καθορισμό ενός γραμμικού ή καμπυλόγραμμου κατευθυντήριου ίχνους σε οποιαδήποτε γωνία προς το επίπεδο αναφοράς. Η *εξώθηση* (extrude) ή η *σάρωση* (sweep) ενός ανοικτού πλαισίου, όπως οι οντότητες γραμμών ή καμπυλών κατά μήκος ενός ίχνους δημιουργεί προφανώς μια επιφάνεια, ενώ εκτελώντας την ίδια λειτουργία με ένα κλειστό πλαίσιο (π.χ., πολύγραμμο, καμπυλόγραμμη μορφή) παράγει έναν τρισδιάστατο όγκο. Σε πολλά περιβάλλοντα, το κλειστό πλαίσιο δημιουργεί ένα στερεό μοντέλο, δεδομένου ότι το προκύπτον αντικείμενο είναι εγγενώς ένας κλειστός, σαφής γεωμετρικά-τοπολογικά όγκος. Τα κενά μπορούν συχνά να δημιουργηθούν με την *εξώθηση* (extrude) μιας “*τρύπας*” (π.χ., μια πολυγωνική / καμπύλη μορφή) αντί ενός στερεού, είτε μέσω ολόκληρου του αντικειμένου, είτε σε κάποια προσδιορισμένη απόσταση από ένα επίπεδο αναφοράς. Αυτή η δραστηριότητα είναι ουσιαστικά μια πράξη Boolean. Επιπλέον, οι χρήστες των προγραμμάτων σχεδίασης ανάπτυξης μπορούν συχνά να προσδιορίσουν μια γωνία σταδιακής κλίσης, όταν εξωθούνται ή σαρώνονται κλειστά πλαίσια σε *στερεά* (solids). Σε μερικά ψηφιακά περιβάλλοντα οι διαδικασίες *σάρωσης* (sweep) προσφέρουν πρόσθετες ικανότητες (Σχήμα 2-24). Οι οντότητες μπορούν να περιστραφούν ή ειδάλως να αλλάξουν κατά μήκος του μήκους της *σάρωσης* (sweep), και τα διαφορετικά συστήματα παρέχουν ποικίλα εργαλεία για να ελέγξουν τέτοιες τροποποιήσεις.



(α) Ένα ορθογώνιο σχεδιάγραμμα σαρώνεται και συστρέφεται κατά μήκος ενός τόξου.



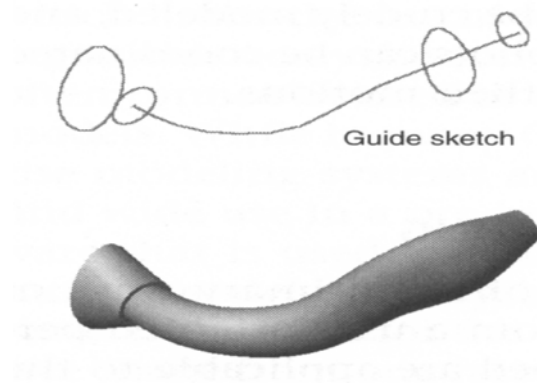
(β) Μια σάρωση καθορίζεται με ένα τετράγωνο στη μια άκρη και έναν κύκλο στο τέλος. Οι μεταβατικές μορφές υπολογίζονται αυτόματα.

Σχήμα 2-24 Τύποι επιφανειών σάρωσης (sweep)

Ένας τρόπος να ελεγχθεί η μορφή ενός αντικειμένου το οποίο δημιουργείται με τη γεωμετρίας *σάρωσης* είναι να καθοριστούν τα συμπληρωματικά καθοδηγητικά ίχνη που ουσιαστικά κλιμακώνουν το αρχικό πλαίσιο κατά μήκος του αρχικού καθοδηγητικού ίχνους. Μια άλλη μέθοδος τροποποίησης μιας σαρωμένης μορφής είναι να ρυθμιστεί ο σχετικός προσανατολισμός προς το πλαίσιο σε σχέση με το καθοδηγητικό ίχνος. Οι επιλογές μπορούν να περιλάβουν τον περιορισμό σε μια δεδομένη γωνία μεταξύ του επιπέδου αναφοράς του πλαισίου και του καθοδηγητικού ίχνους, καθώς επίσης και κρατώντας το πλαίσιο πάντα παράλληλο στον αρχικό προσανατολισμό του. Ο τρόπος που η τελική κατεύθυνση της *επιφάνειας* (surface) προσδιορίζεται μπορεί να ασκήσει μεγάλη επίδραση στη μορφή του προκύπτοντος μοντέλου

2.5.3. Διαδικασίες ανύψωσης (lofting)

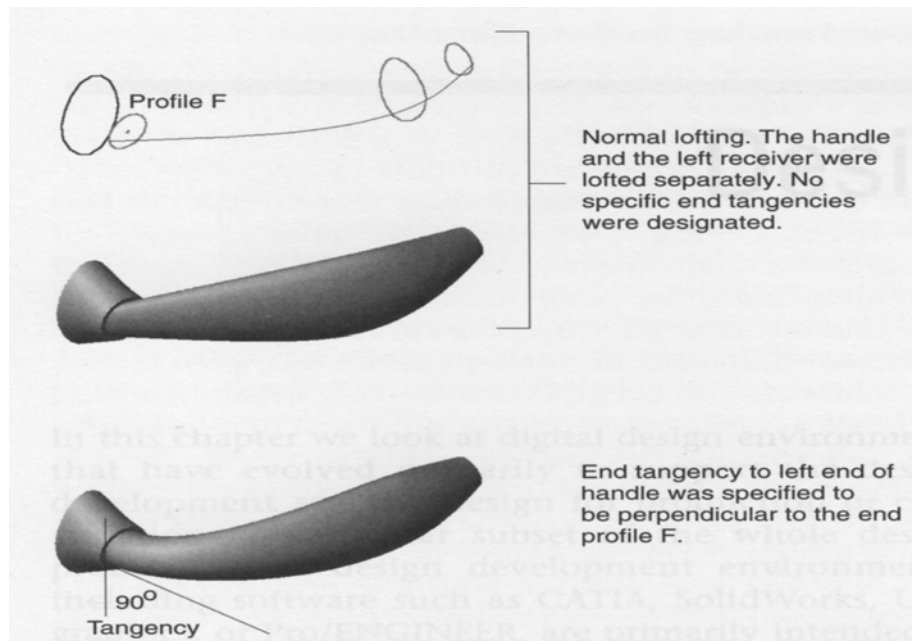
Πολλά συστήματα επιτρέπουν σε ένα πλαίσιο να προσδιοριστεί στην αρχή και σ' ένα άλλο στο τέλος του. Η μεταφορά μιας γραμμής ή ενός spline κατά μήκος δύο ή περισσότερων ανοικτών πλαισίων μπορεί να δημιουργήσει τις επιφάνειες *ανύψωσης* (lofted) (Σχήμα 2-25). Ένα ογκομετρικό αντικείμενο μπορεί να παραχθεί από την *ανύψωση* (lofted) κλειστών πλαισίων που μπορούν ή όχι να είναι σε παράλληλα επίπεδα αναφοράς. Σε περιπτώσεις περισσότερων από δύο πλαισίων, η *ανυψωμένη* (lofted) μορφή διαμορφώνεται χαρακτηριστικά από διατομή σε διατομή με τη χρήση των καμπύλων splines. Η προκύπτουσα μορφή είναι ομαλή από το ένα τέλος στο άλλο.



Οι lofted επιφάνειες (surfaces) μπορούν να προσδιοριστούν, ώστε να ακολουθούν τα διάφορα ίχνη. Σε αυτήν την περίπτωση, το σχεδιάγραμμα παραμένει πάντα κάθετο στο ίχνος.

Σχήμα 2-25 Χρήση των οδηγών ανύψωσης (lofting)

Παρόλα αυτά, μπορούν να παρουσιαστούν περιπλοκές όταν το ίχνος, κατά μήκος του οποίου εμφανίζεται ο μετασχηματισμός του πλαισίου, είναι ανώμαλο ή εάν δεν εμφανίζεται μέσα σε ένα συνεπές επίπεδο ή σύνολα παράλληλων επίπεδων (μια σύνθετη χωρική καμπύλη). Σε τέτοιες καταστάσεις, προκύπτει η δυνατότητα ενός ακούσιου διπλώματος ή πτύχωσης του σχήματος, κάτι που είναι απαγορευτικό για την ορθότητα του. Αυτές οι καταστάσεις μπορούν συχνά να αποφευχθούν με τη χρησιμοποίηση των μονοπατιών καθοδήγησης που ελέγχουν την παρεμβολή μεταξύ των αντίθετων σχεδιαγραμμάτων. Γενικά, τα εννοιολογικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης τείνουν να συγχωρούν περισσότερο τα όποια λάθη από τα περιβάλλοντα ανάπτυξης σχεδίασης (Σχήμα 2-26).



Σχήμα 2-26 Προκαταρκτική σχεδίαση για μια λαβή πόρτας.

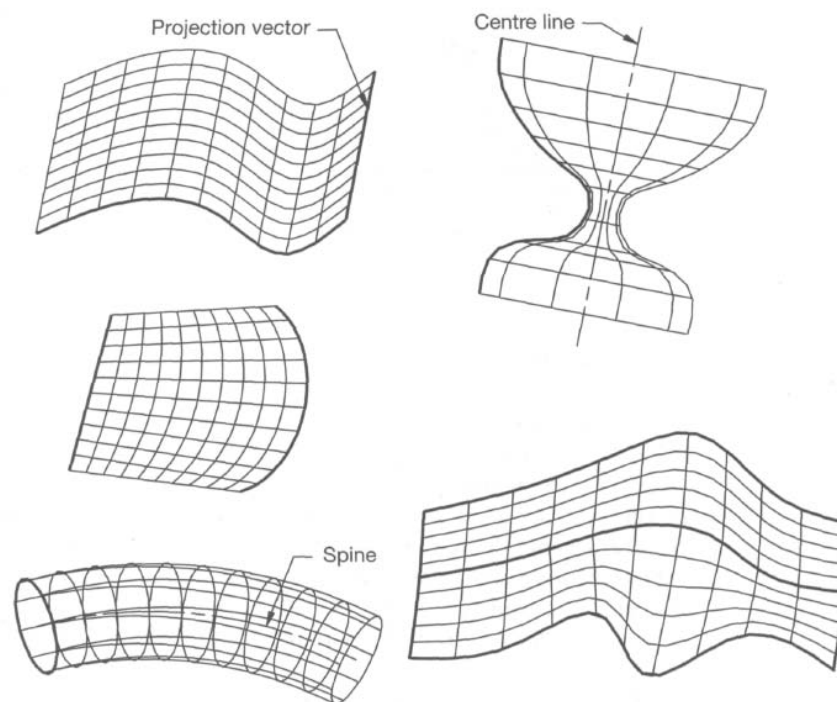
2.5.4. Συνδιαζόμενες διαδικασίες

Ένας σχεδιαστής μπορεί να διαμορφώσει ουσιαστικά οποιαδήποτε μορφή μέσω ενός συνδυασμού τεχνικών *εξώθησης*, *σάρωσης*, ή *ανύψωσης*. Σε πολλές περιπτώσεις, μια ταυτόσημη μορφή μπορεί να δημιουργηθεί με πολλές διαφορετικές τεχνικές. Επιπλέον, παρέχονται στους σχεδιαστές οι τεχνικές δημιουργίας μοντέλων που καθορίζονται από μια ή περισσότερες καμπύλες. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν (Σχήμα 2-27) :

- Μια *οδηγούμενη* επιφάνεια (*ruled*), η οποία παράγεται από τη γραμμική παρεμβολή μεταξύ δύο διαφορετικών γεννητριών ή καμπύλων ακμών. Το αποτέλεσμα είναι μια επιφάνεια που παράγεται με την κίνηση μιας ευθείας γραμμής με τα σημεία τελών της που παραμένουν στις καμπύλες ακμές.
- Μια επιφάνεια *περιστροφής* (*revolution*), που παράγεται με την περιστροφή μιας γεννήτριας καμπύλης γύρω από μια κεντρική ευθεία ή ένα διάνυσμα. Αυτή η επιφάνεια είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τη μοντελοποίηση των τορνευτών μερών ή των μερών που έχουν αξονική συμμετρία. Τα εμπορικά συστήματα CAD παράσχουν συχνά αυτή τη

δυνατότητα, για να περιστραφούν πολλαπλές καμπύλες σε ένα πλαίσιο με μια μόνο εντολή.

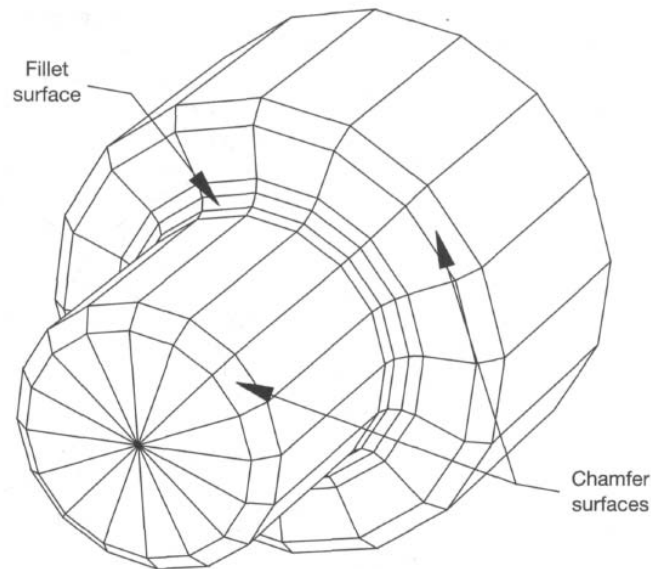
- Μια επιφάνεια *καμπύλου-πλέγματος*. Αυτή είναι μεταξύ των γενικότερων τύπων επιφάνειας και καθορίζεται από ένα πλέγμα παραγωγής των καμπυλών που διατέμνονται- intersect για να διαμορφώσουν ένα σύνολο μπαλωμάτων επιφάνειας. Τα παραδείγματα αυτού του τύπου επιφάνειας περιλαμβάνουν το μπάλωμα Coops, και την επιφάνεια Gordon (Mortenson, 1985).



Σχήμα 2-27 Παραδείγματα επιφανειών παραγόμενες από καμπύλες. Έντονες γραμμές = γεννήτριες καμπύλες

Το Σχήμα 2-28 παρουσιάζει παραδείγματα επιφανειών της τρίτης κατηγορίας, τα οποία προσεγγίζουν επιφάνειες. Αυτή η κατηγορία μπορεί να περιλάβει τις επιφάνειες *λοξοτομής* (chamfer), αλλά κατά ένα μεγάλο μέρος περιλαμβάνει τις επιφάνειες *τόξων καμπυλότητας* (fillet), οι οποίες είναι ανάλογες με το *τόξο καμπυλότητας* (fillet) στην κατασκευή καμπυλών, και που ορίζονται ως οι επιφάνειες που συνδέουν δύο άλλες επιφάνειες μέσω μιας ομαλής μετάβασης. Οι επιφάνειες *τόξων καμπυλότητας* (fillet)

μπορούν να θεωρηθούν ως το αποτέλεσμα του κυλίσματος μιας σφαίρας γύρω από τη διατομή μεταξύ δύο επιφανειών. Οι επιφάνειες *τόξων καμπυλότητας* είναι γενικά είτε μιας σταθερής είτε μιας ομαλά μεταβαλλόμενης ακτίνας κυρτότητας. Οι επιφάνειες *τόξων καμπυλότητας (fillet)* και *λοξοτομών (chamfer)* παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-28.



Σχήμα 2-28 Παραδείγματα σύνθετων επιφανειών

Σε κάθε μια από τις μεθόδους πρέπει να σημειωθεί ότι οι επιφάνειες παρουσιάζονται ως πλέγματα διατεμνόντων καμπυλών. Αυτό είναι μόνο για λόγους απεικόνισης - οι επιφάνειες είναι συνεχείς, με κάθε σημείο στην επιφάνεια να καθορίζεται από τη μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται στον καθορισμό της. Γενικά, τα πραγματικά αντικείμενα αναπαρίστανται χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία επιφάνειας από ένα σύνολο από επιφάνειες μπαλώματα (patches). Ένα πλήρες σώμα αυτοκινήτου, παραδείγματος χάριν, μπορεί να απαιτήσει αρκετές εκατοντάδες μπαλώματα (patches).

Οι μεμονωμένες προτιμήσεις των σχεδιαστών κατευθύνουν συχνά την επιλογή της όποιας τεχνικής στους εννοιολογικούς μοντελοποιητές,. Τα περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης προσφέρουν ισχυρούς τρόπους επιμέλειας των μορφών μετά από την αρχική διαδικασία μοντελοποίησης. Έτσι, οι σχεδιαστές πρέπει προσεκτικά να προγραμματίσουν τα ψηφιακά μοντέλα, επειδή κάθε τεχνολογία μοντελοποίησης επιτρέπει μια συγκεκριμένη

σειρά από δυνατότητες επιμέλειας – συνήθως ταυτόσημες με τις λειτουργίες ελέγχου μορφής, διαθέσιμες με κάθε μια από τις τεχνικές μοντελοποίησης

Για τις συμμετρικές περί άξονα μορφές, οι τεχνικές εξώθησης, σάρωσης, και lofting παρουσιάζονται συχνά πολύ δυσκίνητες. Εδώ, οι τεχνικές *περιστροφής* (revolving) μπορούν να επιταγχύνουν τη ταχύτητα μοντελοποίησης, εν τούτοις εις βάρος του περιορισμένου ελέγχου μορφής. Η *περιστροφή* (revolving) ενός ανοικτού ή κλειστού πλαισίου γύρω από έναν άξονα δημιουργεί επιφάνειες ή στερεές μορφές. Ο έλεγχος περιορίζεται συνήθως στη γωνία της περιστροφής του πλαισίου γύρω από τον άξονα.

Υπάρχουν, επίσης, και άλλες τεχνικές κατασκευής μοντέλων πέρα από αυτές τις προσεγγίσεις. Μερικές από αυτές τις τεχνικές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τα περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης και θα εξεταστούν στο επόμενο κεφάλαιο. Εδώ είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι τεχνικές *εξώθησης* (extrusion), *σάρωσης* (sweeping), *ανύψωσης* (lofting), και *περιστροφής* (revolving) μπορούν να δημιουργήσουν και μοντέλα επιφάνειας και *στερεά* (solids) μοντέλα.

Σε πολλά περιβάλλοντα εννοιολογικής μοντελοποίησης, δεν είναι πάντα προφανές ποιο είδος μοντέλου σχεδιάζεται μετά από μια σειρά διαδικασιών. Ένα μοντέλο μπορεί να μοιάζει με ένα ογκομετρικό αντικείμενο αλλά να μην είναι πραγματικά ένα *στερεό* (solid) μοντέλο. Μια γενική εμπειροτεχνική μέθοδος είναι ότι οποιοδήποτε αληθινό στερεό αντικείμενο πρέπει να είναι ένα "στεγανό" ογκομετρικό αντικείμενο. Δεν πρέπει να υπάρχουν θέσεις όπου δύο όρια δε συναντιούνται ακριβώς, ούτε μπορούν εκεί να υπάρχουν περιπλανώμενες επιφάνειες που δεν αποτελούν μέρος μιας ογκομετρικής μορφής. Πολλοί, αρκετά καλοί μοντελοποιητές επιφάνειας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν τις σύνθετες διαμορφώσεις που μοιάζουν οπτικά με τα *στερεά* (solids) μοντέλα αλλά στην πραγματικότητα περιέχουν τις ασυνέχειες ή άλλα προβλήματα που αποτρέπουν τις διαμορφώσεις από το να είναι αληθινά υδατοστεγείς. Αυτό συμβαίνει συχνά, όταν αλληλο-τέμνονται οι σύνθετες επιφάνειες. Εάν η στεγανότητα οδηγεί ή όχι σε μια τέτοια περίπτωση, εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων ελλοχευόντων αλγορίθμων. Σε άλλες καταστάσεις, οι όγκοι που διαμορφώνονται είναι εγγενώς υδατοστεγείς και συχνά αυτόματα ερμηνεύονται από το

σύστημα ως στερεά (solids). Τέτοια είναι συχνά η περίπτωση με τις απλές εξωθήσεις ή με τους καλοσχηματισμένους όγκους της επιφάνειας περιστροφής.

2.5.5. Επισκόπηση – συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση των διαφόρων μεθόδων αναπαράστασης των αντικειμένων στις τρεις διαστάσεις μπορούμε να συνοψίσουμε στα παρακάτω. Η γεωμετρική μοντελοποίηση αποτελεί τη βάση όλων των συστημάτων CAD, και είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα σχεδόν όλων των διαδικασιών ανάπτυξης μεγάλων συστημάτων προϊόντων. Η γεωμετρική μοντελοποίηση εκτείνεται από 2D γραφικά στη παραμετρική στερεά μοντελοποίηση 3D. Τα ευρέως χρησιμοποιημένα μοντέλα επιφάνειας (B-splines, NURBS) χρησιμοποιούνται για αναπαράσταση σχεδόν οποιονδήποτε ελεύθερων καμπύλων και επιφανειών. Είναι σημαντικό να θεωρηθεί η ενσωματωμένη χρήση των γεωμετρικών προτύπων σε ολόκληρη τη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων για τη κατανόηση απαιτήσεων κάθε μοντέλου. Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση ελεύθερων επιφανειών είναι δημοφιλής στις περιοχές όπου η αναπαράσταση επιφάνειας ελεύθερων επιφανειών είναι προτεραιότητα (αυτοβιομηχανία, βιομηχανική σχεδίαση). Τα περισσότερα συστήματα CAD χρησιμοποιούν πολλαπλές – υβριδικές αναπαραστάσεις τρισδιάστατων στερεών, για να αποκομίσουν πλεονεκτήματα από όλες αυτές. Η παραμετρική μοντελοποίηση συμπεριλαμβάνεται πλέον στα περισσότερα συστήματα CAD. Η παραμετρική μοντελοποίηση έχει πλεονεκτήματα σύλληψης σχεδιαστικών προθέσεων, δημιουργία σχεδιαστικών παραλλαγών, διευκόλυνση σχεδιαστικών αλλαγές σχεδίου και επανάχρηση προηγούμενων μοντέλων.

Τέλος μπορούμε να αναφέρουμε τα γενικά προβλήματα και τα ανοικτά θέματα σε αυτούς τους τομείς. Ένα πρώτο θέμα είναι η αντίληψη ότι “Τα εργαλεία CAD είναι πολύ καλά σε τη δημιουργία της γεωμετρίας, αλλά δεν είναι πολύ καλά στη δημιουργία των σχεδίων.”. Τα ψηφιακά περιβάλλοντα πρέπει να υποστηρίζουν την επιμέλεια περίπλοκων γεωμετρικών προτύπων με τρόπο αυστηρό και διαισθητικό. Είναι απαραίτητη η διαλειτουργικότητα των μοντέλων μεταξύ του CAD και των υπολοίπων συστημάτων CAx. Η αυτοματοποίηση μεταξύ των διαφορετικών απόψεων ενός γεωμετρικού μοντέλου, (CAD και FEM), θα δώσει εξαιρετική ώθηση στη σχεδίαση μέσω υπολογιστή. Η εξελιξιμότητα των γεωμετρικών μοντέλων θα τα καταστήσει ευκολότερα στο χειρισμό τους από τους σχεδιαστές. Είναι σημαντική η ανάπτυξη μεθόδων για την παραμετρική δημιουργία

μοντέλων που θα οδηγούν στα στιβαρά μοντέλα για την τροποποίηση παραμέτρων – περιορισμών. Στιβαροί επιλυτές περιορισμών και καθοδήγηση χρηστών σχετικά με περιορισμούς. Διαμοιρασμός "γνώσης" κωδικοποιημένη στα παραμετρικά μοντέλα μπορεί να συλλάβει προτιμήσεις. Υποστήριξη σκιαγράφησης και μεταφορά των σκίτσων σε γεωμετρικά μοντέλα.

2.6. Βιβλιογραφία κεφαλαίου

American National Standards Institute, Y14 series of standards: e.g. Y14.1 Drawing Sheet Size and Format; Y14.2 Line Converting and Lettering; Y14.3 Multi and Sectional View Drawings; Y14.5 Dimensioning and Tolerancing.

Booker P. J. (1979). History of Engineering Drawing. Bury St Edmunds: Northgate.

British Standards Institution (1990). BS308: Parts 1-3, Engineering Drawing Practice.

British Standards Institution (1988). BSS070, Drawing Practice for Engineering Diagrams.

Dauids B. L., Robotham A. J. and Yarwood A. (1991). Computer-aided Drawing and Design. London: Chapman & Hall.

Gasson P. C. (1983). The Geometry of Spatial Forms. Chichester: Ellis Horwood.

Groover M. P. and Zimmers E. W. (1984). CAD/CAM: Computer-aided Design and Manufacturing. Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall.

Lee K. (1999). Principles of CAD/CAM/CAE systems. Reading, Mass: Addison-Wesley.

Mantyla M. (1988). An Introduction to Solid Modelling. Rockville, IN: Computer Science Press. Mortenson M. E. (1985). Geometric Modelling. New York: John Wiley.

Mcmahon C., Browne J., (1998). CAD/CAM: Principles, Practice, and Manufacturing Management (2nd Edition). Addison Wesley Longman.

Reinhold. Requicha A. A. G., Voelcker H. B. (1982). Solid modelling: a historical summary and contemporary assessment. IEEE Computer Graphics and Applications. 2(2), 9-24.

Rooney J., Steadman P. (eds) (1987). Principles of Computer-aided Design. London: Pitman.

Schodek D., Bechthold M., Griggs K., Kao K. M., Steinberg M. (2004). Digital Design and Manufacturing. Hoboken, New Jersey: John Willey & Sons.

Shah J. J., Mantyla M (1995). Parametric and Feature-based CAD/CAM. NY: John Wiley.

Taylor D. L. (1992). Computer-aided Design. Reading, MA: Addison Wesley Longman.

Voelcker H. B. (1992). New directions in solid modelling? In Int. Conf. on Manufacturing Automation, University of Hong Kong, August, pp. 157-68.

Woodwark J. (1992). G-Words. Keywords for Geometric Computing and its Applications. Winchester: Information Geometers.

Κεφάλαιο 3

Κατηγορίες Ψηφιακών Περιβαλλόντων Σχεδίασης

Τα συστήματα λογισμικού που υφίστανται στην εποχή μας είναι φαινομενικά πολλά και συνεχώς μεταβαλλόμενα, ενώ το καθένα ισχυρίζεται ότι ικανοποιεί ουσιαστικά όλες τις φανταστικές ανάγκες. Σε αυτό το κεφάλαιο το πρώτο μέρος αποτελεί μια επισκόπηση στα ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης και στον τρόπο που χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν τις διαφορετικές δραστηριότητες σχεδίασης προϊόντων. Στο δεύτερο μέρος θα εκτεθούν οι κατηγορίες λογισμικού γεωμετρικής μοντελοποίησης, όπου συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά του προηγούμενου μέρους.

3.1. Γενικά Χαρακτηριστικά

Γενικά, είναι δύσκολο να υπάρξει ένας σαφής, γενικά αποδεκτός, τρόπος ταξινόμησης και περιγραφής των περιβαλλόντων λογισμικού ο οποίος να είναι κατανοητός στους σχεδιαστές που δεν είναι επιστήμονες πληροφορικής, και που πρέπει, όμως, να φανούν αποδοτικοί στις σχεδιαστικές τους δραστηριότητες. Το λογισμικό σχεδιάζεται αμετάβλητα για να ικανοποιήσει συγκεκριμένες αντιληπτές ανάγκες ή για να εξυπηρετήσει καθορισμένους ρόλους μέσα στη γενική διαδικασία σχεδίασης και εφαρμογής. Αυτό το τμήμα έχει σαν στόχο να διαφωτίσει μερικά από τα ζητήματα αυτά και θέτει σε μια γενική προοπτική τα διαφορετικά ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ταξινομηθούν τα ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης, (Schodek et al, 2004). Οι ευρείες προσεγγίσεις στην περιγραφή και την ταξινόμηση των περιβαλλόντων λογισμικού μπορούν να περιλάβουν τις ακόλουθες κατηγορίες:

- φάσεις σχεδιαστικής διαδικασίας, (π.χ. εννοιολογική ή σχηματική σχεδίαση, σχεδίαση ανάπτυξης, σχεδίαση για την παραγωγή ή την κατασκευή)

- τύποι μοντέλων και τρόποι αναπαράστασης (π.χ. μοντέλα *πλαισίου-ακμών* (wireframe), μοντέλα *επιφάνειας* (surface), *στερεά* (solids) μοντέλα)
- εσωτερικές δομές δεδομένων και *αντικειμενοστραφείς* (object-oriented) ικανότητες, οι οποίες περιλαμβάνουν τη φύση των βασικών δομών βάσεων δεδομένων (π.χ. χρησιμοποιούνται είτε *σχεσιακές* είτε *αντικειμενοστραφείς* (object-oriented) δομές δεδομένων) και του τρόπου που ένα ψηφιακό μοντέλο είναι δομημένο (*σχεδίαση βασισμένη-σε-χαρακτηριστικά – βασισμένη-σε-συστατικά*, ικανότητες παραμετρικής σχεδίασης, *σχεδίαση βασισμένη-σε-διαστάσεις*)
- ικανότητες επικοινωνίας / διάδοσης / συνεργασίας
- περιοχές βιομηχανιών, (π.χ. ψυχαγωγία, αρχιτεκτονική, αεροδιαστημική, βιομηχανική σχεδίαση)

3.1.1. Φάσεις σχεδίασης

Πολλά ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης δημιουργήθηκαν προκειμένου να υποστηριχθούν οι δραστηριότητες σε ορισμένες φάσεις της σχεδιαστικής διαδικασίας. Ειδικά η εννοιολογική σχεδίαση (conceptual design) είναι πολύ διαφορετική όσο αφορά τις απαιτήσεις της, από τη σχεδίαση ανάπτυξης ή τη σχεδίαση για την κατασκευή και την παραγωγή, και λίγα, εάν οποιαδήποτε, περιβάλλοντα παρέχουν επαρκή υποστήριξη. Η σχετικά μη δομημένη φάση διατύπωσης των βασικών χαρακτηριστικών ενός έργου κατά τη διάρκεια της εννοιολογικής σχεδίασης στηρίζεται στη γρήγορη ανατροφοδότηση από (ψηφιακά) σκίτσα, τρισδιάστατα μοντέλα και *φωτο-ρεαλιστικές αποδόσεις* (rendering), με έμφαση στην οπτικοποίηση παρά την ακριβή μοντελοποίηση από μαθηματική άποψη. Η σχεδίαση ανάπτυξης, η λεπτομερής μελέτη και η τεχνική ανάπτυξη μιας έννοιας είναι μια πιο δομημένη δραστηριότητα που περιλαμβάνει ποσοτικές και ποιοτικές αξιολογήσεις και την ανάπτυξη των σχεδιαστικών προθέσεων. Η υποστήριξη αυτής της ιδιαίτερα συνεργατικής φάσης είναι ο πρωταρχικός στόχος των περιβαλλόντων όπως τα ProEngineer™, CATIA™ ή SolidWorks™ που είναι εξίσου πολύτιμα κατά τη φάση της σχεδίασης για την παραγωγή.

3.1.2. Τύποι μοντέλων και τρόποι αναπαράστασης

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν οι βασικοί τρόποι οι οποίοι είναι εφαρμόσιμοι μόνο στα συστήματα γεωμετρικής μοντελοποίησης, όπου τα γεωμετρικά μοντέλα δημιουργούνται μέσω σημείων, γραμμών, επιφανειών, διάφορων βασικών σχημάτων, κ.ο.κ. Εδώ αποτελεί θέμα θεμελιώδους σπουδαιότητας η διάκριση μεταξύ των μεθόδων *πλασιού-ακμών* (wire-frame), των *μοντέλων επιφάνειας* (surface) και των *στερεών* (solids) μοντέλων, όπως και παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 2. Πολλά περιβάλλοντα μοντελοποίησης υποστηρίζουν περισσότερους από έναν τύπους μεθόδων. Οι εκτενείς ικανότητες μοντελοποίησης *επιφάνειας* (surface) παραμένει ο προτιμητέος τρόπος μοντελοποίησης των ιδιαίτερα σύνθετων μορφών επιφάνειας που βρίσκονται σε τομείς εφαρμογής όπως η βιομηχανική σχεδίαση, η σχεδίαση αεροδιαστημικών προϊόντων, και η σχεδίαση αυτοκινήτων. Μερικά περιβάλλοντα επιτρέπουν στις *επιφάνειες* (surfaces) να μετατραπούν σε *στερεά* (solids), τα οποία, στη συνέχεια, υποστηρίζουν μια ευρύτερη σειρά των μηχανικών υπολογισμών, όπως οι υπολογισμοί της μάζας ή του κέντρου βάρους.

Όσον αφορά στους τύπους μοντέλων, το θέμα επικεντρώνεται στους τρόπους και τις μεθόδους μέσω των οποίων αναπαρίστανται τα στοιχεία. Μεγάλη σπουδαιότητα έχει η διάκριση μεταξύ των περιβαλλόντων που αναπαριστούν τις καμπύλες και τις *επιφάνειες* (surfaces) ως σειρά ευθύγραμμων τμημάτων ή ισοδύναμων πλεγμάτων, και εκείνων που χρησιμοποιούν τις ρητές μαθηματικές εκφράσεις, για να καθορίσουν αυτές τις οντότητες. Η τελευταία προσέγγιση χρησιμοποιείται ευρέως στους γεωμετρικούς μοντελοποιητές (MAYA™, CATIA™, Rhinoceros™, SolidWorks™, Uni-graphics™ κ.τ.λ.). Όμως, μερικοί, όπως π.χ. το CATIA™, προσφέρουν, επίσης, εναλλακτικές λύσεις βασισμένες σε πλέγμα (mesh). Οι ρητές μαθηματικές αναπαραστάσεις αναφέρονται συχνά ως «*βασισμένες-σε-παραμέτρους*», όπου η λέξη «*παραμετρική*» χρησιμοποιείται σχετικά με τη μαθηματικά περιγραφή, όχι ως τρόπος τροποποίησης των μορφών.

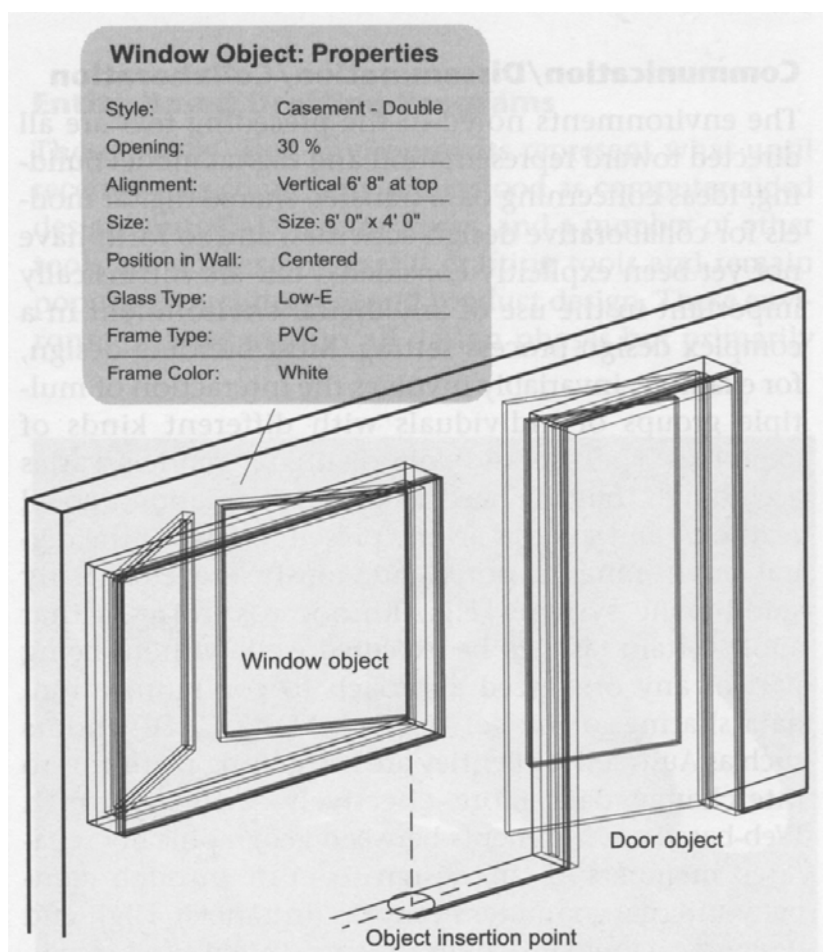
3.1.3. Εσωτερικές δομές δεδομένων – αντικειμενοστραφείς ικανότητες

Σε ένα ψηφιακό περιβάλλον σχεδίασης οι σχεδιαστικές δυνατότητες που διαθέτει ή όχι ένας σχεδιαστής εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο το ελλοχεύον πρόγραμμα γράφεται και δομείται, από τη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται και από τον

τύπο εφαρμογής *βάσης δεδομένων* (database) ο οποίος καταχωρεί τις πληροφορίες που ο χρήστης εισάγει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδίασης. Αυτό είναι ένα περιεκτικό θέμα πέρα από το πεδίο παρουσίασης και συσχετίζεται πολύ με το βαθμό των αντικειμενοστραφών ικανοτήτων που το λογισμικό μπορεί ή όχι να περιλάβει. Η δυνατότητα να καθοριστούν οι *κλάσεις* (classes) των αντικειμένων, η δημιουργία *περιπτώσεων* (instances) αντικειμένων, η ανάθεση *συμπεριφορών* (behavior) και η ύπαρξη αντικειμένων τα οποία *κληρονομούν* (inherit) τέτοια συμπεριφορά, είναι πλήρως παρούσα μόνο εάν υιοθετούνται περίπλοκες *αντικειμενοστραφείς* (object-oriented) γλώσσες προγραμματισμού και αντίστοιχες βάσεις δεδομένων (databases). Τα χαρακτηριστικά του αντικειμενοστραφή προγραμματισμού εφαρμόζονται σε διάφορους βαθμούς σε προγράμματα όπως το MicroStation™ Revit™, CATIA™, ή ProEngineer™ SolidWorks™, αλλά δεν αναφέρονται απαραίτητως σε αυτά με τέτοιους όρους.

Τι είναι ακριβώς η *αντικειμενοστραφής σχεδίαση* (object-oriented design); Αρχικά αποτελεί μια μέθοδο προγραμματισμού υπολογιστών και δανείζεται το όνομά της από το μοντέλο αντικειμενοστραφών δεδομένων – ένας τρόπος να περιγραφούν οι σύνθετες πληροφορίες μέσω διακριτών αλλά αλληλένδετων συστατικών. Αυτές οι μονάδες των δεδομένων, ή τα *αντικείμενα* (objects), περιέχουν *χαρακτηριστικά* καθώς επίσης και *μεθόδους*. Τα χαρακτηριστικά είναι ιδιότητες, π.χ., το «*Πλάτος*» ενός αντικειμένου «*Συρόμενη Πόρτα*», και οι μέθοδοι είναι οργανισμοί κώδικα προγραμματισμού που περιέχουν περιγραφές λειτουργίας ή συμπεριφοράς του αντικειμένου. Τα αντικείμενα περιέχουν, επίσης, ένα άλλο σύστημα μηνυμάτων στα οποία ένα αντικείμενο (object) μπορεί να αποκριθεί. Τα μηνύματα είναι αιτήματα μεταξύ των αντικειμένων (objects), προκειμένου να εκτελεστεί μια ιδιαίτερη μέθοδος, όπως: «*ρυθμίστε το χαρακτηριστικό "Πλάτος" του αντικειμένου "Τοίχος Τούβλου" για να ταιριάζει με το χαρακτηριστικό "Πλάτος" του αντικειμένου "Συρόμενη Πόρτα"*». Τα αντικείμενα που μοιράζονται τις ίδιες μεθόδους αποκρίνονται στα ίδια μηνύματα και έχουν ίδιου τύπου χαρακτηριστικά, συγκεντρώνονται μαζί σε κλάσεις. Το αντικείμενο «*Συρόμενη Πόρτα*» θα μπορούσε να είναι μια περίπτωση μιας τάξης αποκαλούμενης «*Πόρτες*» με άλλες περιπτώσεις που είναι «*Συρταρωτές Πόρτες*» ή «*Αναδιπλούμενες Πόρτες*». Όλα αυτά τα αντικείμενα μοιράζονται ορισμένα χαρακτηριστικά όπως «*Πλάτος*» ή «*Ύψος*» και μπορούν να διαφοροποιηθούν από τις τιμές που αποδίδονται σε αυτές τις ιδιότητες.

Η αρχή της κληρονομικότητας (inheritance) είναι άμεσα συσχετιζόμενη με την τάξη (class) αντικειμένων και αποτελεί ένα κομψό τρόπο να δημιουργηθούν οι νέες τάξεις που βασίζονται σε χαρακτηριστικά και μεθόδους ήδη υφιστάμενων τάξεων. Όταν τα πρόσθετα χαρακτηριστικά και οι μέθοδοι προσδιορίζονται, αυτές οι νέες τάξεις μπορούν να ανταποκριθούν σε περισσότερες απαιτήσεις. Οι τάξεις μπορούν, επίσης, να κληρονομήσουν τα χαρακτηριστικά και τις μεθόδους πολλαπλών τάξεων (πολλαπλή κληρονομικότητα). Η τάξη αντικειμένου “Πόρτα”, π.χ., μοιράζεται σαφώς χαρακτηριστικά με την τάξη “Παράθυρο”. Καθώς παράγεται η τάξη (class) “Πόρτα” από την τάξη (class) “Παράθυρο”, η “Πόρτα” μπορεί να κληρονομήσει χαρακτηριστικά όπως η γεωμετρία, καθώς επίσης και οι μέθοδοι, όπως ο τρόπος υπολογισμού της σχετικής θέσης του αντικειμένου επάνω στο άνοιγμα ενός “Τοίχου”. Στην αλλαγή του χαρακτηριστικού του πάχους, το αντικείμενο “Τοίχος” θα έστελνε το μήνυμα “Πάχος” και στα δύο αντικείμενα “Παράθυρο” και “Πόρτα”, και η σχετική θέση τους θα υπολογιζόταν εκ νέου βασισμένη στον συγκεκριμένο αλγόριθμο. Για παράδειγμα τα αρχιτεκτονικά αντικείμενα σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα βασισμένο στα συστατικά: Οι ιδιότητες όπως η θέση, η γεωμετρία, τα υλικά, κλπ. μπορούν να τροποποιηθούν οποιαδήποτε στιγμή, συνήθως μέσω των πλαισίων διαλόγου, (Σχήμα 3-1).



Σχήμα 3-1 Αντικείμενα σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα βασισμένο στα συστατικά

Τα αντικείμενα (objects) χειρίζονται μέσω της αποστολής μηνυμάτων σε αυτά, αλλά ένα αντικείμενο (object) μπορεί να αλλάξει ή να χειριστεί μόνο εάν το μήνυμα ανήκει σε ένα σύνολο μηνυμάτων, και μέχρι το σημείο που αυτός ο χειρισμός αντιστοιχεί στις μεθόδους που ανατίθενται στο αντικείμενο. Με την εισαγωγή ενός αντικειμένου “Πόρτα” σε ένα αντικείμενο “Τοίχος” η “Πόρτα” θα έστειλε ένα μήνυμα που θα προκαλούσε τη δημιουργία ενός κατάλληλου ανοίγματος στο αντικείμενο “Τοίχος”. Η εισαγωγή της “Πόρτας” σε μια πλάκα ορόφου δε θα καλούσε οποιεσδήποτε μεθόδους, δεδομένου ότι το μήνυμα «δημιούργησε άνοιγμα» δε θα επιτρεπόταν για την “Πόρτα” στα πλαίσια ενός αντικειμένου (object) “Πλάκα”.

Μια τέτοιου τύπου δομική οργάνωση επιτρέπει τη χρήση του αντικειμένου (object) με ορισμένους τρόπους από το ψηφιακό περιβάλλον (λογισμικό), αλλά συγχρόνως αυτό μπορεί να αλλάξει ή να επεκταθεί χωρίς να επιδρά στον τρόπο που το αντικείμενο

χρησιμοποιείται ήδη. Τα *αντικείμενα* (objects) μπορούν να συσταθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν και μπορούν να επανακαθοριστούν κατά τη διάρκεια του χρόνου. Όταν η “Πόρτα” εισάγεται κατά τη διάρκεια της σχηματικής σχεδίασης, π.χ., το αντίστοιχο άνοιγμα τοίχων μπορεί να είναι το ακριβές μέγεθος της πόρτας. Ένα εύκολο αντικειμενοστραφές σύστημα θα επέτρεπε στο άνοιγμα να διευρυνθεί (μεγαλώσει) κατά τη διάρκεια της σχεδίασης για την κατασκευή, καθώς ο σχεδιαστής προσθέτει τα χαρακτηριστικά και τις μεθόδους στο αντικείμενο “Πόρτα” που λαμβάνουν υπόψη τον ιδιαίτερο τρόπο που το “Πόρτα” θα συνδεθεί με τις πληροφορίες των τοίχων που είναι άσχετες στην αρχική σχεδίαση αλλά ουσιαστικές για το στάδιο της κατασκευής. Τα *αντικείμενα* (objects), όπως το “Παράθυρο” ή η “Πόρτα”, μπορούν να ενσωματώσουν μια μέθοδο υπολογισμού της θέσης του αντικειμένου – όσον αφορά το πάχος του τοίχου π.χ. – στο γεωμετρικό κέντρο του τοίχου ή εκατέρωθεν από τις πλευρές του τοίχου.

Υπάρχουν, προφανώς, πολλοί τρόποι για να οργανωθεί η περιγραφή ενός σχεδίου βασισμένου σε *αντικείμενα* (objects). Ο καθορισμός για το πλάτος και το ύψος και στις δύο τάξεις “Παράθυρο” και “Πόρτα”, π.χ., οδηγεί σε πολλαπλές ιδιότητες που εξετάζουν ουσιαστικά το ίδιο είδος πληροφοριών. Αυτός ο πλεονασμός μπορεί να μειωθεί με τη δημιουργία μιας χωριστής τάξης αντικειμένου αποκαλούμενης “Γεωμετρία”, και με τον καθορισμό των κατάλληλων μηνυμάτων και μεθόδων και στις τρεις τάξεις. Αυτό που είναι πολύ σημαντικό, είναι το γεγονός ότι η αντικειμενοστραφής μοντελοποίηση (object-oriented modelling) προσπαθεί να συλλάβει όχι μόνο τη γεωμετρία αλλά και την πρόθεση σχεδίασης. Αυτό το επιτυγχάνει με την προσθήκη περιεχομένου σημασιολογίας σε αυτό που ειδάλλως θα ήταν απλά ψηφιακές αναπαραστάσεις των μορφών.

3.1.4. Επικοινωνία / Διάδοση / Συνεργασία

Τα ψηφιακά περιβάλλοντα που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο προσανατολίζονται όλα προς την αναπαράσταση και το ψηφιακό μοντέλο του προϊόντος. Οι ιδέες που αφορούν τη μεταφορά στοιχείων, την ύπαρξη κοινών ψηφιακών μοντέλων για τις δραστηριότητες συνεργατικής σχεδίασης κ.ο.κ., ακόμα δεν έχουν εξεταστεί ρητά, αλλά είναι πραγματικά σημαντικές στη χρήση οποιουδήποτε ψηφιακού περιβάλλοντος σε μια κατάσταση σύνθετης διαδικασίας σχεδίασης. Οι περισσότερες περιπτώσεις σχεδίασης προϊόντων (π.χ κτηρίων), περιλαμβάνουν απαραίτητα την αλληλεπίδραση πολλαπλών

ομάδων επιστημόνων με διαφορετικά είδη εμπειρίας. Η χρήση και ο ρόλος των ψηφιακών μοντέλων ποικίλουν, αλλά η ανάγκη να διαμοιραστούν οι πληροφορίες, οι αναθεωρήσεις των μοντέλων, και πολλές άλλες είναι πάντα παρούσα. Πολλά από τα ψηφιακά περιβάλλοντα που αναφέρονται παραπάνω είναι ουσιαστικά αυτόνομα περιβάλλοντα σχεδίασης (π.χ. RhinocerosTM, Form-ZTM,) που επιτρέπουν σε ορισμένες στοιχειώδεις εργασίες να εκτελεστούν επαρκώς, χωρίς την ύπαρξη οποιασδήποτε οργανωμένης προσέγγισης στην επικοινωνία, τη διάθεση στοιχείων ή τη διάθεση μοντέλων. Πολλοί προμηθευτές συστημάτων CAD, όπως η Autodesk ή η Bentley, ενσωματώνουν πλατφόρμες, για να ανταλλάσσουν τα στοιχεία αποτελεσματικότερα. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μέσω περιβαλλόντων βασισμένων σε WEB μεταξύ των γεωγραφικά απομακρυσμένων μελών της ομάδας σχεδίασης, είτε μέσω εσωτερικών στην επιχείρηση δικτύων υπολογιστών (intranets). Τα υψηλού επιπέδου περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης – που χρησιμοποιούνται συχνά στις συνεργατικές και ταυτόχρονες διαδικασίες σχεδίασης (συμμετεχόντων που όλοι χρησιμοποιούν την ίδια πλατφόρμα) – παρέχουν τα εργαλεία για τη ρητή αντιμετώπιση αυτών των αναγκών (π.χ., το EponiaTM σε σχέση με το CATIATM).

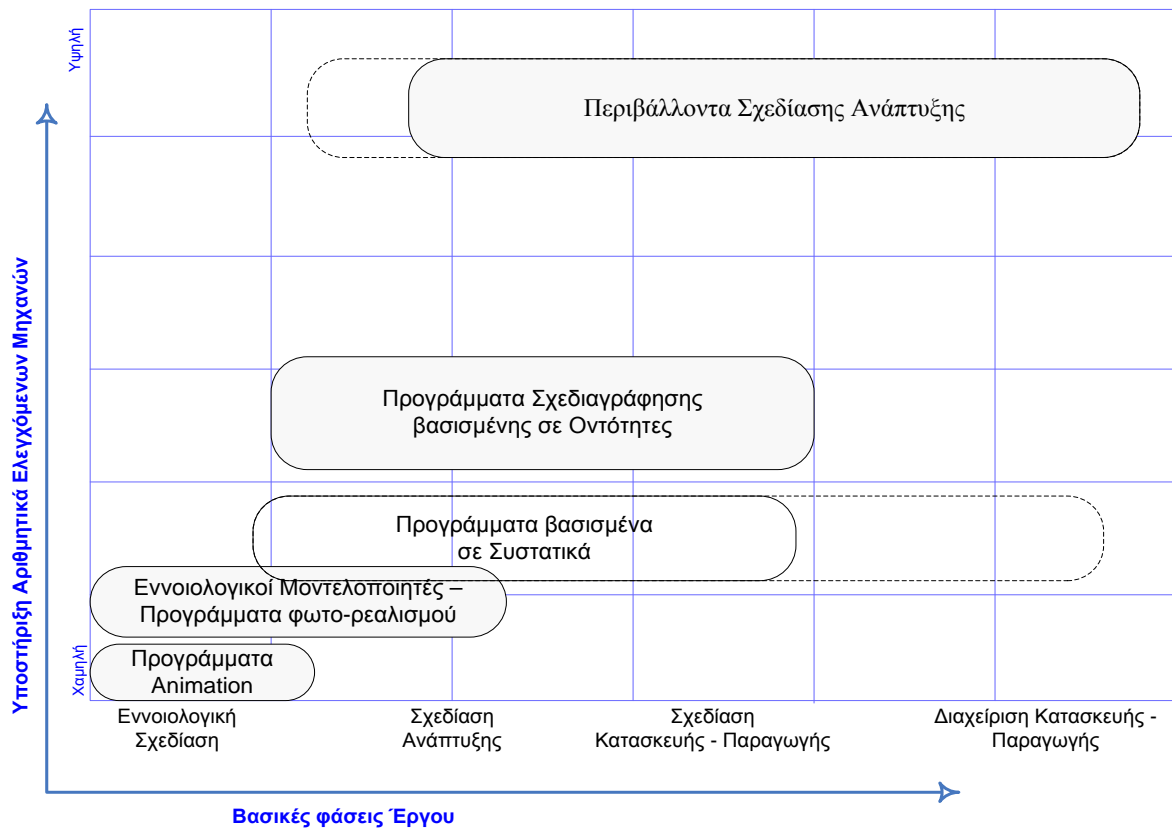
3.1.5. Βιομηχανίες χρήσεων

Λαμβάνοντας υπόψη την μεγάλη ποσότητα της δια-βιομηχανικής χρήσης των διαφορετικών υπολογιστικών περιβαλλόντων, η πρώτη ταξινόμηση βιομηχανιών δίνει μια ένδειξη για ό,τι αναμένεται από τα συγκεκριμένα λογισμικά, και εξηγεί μερικώς την ευρεία ποικιλία τρόπων μέσω των οποίων ακόμη και μια βασική τρισδιάστατη μορφή μπορεί να παραχθεί και να αναπαρασταθεί ψηφιακά. Χαρακτηριστικά όπως η δεσπόζουσα γεωμετρία, διαδικασίες σχεδίασης, επιχειρησιακά μοντέλα, και άλλα συνεισφέρουν στο πως το λογισμικό σχεδιάζεται και ποιες δυνατότητες μπορεί να προσφέρει για την υποστήριξη δραστηριοτήτων όπως η μηχανική, η οπτικοποίηση, η προσομοίωση, η εκτίμηση δαπανών, και άλλες. Το CATIATM, ένα περιβάλλον που αναπτύχθηκε αρχικά για την αεροδιαστημική βιομηχανία, αλλά μπορεί σίγουρα να υποστηρίξει όχι μόνο μοντελοποίηση σύνθετης επιφάνειας (surface) και στερεά μοντελοποίησης (solid modelling) αλλά επίσης μοντελοποίηση συναρμολόγησης (assembling) και ποικίλες εφαρμογές μηχανικής. Αφ' ετέρου, είναι λιγότερο χρήσιμο για υψηλής ποιότητας φωτο-ρεαλιστικών αποδόσεων

(rendering) είτε για κίνηση (animation), τομείς όπου προγράμματα όπως τα 3D Studio Max™ ή MAYA™ εφαρμόζονται περισσότερο.

3.2. Κατηγορίες Γεωμετρικών μοντελοποιητών

Η διαφοροποίηση των ψηφιακών περιβαλλόντων σχεδίασης μέσω των μεθόδων που ήδη αναφέρθηκαν είναι χρήσιμη στην κατανόηση των μεμονωμένων πλευρών αυτών των προγραμμάτων. Στην πράξη είναι χρήσιμο να συνδυαστούν αυτές οι μέθοδοι δημιουργίας μοντέλων στις κατηγορίες λογισμικού γεωμετρικής μοντελοποίησης οι οποίες απευθύνονται σε σχεδιαστές. Αυτή η ομαδοποίηση αντανακλά κατά ένα μεγάλο μέρος την ανάγκη για συγκεκριμένες εφαρμογές στις ιδιαίτερες φάσεις της σχεδιαστικής διαδικασίας. Σε αυτήν την προσέγγιση του λογισμικού γεωμετρικής μοντελοποίησης θα περιληφθούν τα βοηθήματα της βασικής μοντελοποίησης και οι διαφορετικοί τρόποι εξόδου. Σε αυτό το πλαίσιο ως βοηθήματα μοντελοποίησης αποτελούν όλα τα εργαλεία, όπως οι βασικές λειτουργίες έλξης (snap) και κανάβου (grid) ή τα επίπεδα (levels) δημιουργίας που διευκολύνουν τη δημιουργία των μορφών, χωρίς αυτές να έχουν οποιοδήποτε εγγενή αναπαραστατικό σκοπό.



Σχήμα 3-2 Απλουστευμένη χαρτογράφηση των γεωμετρικών μοντελοποιητών

Οι τρόποι εξόδου αφορούν σαφώς αυτό που ένας χρήστης πρέπει να ολοκληρώσει με ένα δεδομένο περιβάλλον σχεδίασης – περιλαμβάνουν μια σειρά από εκτυπώσεις εγγράφων μέχρι στην τρισδιάστατη *φωτο-ρεαλιστική απόδοση* (rendering) ή τους διάφορους τύπους καταλόγων που αφορούν τα υλικού ή/ και τα τμήματα. Η ομαδοποίηση των γεωμετρικών μοντελοποιητών μπορεί να περιλαμβάνει πέντε βασικές κατηγορίες, (Σχήμα 3-2):

- εννοιολογικούς μοντελοποιητές και προγράμματα φωτο-ρεαλισμού (rendering)
- προγράμματα κίνησης (animation)
- προγράμματα βασισμένα σε οντότητες
- προγράμματα βασισμένα σε συστατικά
- προγράμματα σχεδίασης ανάπτυξης

3.2.1. Εννοιολογικοί μοντελοποιητές – προγράμματα φωτό-ρεαλιστικής απόδοσης (rendering)

Η κύρια χρήση των περιβαλλόντων αυτών είναι η τρισδιάστατη οπτικοποίηση κατά τη διάρκεια των αρχικών φάσεων της σχεδίασης. Περιλαμβάνουν ένα αρκετά ευρύ φάσμα των αυτόνομων προγραμμάτων, γεωμετρικών μοντελοποιητών, και των προγραμμάτων που αφορούν *φωτο-ρεαλιστικές αποδόσεις* (rendering). Τα προγράμματα σκιαγράφησης είναι, π.χ., τα SketchUp™, Alias SketchBook Pro™, PlanDesing™. Οι γεωμετρικοί μοντελοποιητές που χρησιμοποιούνται πρώτιστα για την *εννοιολογική σχεδίαση* (conceptual design) περιλαμβάνουν προγράμματα όπως ο Rhinoceros™ και τους εννοιολογικούς μοντελοποιητές με ισχυρή έμφαση στην *φωτο-ρεαλιστική απόδοση* (rendering). Τέτοια είναι, π.χ., το Form-Z™ ή το 3DS-Max™. Ορισμένα προγράμματα, όπως το AccuRender™, είναι καθαρά περιβάλλοντα *φωτο-ρεαλιστικής απόδοσης* (rendering). Κατά τη διάρκεια *εννοιολογικής σχεδίασης* (conceptual design), η έμφαση επικεντρώνεται σταθερά στην παραγωγή μιας αρχικής μορφής. Για τις περιπτώσεις άμεσου χειρισμού, η αρχική εκτίμηση στην επιλογή ενός εργαλείου χρήσης αρθρώνεται, κατά ένα μεγάλο μέρος, γύρω από το εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως είδος «*οπτικού εργαλείου σκέψης*». Πολλοί σχεδιαστές, όπως οι αρχιτέκτονες, έχουν χρησιμοποιήσει, ιστορικά, και χρησιμοποιούν ακόμα, σκίτσα σε χαρτί. Επομένως, τα ψηφιακά περιβάλλοντα πρέπει να είναι απλά στην εκμάθηση, εύχρηστα και να μην επιβάλουν περιορισμούς. Δεδομένου, εξάλλου, ότι πολλοί σχεδιαστές βρίσκουν δυσκίνητη την είσοδο των στοιχείων μέσω του πληκτρολογίου ή του ποντικιού του υπολογιστή τους, τα προγράμματα σκιαγράφησης επιτρέπουν συχνά στους σχεδιαστές να εισάγουν δεδομένα μέσω σκιαγράφησης σε διαδραστικές ταμπέλες κατά τρόπο παρόμοιο με τη σκιαγράφηση σε χαρτί.

Οι εννοιολογικοί μοντελοποιητές είναι χαρακτηριστικά υβριδικόι μοντελοποιητές δεδομένου ότι στηρίζονται σε ένα μίγμα στοιχείων *επιφάνειας* (surface) και *στερεών* (solids) μοντέλων. Τα προγράμματα σκιαγράφησης χρησιμοποιούν, επίσης, τα στοιχεία γραμμών, για να διευκολύνεται η μετάβαση από την παιδαγωγική σκιαγράφηση στο χέρι στην ψηφιακή μοντελοποίηση. Οι *κάναθοι* (grids), οι *λειτουργίες έλξης* (snap) και τα *επίπεδα* (levels) κατασκευής είναι χαρακτηριστικά βοηθήματα μοντελοποίησης στους εννοιολογικούς μοντελοποιητές και οι *στρώσεις* (layers) οργανώνουν τα ψηφιακά μοντέλα σε εύχρηστες οντότητες. Αυτά τα βοηθήματα μοντελοποίησης δεν απαιτούν την εκτενή

οργάνωση στη δομή του ίδιου του ψηφιακού μοντέλου. Οι σχεδιαστές μπορούν να εστιάσουν στη σχεδίαση και τα μοντέλα μπορούν να αλλάξουν εύκολα οποιαδήποτε στιγμή. Οι αναθεωρήσεις των μοντέλων απαιτούν τη διαγραφή των ξεπερασμένων μερών και την αντικατάστασή τους από αναθεωρημένα μοντέλα – δεν υπάρχει καμία ενσωματωμένη νοημοσύνη που θα μπορούσε να επισημάνει την αντιφάσκουσα γεωμετρία, όπως μπορεί να βρεθεί σε μερικά προγράμματα βασισμένα σε συστατικά ή στα περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης. Τα αρχικά αποτελέσματα αυτών των περιβαλλόντων είναι τρισδιάστατες όψεις στις διάφορες προβολές και προοπτικές απόψεις, που αποδίδονται εύκολα, για να κοινοποιήσουν μια σχεδιαστική ιδέα. Μερικά περιβάλλοντα περιλαμβάνουν, επίσης, μια ικανότητα για *κίνηση* (animation). Πολλοί από τους γεωμετρικούς μοντελοποιητές χρησιμοποιούν και προγράμματα *φωτο-ρεαλιστικών αποδόσεων* (rendering), για να παραγάγουν ρεαλιστικές τρισδιάστατες απόψεις στις μετέπειτα φάσεις της σχεδίασης, στηριζόμενοι αναπόφευκτα στις δυνατότητες εισαγωγής αρχείων χρησιμοποιώντας τις συνήθως υποστηριζόμενες μορφές αποθήκευσης, όπως DXF, DWG, και IGES, προκειμένου να εισαχθούν από άλλες εφαρμογές γεωμετρικά δεδομένα που πρέπει να οπτικοποιηθούν. Οι εννοιολογικοί μοντελοποιητές δεν παράγουν απαραίτητως τα είδη «στεγανών» μοντέλων που απαιτούνται, τελικά, για να υποστηρίξουν τις υπολογιστικά ελεγχόμενες διαδικασίες κατασκευής.

3.2.2. Προγράμματα εμψύχωσης άψυχων αντικειμένων-εικόνων (animation)

Το λογισμικό *εμψύχωσης άψυχων αντικειμένων-εικόνων* (animation), που αρχικά αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει τους σκοπούς της βιομηχανίας ψυχαγωγίας, βρίσκει αυξανόμενη χρήση στη σχεδίαση προϊόντων και στην αρχιτεκτονική. Προσομοιώσεις πτήσης μέσα στα αντικείμενα ή οπτικοποίησης της ακολουθίας κατασκευής – συναρμολόγησης, μπορούν να είναι εξίσου χρήσιμες σε πολλές κλίμακες αλλά είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές για τα μεγαλύτερα και πιο σύνθετα σχεδιαστικά έργα που κυμαίνονται από τα αντικείμενα ως την πολεοδομική σχεδίαση. Προγράμματα όπως το MAYA™ ή το Softimage™ χρησιμοποιούνται, επίσης, για τη δημιουργία των σύνθετων μορφών βασισμένων στη *εμψύχωση άψυχων αντικειμένων-εικόνων* (animation) των μοντέλων κατά τη διάρκεια της εννοιολογικής σχεδίασης. Αυτά τα περιβάλλοντα βασίζονται σε ιεραρχικές απόψεις των μοντέλων και των σκηνών, και παρέχουν παραμετρικές

ικανότητες σχεδίασης. Ως εκ τούτου, αφήνουν στο χρήστη τον καθορισμό των βασικών πλαισίων και των τροχιών της *κίνησης* (animation), και παράγουν τις κινήσεις ως παρεμβολή της μετάβασης μεταξύ των πλαισίων και κατά μήκος των τροχιών. Τα αποτελέσματα είναι διάφοροι τύποι βίντεο, είτε τύποι αρχείων ταινίας, καθώς επίσης και στατικά τρισδιάστατα μοντέλα.

3.2.3. Προγράμματα βασισμένα-σε-οντότητες (entities-based)

Τα περιβάλλοντα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως και εκφράζουν ό,τι μέχρι σήμερα περιέχεται στον όρο σχεδίαση με βοήθεια υπολογιστή. Περιβάλλοντα σχεδίασης, όπως τα Auto-CadTM, VectorWorksTM και διάφορα άλλα, είναι παγκοσμίως δημοφιλή και παραμένουν χρήσιμα στην αρχιτεκτονική και τη σχεδίαση προϊόντων. Αυτά τα ψηφιακά περιβάλλοντα χρησιμοποιούνται γενικά σε όλες τις φάσεις της σχεδίασης. Κυρίως, όμως, διευκολύνουν τη δημιουργία σχεδίων δισδιάστατης τεκμηρίωσης. Τέτοια σχέδια είναι οι τομές, οι όψεις, οι κατόψεις κ.λπ. Παρά το γεγονός ότι σε τέτοια προγράμματα ενσωματώνονται πρόσφατα ικανότητες *τρειςδιάστατης* μοντελοποίησης και *φωτο-ρεαλιστικής απόδοσης* (rendering), τα δισδιάστατα γραμμικά σχέδια παραμένουν η κύρια χρήση του *βασισμένου-σε-οντότητες* (entities-based) CAD. Στην αρχιτεκτονική και στη σχεδίαση προϊόντων η προσέγγιση που αφορά χρήση μόνο δισδιάστατων αναπαραστάσεων, για να περιγραφεί ένα τρισδιάστατο αντικείμενο, είναι ακόμα όχι μόνο ένας κοινός τόπος, αλλά αποτελεί, επιπλέον, και ένα χρήσιμο τρόπο σκέψης για πολλά ζητήματα λόγω της αφαιρετικής φύσης του. Ιστορικά, οι δισδιάστατες αναπαραστάσεις έχουν χρησιμοποιηθεί ως πρώτες πηγές για τη σύλληψη των τρισδιάστατων αντικειμένων. Αυτή η προσέγγιση, βεβαίως, δε σημαίνει ότι οποιεσδήποτε δισδιάστατες πληροφορίες, που παράγονται μ' αυτόν τον τρόπο, είναι και εσωτερικά συνεπείς ή πλήρως περιγραφικές. Τα ιστορικά προβλήματα κατόψεων και τομών που δεν συμπίπτουν μεταξύ τους ή που δεν περιγράφουν με συνέπεια το ίδιο τρισδιάστατο αντικείμενο, ή μια αλλαγή σε μια κάτοψη που δεν οδηγεί αυτόματα σε μια αλλαγή στην τομή, είναι έμφυτες αντιφάσεις τις οποίες αντιμετωπίζουν πολλές φορές οι σχεδιαστές.

Τα *βασισμένα-σε-οντότητες* (entities-based) σχεδιαστικά προγράμματα στηρίζονται, όπως αναφέρει και το όνομά τους, σε οντότητες γραμμικού σχεδίου όπως οι γραμμές, τα

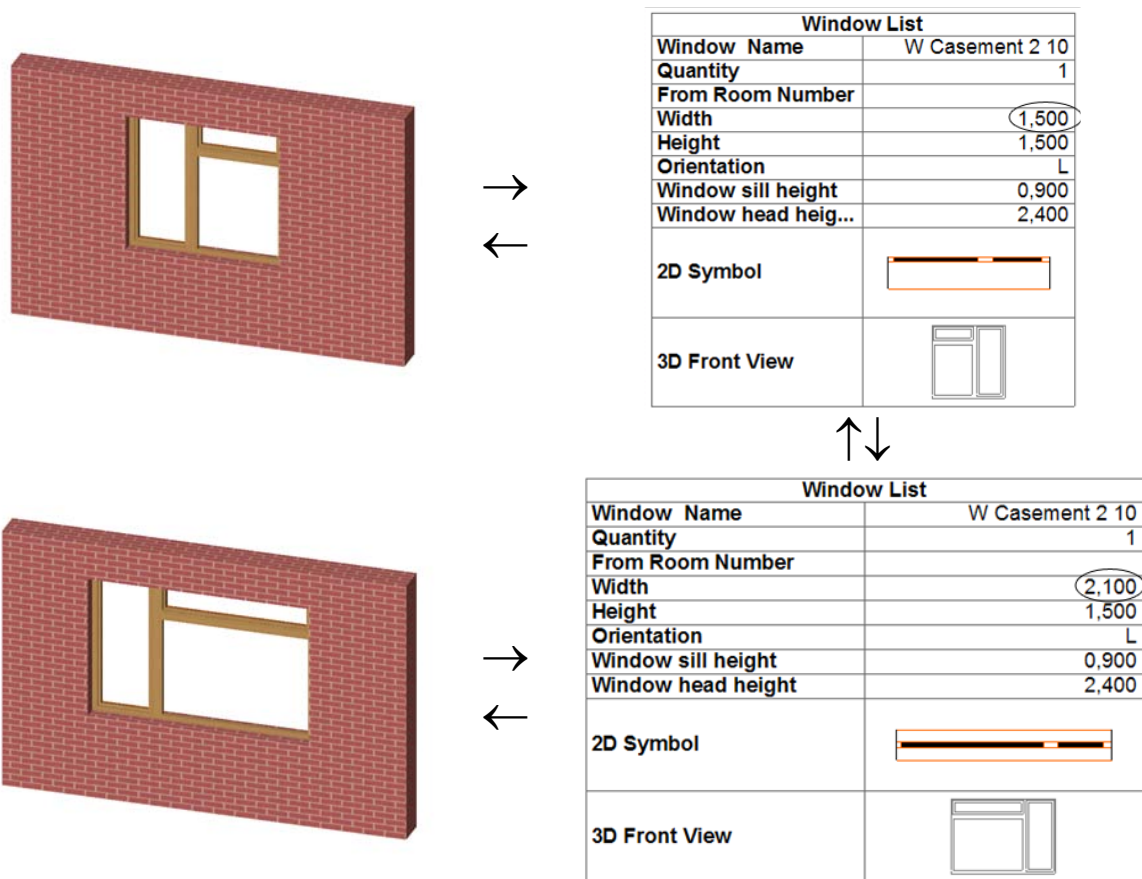
πολύγραμμα, τα τόξα, οι splines και άλλα μορφολογικά μοντέλα, όπως οι επιφάνειες (surfaces) και τα στερεά (solids), τα οποία υποστηρίζονται, επίσης, αλλά σε μικρότερη έκταση. Η μοντελοποίηση στα προγράμματα αυτά αρχίζει κανονικά από τη δισδιάστατη γεωμετρία. Τα βοηθήματα μοντελοποίησης και η οργάνωση των δεδομένων είναι παρόμοια, όπως και στους εννοιολογικούς μοντελοποιητές. Όμως οι γλώσσες κώδικα, (ιδιόκτητες είτε ανοικτού λογισμικού), επιτρέπουν συχνά στους πεπειραμένους σχεδιαστές-σχεδιαστές να προσαρμόζουν τις λειτουργίες του λογισμικού στις απαιτήσεις μιας ορισμένης βιομηχανίας ή επιχείρησης. Η έξοδος αυτών των προγραμμάτων είναι παραδοσιακά οι εκτυπώσεις εγγράφων και οι λειτουργίες αυτοματοποιημένου σχεδιαγράμματος. Η εκτενής επιμέλεια κειμένων, καθώς επίσης και τα περιεκτικά χαρακτηριστικά διαστασιολόγησης είναι συνήθως παρόντα για να υποστηρίξουν αυτόν τον τύπο τεκμηρίωσης.

3.2.4. Προγράμματα βασισμένα-σε-συστατικά (components-based)

Αυτή η ομάδα τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντελοποιητών αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει συγκεκριμένα τις αρχιτεκτονικές δραστηριότητες σχεδίασης, από την εννοιολογική σχεδίαση, μέσω της σχεδίασης ανάπτυξης, μέχρι τη σχεδίαση για την κατασκευή. Αυτή η προσέγγιση αναφέρεται, επίσης, ως Μοντελοποίηση Πληροφορίας Δόμησης (Building Information Modelling - BIM). Ανάμεσα στο λογισμικό που συνήθως χρησιμοποιείται περιλαμβάνονται τα Architectural Desktop™ και το Revit™ της Autodesk, το MicroStation™ της Bentley, ή το ArchiCAD™ της Graphisoft. Τα συστήματα αυτά στηρίζονται πλήρως στην εκτενή χρήση τρισδιάστατων *συστατικών* (components) ή *αντικειμένων* (objects) για την αναπαράσταση των σημαντικών στοιχείων ενός σχεδίου, αντικαθιστώντας ή συμπληρώνοντας τις σχεδιαστικές *οντότητες* (entities), όπως τις γραμμές, τα τόξα ή τις *επιφάνειες* (surfaces) στην *βασισμένη-σε-οντότητες* (entity-based) σχεδίαση.

Η χρήση των τρισδιάστατων αντικειμένων παράγει συνεπή και μη ασαφή μοντέλα από τα οποία μπορούν να παραχθούν στη συνέχεια οι δισδιάστατες απόψεις, (τομές, όψεις, κατόψεις). Κατ' αυτόν τον τρόπο, μια αλλαγή στο τρισδιάστατο μοντέλο οδηγεί άμεσα σε μια αντίστοιχη αλλαγή στην αντίστοιχη δισδιάστατη άποψη. Μερικά εργαλεία επιτρέπουν

στους σχεδιαστές να αρχίσουν με ένα εννοιολογικό ογκομετρικό μοντέλο και να βελτιώσουν επαυξητικά αυτό το ίδιο μοντέλο με τον προσδιορισμό εσωτερικών χώρων και, τελικά, με τα δομικά αντικείμενα, όπως τοίχοι, παράθυρα κ.ά. Σε άλλα περιβάλλοντα, οι σχεδιαστές μπορούν να αρχίσουν με την κατασκευή της δισδιάστατης γεωμετρίας και κατόπιν να μετασχηματίσουν αυτά τα σχέδια σε ένα μοντέλο βασισμένο σε τρισδιάστατο αντικείμενο, με τον προσδιορισμό ιδιοτήτων που καθορίζουν ύψη και άλλες ιδιότητες. Στο Σχήμα 3-3 η τοποθέτηση ενός παράθυρου σε ένα τοίχο δημιουργεί αυτόματα τον αντίστοιχο πίνακα. Όταν γίνεται μια αλλαγή π.χ. στο πλάτος από 1,50μ. σε 2,10μ., τότε ενημερώνεται αυτόματα και το 3-διάστατο μοντέλο. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και αμφίδρομα, (BIM curriculum lecture notes).



Σχήμα 3-3 Τροποποίηση-ενημέρωση αντικειμένου (Graphisoft – Archicad™)

Πολλά *βασισμένα-σε-συστατικά* (entity-based) περιβάλλοντα στηρίζονται στις εκτενείς βιβλιοθήκες προκαθορισμένων συστατικών ή τάξεις αντικειμένων (όπως τοίχοι, χωρίσματα, παράθυρα, πόρτες ή σκάλες). Σε αυτά τα περιβάλλοντα, τα αντικείμενα μπορούν να σχολιαστούν-τεκμηριωθούν με πληροφορίες που αφορούν τα υλικά, τους τύπους κατασκευής, τις ανοχές και πολλές άλλες πληροφορίες. Αυτός ο σχετικός πλούτος στοιχείων παρέχει μια πρόσθετη αξία στους σχεδιαστές, επειδή τα τρέχοντα περιβάλλοντα μοντελοποίησης μπορούν συχνά να συνδυαστούν με άλλα πακέτα λογισμικού που υποστηρίζουν την εκτίμηση δαπανών, τη διαχείριση του εργοταξίου, τη δομική ανάλυση, τη διαχείριση των εγκαταστάσεων και άλλων συντελεστών.

Τα *βασισμένα-σε-συστατικά* προγράμματα κανονικά προσφέρουν κατάλληλα μέσα και μεθόδους για την αποκόμιση χρήσιμων πληροφοριών, όπως ποσότητες υλικών και οικονομικών λογαριασμών (ποσότητα ορισμένων κατασκευαστικών στοιχείων, π.χ. Χ τετραγωνικά μέτρα χτιστού τοίχου πάχους 20 εκατοστών) κατά τη διάρκεια της εκτίμησης και της προσφοράς δαπανών. Ενώ είναι κατάλληλα για την κανονική και τη γεωμετρία επιπέδου, οι σχεδιαστές είναι πιθανό να βρουν τη μοντελοποίηση κτηρίων ή δομικών στοιχείων πολύπλοκης μορφολογίας ως μια δύσκολη εφαρμογή. υπάρχουν, επίσης, περιορισμοί στις ικανότητες λεπτομερούς τρισδιάστατης μοντελοποίησης για τη σχεδίαση των αρχιτεκτονικών συστατικών. Λίγα *βασισμένα-σε-συστατικά* προγράμματα υποστηρίζουν οποιοδήποτε είδος κατασκευαστικής δραστηριότητας που αφορά υπολογιστικά ελεγχόμενες μηχανές. Γενικά, συνδέονται συνήθως με την αρχική σχεδίαση. Επίσης, δεν έχουν εκτενείς παραμετρικές ικανότητες, ενώ επεκτείνονται στην προετοιμασία των λεπτομερών σχεδίων για τη φάση της κατασκευής.

3.2.5. Προγράμματα σχεδίασης ανάπτυξης

Η κύρια χρήση των προγραμμάτων σχεδίασης ανάπτυξης επικεντρώνεται στις φάσεις όπου ένα υπάρχον βασικό σχέδιο πρέπει να αναπτυχθεί σε ένα λειτουργικά, αισθητικά και τεχνικά επιλυμένο σχέδιο. Η χρήση των προγραμμάτων αυτών είναι συχνή στη σχεδίαση προϊόντων αλλά τελευταία κατακτούν όλο και περισσότερο έδαφος στην αρχιτεκτονική σχεδίαση. Δεδομένου ότι ο αρχικός προγραμματισμός τους δεν αφορούσε την οικοδομική βιομηχανία, οι σχεδιαστές δε θα πρέπει να περιμένουν ότι θα βρουν συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές λειτουργίες ή βιβλιοθήκες μοντέλων. Από άποψη χρόνου και

προσπάθειας, η σχεδίαση ανάπτυξης αφορά τον μεγαλύτερο όγκο εργασιών, ειδικά όταν συμπεριλαμβάνεται η σχεδίαση για την παραγωγή ή την κατασκευή κτηρίων ή προϊόντων.

Η πιο δομημένη διαδικασία σε αυτήν τη φάση της σχεδίασης απεικονίζεται στον ιεραρχικό τρόπο που είναι δομημένα τα περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης, όπως το CATIA™, το Pro/Engineer™ ή το SolidWorks™. Τα προγράμματα σχεδίασης ανάπτυξης είναι *βασισμένα-σε-χαρακτηριστικά* (features-based) και στη *καθοδηγούμενη-από-διαστάσεις* (dimensionally-driven) σχεδίαση και οπτικοποιούν τον τρόπο που ένα μοντέλο είναι εσωτερικά δομημένο μέσω μιας δενδρικής μορφής κειμένου και συμβόλων, (το Κεφάλαιο 4 καλύπτει ευρύτερα αυτές τις προσεγγίσεις). Τα κύρια στοιχεία μοντελοποίησης είναι τα *χαρακτηριστικά* (features) που δημιουργούνται από *επιφάνειες* (surfaces) και *στερεά* (solids), κατά ένα μεγάλο μέρος να υποστηρίζονται ως κατασκευαστική γεωμετρία ή γεωμετρία αναφοράς. Τα μοντέλα των τμημάτων αποτελούνται από *χαρακτηριστικά* (features), όπως οι *εξωθήσεις* (extrusions), οι *αποκοπές* (cuts) και οι *αποτμήσεις* (fillets), ενώ τα μέρη μπορούν να συνδυαστούν σε ένα μοντέλο συναρμολόγησης. Ακόμα κι αν συσχετίζονται με τα συστατικά των προηγούμενων αναφερθέντων *βασισμένων-σε-συστατικά* προγραμμάτων, τα *χαρακτηριστικά* (features) είναι σαφώς διαφορετικά, δεδομένου ότι δεν έχουν επισυναπτόμενο σε αυτά σημασιολογικό περιεχόμενο. Αντί αυτού, διάφορα *χαρακτηριστικά* (features) διαμορφώνουν τα συστατικά και έτσι αναπαριστούν τις δομικές μονάδες που επιτρέπουν στους σχεδιαστές να κατασκευάσουν τα συστατικά ή τα μέρη. Μόνο όταν τα τελευταία συγκεντρωθούν στα μοντέλα συναρμολόγησης μπορεί αυτά να αναπαραστήσουν τις σχεδιαστικές προθέσεις και να οπτικοποιήσουν τον τρόπο που ένα σχέδιο, τελικά, θα θέτονταν φυσικά (Σχήμα 3-2).

Η φύση της σχεδίασης ανάπτυξης είναι μια συνεργατική διαδικασία μεταξύ διαφορετικών επιστημόνων. Τέτοια προγράμματα ενσωματώνουν συχνά επεκτάσεις ή πρόσθετες ενότητες που διευκολύνουν διαφορετικών ειδών ποσοτικές αναλύσεις.

3.3. Βιβλιογραφία κεφαλαίου

BIM Curriculum – Lecture Notes (2007). Copyright© Graphisoft. <http://www.graphisoft.com>

Lee K. (1999). Principles of CAD/CAM/CAE systems. Reading, Mass: Addison-Wesley.

Mantyla M. (1988). An Introduction to Solid Modelling. Rockville, IN: Computer Science Press.

Mortenson M. E. (1985). Geometric Modelling. New York: John Wiley.

Mcmahon C., Browne J., (1998). CAD/CAM: Principles, Practice, and Manufacturing Management (2nd Edition). Addison Wesley Longman.

Oxman R., (2006). Theory and design in the first digital age, Design Studies, Volume 27, Issue 3, May 2006, Pages 229-265.

Schodek D., Bechthold M., Griggs K., Kao K. M., Steinberg M. (2004). Digital Design and Manufacturing. Hoboken, New Jersey: John Willey & Sons.

Κεφάλαιο 4

Σύνθετες Μέθοδοι Μοντελοποίησης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστούν οι σύνθετες μέθοδοι μοντελοποίησης. Τέτοιες μέθοδοι έχουν εξελιχθεί πρώτιστα για να υποστηρίξουν ψηφιακά περιβάλλοντα σχεδίασης κατά τη φάση σχεδίασης για την ανάπτυξη, και σχεδίασης παραγωγής ή κατασκευής – ιδιαίτερο υποσύνολο ολόκληρης της διαδικασίας σχεδίασης (βλ. Κεφάλαιο 1). Αυτά τα περιβάλλοντα ανάπτυξης της σχεδίασης, τα οποία συμπεριλαμβάνουν λογισμικό όπως CATIA™, SolidWorks™, Uni-graphics™, Pro/ENGINEER™, προορίζονται πρώτιστα να υποστηρίξουν τη λεπτομερή σχεδίαση προϊόντων και συναρμολογήσεών τους σε σχέση με τη χρήση τους και με την τελική παραγωγή τους. Ως συνέπεια αυτής της κατεύθυνσης, ο ακριβής τρόπος με τον οποίο τα μοντέλα δομούνται και διαχειρίζονται είναι διαφορετικός από άλλες περιοχές ψηφιακής σχεδίασης. Ο σχεδιαστής πρέπει αρχικά να έχει κατανοήσει το προβλεπόμενο σχέδιο, προτού ασχοληθεί με τον καθορισμό της ψηφιακής ανάπτυξής του. Τυπικά, τα σημαντικά βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά ολόκληρου του αντικειμένου πρέπει να είναι συνειδητά προεπιλεγμένα από τους σχεδιαστές. Η μετέπειτα κατασκευή του μοντέλου και ο καθορισμός των βασικών διαστάσεων πρέπει συχνά να γίνεται με πρόβλεψη για τις σχεδιαστικές αλλαγές που εμφανίζονται αναπόφευκτα κατά τη διάρκεια της σχεδίασης για την ανάπτυξη.

4.1. Δυσκολίες Γεωμετρικών μοντελοποιητών

Μια χαρακτηριστική δυσκολία που παρουσιάζουν οι γεωμετρικοί μοντελοποιητές όταν χρησιμοποιούνται στην σχεδίαση – ανάπτυξη προϊόντων έγκειται στο γεγονός ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται δεν περιλαμβάνουν το σημασιολογικό καθορισμό των μοντέλων. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι πολύ δύσκολο μια συστάδα από γεωμετρικά αντικείμενα (γραμμές, κύβοι, σφαίρες κλπ.) να παρέχει κάποια πληροφορία σχετικά με την αναπαράσταση ενός τμήματος κάποιου προϊόντος. Φυσικά ένας σχεδιαστής μπορεί και τα αναγνωρίζει χωρίς καμία δυσκολία.

Οι περιορισμοί των γεωμετρικών μοντελοποιητών μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Οι γεωμετρικές κατασκευαστικές μέθοδοι είναι πολύ στοιχειώδεις για τη πραγματική σχεδίαση,
- Τα γεωμετρικά μοντέλα έχουν μόνο ένα επίπεδο αφαίρεσης (διαστάσεις),
- Αλλαγές κατά τη σχεδίαση είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες,
- Το τελικό σχέδιο που προέρχεται από σύστημα γεωμετρίας CAD δεν περιέχει απαραίτητη πληροφορία για τα ψηφιακά περιβάλλοντα παραγωγής,
- Οι σχεδιαστικές προθέσεις συλλαμβάνονται ελάχιστα, εκτός από τις παραμετρικές σχέσεις,
- Η μοντελοποίηση με χαρακτηριστικά προσφέρει ένα επιπλέον επίπεδο πληροφορίας στα μοντέλα CAD προκειμένου να είναι :
 - χρησιμότερα στη σχεδίαση,
 - χρησιμότερα κατά τη συνεργασία με εφαρμογές Computer Aided Processing Planning και Computer Aided Manufacturing

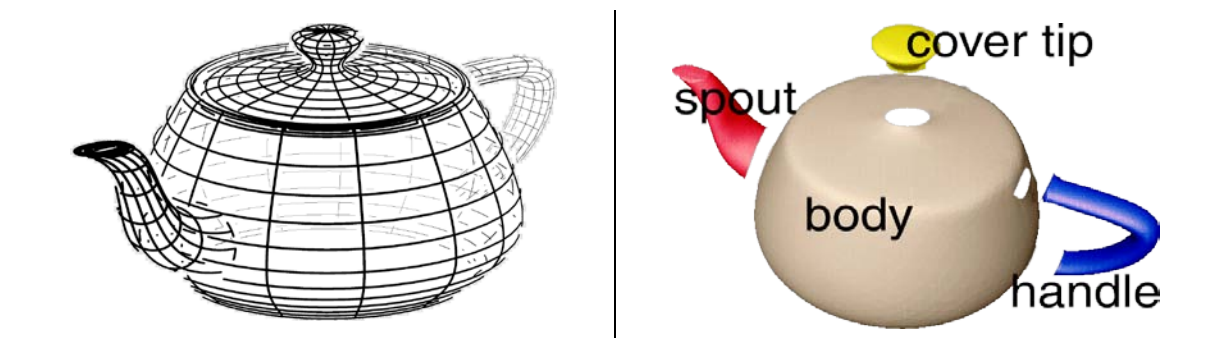
Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, θα πρέπει τα όποια συστατικά να αναπαρίστανται μέσω οντοτήτων που έχουν κάποια σημασία. Σε ένα αντικείμενο, εκτός από τις γεωμετρικές πληροφορίες που αφορούν τη μορφή του, πρέπει να ενσωματώνονται πληροφορίες που αφορούν τη λειτουργία του, τη συμπεριφορά του, κλπ. Οι οντότητες που ικανοποιούν μια περισσότερο σημασιολογική αναπαράσταση καλούνται *χαρακτηριστικά* (features).

4.1.1. Η έννοια του χαρακτηριστικού

Η έννοια του *χαρακτηριστικού* (feature) είναι κεντρική σε όλες τις δραστηριότητες των σύνθετων μεθόδων μοντελοποίησης – αποτελεί τη βασική δομική μονάδα ενός ευέλικτου παραμετρικού μοντέλου στα περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης.

Ένα *χαρακτηριστικό* (feature) μπορεί να είναι ένα σχήμα ή ιδιότητα ενός προϊόντος στα οποία ο σχεδιαστής μπορεί να συσχετίσει γνώση περί του σχεδιαζόμενου προϊόντος. Τα

χαρακτηριστικά (feature) είναι φορείς πληροφορίας, και τα οποία μοντελοποιούν τις διάφορες σχέσεις – συσχετίσεις των τμημάτων – συστατικών των προϊόντων.



Σχήμα 4-1 Γεωμετρικό μοντέλο (αριστερά) – Σημασιολογικό μοντέλο (δεξιά)

Κατά αυτό τον τρόπο ένα χαρακτηριστικό (feature) φέρει πληροφορία περί γεωμετρίας και σημασιολογίας (σημασία / κατανόηση). Το Σχήμα 4-1 παρουσιάζει ένα αντικείμενο, στην πρώτη περίπτωση (αριστερά) ως μοντέλο σε ένα γεωμετρικό μοντελοποιητή. Ο σχεδιαστής που μελετά το αντικείμενο θα πρέπει κάθε φορά που εισάγει μια τροποποίηση να ανανεώνει όλα τα επιμέρους τμήματα του μοντέλου. Στη δεύτερη περίπτωση στο Σχήμα 4-1 (δεξιά) το αντικείμενο παρουσιάζεται ως μοντέλο το οποίο συστήνεται αναλυτικά από τα χαρακτηριστικά που το αποτελούν. Σένα τέτοιο περιβάλλον κάθε αλλαγή σε ένα χαρακτηριστικό ενημερώνει αυτόματα όσα χαρακτηριστικά επηρεάζονται από αυτό. Ένα χαρακτηριστικό (feature) μπορεί να αποτελεί:

- φυσικό στοιχείο ή τμήμα
- μπορεί να προβληθεί σε ένα γενικό σχήμα
- έχει σχεδιαστική σημασία
- έχει προβλέψιμες ιδιότητες

Ο σχεδιαστής μπορεί να ελέγχει τις εσωτερικές σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών μερών μέσω των περιορισμών και των με βάση τις διαστάσεις καθοδηγούμενων τεχνικών μοντελοποίησης. Αυτές οι πολλαπλές επιλογές ελέγχου είναι ιδιαίτερα ισχυρές κατά την παραγωγή των περιπτώσεων (instances) ή των μοντελοποιήσεων ενός βασικού μοντέλου

και των τμημάτων που το αποτελούν, στην εξερεύνηση των παραλλαγών ή των σχεδιαστικών επιλογών. Τα εξειδικευμένα χαρακτηριστικά είναι διαθέσιμα σε πολλά συστήματα τεχνικών μοντελοποίησης για τις εφαρμογές. Τα *χαρακτηριστικά* (feature) μπορούν να ενσωματώνουν αυτοματοποιημένες λειτουργίες που, ως ένα ορισμένο βαθμό, επιτρέπουν στους σχεδιαστές να εξετάζουν τη λειτουργικότητα, τις ιδιότητες υλικών ή τα χαρακτηριστικά διαδικασιών σε επιλεγμένες δραστηριότητες κατά τη σχεδίαση των προϊόντων.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

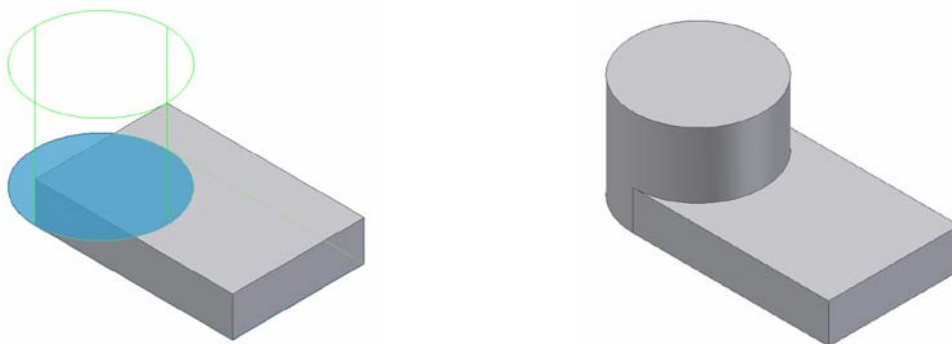
- Παρουσίαση μοντέλου βασισμένο στη λειτουργία σε ένα ενοποιημένο μοντέλο δεδομένων
- βελτίωση σύλληψης σχεδιαστικού προθέσεων με την έναρξη των σχεδιαστικών διαδικασιών
- βελτίωση αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη-συστήματος
- βελτίωση επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων CAx

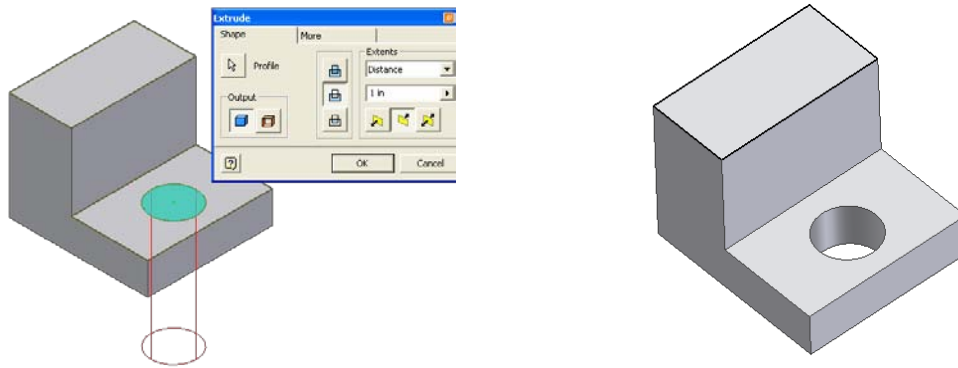
Όταν κατά τη διαδικασία της σχεδίασης ένα εννοιολογικό προσχέδιο αναπτύσσεται σε ένα σχέδιο που μπορεί να κατασκευαστεί ή να παραχθεί βιομηχανικά, ικανότητες όπως η *παραμετρική μοντελοποίηση* (parametric modelling), η *σχεδίαση βασισμένη-σε-χαρακτηριστικά* (feature-based design) και η *με βάση τις διαστάσεις καθοδηγούμενη σχεδίαση* (dimension-driven design), είναι ανεκτίμητες. Τα περισσότερα προϊόντα αποτελούνται από πολυάριθμα επιμέρους συστατικά. Οι σχεδιαστές πρέπει συχνά να επαναλάβουν τις εξαρτήσεις και τις σχέσεις μεταξύ των τμημάτων των συναρμολογήσεων. Τα μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) διευθετούν τα πολλαπλά παραμετρικά τμήματα ενός προϊόντος, και παράλληλα επιτρέπουν το γεωμετρικό και διαστασιολογικό συντονισμό τους στο ευρύτερο πλαίσιο των διαδικασιών της σχεδίασης. Οι τεχνικές συναρμολόγησης (assembly) είναι, επίσης, χρήσιμες, όταν πρέπει να διαμορφωθούν μέρη βασισμένα σε μια γενική σχεδιαστική έννοια ή μια μορφή.

4.2. Μοντελοποίηση βασισμένη-σε-χαρακτηριστικά

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, σε σύγκριση με τα γενικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης, υπάρχουν θεμελιώδεις διαφορές στον τρόπο που τα μοντέλα σε ένα περιβάλλον σχεδίασης για την ανάπτυξη κατασκευάζονται, δομούνται και αρθρώνονται γύρω από το *χαρακτηριστικό* (feature), που αποτελεί τη βασική δομική μονάδα των περιβαλλόντων σχεδίασης για την ανάπτυξη. Όπως αναμένεται, δεν υπάρχει μόνο ένας τρόπος να κατασκευαστεί ένα επιτυχές μοντέλο *βασισμένο σε χαρακτηριστικά* (feature-based). Οι σχέσεις γονέας-παιδί, οι χρονολογικές και λογικές συνδέσεις μεταξύ των *χαρακτηριστικών*, πρέπει να προσεγγιστούν σε ένα προγενέστερο στάδιο, πριν από την κατασκευή του μοντέλου μέσα στο λογισμικό. Το ίδιο πράγμα ισχύει γενικά για πολλά από τα *καθοδηγούμενα με βάση τις διαστάσεις* (dimensionally-driven) χαρακτηριστικά ενός μοντέλου. Οι κρίσιμες μεταβλητές πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά, πριν από την είσοδό τους στη διαδικασία κατασκευής σε ένα μοντέλο.

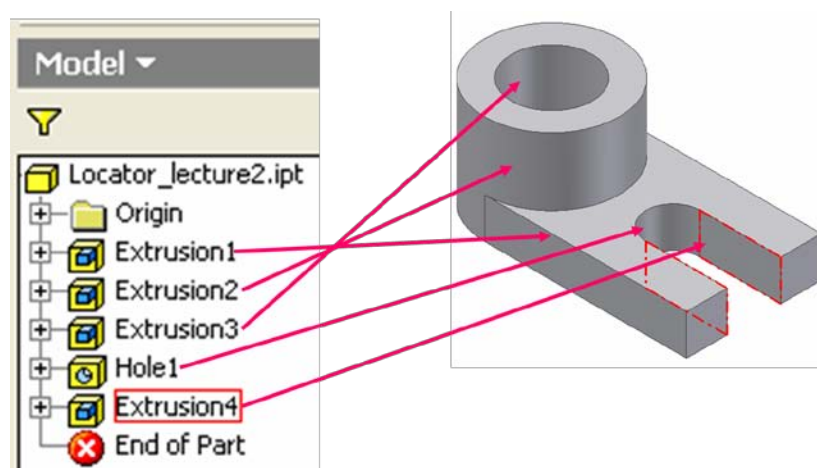
Τα πρωταρχικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν τις διάφορες μορφές μέσω τεχνικών εξώθησης, ανύψωσης, σάρωσης ή των τεχνικών περιστροφής, καθώς επίσης και με την απόδοση πάχους στις επιφάνειες, προκειμένου να μετατραπούν σε στερεά. Αξίζει να σημειωθεί ότι μερικά πρωταρχικά χαρακτηριστικά μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν για την αφαίρεση μορφών με τον τρόπο των τελεστών Boole – οι τρύπες, για παράδειγμα, μπορούν να είναι εξωθημένοι κύκλοι που γίνονται κύλινδροι και κατόπιν αποκόπτονται (Σχήμα 4-2). Τα χαρακτηριστικά μπορούν έτσι να είναι είτε πλήρη στερεά καθώς επίσης και κενά στερεά, (Σχήμα 4-2).





Σχήμα 4-2 Δημιουργία χαρακτηριστικών μέσω πράξεων Boole

Η κατασκευή του μοντέλου αρχίζει συνήθως με το χαρακτηριστικό – βάση, ένα πρωταρχικό χαρακτηριστικό που, όπως το όνομά του θέτει, γίνεται η βάση ενός τμήματος ή ενός συστατικού στοιχείου. Τα δευτεροβάθμια χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται ουσιαστικά για να τροποποιήσουν τα αρχικά χαρακτηριστικά. Αυτά περιλαμβάνουν τις καμπυλώσεις (τόξα καμπυλότητας (fillet)) λοξοτομές, ή τη δημιουργία κελύφους των χαρακτηριστικών, καθώς επίσης και διάφορες πιο εξειδικευμένες τεχνικές μοντελοποίησης, κλιμάκωση, μορφοποίηση, καθρεπτισμός και επαναλήψεις (pattern). Όπως ήδη έχει αναφερθεί, όλα τα χαρακτηριστικά παρατίθενται, συνήθως κατά σειρά σύμφωνα με τις αλληλο-εξαρτήσεις τους, σε μια δενδρικής μορφής γραφική παρουσίαση, που απεικονίζει – οπτικοποιεί την εσωτερική δομή του μοντέλου, (Σχήμα 4-3).



Σχήμα 4-3 Ιστορικό δημιουργίας μοντέλου

Ο σχεδιαστής μπορεί κανονικά να καταστείλει προσωρινά κάποια επιλεγμένα χαρακτηριστικά – έτσι εκείνα διατηρούνται στο μοντέλο, αλλά δεν είναι ούτε ορατά ούτε ενεργά. Το μοντέλο αξιολογείται γενικά για την εσωτερική λογική του χωρίς τα κατεσταλμένα χαρακτηριστικά. Τα μηνύματα σφάλματος από εκείνα τα χαρακτηριστικά μπορούν προσωρινά να εξαφανιστούν, ενώ άλλα εμφανίζονται τώρα επειδή ορισμένες εξαρτήσεις των χαρακτηριστικών του μοντέλου δεν μπορούν πλέον να επικυρωθούν. Η καταστολή χαρακτηριστικών είναι, επίσης, ένα βασικό στοιχείο μοντελοποιήσεων μερών, όπως θα δούμε αργότερα στο παρόν κεφάλαιο.

Προκειμένου να καλύψει τις σχεδιαστικές ανάγκες όσων το χρησιμοποιούν ένα περιβάλλον σχεδίασης βασισμένης σε χαρακτηριστικά πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις.

- Παροχή στρατηγικών-διαδικασιών προσανατολισμένων στο χρήστη για τη μοντελοποίηση σχεδίου με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά
- Παροχή εργαλείων για την επίτευξη γρήγορης και διαισθητικής γεωμετρικής δημιουργίας
- Αναπαράσταση παραμετρικών περιορισμών και σχετικής τοποθέτησης των επιμέρους συστατικών για διάδοση σχεδιαστικών αλλαγών σε όλο το μοντέλο του αντικειμένου
- Παροχή κατάλληλων βιβλιοθηκών με ομάδες χαρακτηριστικών, η οποία να είναι επεκτάσιμη από το χρήστη
- Γενικά χαρακτηριστικά τα οποία να κωδικοποιούν τα συχνά χρησιμοποιούμενα αντικείμενα
- Χαρακτηριστικά που φέρουν πληροφορία για το πρόβλημα πρέπει να κρατούνται ξεχωριστά
- Παροχή κατάλληλων ρουτινών για αξιολόγηση χαρακτηριστικών

Σε ένα περιβάλλον σχεδίασης βασισμένης σε χαρακτηριστικά παρέχονται στους σχεδιαστές μια ποικιλία ειδών από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Τέτοια είδη χαρακτηριστικών μπορούν να περιλαμβάνουν:

- Μορφολογικά (στοιχεία γεωμετρίας)

- Λειτουργικά (σχεδιαστικές προθέσεις, παράμετροι λειτουργίας, κλπ.)
- Ανοχών (παράγωγα από μεγέθη, θέση, κλπ.)
- Υλικών (τύπος υλικού, χειρισμός, κλπ.)
- Συναρμολόγησης (σχετικές θέσεις, σχέσεις κινήσεων, κλπ.)

Μια τυπική διαδικασία σχεδίασης ενός προϊόντος σε ένα περιβάλλον σχεδίασης βασισμένης σε χαρακτηριστικά περιλαμβάνει μια αλληλουχία δράσεων. Αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τα παρακάτω στοιχεία.

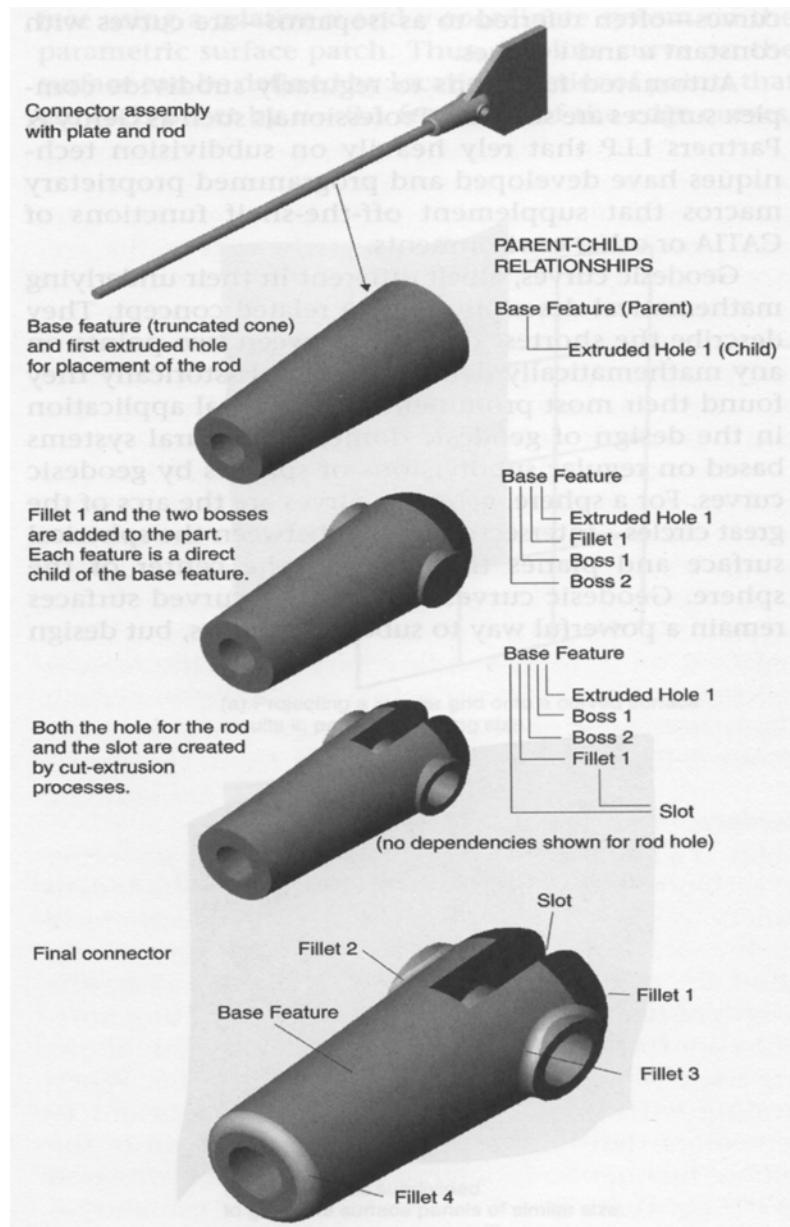
- Τα τμήματα δημιουργούνται απευθείας με χρήση χαρακτηριστικών. Εν συνεχεία το γεωμετρικό μοντέλο παράγεται από το μοντέλο των χαρακτηριστικών
- Μια βιβλιοθήκη χαρακτηριστικών είναι απαραίτητο να διατίθεται στους σχεδιαστές (διατίθεται στα περισσότερα συστήματα CAD)
- Η σύνθεση εξελίσσεται μέσω σχεδιαστικών χαρακτηριστικών (προσθήκη, αφαίρεση χαρακτηριστικού-βάση)
- Περιορισμοί και σχετικές θέσεις κωδικοποιούνται στα χαρακτηριστικά, και με αυτό τον τρόπο διαδίδονται οι όποιες σχεδιαστικές τροποποιήσεις
- Οι σχεδιαστές μπορούν να χειριστούν ως χαρακτηριστικό ένα ολόκληρο τμήμα επιτρέποντας έτσι την δημιουργία εναλλακτικών παραλλαγών

4.2.1. Χαρακτηριστικό-βάση

Η επιλογή ενός κατάλληλου αρχικού χαρακτηριστικού ως χαρακτηριστικό-βάση είναι κρίσιμης σπουδαιότητας. Δεδομένου ότι τι σχέδιο εξελίσσεται, το ψηφιακό μοντέλο – και το *χαρακτηριστικό-βάση* (base feature) – πρέπει να ενημερωθεί συχνά για να απεικονίσει την πιο πρόσφατη σχεδιαστική επανάληψη – διαδικασία. Δυστυχώς, δεν είναι όλες οι αλλαγές εξίσου εφικτές σε όλα τα *χαρακτηριστικά-βάσεις* (base feature). Αντί αυτού, κάθε *χαρακτηριστικό-βάση* (base feature) επιτρέπει ορισμένες αλλαγές που ολοκληρώνονται εύκολα, ενώ άλλες μπορούν να είναι δύσκολο να συμβούν χωρίς σημαντική επανακατασκευή του μοντέλου. Αυτή η ανάγκη για λεπτομερή προγραμματισμό του ψηφιακού μοντέλου είναι πιθανώς ο απαγορευτικός παράγοντας στη χρήση περιβαλλόντων *βασισμένων στα χαρακτηριστικά* (feature-based) κατά τη διάρκεια των αρχικών φάσεων

σχεδίασης, με τις απρόβλεπτες σχεδιαστικές αλλαγές τους. Το *χαρακτηριστικό-βάση* (base feature) είναι ένα πολύ σημαντικό πλαίσιο επάνω στο οποίο όλα τα άλλα στοιχεία δομούνται και στη συνέχεια εξαρτούν από αυτό την ύπαρξή τους. Για να γίνουν κατανοητά μερικά από τα ζητήματα που περιλαμβάνονται στην επιλογή ενός κατάλληλου χαρακτηριστικού-βάσης (base feature), ας θεωρηθεί το μοντέλο του χαλύβδινου συνδέσμου που εμφανίζεται στο Σχήμα 4-4, ένα απλουστευμένο συστατικό ενός δομικού μέλους που συνδέει μια ράβδο με μια χαλύβδινη πλάκα.

Η χαλύβδινη πλάκα μπορεί να παρεμβληθεί στην αυλάκωση του συνδέσμου και να πακτωθεί με μπουλόνια, ενώ η ράβδος πρόκειται να βιδωθεί στη νηματοειδή τρύπα από την άλλη πλευρά. Το *χαρακτηριστικό-βάση* (base feature) του συστατικού που εμφανίζεται έχει τη μορφή ενός περικομμένου κώνου και μπορεί να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας μια περιστροφή, μια εξώθηση, μια σάρωση ή την τεχνική *ανύψωσης* (lofting). Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής εξαρτάται από ποια χαρακτηριστικά διαστάσεων ή τμημάτων θα πρέπει να τροποποιηθούν σε όλη τη διαδικασία σχεδίασης. Σε αυτή την περίπτωση, η επιλογή του *χαρακτηριστικού-βάσης* (base feature) πρέπει να προβλέψει ότι οι διαφορετικές εκδόσεις του συνδέσμου πρέπει να προσαρμόσουν πλάκες διαφορετικών παχών και ράβδους ποικίλων διαμέτρων.



Σχήμα 4-4 Μοντέλο συνδέσμου βασισμένο σε χαρακτηριστικά

Σε μια πρώτη στρατηγική μοντελοποίησης, το *χαρακτηριστικό-βάση* (base feature) δημιουργείται από την εξώθηση ενός κύκλου με σταδιακή μείωση διαμέτρου. Οι διαστάσεις που καθοδηγούν τη μορφή του χαρακτηριστικού είναι η ακτίνα $R1$ του κύκλου, το μήκος $L1$ της εξώθησης και η γωνία σταδιακής μείωσης α . Κάθε μια από τις διαστάσεις μπορεί να τροποποιηθεί ανεξάρτητα και σε οποιοδήποτε σημείο στη διαδικασία σχεδίασης, αλλά είναι δυσκίνητο να αλλάξει η ακτίνα του περικομμένου κώνου στη μια πλευρά χωρίς αυτό να επηρεάσει και την άλλη πλευρά. Η αύξηση της ακτίνας Rt , που μπορεί να είναι

απαραίτητη προκειμένου να προσαρμοστεί μια μεγάλη ράβδος, διευρύνει αυτόματα τη διάμετρο του κώνου στην πλευρά της σχισμής, εκτός αν τροποποιείται συγχρόνως η γωνία σταδιακής μείωσης α . Αυτή η στρατηγική μοντελοποίησης είναι ανεπιθύμητη, εάν ο σχεδιαστής επιθυμεί να προσαρμόσει το χαρακτηριστικό-βάση σε μεταβαλλόμενες διαμέτρους ράβδων χωρίς να επηρεάζεται η πλευρά του συνδέσμου με τη σχισμή. Η εναλλακτική τεχνική *ανύψωσης* (lofting) αποτελείται:

α) από τη σχεδιογράφηση των δύο καταληκτικών κύκλων στα παράλληλα επίπεδα κατασκευής σε κάθε άκρη του χαρακτηριστικού-βάση, και

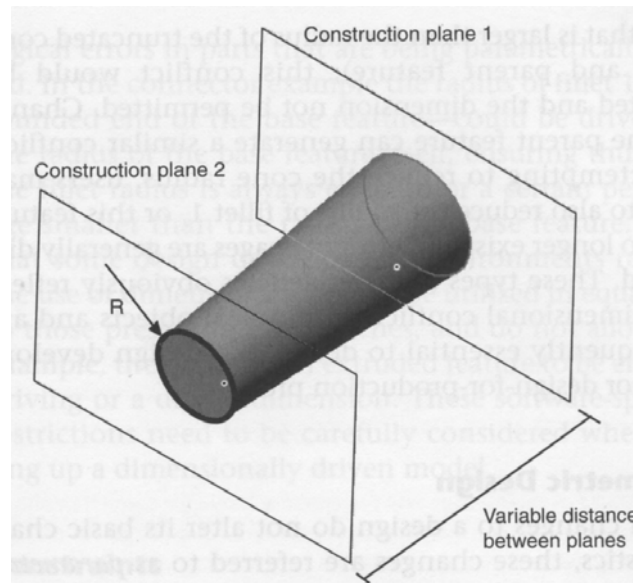
β) από την ανύψωση (lofting) του περικομμένου κώνου.

Και οι δύο άκρες αυτού του *χαρακτηριστικού-βάση* μπορούν τώρα να τροποποιηθούν ανεξάρτητα από την αλλαγή της ακτίνας των κύκλων. Αυτό το μοντέλο μπορεί να προσαρμόσει ευκολότερα αλλαγές που αφορούν το πάχος λαμαρινών ή τη διάμετρο ράβδων.

Τα *χαρακτηριστικό-βάση* είναι στρογγυλό και συμμετρικό κατά άξονα – δε θα ήταν ευκολότερο να χρησιμοποιηθεί μια τεχνική *περιστροφής* (revolve); Εδώ ο σχεδιαστής δημιουργεί αρχικά το σχεδιάγραμμα του προφίλ και έπειτα αυτό περιστρέφεται πλήρως γύρω από την κεντρική γραμμή-άξονα του κώνου. Οι άκρες στο προφίλ μπορούν να στρογγυλέψουν, για να ενσωματώσουν τα *τόξα καμπυλότητας* (fillet) του τελικού σχεδίου στο *χαρακτηριστικό-βάση*. Είναι αυτή η προσέγγιση μοντελοποίησης καλύτερη από τις δύο προηγούμενες; Είναι αμφίβολο, δεδομένου ότι είναι προφανώς τώρα δυσκίνητη η επιμέλεια του μοντέλου για να επιτρέψει τις επιθυμητές παραλλαγές. Για να κάνει οποιοσδήποτε αλλαγές ο σχεδιαστής, πρέπει να τροποποιήσει το σχεδιάγραμμα του προφίλ.

Γενικά, οι σχεδιαστές τείνουν να διανείμουν το διαστασιολογικό έλεγχο του μέρους-βάση μεταξύ των διαστάσεων σκίτσων και των διαστάσεων που καθοδηγούν άμεσα το χαρακτηριστικό. Η απόσταση μεταξύ των επιπέδων κατασκευής στη δεύτερη προσέγγιση μοντελοποίησης, π.χ., είναι μια διάσταση χαρακτηριστικών που επιτρέπει την αλλαγή του μήκους του μοντέλου αλλά δεν έχει επιπτώσεις στον κώνο με οποιοδήποτε άλλο τρόπο. Η γωνία περιστροφής του χαρακτηριστικού παραμένει αχρησιμοποίητη, επειδή κανένας

σύνδεσμος δε χάνει ένα τμήμα του περικομμένου κώνου. Ενώ είναι κατανοητό ότι οι επιθυμητές τροποποιήσεις αυτού του απλού συστατικού θα μπορούσαν να επιτευχθούν με οποιαδήποτε από τις τρεις τεχνικές μοντελοποίησης, μια επιτυχής μοντελοποίηση βασισμένη-σε-χαρακτηριστικό (feature-based) για τα πιο σύνθετα προϊόντα μπορεί να απαιτήσει μια συγκεκριμένη προσέγγιση μοντελοποίησης προκειμένου να εφαρμοστούν οι επιθυμητές παραλλαγές (variations), (Σχήμα 4-5).



Σχήμα 4-5 Μοντελοποίηση στο χαρακτηριστικό-βάση: διαδικασία ανύψωσης (lofting)

Στην πράξη δεν είναι ασυνήθιστο να επαναδομηθεί ένα μοντέλο εντελώς, καθώς το σχέδιο προχωρεί, επειδή οι λεπτομερείς τεχνικές ερωτήσεις απαιτούν τις αλλαγές που δεν προβλέφθηκαν αρχικά. Ευτυχώς, η κατασκευή του ίδιου μέρους βασισμένου σε ένα διαφορετικό πρωταρχικό χαρακτηριστικό, και ενδεχομένως η ενσωμάτωση άλλων αλλαγών, ολοκληρώνονται συνήθως σε ένα μέρος του χρόνου που απαιτείται για την πρώτη έκδοση. Μερικές φορές, οι σχεδιαστές μπορούν να είναι σε θέση να αναδιοργανώσουν τις εσωτερικές εξαρτήσεις των χαρακτηριστικών με την αλλαγή της θέσης των μεμονωμένων χαρακτηριστικών στη γραφική παρουσίαση των χαρακτηριστικών. Αυτή η πράξη μπορεί έτσι να επιτρέψει να εφαρμοστούν τύποι αλλαγών οι οποίοι θα ήταν αδύνατοι με την αρχική οργάνωση των χαρακτηριστικών.

4.2.2. Σχέσεις γονέας-παιδί

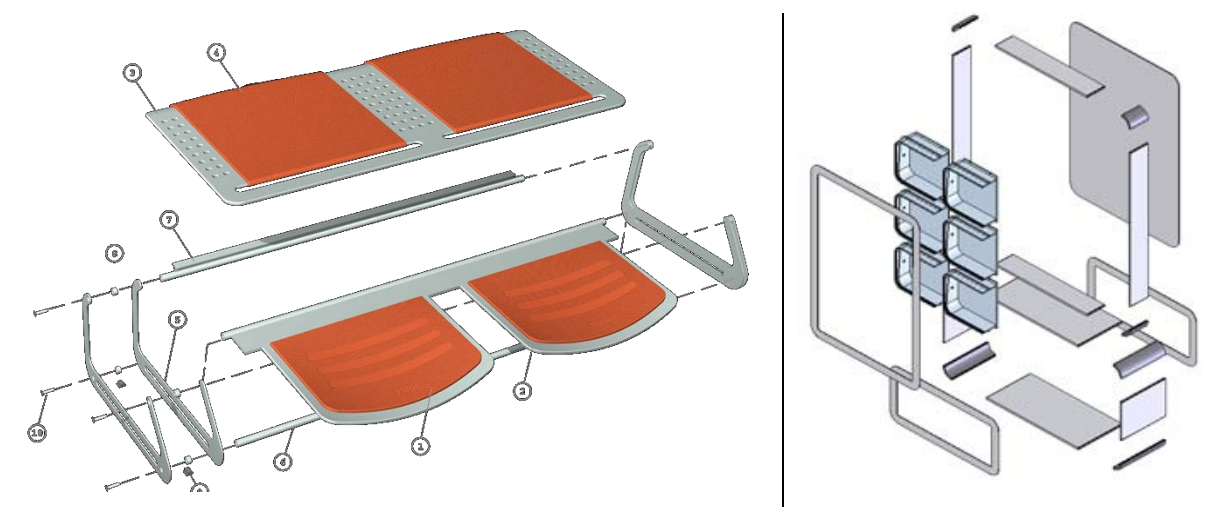
Οι λογικές συνδέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών αναφέρονται γενικά ως σχέσεις γονέα-παιδιών. Ένα *χαρακτηριστικό-γονέας*– π.χ. το χαρακτηριστικό ‘βάση του συνδέσμου’ στο προηγούμενο παράδειγμα – μπορεί να επαυξηθεί από τα χαρακτηριστικά παιδιών όπως τα *τόξα καμπυλότητας (fillet)*. Γενικά, οι *γονείς* μπορούν να υπάρξουν χωρίς *παιδιά*, , αλλά τα *παιδιά* δεν μπορούν να υπάρξουν χωρίς *γονείς*. Η διαγραφή του *χαρακτηριστικού* ‘βάση του συνδέσμου’ αφαιρεί προφανώς τη μορφή που στρογγυλεύει από το *τόξο καμπυλότητας (fillet)*, κάνοντας κατά συνέπεια την ύπαρξη του χαρακτηριστικού ‘τόξο καμπυλότητας (fillet)-1’ αδύνατη. Η τρύπα για τη ράβδο εξαρτάται από την ύπαρξη της επίδειξης έδρας επάνω στην οποία σχηματίστηκε ο κύκλος για τη διαδικασία αποκοπή-εξώθησης.

Ένα *χαρακτηριστικό-παιδί* μπορεί να έχει διαφορετικά *χαρακτηριστικά-γονέα*, κάθε ένα από τα οποία πρέπει να υπάρξει για να υπάρχει το παιδί. Η διαγραφή οποιωνδήποτε από τους διαφορετικούς γονείς θα διαγράψει, επίσης, και το εξαρτώμενο παιδί. Τα *χαρακτηριστικό* ‘τόξο καμπυλότητας (fillet)-3’, π.χ., συσχετίζεται με το *χαρακτηριστικό* ‘βάση’, το κύριο χαρακτηριστικό, και με το *χαρακτηριστικό* ‘τόξο καμπυλότητας (fillet)-1’. Αυτά τα τρία χαρακτηριστικά, π.χ., τα *χαρακτηριστικό* ‘boss’, θα επιφέρει άμεση διαγραφή του *χαρακτηριστικού-παιδί* ‘τόξο καμπυλότητας (fillet)-3’, ακόμα κι αν άλλοι δύο γονείς υπάρχουν ακόμα. Οι σχέσεις γονέα-παιδιών, επίσης, διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο, όταν γίνονται οι αλλαγές σε ένα μοντέλο. Μια διαστασιολογική αλλαγή σε ένα *χαρακτηριστικό-γονέα* μπορεί να έχει επιπτώσεις σε οποιοδήποτε από τα παιδιά του, και οι αλλαγές σε ένα *χαρακτηριστικό-παιδί* μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο γονέα του. Τα *χαρακτηριστικά* που δε συνδέονται μέσω σχέσεων γονέας-παιδί μπορούν να αλλάξουν χωρίς οποιαδήποτε αμοιβαία αποτελέσματα. Ο έλεγχος της εσωτερικής λογικής ενός μοντέλου βασισμένου-σε-χαρακτηριστικά πραγματοποιείται μερικώς μέσω των σχέσεων γονέας-παιδιών. Οι αλλαγές σε ένα *τόξο καμπυλότητας (fillet)* μπορούν να είναι ασυμβίβαστες είτε με τα παιδιά του, είτε αντίστροφα. Στο παράδειγμα του συνδέσμου, οι σχεδιαστές μπορεί να προσπαθούσαν να προσδιορίσουν ένα *τόξο καμπυλότητας-1* (*χαρακτηριστικό-παιδί*) με ακτίνα η οποία είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα του περικυκλωμένου κώνου (βάση και *χαρακτηριστικό* γονέας). Αυτή η σύγκρουση θα ανιχνευόταν και δε θα επιτρεπόταν η διάσταση. Η αλλαγή του *χαρακτηριστικού-γονέα* μπορεί να

παραγάγει μια όμοια σύγκρουση: στην προσπάθεια να μειωθεί η ακτίνα των κώνων, οι σχεδιαστές μπορεί να πρέπει να μειώσουν, επίσης, την ακτίνα του 'τόξο καμπυλότητας -1', ή αυτό τα χαρακτηριστικό δεν μπορεί πλέον να υπάρξει και γενικά παρουσιάζονται τα αντίστοιχα μηνύματα σφάλματος. Αυτοί οι τύποι εξαρτήσεων απεικονίζουν προφανώς τις πραγματικές διαστασιολογικές συγκρούσεις των φυσικών αντικειμένων και είναι συνεπώς ουσιαστικό να ανιχνεύονται σε μια διαδικασία ανάπτυξης σχεδίου ή κατά τη σχεδίαση για την παραγωγή.

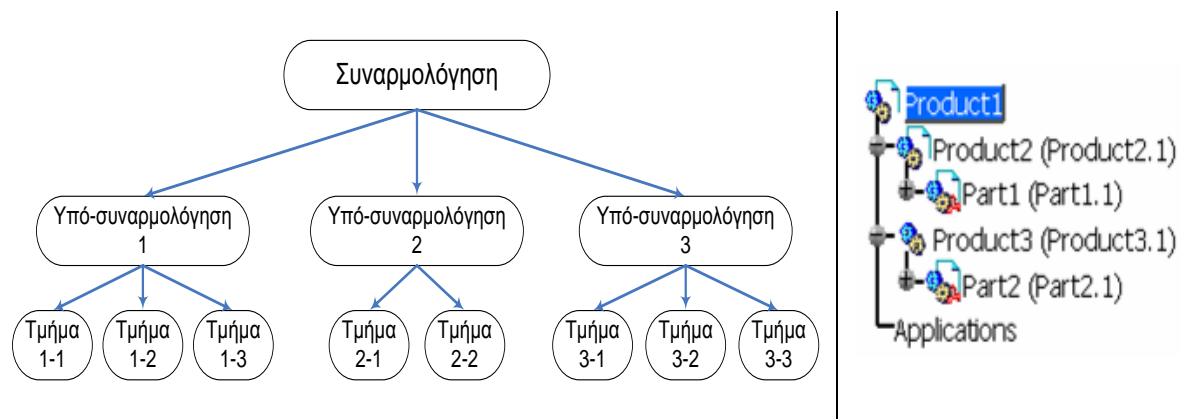
4.3. Μοντέλα Συναρμολόγησης

Τα περισσότερα προϊόντα στην πραγματικότητα αποτελούνται από συναρμολογήσεις μικρότερων διακριτών συστατικών τμημάτων (Σχήμα 4-6). Σε οποιοδήποτε σχέδιο οποιασδήποτε πολυπλοκότητας, τα βασικά ιδρυτικά στοιχεία κατασκευάζονται συχνά με διάφορες ευδιάκριτες διαδικασίες κατασκευής – συχνά σε διαφορετικές τοποθεσίες και από διαφορετικές μηχανές – και διαμορφώνονται στη συνέχεια στις υπό-συναρμολογήσεις. Αυτές οι υπό-συναρμολογήσεις συγκεντρώνονται στη συνέχεια για να κατασκευαστούν τα τελικά αντικείμενα. Ένας απλός διακόπτης, παραδείγματος χάριν, με τη σαφώς καθορισμένη λειτουργία του, αναπαρίσταται συχνά στα πλαίσια σχεδίασης ενός φωτιστικού ως στοιχείο που συναθροίζεται μαζί με άλλα συστατικά του αντικειμένου. Αλλά είναι προφανές ότι ο ίδιος ο διακόπτης αποτελείται από πολλά υπό-στοιχεία και τμήματα



Σχήμα 4-6 Συναρμολογήσεις αντικειμένων

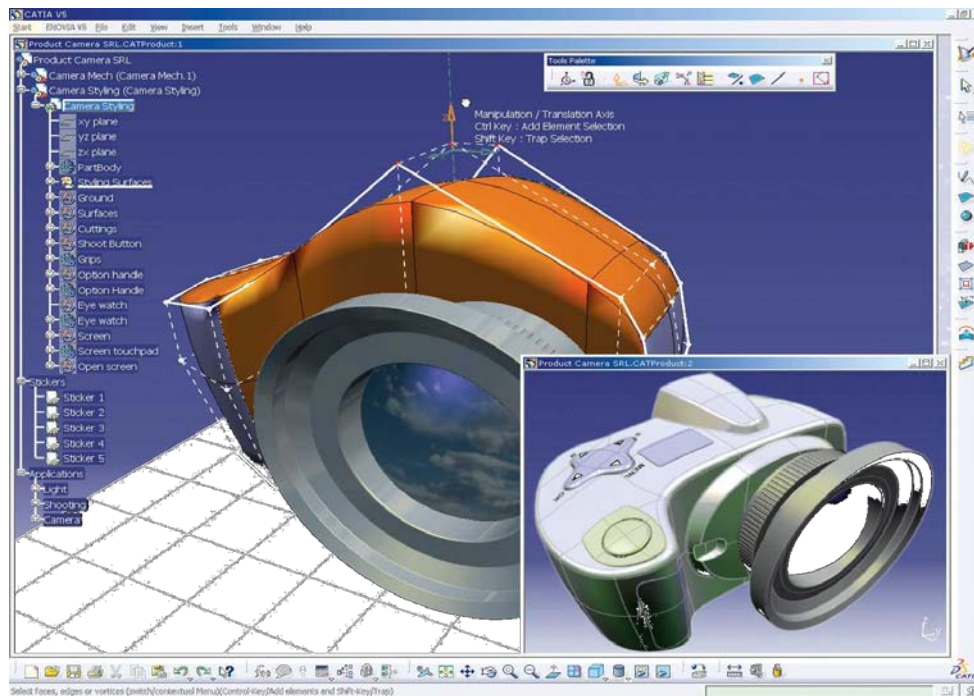
Τα περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης έχουν την ικανότητα να συγκεντρώσουν τα πολλαπλά *βασισμένα-σε-χαρακτηριστικά* παραμετρικά μοντέλα σε ένα ενιαίο αρχείο *συναρμολόγησης* (assembly), και να μιμηθούν τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα μεμονωμένα μέρη θα είχαν τεθεί μαζί στο τελικό προϊόν (Σχήμα 4-7). Τέτοια μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) είναι εντελώς διαφορετικά από τη διευθέτηση μιας σειράς γεωμετρικών μοντέλων με κάποιο οπτικά πειστικό τρόπο σε ένα ενιαίο αρχείο. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το πλαίσιο *συναρμολόγησης* (assembly) επιτρέπει μια σε βάθος κατανόηση, εάν μια προβλεπόμενη μηχανική και λειτουργική σύνδεση είναι πιθανό να λειτουργήσει πραγματικά ή όχι.



Σχήμα 4-7 Ανάπτυξη μοντέλου συναρμολόγησης

Τα μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) έχουν την ικανότητα να αναπαριστούν πληροφορίες που σχετίζονται με:

- Τις ιεραρχικές σχέσεις μεταξύ των τμημάτων, των υπό-συναρμολογήσεων και των συναρμολογήσεων, (Σχήμα 4-8),
- Τους όρους ταιριάσματος (γεωμετρικούς περιορισμούς, θέσεις υπό-συναρμολόγησης),
- Τους βαθμούς ελευθερίας στη κίνηση των τμημάτων των αντικειμένων (πιθανές συσχετιζόμενες κινήσεις τμημάτων ή υπό-συναρμολογήσεων).



Σχήμα 4-8 Περιβάλλον CATIA

Σε αυτά τα σχεδιαστικά περιβάλλοντα γενικά τέτοιου είδους πληροφορίες επιτρέπουν

- Την αποκάλυψη αλληλο-εισοχής μεταξύ τμημάτων – συστατικών,
- Την ενδεδειγμένη προσομοίωση κινήσεων των επιμέρους τμημάτων – συστατικών,
- Την ικανοποίηση περιορισμών, (σύνθεσης, εργονομίας, αισθητικής, μηχανικής) (Σχήμα 4-8),
- Την αξιολόγηση σχεδίου συναρμολόγησης – παραγωγής για αποκάλυψη αστοχιών

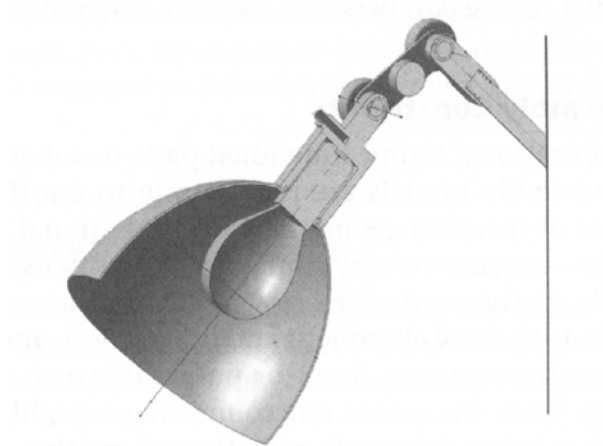
Σε ένα πλαίσιο σχεδίασης, μια αλλαγή σε ένα μέρος μιας μεγαλύτερης συναρμολόγησης ενός σύνθετου προϊόντος τυπικά απαιτεί μια αλλαγή στην αναλογία των μεγεθών ή στην διαμόρφωση κάποιου άλλου μέρους, ή ένας ανασχηματισμός ενός μέρους υπονοεί μια ανακατασκευή ενός συνόλου. Πολλά μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) υποστηρίζουν αυτήν την ανακατασκευή. Βεβαίως, συμβαίνει συχνά να τροποποιείται κάποια βασική παράμετρος μορφής καθώς το σχέδιο αναπτύσσεται – για παράδειγμα, να διαφοροποιείται η διάμετρος μιας πέννας, για να την κάνει να έχει μια καλύτερη αίσθηση στο χέρι, μια πράξη που απαιτεί αντίστοιχες αλλαγές στις βασικές υπό-συγκεντρώσεις τμημάτων, όπως αυτές των άκρων.

Σε άλλες περιπτώσεις, είναι συχνά επιθυμητό να τροποποιηθούν αυτόματα τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας ολόκληρης κλάσης των τμημάτων ενός προϊόντος, (π.χ. μεταβάλλοντας τις διαμέτρους ή τις υλικές ιδιότητες όλων των βάσεων των μπουλονιών). Κατ' αυτόν τον τρόπο η απαραίτητη οδυνηρή ανοικοδόμηση κάθε υπό-συγκέντρωσης του μοντέλου, είναι κάθε φορά στην καλύτερη περίπτωση μια δύσχρηστη κατάσταση. Όλες αυτού του τύπου οι ενέργειες αποδεικνύονται εξαιρετικά δύσκολες σε ένα περιβάλλον μοντελοποίησης όπου τα διαφορετικά τμήματα που εισάγονται σε ένα μοντέλο έχουν δημιουργηθεί χωριστά και δε φέρουν καμία σχέση εξάρτησης το ένα με το άλλο.

Στη μοντελοποίηση *συναρμολόγησης* (assembly), όπως στη βασισμένη-σε-χαρακτηριστικό μοντελοποίηση τμημάτων, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι είναι απαραίτητη η ύπαρξη καταρχήν ενός σαφώς καθορισμένου μοντέλου σχεδίασης. Το μοντέλο πρέπει να περιοριστεί τόσο, όσο να απεικονίζει τη *θεμελιώδη πρόθεση* του σχεδιαστή, η οποία στη συνέχεια επιτρέπει στις διάφορες διαδικασίες να είναι πιο εφικτές και αποτελεσματικές (όπως η παραμετροποίηση των γεωμετρικών μορφών). Αυτά τα περιβάλλοντα *συναρμολόγησης* (assembly) δε σχεδιάζουν κάτι για κάποιον, μάλλον καθιστούν εφικτή τη διερεύνηση μιας ιδιαίτερης σχεδιαστικής πρόθεσης. Οι βασικές μορφές και οι σχέσεις μεταξύ των ιδρυτικών τμημάτων και των σχετικών χαρακτηριστικών τους, όπως αποφασίζονται από τη σκέψη του σχεδιαστή, πρέπει να εγκαθίστανται κατά τη διάρκεια των αρχικών φάσεων σύνθεσης του μοντέλου.

4.3.1. Βασικές έννοιες: Συναρμολόγηση και υπό-συναρμολόγηση

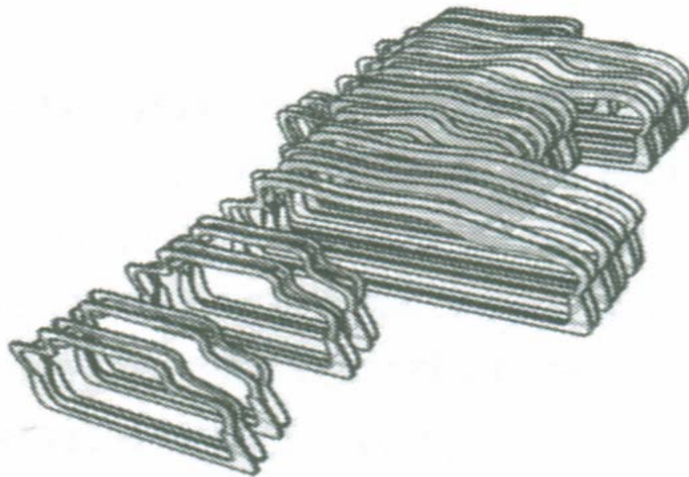
Ένα βασικό μοντέλο *συναρμολόγησης* (assembly) δεν επιτρέπει μόνο την τοποθέτηση των αρχείων μεμονωμένων μερών σε ένα ενιαίο αρχείο. Επιτρέπει, επίσης, στο σχεδιαστή να οργανώσει τους γεωμετρικούς και διαστασιολογικούς περιορισμούς (Σχήμα 4-9), και τις σχέσεις μεταξύ των μεμονωμένων μερών, να ελέγξει για παρεμβολές μεταξύ των τμημάτων και να εκτελέσει τους διάφορους τύπους αναλύσεων.



Σχήμα 4-9 Αυτόματη δημιουργία τομής

Τα αρχεία των τμημάτων παραμένουν συνδεδεμένα με τα αρχικά πηγαία αρχεία τους και μπορούν να τροποποιηθούν είτε στα πλαίσια της ίδιας της συναρμολόγησης είτε στο αρχείο τμημάτων τους. Μια τροποποίηση ενός τμήματος μοντέλου στο αρχείο τμημάτων ενημερώνει το ίδιο το μοντέλο στο αρχείο *συναρμολόγησης* (assembly) και αντίστροφα.

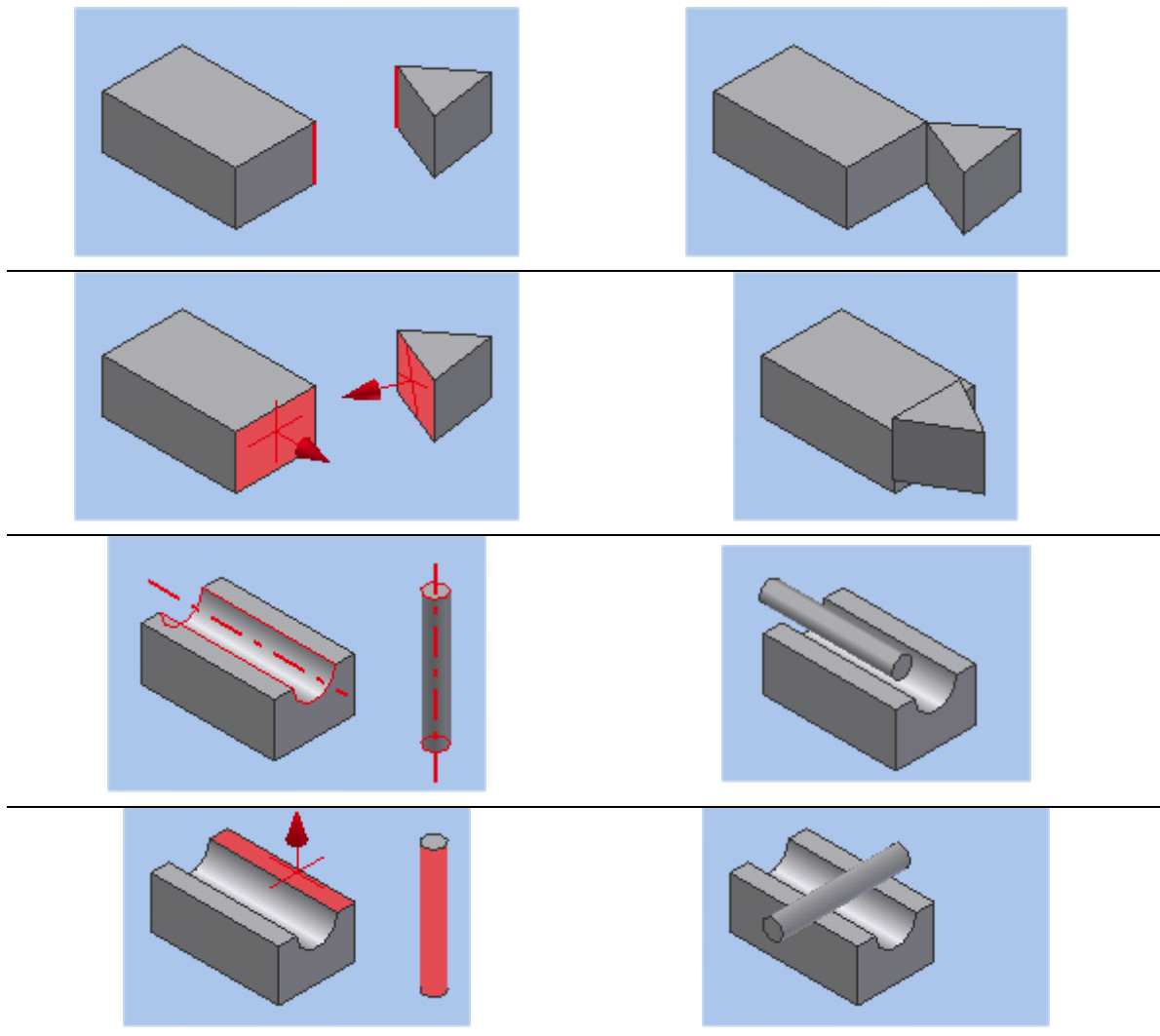
Ένα αρχείο τμημάτων, παραδείγματος χάριν ένα δομικό στοιχείο, μπορεί να εισαχθεί πολλές φορές στο ίδιο μοντέλο *συναρμολόγησης* (assembly) προκειμένου να αναπαρασταθεί το γενικό δομικό σύστημα (Σχήμα 4-10). Είναι συχνά χρήσιμο να δημιουργηθούν υπό-συγκεντρώσεις που περιέχουν ένα σύνολο στενά συσχετιζόμενων τμηματικών αρχείων – παραδείγματος χάριν, το στοιχείο πλαισίου τοίχων – και έπειτα να τακτοποιηθούν οι υπό-συγκεντρώσεις και ενδεχομένως άλλα αρχεία τμημάτων σε ένα μεγαλύτερο μοντέλο *συναρμολόγησης* (assembly). Τα διαφορετικά περιβάλλοντα επιτρέπουν τους ποικίλους βαθμούς πολυπλοκότητας σε αυτήν την διαστρωματική διάταξη του αρχείου *συναρμολόγησης* (assembly), και η ανακατασκευή του μοντέλου μπορεί να είναι δυσκίνητη σε μεγάλες συναρμολογήσεις.



Σχήμα 4-10 Μοντέλο συναρμολόγησης δομικού συστήματος

4.3.2. Περιορισμοί συναρμολόγησης

Με όρους λειτουργίας, τα μεμονωμένα μέρη ή οι υπό-συγκεντρώσεις στα μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) είναι σχετιζόμενα το ένα με το άλλο μέσω μιας σειράς προσδιορισμένων γεωμετρικών ή διαστασιολογικών περιορισμών – σχέσεων πολύ παρόμοιων με εκείνους που συζητήθηκαν προηγουμένως στα πλαίσια των μερών. Οι γεωμετρικοί περιορισμοί περιλαμβάνουν εκείνους της ευθυγράμμισης και του προσανατολισμού, και τη χρήση των επιφανειών ζευγαρώματος, γραμμών ή σημείων μεταξύ των παρακείμενων μερών. Με αυτόν τον τρόπο, ο άξονας μιας στρογγυλής μορφής μπορεί να προσδιοριστεί ώστε να είναι 'ευθυγραμμισμένος' με αυτόν μιας άλλης, και η κάτω επιφάνεια της μιας να είναι 'ζευγαρωμένη' με την επάνω επιφάνεια της άλλης. Οι χαρακτηριστικές σχέσεις ζευγαρώματος περιλαμβάνουν ευθυγραμμισμένο ζευγάρωμα, υπό γωνία ζευγάρωμα, εφαπτόμενο ζευγάρωμα, συμπίπτον ζευγάρωμα, ή ζευγάρωμα σε μια ορισμένη απόσταση μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου, (Σχήμα 4-11).

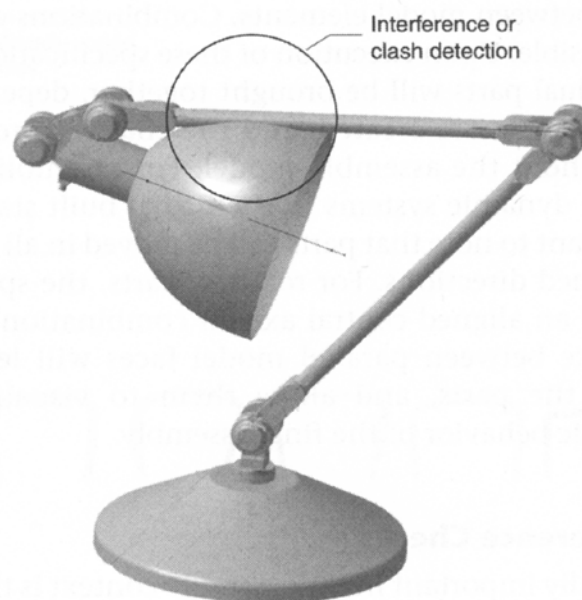


Σχήμα 4-11 Χαρακτηριστικές σχέσεις ζευγαρώματος μεταξύ χαρακτηριστικών

Καθώς τέτοιου είδους συνδυασμοί είναι δυνατοί, σύμφωνα με την εκτέλεση αυτών των προδιαγραφών, τα μεμονωμένα μέρη θα συγκεντρωθούν, θα δημιουργηθούν οι σχέσεις εξάρτησης, και οι αλλαγές θα διαδοθούν σε όλο το μοντέλο *συναρμολόγησης* (assembly). Για τις συναρμολογήσεις που θα είναι δυναμικά συστήματα στην τελική φάση κατασκευής τους, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα μέρη μπορούν να κινηθούν σε όλες τις κατευθύνσεις, εκτός από εκείνες που είναι περιορισμένες – μη επιτρεπτές. Για τα περιστρεφόμενα μέρη, η προδιαγραφή ενός ευθυγραμμισμένου κεντρικού άξονα σε συνδυασμό με μια απόσταση μεταξύ των παράλληλων επιφανειών των μοντέλων θα αφήσει τους σχεδιαστές να περιστρέψουν τα μέρη, και να τους επιτρέψουν να οπτικοποιήσουν τη δυναμική συμπεριφορά της τελικής συναρμολόγησης.

4.3.3. Έλεγχοι παρεμβολής

Στο πλαίσιο της συναρμολόγησης είναι ιδιαίτερα σημαντική η δυνατότητα των περισσότερων συστημάτων να ανιχνεύσουν τις παρεμβολές μεταξύ των τμημάτων – είτε καταστάσεις είτε διαμορφώσεις του μοντέλου, στις οποίες δύο μέρη-τμήματα καταλαμβάνουν την ίδια θέση στο μοντέλο. Αυτή η ικανότητα είναι αληθινά πολύτιμη σε όλες τις γεωμετρικά σύνθετες και χωρικά στριμωγμένες καταστάσεις, όπως στη σχεδίαση αεροσκαφών και αυτοκινήτων. Εκεί, οι έλεγχοι παρεμβολής στα μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) είναι, επίσης, ένας μηχανισμός συντονισμού των τμηματικών σχεδίων των ταυτόχρονων πολλαπλών συμμετεχόντων (Σχήμα 4-12).



Σχήμα 4-12 Εντοπισμός παρεμβολών τμημάτων

Μερικά περιβάλλοντα επιτρέπουν τον αυτοματοποιημένο υπολογισμό των εκκαθαριστικών διαστάσεων μεταξύ των επιλεγμένων μερών, και τα περισσότερα προγράμματα επιτρέπουν στο χρήστη την μέτρηση αποστάσεων μεταξύ των μερών άμεσα. Μια γραφική παρουσίαση των αλληλεπικαλυπτόμενων όγκων από τα παρεμβαλλόμενα μέρη είναι συχνά δυνατή, επιτρέποντας στους σχεδιαστές να οπτικοποιήσουν την υπό εξέταση κατάσταση προκειμένου να διευκολυνθούν οι αποφάσεις σχεδίασης.

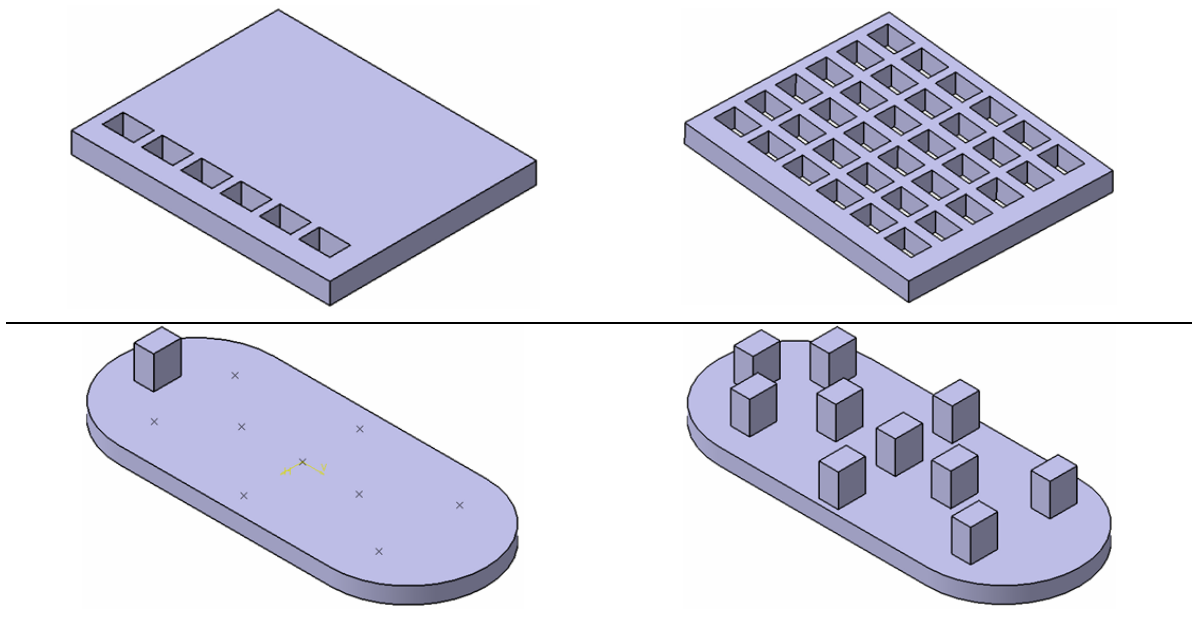
4.3.4. Άλλες λειτουργίες

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδίασης μπορεί να είναι απαραίτητο σε μια συναρμολόγηση να αντικατασταθούν ορισμένα τμήματα με κάποια άλλα. Αυτοί οι τύποι αλλαγών είναι δυνατοί οποιαδήποτε στιγμή αλλά συνήθως απαιτούν από το χρήστη να επαναπροσδιορίσει τις σχέσεις ζευγαρώματος, δεδομένου ότι οι συσχετιζόμενες πλευρές των μοντέλων και οι οντότητες των αντικατεστημένων μερών δεν είναι πλέον παρόντα στη συναρμολόγηση. Προκειμένου να αντικατασταθούν κάποια τμήματα, οι σχεδιαστές κανονικά ενημερώνουν τις συνδέσεις με τα αρχεία μερών και ονομάζουν απλά ένα άλλο αρχείο μερών για να αντικαταστήσουν ένα υπάρχον. Παρόμοιες τροποποιήσεις είναι δυνατές για τα αρχεία παραμετρικών μερών που έχουν μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας πίνακες και διαμορφώσεις σχεδίασης. Εδώ οι σχεδιαστές μπορούν να αποφασίσουν και να αλλάξουν οποιαδήποτε στιγμή ποια διαμόρφωση πρέπει να αναπαραστήσει ένα ιδιαίτερο αρχείο τμημάτων. Αυτό το ισχυρό χαρακτηριστικό γνώρισμα της μοντελοποίησης *συναρμολόγησης* (assembly) επιτρέπει τη δοκιμή των σχεδιαστικών επιλογών-δυνατοτήτων με ταχύτητα και αποτελεσματικότητα.

Πολλά συστήματα επιτρέπουν, επίσης, στο σχεδιαστή να αναλύει τις υπό-συγκεντρώσεις σε αρχεία τμημάτων της κύριας συναρμολόγησης. Οι μεμονωμένες υπό-συγκεντρώσεις και τα αρχεία τμημάτων μπορούν να καταστέλλονται ή απλά να απενεργοποιείται η οπτικοποίηση τους – και οι δύο λειτουργίες είναι χρήσιμες ειδικά για τα μεγάλα μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly). Η καταστολή ενός τμήματος συνήθως υπονοεί ότι όλοι οι σχετικοί περιορισμοί καταστέλλονται εξίσου, ενώ η απενεργοποίηση της οπτικοποίησης των τμημάτων απλοποιεί μόνο την παρουσίαση χωρίς να έχει οποιεσδήποτε συνέπειες για την εσωτερική λογική του μοντέλου *συναρμολόγησης* (assembly). Ειδικά για τις μεγαλύτερες συναρμολογήσεις, είναι χρήσιμες οι απλές *στατιστικές συναρμολόγησης* που υποστηρίζουν τα περισσότερα περιβάλλοντα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να παρουσιαστούν πληροφορίες, όπως ο συνολικός αριθμός συστατικών και υπό-συγκεντρώσεων, ο αριθμός ή τα μοναδιαία τμήματα και η τρέχουσα κατεσταλμένη ή αναπτυγμένη θέση των συστατικών της συναρμολόγησης.

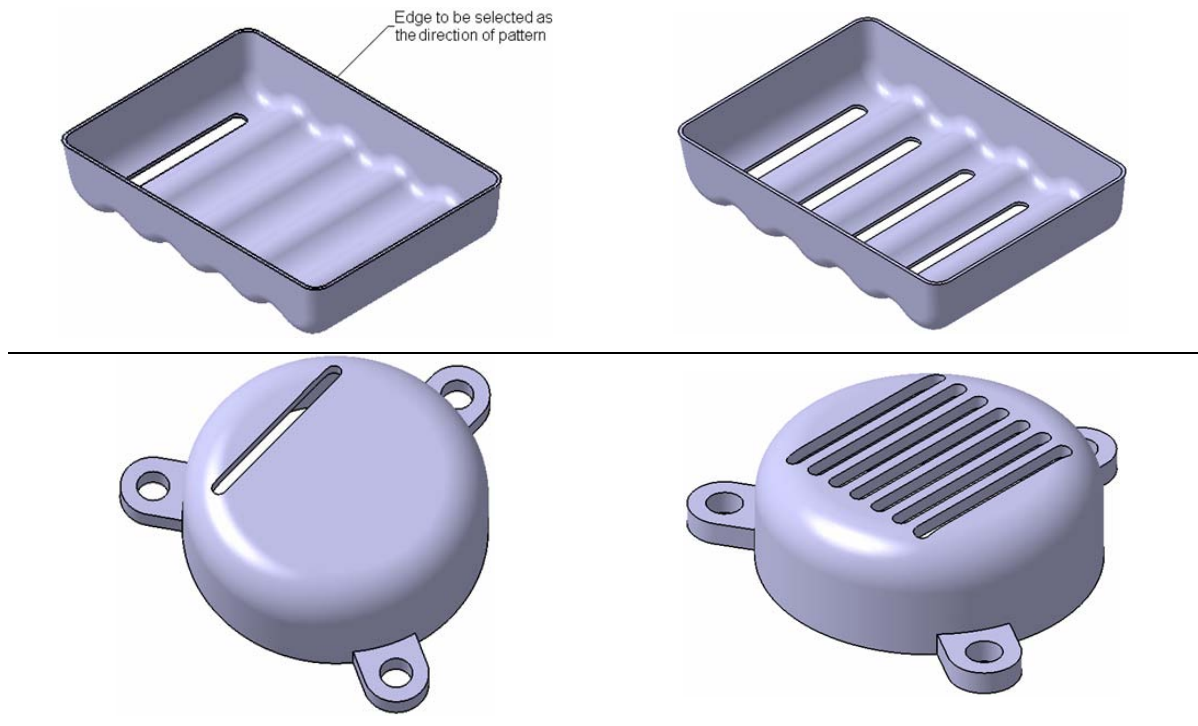
Στα μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) είναι, επίσης, διαθέσιμες και τεχνικές, όπως τα πρότυπα και οι διαμορφώσεις. Η λειτουργία προτύπων (patterns) στις

συναρμολογήσεις είναι παρόμοια με την αντίστοιχη λειτουργία των τμημάτων, αλλά αντί της επιρροής των χαρακτηριστικών μιας παραμετρικής συναρμολόγησης τμημάτων, τα *πρότυπα* (patterns) αντιγράφουν και διευθετούν τα παραμετρικά τμήματα ή τις υπό-συγκεντρώσεις στο μοντέλο *συναρμολόγησης* (assembling) (Σχήμα 4-13) με γραμμικό ή καμπυλόγραμμο τρόπο.



Σχήμα 4-13 Διευθέτηση παραμετρικών στοιχείων μέσω προτύπων

Οι διαμορφώσεις στα μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) χρησιμεύουν για παρόμοιο σκοπό ως διαμορφώσεις τμημάτων. Οι διαμορφώσεις *συναρμολόγησης* (assembling) επιτρέπουν στα μεμονωμένα τμήματα να κατασταλούν, ελέγχουν τα χαρακτηριστικά *συναρμολόγησης* (assembly), όπως τα *πρότυπα* (patterns) (Σχήμα 4-14), ή τροποποιούν διαστάσεις και περιορισμούς. Οι σχεδιαστές μπορούν να παρουσιάσουν οποιεσδήποτε επιθυμητές διαμορφώσεις. Μακροεντολές και κανόνες, όπως περιγράφεται στο τμήμα μοντελοποίησης μερών, εφαρμόζονται εξίσου στη μοντελοποίηση *συναρμολόγησης* (assembly) – πράγματι, είναι πιθανώς πιο χρήσιμοι εδώ λόγω των συνήθως πιο σύνθετων και απαιτητικών εργασιών μοντελοποίησης.



Σχήμα 4-14 Λειτουργία προτύπων (patterns) σε μοντέλο

4.3.5. Μοντελοποίηση τμημάτων σε Συναρμολογήσεις

Τα αρχεία *συναρμολόγησης* (assembly) δεν πρέπει να αντιμετωπιστούν μόνο ως μια κατάλληλη συγκέντρωση των πολλαπλών συστατικών με έναν λογικό και δομημένο τρόπο. Αυτή η *από κάτω προς τα επάνω* (bottom up) προσέγγιση συμπληρώνεται συχνά ή ακόμα και αντικαθίσταται με τη μοντελοποίηση των τμημάτων στα πλαίσια της συναρμολόγησης. Η δημιουργία ενός μοντέλου τμημάτων στα πλαίσια μιας συναρμολόγησης επιτρέπει στο χρήστη να αναφέρεται εύκολα στις υψηλού-επιπέδου σχεδιαστικές έννοιες ή τη γεωμετρία διατηρώντας το πλεονέκτημα της μοντελοποίησης *συναρμολόγησης* (assembly). Αυτή η προσέγγιση, συνήθως καλούμενη *από επάνω προς τα κάτω* (top down), είναι εξίσου χρήσιμη τόσο στη σχεδίαση προϊόντων όσο και στην αρχιτεκτονική σχεδίαση.

Όταν τα μέρη στη συναρμολόγηση μοντελοποιούνται-διαμορφώνονται, είναι παρόντα τα συνηθισμένα βοηθήματα και οι δομές μοντελοποίησης, συμπεριλαμβανομένων των σχέσεων γονέας-παιδί, των περιορισμών, των παραμετρικών με βάση τις διαστάσεις καθοδηγούμενων χαρακτηριστικών, καθώς επίσης και των διαμορφώσεων. Όχι μόνο τα μέρη αλλά και τα δισδιάστατα ή τρισδιάστατα σχέδια μπορούν

να χρησιμεύσουν ως αναφορά στη βασισμένη στη συναρμολόγηση μοντελοποίηση τμημάτων. Ανάλογα με το βαθμό εκλέπτυνσης ενός προγράμματος, μπορεί να υπάρξουν διάφορες άλλες τεχνικές για τη μοντελοποίηση και την επιμέλεια των μερών στα μοντέλα συναρμολόγησης (assembly). Μερικά περιβάλλοντα επιτρέπουν την ένωση των πολλαπλών τμημάτων σε ένα ενιαίο μέρος, επάνω στο οποίο τα επικαλυπτόμενα στοιχεία αποκόπτονται και τα δύο μέρη συγχωνεύονται σε ένα ενιαίο μοντέλο.

4.4. Παραμετρική σχεδίαση

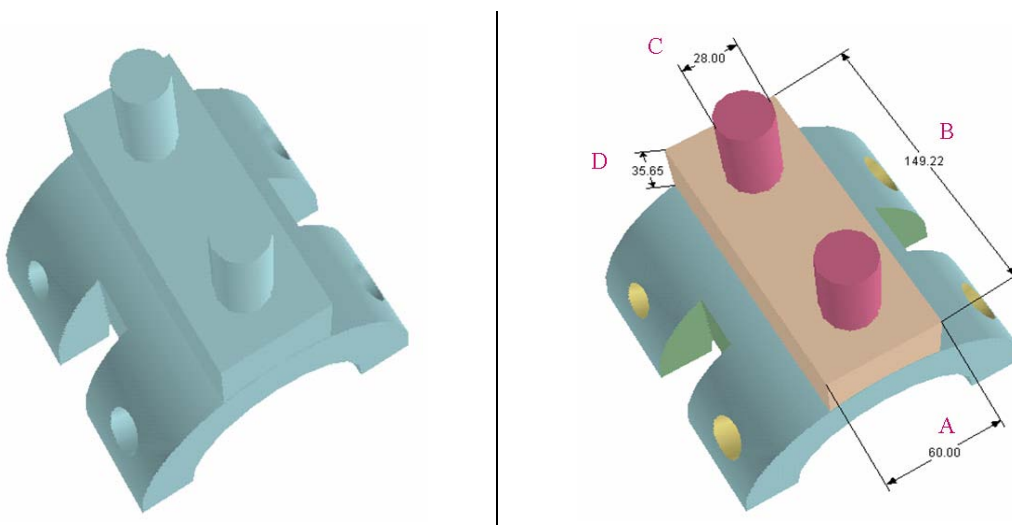
Κατά τις φάσεις σχεδίασης και ανάπτυξης των προϊόντων – χώρων παρουσιάζονται σύνθετες ανάγκες τις οποίες θα ήταν πολύ σημαντικό να ικανοποιούν τα προηγμένα περιβάλλοντα ψηφιακής σχεδίασης. Τέτοιες ανάγκες αποτελούν:

- Μελέτη των ποικίλων αναλογιών μίας μορφής.
- Ικανότητα γρήγορης τροποποίησης συγκεκριμένων βασικών διαστάσεων τμημάτων.
- Ικανότητα παραλλαγής βασικών παραμέτρων προκειμένου να υπάρξουν εναλλακτικά μοντέλα διαφορετικών παραμέτρων.

Υπάρχει μια κατηγορία ψηφιακών μοντελοποιητών η οποία καλύπτει τις παραπάνω ανάγκες, οι Παραμετρικοί μοντελοποιητές. Οι λόγοι που στρέφουν τους σχεδιαστές προς τέτοια προηγμένα περιβάλλοντα είναι οι εξής.

- Πρώτον, η στατική γεωμετρία έχει περιορισμένες δυνατότητες τροποποιήσεων, (Σχήμα 4-15).
- Δεύτερον, η πλειονότητα των σχεδίων συστήνεται μέσω παραλλαγών (το ποσοστό μπορεί να φθάσει έως 80%), είναι απαραίτητη η προσαρμογή υπαρχόντων σχεδίων σε νέες απαιτήσεις.
- Τρίτον, οι διαδικασίες της σχεδίασης απαιτούν δυνατότητες για γρήγορες αλλαγές και ανανεώσεις της γεωμετρίας των μοντέλων. Τέταρτο, η τεκμηρίωση των σχεδιαστικών προθέσεων.
- Τέλος, τα περιβάλλοντα πρέπει να παρέχουν δυνατότητες επανάχρησης υπαρχόντων σχεδιαστικών μοντέλων.

Οι διαδικασίες εφαρμογής σε ένα παραμετρικό μοντελοποιητή αφορούν τα παρακάτω βήματα. Καταρχήν τα παραμετρικά μοντέλα συνδέουν γεωμετρικές οντότητες μέσω καθορισμού παραμετρικών σχέσεων, (Σχήμα 4-15). Εν συνεχεία, οι σχεδιαστές μπορούν να επιμεληθούν τα παραμετρικά μοντέλα μέσω αλληλο-επίδρασης του χρήστη με διεπαφή CAD, μέσω συνδεδεμένων πινάκων δεδομένων, [σχεδιαστικοί πίνακες (Catia™ – Excel™)], είτε γλωσσών προγραμματισμού. Τα προηγούμενα βήματα ολοκληρώνονται με την ανασύσταση του μοντέλου, μετά τις όποιες τροποποιήσεις η συνοχή του μοντέλου διατηρείται εξαιτίας των ρητών και διπλής κατεύθυνσης καθορισμών των συνδέσμων των παραμέτρων.



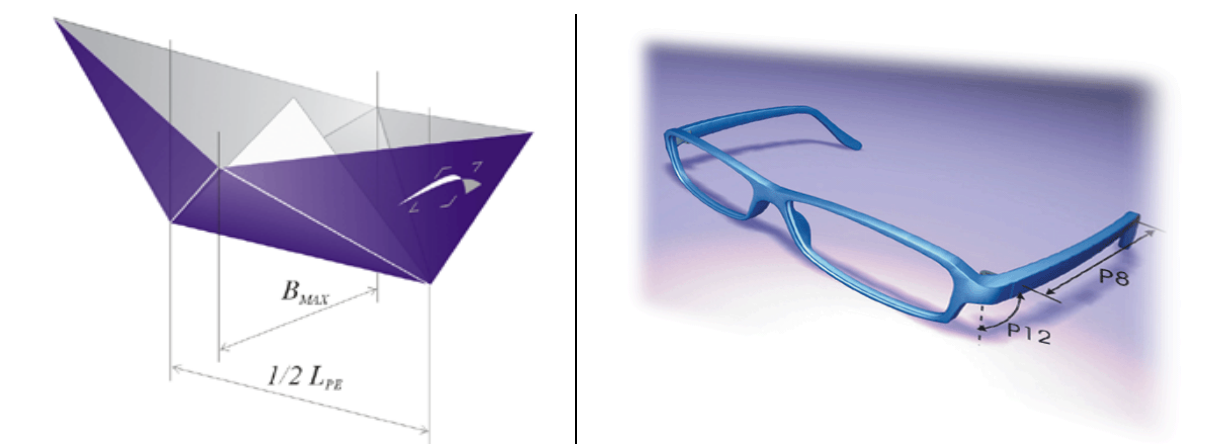
Σχήμα 4-15 Γεωμετρικό Μοντέλο (αριστερά) – Παραμετρικό μοντέλο (δεξιά)

Το πλαίσιο εργασίας της Παραμετρικής σχεδίασης μπορεί να ακολουθεί την παρακάτω μέθοδο. Καταρχήν οι διαστάσεις – σχήματα των τμημάτων ποικίλουν από μορφή σε μορφή. Τα βασικά μορφολογικά συστατικά τμήματα ορίζονται μέσω περιορισμών. Οι συγκεκριμένες διαστάσεις καθορίζονται ως μεταβλητές. Οι αριθμητικές τιμές αποδίδονται στις παραμέτρους. Τέλος, καθώς οι διαστάσεις του αντικειμένου τροποποιούνται το μοντέλο προσαρμόζεται εύκολα επειδή και αλλάζουν μόνο οι αριθμητικές τιμές του. Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί είναι το γεγονός ότι Παραμετρική ποικιλία μπορεί να εμφανίζεται σε οποιαδήποτε επίπεδο λεπτομέρειας.

Η Παραμετρική σχεδίαση είναι μια διαδικασία σχεδίασης που επιτρέπει την ανάπτυξη παραλλαγών. Παραμετρικά σημαίνει ότι η φυσική μορφή ενός τμήματος ή μιας

συναρμολόγησης κατευθύνεται από τις τιμές που ορίζονται στις ιδιότητες (διαστάσεις) των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της. Σύμφωνα με αυτό οι σχεδιαστές μπορούν να καθορίσουν ή να τροποποιήσουν είτε τις διαστάσεις ενός χαρακτηριστικού είτε άλλες ιδιότητες οποιαδήποτε στιγμή κατά τις διαδικασίες της σύνθεσης. Οι οποιοσδήποτε μεταβολές θα διαδοθούν αυτόματα σε όλο το μοντέλο. Επίσης είναι εφικτή η συσχέτιση των ιδιοτήτων ενός χαρακτηριστικού γνωρίσματος με τις ιδιότητες κάποιου άλλου. Η Παραμετρική σχεδίαση πραγματοποιείται με τη βοήθεια των παραμετρικών μοντέλων. Ένα παραμετρικό μοντέλο είναι μια αναπαράσταση ενός σχεδίου κατασκευασμένου μέσω γεωμετρικών οντοτήτων που έχουν μια σειρά από ιδιότητες, από τις οποίες άλλες είναι σταθερές και άλλες μπορούν να ποικίλουν. Οι μεταβλητές ιδιότητες θεωρούνται ως *παράμετροι* και οι σταθερές ιδιότητες θεωρούνται ως *περιορισμοί*. Οι *περιορισμοί* χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο μεγέθους και θέσης της γεωμετρίας. Επιπλέον μπορούν να έχουν την μορφή απλών αριθμητικών τιμών όπως, 2 μέτρα είτε 25 μοίρες. Τέλος μπορούν να έχουν την μορφή αφηρημένων αλγεβρικών τύπων, όπως για παράδειγμα $(d_2 * d_0) / d_5$.

Ως *παράμετρος* ορίζεται μια δηλωμένη ποσότητα της οποία η τιμή μπορεί να αλλάξει, για παράδειγμα $d_0 = 10$, (Σχήμα 4-16). Οι παραμετρικές διαστάσεις έχουν την ικανότητα να ελέγχουν μεγέθη των χαρακτηριστικών. Επίσης μπορούν τροποποιούνται εύκολα και αυτό επιτυγχάνει αλλαγή της γεωμετρίας των χαρακτηριστικών. Μέσω των παραμετρικών διαστάσεων είναι εφικτή η σύσταση σχέσεων μεταξύ χαρακτηριστικών – τμημάτων – συναρμολογήσεων, για παράδειγμα $d_0 = d_1 / 2$.

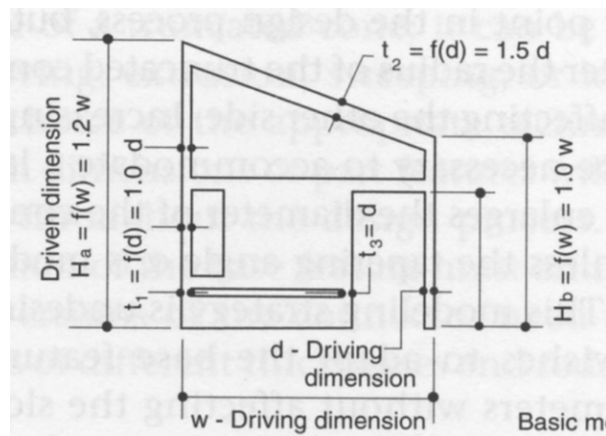


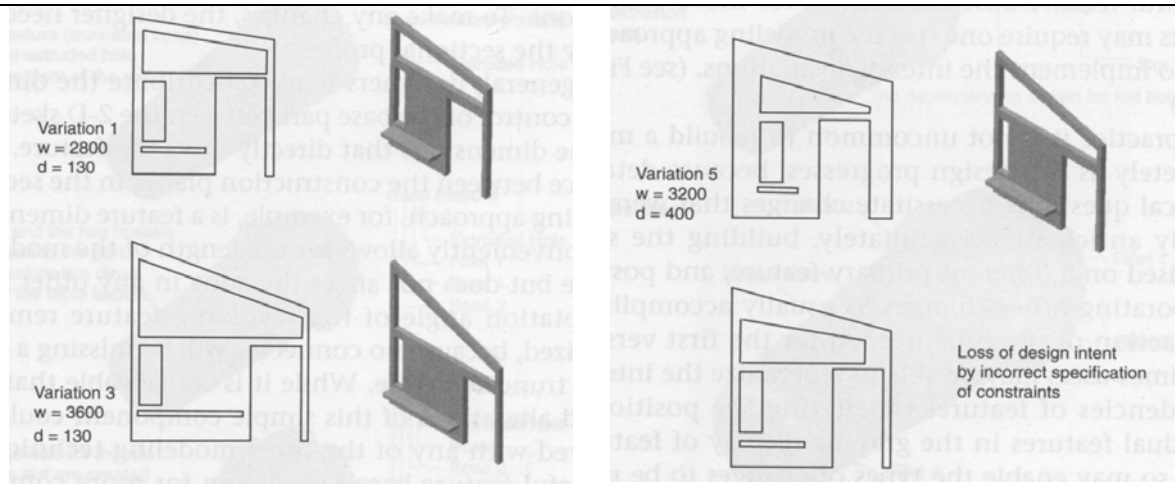
Σχήμα 4-16 Παραμετρικά μοντέλα αντικειμένων – προϊόντων

Όταν οι αλλαγές σε ένα σχέδιο δε μεταβάλλουν τα βασικά χαρακτηριστικά του, τότε αυτές οι αλλαγές αναφέρονται ως παραμετρικές παραλλαγές, (Σχήμα 4-18). Το ποσοστό πλάτος-ύψος ενός υποδιαιρεμένου παραθύρου, π.χ., θα μπορούσε να ποικίλει, και ωστόσο να διατηρεί τη γνωστή εικόνα του, ή ο αριθμός τζαμιών στο παράθυρο θα μπορούσε να ποικίλει από έξι έως οκτώ.

Αυτή η γενική έννοια, η οποία εν τούτοις δε συλλαμβάνεται αρχικά στα πλαίσια της γεωμετρικής μοντελοποίησης, είναι ιδιαίτερα ισχυρή και χρήσιμη στις ενσωματωμένες λειτουργίες των περιβαλλόντων σχεδίασης για την ανάπτυξη.

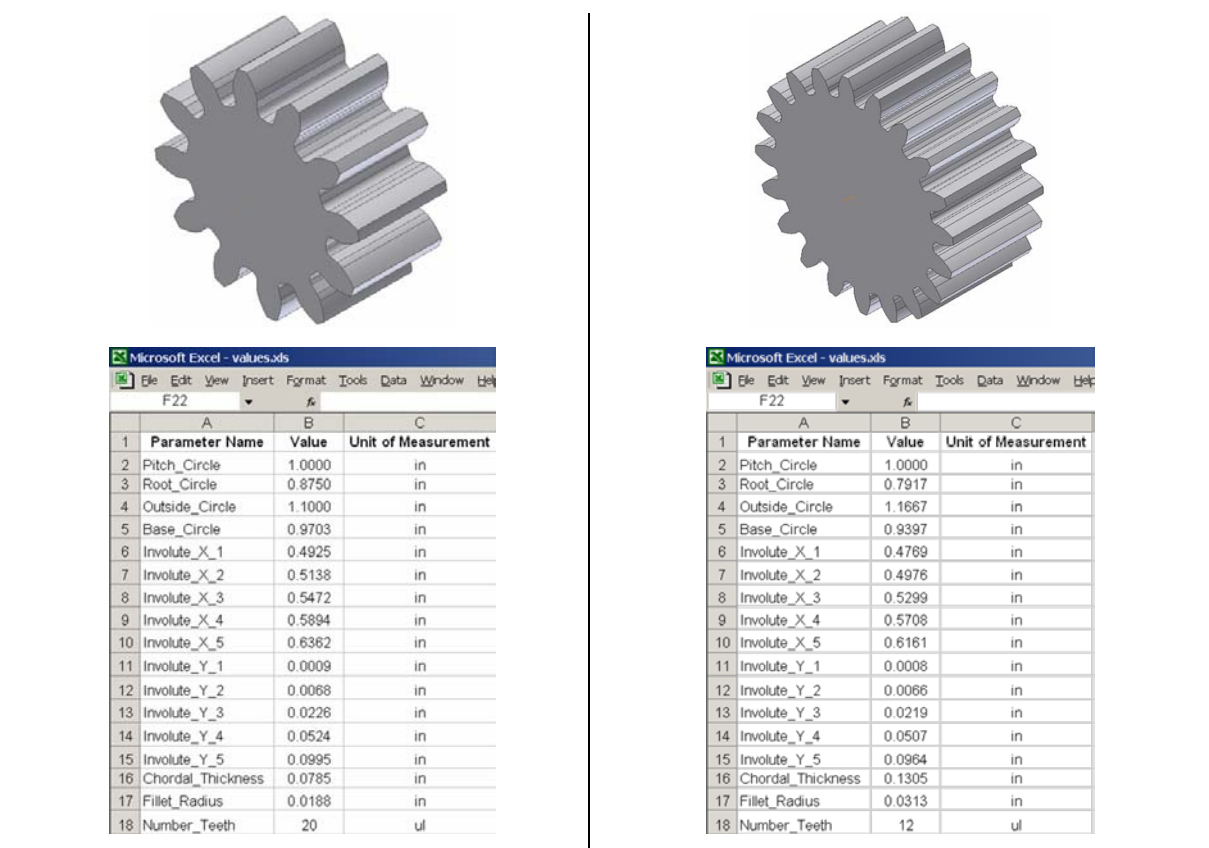
Η μεταβολή ενός βασισμένου-σε-χαρακτηριστικά μοντέλου, τροποποιώντας βασικές διαστάσεις, είναι δυνατή σε οποιοδήποτε σημείο και οι σχέσεις γονέας-παιδί μεταξύ των χαρακτηριστικών επιτρέπουν στις αλλαγές να έχουν επιπτώσεις στα εξαρτώμενα χαρακτηριστικά του μοντέλου. Εφόσον δεν ανιχνεύεται κανένα λογικό σφάλμα, το μοντέλο ανακαθορίζεται σύμφωνα με τους κανόνες και τις σχέσεις που τίθενται στις συνδέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών. Οι ιδιότητες των χαρακτηριστικών-γονείς καθοδηγούν και καθορίζουν τη φύση των εξαρτώμενων χαρακτηριστικών-παιδιά τους.





Σχήμα 4-18 Παραμετρικές παραλλαγές ανοίγματος μέσω ελέγχου διαστάσεων από πίνακα σχεδίασης

Οι παράμετροι κατευθύνουν τη σύσταση ενός αντικειμένου. Στο Σχήμα 4-19 διακρίνεται ο έλεγχος των συστατικών του αντικειμένου μέσω τροποποίησης των τιμών σε ένα πίνακα. Οι παραμετρικοί περιορισμοί μπορούν να συνδεθούν με spreadsheets που επιτρέπουν τους πιο περίπλοκους μαθηματικούς τύπους, (Σχήμα 4-19). Με αυτό το τρόπο δημιουργούνται παραλλαγές του αντικειμένου προς ικανοποίηση διαφορετικών απαιτήσεων.



Σχήμα 4-19 Παραμετρική παραλλαγή αντικειμένου

Επιπλέον, ένα καλό παραμετρικό μοντέλο θα επέτρεπε στο σχεδιαστή να δημιουργήσει εύκολα αυτές τις παραμετρικές παραλλαγές μέσα σε ένα ενιαίο ψηφιακό μοντέλο (Σχήμα 4-19). Η επιμέλεια των βασικών διαστάσεων που παράγουν αυτές τις διαφορετικές εκδόσεις γίνεται πράγματι απλά με την αλλαγή του αρχικού μοντέλου. Τα καλά περιβάλλοντα σχεδίασης για την ανάπτυξη προσφέρουν γενικά τις πρόσθετες λειτουργίες που αυτοματοποιούν περαιτέρω και βελτιώνουν τις διαδικασίες σχεδίασης βασισμένες στις παραμετρικές παραλλαγές.

4.5. Σχεδίαση καθοδηγούμενη με βάση τις διαστάσεις

Η έννοια της καθοδηγούμενης με βάση διαστάσεις μοντελοποίησης συνδέεται στενά με τις σχέσεις γονέας-παιδί, και την παραμετρική σχεδίαση. Εδώ ορισμένες διαστάσεις του μοντέλου (καθοδηγούμενες διαστάσεις) εκφράζονται ως συναρτήσεις

άλλων βασικών διαστάσεων (καθοδηγητικές διαστάσεις) μέσω των εξισώσεων που καθορίζει ο σχεδιαστής. Ένας σχεδιαστής, παραδείγματος χάριν, μπορεί να προσδιορίσει μια εξίσωση η οποία ορίζει τη διάσταση X να είναι πάντα τρεις φορές η τιμή της διάστασης Y . Οι καθοδηγητικές διαστάσεις μπορούν να τροποποιηθούν μέσω διεπαφών από τον χρήστη. Εν συνεχεία το πρόγραμμα υπολογίζει τις καθοδηγούμενες διαστάσεις και το μοντέλο επανα-συστήνεται αναλόγως.

Προφανώς, τέτοια είδη αλληλεξαρτήσεων είναι αρκετά απλό να επιτευχθούν υπολογιστικά για αντικείμενα τα οποία είναι ενιαία. Όταν υπάρχουν σύνθετες μορφές ή όταν περιλαμβάνονται συναρμολογήσεις μορφών, ο χειρισμός των αλληλεξαρτήσεων γίνεται δυσκολότερος. Τα εξεζητημένα συστήματα υποστηρίζουν ικανότητες για την εξέταση όχι μόνο της παραμετρικής παραλλαγής των ενιαίων αντικειμένων αλλά και των σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι παράμετροι μιας μορφής μπορούν να εξαρτώνται από τις παραμέτρους μιας άλλης μορφής. Η διάμετρος και η θέση του κέντρου μιας τρύπας, παραδείγματος χάριν, μπορούν να εξαρτηθούν από την αναλογία μήκος-πλάτους ενός ορθογωνίου πλαισίου που την περιβάλλει. Οι περιορισμοί μπορούν να εισαχθούν περαιτέρω έτσι ώστε να θέσουν τις ανοχές στο βαθμό που μια παράμετρος μπορεί να ποικίλει. Οι ίδιες αυτές διαδικασίες θα μπορούσαν, φυσικά, να ολοκληρωθούν από μια σειρά βαθμιαίων συνθετικών διαδικασιών ουσιαστικά σε οποιοδήποτε σύστημα. Εντούτοις, τα παραμετρικά καθοδηγούμενα περιβάλλοντα επιτρέπουν στο χρήστη να κάνει αυτές τις ακολουθίες χειρισμών άμεσα και εύκολα ως ενιαίες διαδικασίες, και με διάφορα είδη ελέγχων για τη συνέπεια των παραγόμενων μοντέλων.

Ας εξετάσουμε το παράδειγμα ενός χαλύβδινου συνδέσμου. Κατά τη μοντελοποίηση μέσω μιας παραδοσιακής προσέγγισης, ο σχεδιαστής μπορεί να προσδιορίσει ανεξάρτητα όλες τις διαστάσεις, δεδομένου ότι καμία διάσταση δεν εξαρτάται από οποιαδήποτε άλλη. Σε μια προσέγγιση “καθοδηγούμενη με βάση διαστάσεις”, η ακτίνα R_2 της τρύπας για την τοποθέτηση της ράβδου μπορεί να καθοριστεί σε σχέση με την ακτίνα R_1 του βασικού χαρακτηριστικού. Η τρύπα θα μπορούσε να είναι πάντα το μισό μέγεθος της ολικής διαμέτρου του συστατικού ($R_2 = 0,5 R_1$). Επίσης, σε ένα τέτοιο περιβάλλον είναι εφικτές πολλές άλλες εξαρτήσεις. Η “καθοδηγούμενη με βάση διαστάσεις” μοντελοποίηση επιτρέπει την αποφυγή μερικών από τα προφανή λογικά σφάλματα που μπορούν να επέλθουν στα μέρη στα οποία επιτρέπονται παραμετρικές παραλλαγές. Στο προηγούμενο

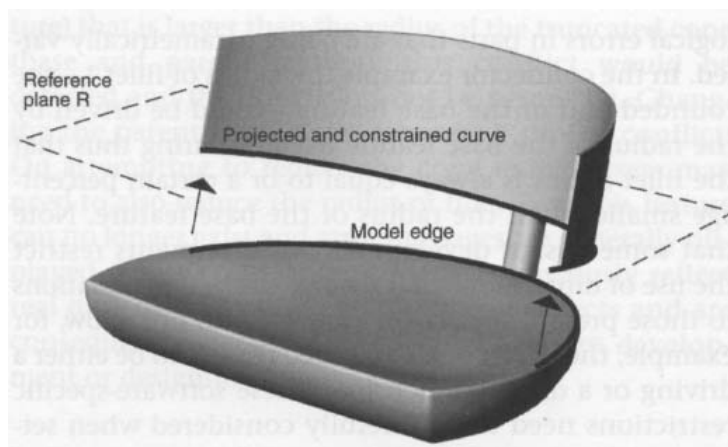
παράδειγμα του συνδέσμου η ακτίνα του τόξου *καμπυλότητας1* (fillet1) – το στρογγυλευμένο τέλος του βασικού χαρακτηριστικού – θα μπορούσε να καθοδηγηθεί από την ακτίνα του βασικού χαρακτηριστικού, που εξασφαλίζει έτσι ότι η ακτίνα τόξο *καμπυλότητας* (fillet) είναι πάντα ίση ή κατά ένα ορισμένο ποσοστό μικρότερη από την ακτίνα του βασικού χαρακτηριστικού. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι μερικά περιβάλλοντα σχεδίασης για την ανάπτυξη περιορίζουν τη χρήση των διαστάσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν στις εξισώσεις σε όσες εμφανίζονται στα δισδιάστατα σκίτσα και δεν επιτρέπουν, παραδείγματος χάριν, τη διάσταση του βάθους ενός εξωθημένου χαρακτηριστικού να είναι είτε μια *καθοδηγητική* είτε μια *καθοδηγούμενη* διάσταση. Αυτοί οι συγκεκριμένοι περιορισμοί του λογισμικού πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά, όταν οργανώνεται ένα μοντέλο “*καθοδηγούμενο με βάση διαστάσεις*”.

4.6. Μοντελοποίηση βασισμένη σε Περιορισμούς

Σε αυτήν τη μέθοδο μοντελοποίησης οι *περιορισμοί* αποτελούν μια σειρά από μαθηματικά καθορισμένες σχέσεις που βοηθούν στον καθορισμό των γεωμετρικών-τοπολογικών και διαστασιολογικών χαρακτηριστικών ενός μοντέλου. Κανονικά, αυτές οι σχέσεις εφαρμόζονται σε σημεία, στις γραμμές ή στις έδρες-επιφάνειες μέσα σε ένα σκίτσο ή σε ένα τμήμα ενός στερεού, αλλά επιπλέον μπορούν να συσταθούν μεταξύ πολλαπλών τμημάτων σε ένα μοντέλο *συναρμολόγησης* (assembling). Τα περισσότερα προγράμματα μπορούν να παραγάγουν τους περιορισμούς αυτόματα καθώς ο σχεδιαστής καθορίζει τις οντότητες: Μια λειτουργία *έλξης-πλέγματος* (snap-to-grid) στη διαδικασία σχεδιογράφησης, παραδείγματος χάριν, συχνά υπονοεί ότι οι οντότητες περιορίζονται αυτόματα. Εναλλακτικά, οι σχεδιαστές μπορούν να προσθέσουν τους δικούς τους περιορισμούς αφότου έχει συσταθεί το μοντέλο. Χωρίς οποιουδήποτε περιορισμούς τα σημεία, οι γραμμές ή οι έδρες μπορούν να κινηθούν ελεύθερα στο αρχικό μοντέλο. Αλλά με αυτόν τον τρόπο το αποτέλεσμα είναι ότι λίγη ακρίβεια συνδέεται με αυτές τις τροποποιήσεις, ούτε είναι εφικτή η ικανότητα επιστροφής στις προηγούμενες διαμορφώσεις. Οι περιορισμοί μπορούν να καθοριστούν, να επιμεληθούν, ή να διαγραφούν σε οποιοδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδίασης, και οι αλλαγές διαδίδονται σε όλο το σχέδιο λόγω των παρόντων συσχετισμών.

Με την οργάνωση των περιορισμών σε τμηματικά μοντέλα, οι σχεδιαστές κανονικά ενσωματώνουν τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που δεν αναμένεται να δεχτούν συχνή τροποποίηση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδίασης. Μερικά περιβάλλοντα λογισμικού περιορίζουν τη χρήση των σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων, στα σκίτσα, ενώ άλλα περιβάλλοντα επιτρέπουν μια πιο εκτενή χρήση των περιορισμών. Οι απλοί γεωμετρικοί περιορισμοί είναι σχέσεις όπως η παραλληλία, καθετότητα, εφαπτομενικότητα. Άλλοι περιορισμοί συσχετίζουν τις οντότητες σκίτσων με ένα σύστημα συντεταγμένων και θέτουν, παραδείγματος χάριν, τον περιορισμό να είναι οι γραμμές οριζόντιες ή κάθετες. Οι διαστασιολογικοί περιορισμοί καθορίζουν την απόσταση μεταξύ οντοτήτων, ή το μήκος ή την ακτίνα των οντοτήτων. Οι οντότητες μπορούν, επίσης, να είναι σταθερές, για να αποτραπούν αλλαγές στο μοντέλο.

Μια τεχνική, που υιοθετείται συχνά στη μοντελοποίηση, είναι η οργάνωση των σκίτσων που βασίζονται μερικώς στην υπάρχουσα γεωμετρία, παραδείγματος χάριν η ακμή ενός μοντέλου χαρακτηριστικού προβάλλεται επάνω στο επίπεδο σκίτσου και αποτελεί τη βάση για το δισδιάστατο σκίτσο (Σχήμα 4-20). Πιο συγκεκριμένα μια ακμή του μοντέλου προβλήθηκε στο επίπεδο αναφοράς R προκειμένου να εξωθηθεί το οπίσθιο στήριγμα. Η προβαλλόμενη καμπύλη περιορίζεται να ακολουθεί "την ακμή" ή "να προβάλλεται" σε αναφορά με την αρχική ακμή του μοντέλου. Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται, το οπίσθιο στήριγμα θα ενημερωθεί μόλις αλλάξει η μορφή καθίσματος σε κάτοψη. Αυτές οι προβολές υπονοούν κανονικά περιορισμό του τύπου 'ακμής' ή 'προβολής': Όταν το χαρακτηριστικό του μοντέλου αλλάζει, η εξαρτώμενη προβαλλόμενη ακμή αναπροσαρμόζεται αυτόματα στο σκίτσο. Αυτοί οι περιορισμοί είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι, εάν η σύνθετη γεωμετρία πρέπει να προέλθει από το μοντέλο, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως βάση για ένα εξαρτώμενο χαρακτηριστικό.



Σχήμα 4-20 Οργάνωση των σκίτσων που βασίζονται μερικώς στην υπάρχουσα γεωμετρία

4.6.1. Τυπολογία διατάξεων

Πολλά περιβάλλοντα σχεδίασης ανάπτυξης αυτοματοποιούν τις τεχνικές μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται συχνά, οι οποίες θα περιλάμβαναν έναν σημαντικό αριθμό μεμονωμένων βημάτων. Ένα παράδειγμα αυτών των τύπων αυτοματοποιημένων τεχνικών μοντελοποίησης είναι η τυπολογία *διατάξεων* (patterns). Αυτή συστήνεται μέσω γραμμικών ή στρεφόμενων σειρών ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών. Ο σχεδιαστής μπορεί να προσδιορίσει τις αποστάσεις ή τις γωνίες, καθώς επίσης και τον αριθμό χαρακτηριστικών που παρατάσσονται. Επιπλέον, μερικά περιβάλλοντα επιτρέπουν σε ορισμένα στοιχεία της σειράς να μη ληφθούν υπόψη.

Στο Σχήμα 4-21 εμφανίζει μια τυπολογία διάταξης των ανοιγμάτων για τα κουμπιά σε ένα απλουστευμένο σχέδιο μιας συσκευής κινητού τηλεφώνου. Δεδομένου ότι θα ήταν δυσκίνητο να διαμορφωθούν και τα δώδεκα κουμπιά ξεχωριστά, αυτή η ομάδα τριών χαρακτηριστικών παρατάσσεται ως ένα αντικείμενο σε μια χαρακτηριστική τυπολογία διάταξης. Ο σχεδιαστής μπορεί και προσδιορίζει τόσο τον αριθμό των κουμπιών που αντιγράφονται, όσο και τις σχετικές αποστάσεις τους προς κάθε κατεύθυνση.



Σχήμα 4-21 Περίβλημα κυψελοειδούς τηλεφώνου: παραμετρικό χαρακτηριστικό

Μια τροποποίηση οποιουδήποτε χαρακτηριστικού μιας ομάδας χαρακτηριστικών (γονέας) θα εμφανιστεί σε κάθε περίπτωση της ομάδας. Αφότου έχει παραχθεί το μοντέλο, οι σχεδιαστές μπορεί να θελήσουν να στρογγυλέψουν όλα τα ανοίγματα, για να επιτρέψουν την εισαγωγή ενός στρογγυλεμένου κουμπιού. Σύμφωνα με αυτήν την τροποποίηση της αρχικής ομάδας χαρακτηριστικών, η αλλαγή αυτή θα διαδοθεί σε όλο το μοντέλο. Η μετακίνηση της θέσης της ομάδας χαρακτηριστικών-γονέα μετατοπίζει, επίσης, την τυπολογία διάταξης – η θέση της τυπολογίας διάταξης καθορίζεται μόνο σχετικά με το γονέα.

Οι τυπολογίες διάταξης είναι χρήσιμες, επίσης, εάν τα χαρακτηριστικά που τις αποτελούν μοιράζονται κάποιες, αλλά όχι όλες τις ιδιότητες. Σε αυτήν την περίπτωση μόνο τα χαρακτηριστικά που αντιγράφονται και παρατάσσονται αναπαριστούν τις κοινές ιδιότητες, και όλες οι μεμονωμένες παραλλαγές διαμορφώνονται στη συνέχεια. Στο παράδειγμα του κινητού τηλεφώνου, είναι δυνατό να τροποποιηθεί η μορφή του ανοίγματος για ένα κουμπί με την προσθήκη τόξου *καμπυλότητας* (fillet) σε αυτήν την ιδιαίτερη περίπτωση του μοντέλου. Οι όποιες αλλαγές σε μια περίπτωση (στοιχείο της τυπολογίας διάταξης) δεν προκαλούν επιπτώσεις στις υπόλοιπες περιπτώσεις της τυπολογίας. Οι περιπτώσεις της τυπολογίας είναι παιδιά της ομάδας χαρακτηριστικών-

γονέας, και η προσθήκη σε ένα παιδί δεν έχει σαφώς καμία επίδραση στα άλλα χαρακτηριστικά-παιδιά.

4.6.2. Διαμορφώσεις μερών και πίνακες σχεδίου

Η εξερεύνηση των παραλλαγών παραμετρικής σχεδίασης είναι μια προφανής περιοχή των περιβαλλόντων σχεδίασης για την ανάπτυξη. Η εξερεύνηση επιτρέπεται από τις σχέσεις γονέας-παιδί των χαρακτηριστικών και της ενσωματωμένης σχεδιαστικής γνώσης δυναμικά μέσω της καθοδηγούμενης-με-βάση-διαστάσεις μοντελοποίησης. Αυτές οι τεχνικές θα είχαν περιορισμένη χρησιμότητα, εάν κάθε παραλλαγή θα έπρεπε να καταχωρηθεί σε ένα νέο αρχείο, όπως είναι συνήθως η περίπτωση στα *βασισμένα-σε-οντότητα* προγράμματα σχεδιογράφησης και στα *βασισμένα-σε-συστατικά* προγράμματα που αναπτύσσονται στις προηγούμενες ενότητες. Τα περιβάλλοντα ανάπτυξης σχεδίασης επιτρέπουν στο χρήστη να καταχωρήσει τις διαφορετικές διαμορφώσεις ενός ενιαίου παραμετρικού μοντέλου στο ίδιο αρχείο και έτσι είναι σε θέση να παράγουν πραγματικά τις νέες περιπτώσεις του βασικού μοντέλου μέσω απλώς της τροποποίησης των βασικών διαστάσεων του χρησιμοποιώντας έναν πίνακα σχεδίου. Τα κελιά σε αυτούς τους πίνακες σχεδίου συνδέονται με τις βασικές διαστάσεις του μοντέλου, και κατ' αυτόν τον τρόπο η επιμέλεια των διαστάσεων στον πίνακα θα ενημερώσει αναλόγως το μοντέλο. Όταν καθορίζονται οι διαστάσεις και προσδιορίζονται οι πολλαπλές τιμές τους, τότε παράγονται και καταχωρούνται οι διαφορετικές περιπτώσεις του παραμετρικού μοντέλου. Πολλά περιβάλλοντα επιτρέπουν πιο εκτενείς λειτουργίες στους πίνακες σχεδίου, όπως η προσθήκη σχολίων, η καταστολή ή η επίλυση των μερών, και πολύ περισσότερων διευκολύνσεων. Ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει να παρουσιάσει οποιαδήποτε περίπτωση γρήγορα και όποτε χρειάζεται, χωρίς να πρέπει να περιπλανηθεί μεταξύ διαφορετικών αρχείων. Το μοντέλο αντιμετωπίζεται με τον ίδιο σχεδόν τρόπο ως μια κλάση αντικειμένου, με τις διαφορετικές διαμορφώσεις του μοντέλου να αναπαριστούν τις μεμονωμένες περιπτώσεις αυτής της κλάσης. Μόλις παραχθεί ένας αριθμός περιπτώσεων, ο σχεδιαστής μπορεί ακόμα να τροποποιήσει το παραμετρικό μοντέλο, αλλά θα πρέπει να προσδιορίσει εάν μια τροποποίηση πρέπει να ισχύσει για όλες ή μόνο μια επιλεγμένη σειρά περιπτώσεων

του μοντέλων. Τα χαρακτηριστικά που δεν ενεργοποιούνται για ορισμένες περιπτώσεις γενικά καταστέλλονται.

4.6.3. Παράγωγα μέρη

Σε πολλά προϊόντα είναι συχνά απαραίτητο να μοντελοποιηθεί ένα τμήμα το οποίο θα βασίζεται στις διαστάσεις και τις παρούσες μορφές ενός ήδη υπάρχοντος μέρους. Σε αυτήν την περίπτωση το μέρος αναφοράς μπορεί γενικά να παρεμβληθεί σε ένα νέο αρχείο. Κατ' αυτόν τον τρόπο χρησιμεύει ως το μέρος-βάση από το οποίο θα προέλθουν τα επακόλουθα μέρη του μοντέλου. Οι αναπροσαρμογές στο υπάρχον μοντέλο απεικονίζονται στο εισαχθέν μέρος με το γνωστό τρόπο των εξωτερικών αναφορών που χρησιμοποιείται στα προγράμματα σχεδιογράφησης βασισμένα σε οντότητες (AutoCAD™, και άλλα). Πρέπει να σημειωθεί ότι μερικά περιβάλλοντα δεν επιτρέπουν το διαχωρισμό των οργανισμών των μοντέλων, ενώ άλλα επιτρέπουν την ύπαρξη πολλαπλών αποσυνδεδεμένων στερεών σε ένα αρχείο. Αυτή η διαδικασία δημιουργίας παράγωγων μερών από άλλα υπάρχοντα μέρη, συνδέεται πολύ με ορισμένες πτυχές της μοντελοποίησης *συναρμολόγησης* (assembly) (βλ. παράγραφο 4.2).

Η διαφορά μεταξύ των τμηματικών μοντέλων με εξωτερικά μέρη αναφοράς και ενός αληθινού μοντέλου *συναρμολόγησης* (assembly) μπορεί να είναι λεπτή, και επιπλέον εξαρτάται πολύ από τις μεμονωμένες δυνατότητες μέσα σε ένα δεδομένο λογισμικό. Είναι γενικά δυνατό να εισαχθεί αρχικά ένα εξωτερικό μοντέλο αναφοράς, αλλά, εάν αποτελεί το βασικό μέρος, τότε πρέπει να παραμείνει μέρος του νέου μοντέλου, επειδή όλα τα νέα χαρακτηριστικά που θα προκύψουν θα είναι εξαρτώμενα παιδιά του βασικού μέρους. Τα μοντέλα *συναρμολόγησης* (assembly) επιτρέπουν γενικά την αφαίρεση ή τη μετακίνηση των μεμονωμένα μερών χωρίς να επηρεάζονται τα παραγόμενα μέρη.

4.6.4. Μακροεντολές και κανόνες

Πολλές από τις τεχνικές μοντελοποίησης που περιγράφονται σε αυτό το τμήμα μπορούν να είναι εξαιρετικά ισχυρές αλλά αναπόφευκτα απαιτούν ένα ορισμένο χρονικό διάστημα προκειμένου να εφαρμοστούν. Προκειμένου να αποφευχθεί η

επαναλαμβανόμενη εκτέλεση της ίδιας ακολουθίας βημάτων μοντελοποίησης, ο σχεδιαστής μπορεί να καταγράψει οποιοδήποτε αριθμό και ακολουθία βημάτων μοντελοποίησης μέσω μιας μακροεντολής, αυτοματοποιώντας κατά συνέπεια την διαδικασία της εργασίας του. Ανάμεσα στα παραδείγματα των μακροεντολών που δημιουργούνται από σχεδιαστές, περιλαμβάνονται η μοντελοποίηση τυπικών συνδέσεων, η εισαγωγή λοξοτμημένων τρυπών ή οποιαδήποτε άλλη εργασία μοντελοποίησης που συνδυάζει αρκετά βήματα μοντελοποίησης. Τα περισσότερα περίπλοκα περιβάλλοντα σχεδίασης για την ανάπτυξη επιτρέπουν στο χρήστη να δημιουργήσει τις μακροεντολές άμεσα μέσω διεπαφών με την καταγραφή της επιθυμητής ακολουθίας βημάτων μοντελοποίησης και εν συνεχεία αποθηκεύοντας την μακροεντολή σε ένα αρχείο. Επίσης, οι μακροεντολές μπορούν συνήθως να δημιουργηθούν με το να προγραμματιστούν άμεσα σε ένα χωριστό περιβάλλον σύμφωνα με τις συμβάσεις που εκτίθενται σε μια ιδιαίτερη εφαρμογή. Οι χαρακτηριστικές χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού περιλαμβάνουν τις Visual Basic, C, και C ++,

Σε άμεση συσχέτιση με τις μακροεντολές βρίσκονται οι οδηγίες-κανόνες σχεδίασης οι οποίες πραγματοποιούνται μέσω εντολών υπό όρους. Αυτές οι εντολές διέπουν τη σχέση μεταξύ διάφορων παραμέτρων των μοντέλων βασισμένων-σε-χαρακτηριστικό. Μια τυπική έννοια βασισμένη σε κανόνες θα ήταν το γεγονός να προστεθούν τα στηρίγματα αυτόματα σε ένα χώρισμα ανάλογα με το συνολικό μήκος του. Επίσης, οι κανόνες μπορούν να προκαλέσουν την εκτέλεση των μακροεντολών, ή απλά να καθορίσουν τις διαστάσεις ή άλλες ιδιότητες των τμημάτων ενός μοντέλου. Μια επιχείρηση μπορεί να αυτοματοποιήσει μερικώς σύνθετες στοιχειώδεις εργασίες, με την υπόσχεση της βελτιωμένης παραγωγικότητας μέσω της ενίσχυσης του πλαισίου μακροεντολών αλλάζοντας συμπεριφορά, αντί απλά να αυτοματοποιεί τα βήματα στις διαδικασίες μοντελοποίησης. Οι κανόνες μπορούν να χρησιμεύσουν στην επιβολή των σχεδιαστικών ή μηχανικών αρχών μιας επιχείρησης, επειδή οι μεμονωμένοι σχεδιαστές μπορούν να μεταφορτώσουν τους κανόνες και τις μακροεντολές που έχουν δημιουργηθεί ως κοινά στοιχεία μέσα σε ένα δικτυωμένο υπολογιστικό περιβάλλον.

4.6.5. Επισκόπηση – συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση των διαφόρων σύνθετων μεθόδων μοντελοποίησης των αντικειμένων, κατά τις διάφορες φάσεις της σχεδιαστικής διαδικασίας μπορούμε να συνοψίσουμε στα παρακάτω. Τα μελλοντικά ψηφιακά περιβάλλοντα CAx θα αποθηκεύουν – διαχειρίζονται μεγαλύτερο εύρος πληροφορίας-δεδομένων. Τα μοντέλα προϊόντων στοχεύουν στη *σύλληψη* και *μοντελοποίηση* του συνόλου της πληροφορίας που παράγεται κατά την ανάπτυξη προϊόντος (χώρου - αντικειμένου) και παρέχουν μια κεντρική αποθήκη σχεδίασης προσβάσιμη από όλους τους συμμετέχοντες κατά της σχεδίαση – παραγωγή. Η μοντελοποίηση βασισμένη σε χαρακτηριστικά χρησιμοποιείται από όλα τα μεγάλα ψηφιακά περιβάλλοντα CAD. Σε σύγκριση με τη γεωμετρική μοντελοποίηση, τα βασισμένα σε χαρακτηριστικά και παραμετρικά ψηφιακά περιβάλλοντα CAD παρέχουν:

- επιπλέον υψηλότερο επίπεδο πληροφορίας (περισσότερο βολικό για τη σχεδίαση),
- διαδικασία δημιουργίας μοντέλων πιο πρόσφορη στα καθήκοντα της σχεδίασης,
- ταχύτερη δημιουργία μοντέλων,
- ευκολότερη και ταχύτερη διασπορά των σχεδιαστικών τροποποιήσεων.

Οι έννοιες που χρησιμοποιούνται από τους σχεδιαστές είναι γενικές. Με την εφαρμογή τους στα συστήματα CAD παράγονται: διαφορετικά σύνολα χαρακτηριστικών, βιβλιοθηκών, και βασικών χαρακτηριστικών.

Τέλος μπορούμε να αναφέρουμε τα γενικά προβλήματα και τα ανοικτά ζητήματα σε αυτές τις μεθόδους γενικά. Είναι απαραίτητη η εμφάνιση ισχυρά και επινοητικά ψηφιακά περιβάλλοντα CAD για τη δημιουργία – επιμέλεια των μοντέλων. Η δια-επιχειρησιακότητα των παραμετρικών μοντέλων, των μοντέλων βασισμένων σε περιορισμούς, και των μοντέλων βασισμένων σε χαρακτηριστικά, θα επιλύσει πολλά προβλήματα συνεργατικότητας. Επειδή τα χαρακτηριστικά είναι συναρτημένα με περιοχές εφαρμογής η συνεργασία είναι δύσκολη. Η ύπαρξη χαρακτηριστικών πολλαπλών αναπαραστάσεων και ερμηνειών είναι μια μεγάλη πρόκληση. Οι σχεδιαστές προτιμούν να εργάζονται με διαδικασία “top-down” παρά “bottom-up” που γενικά υποστηρίζουν τα ψηφιακά περιβάλλοντα βασισμένα σε χαρακτηριστικά. Τα μοντέλα χαρακτηριστικών ακόμα δεν

υποστηρίζουν την εννοιολογική φάση σχεδίασης (όπου οι σχεδιαστές ασχολούνται περισσότερο με τη λειτουργία και τη συνολική σύσταση του προϊόντος, παρά με τη λεπτομερή γεωμετρία). Είναι απαραίτητη η βελτιωμένη υποστήριξη και σύνδεση της λειτουργίας, της συμπεριφοράς και των απαιτήσεων του μοντέλου. Τα μοντέλα χαρακτηριστικών μπορούν να συλλαμβάνουν καλύτερα το σχεδιαστικό περιεχόμενο από τα γεωμετρικά μοντέλα. Αλλά είναι ακόμα πολύ περιορισμένων δυνατοτήτων και δεν είναι ικανά να συλλαμβάνουν σχεδιαστικές αρχές – προτιμήσεις. Είναι απαραίτητα τα ενοποιημένα μοντέλα πολλαπλών υψηλού επιπέδου αναπαραστάσεων ενός προϊόντος, τα οποία θα επιτρέπουν στους σχεδιαστές να προσεγγίζουν τα χαρακτηριστικά ανάλογα με τη δική τους οπτική γωνία – άποψη. Η αυτοματοποίηση μεταξύ διαφορετικών απόψεων είναι μια σημαντική παράμετρος εξέλιξης στα ψηφιακά περιβάλλοντα. Τα μοντέλα προϊόντων εξελίσσονται χωρίς να υπάρχει ένα κυρίαρχο η δεδομένο μοντέλο, κάτι που εμποδίζει την επικοινωνία μεταξύ των προγραμμάτων.

4.7. Βιβλιογραφία κεφαλαίου

Bronsvoort W., F., van den Berg E., Bidarra R., Noort A. (2001). Essential Developments in Feature Modelling. CAD/Graphics'2001 August 22-24 International Academic Publishers, Kunming.

Hernandez C. R. B. (2006). Thinking parametric design. Design Studies 27 (2006) pp 309-324

Lee K. (1999). Principles of CAD/CAM/CAE systems. Reading, Mass: Addison-Wesley.

Mcmahon C., Browne J., (1998). CAD/CAM: Principles, Practice, and Manufacturing Management (2nd Edition). Addison Wesley Longman.

Monedero, J (2000) Parametric design: a review and some experiences. Automation in Construction Vol 9 No 4 pp 369-377.

Oxman R., (2006). Theory and design in the first digital age, Design Studies, Volume 27, Issue 3, May 2006, Pages 229-265.

Schodek D., Bechthold M., Griggs K., Kao K. M., Steinberg M. (2004). Digital Design and Manufacturing. Hoboken, New Jersey: John Willey & Sons.

Shah J. J. and Mantyla M. (1995). Parametric and Feature-based CAD/CAM. New York: John Wiley.