



A.T.E.I. ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΙΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : Σχεδιασμός – Κατασκευή βιομηχανικών προϊόντων με συστήματα CAD / CAM

Υπεύθυνος Καθηγητής
και Εισηγητής :

Καβαλιεράτος Νικόλαος

Μελετητές Σπουδαστές : Βγενόπουλος Νικόλαος
Μανωλόπουλος Βασίλειος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
1. Περιγραφή	4-18
1.1 Σε τι συνίσταται η τεχνική	4-6
1.2 Σκοποί της τεχνικής	6-7
1.3 Η Τεχνολογία σχεδιομελέτης – παραγωγής με Η/Υ στην ανάπτυξη του προϊόντος	8-14
1.4 Επίδραση στην παραγωγή του προϊόντος	14-16
1.5 Περιγραφή /Δομή μεθοδολογίας / Εναλλακτικές λύσεις	17-18
2. Συστήματα CAD	19-23
3. Εργαλεία Μηχανικής με τη Βοήθεια Υπολογιστή	24
4. Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων	25-28
5. Εργαλεία και Μηχανές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης	29-32
6. Εργαλεία Διαχείρισης Δεδομένων Προϊόντος	33-34
7. Αντίστροφη σχεδίαση	35-39
8. Εργαλεία CAM – Υποστήριξης κατασκευής	40-43
8.1 Μελέτη και προγραμματισμός κατεργασιών	40
8.2 Παραγωγή προγράμματος εργαλειομηχανής	40-41
8.3 Έλεγχος	42
8.4 Πλασματικό πρωτότυπο – Πλασματική παραγωγή	42-43
9. Τυπική εφαρμογή συστημάτων CAD/CAM σε βιομηχανικό περιβάλλον	44-45
10. Προκαταρκτικός Σχεδιασμός Βιομηχανικού Προϊόντος με Υπολογιστή: Νέες Στρατηγικές Έρευνας και Μέθοδοι στην Αυτόματη Κατασκευή Τρισδιάστατου Στερεού από Σκίτσο	46
11. Πολύεδρο από σκίτσο: Διατύπωση και ανάλυση του προβλήματος	47

12. Είδη και Ιδιότητες Σκίτσων σε σχέση με το Πρόβλημα “Ορισμός Πολύεδρου από ένα Σκίτσο”	48
13. Πολύεδρο από ένα φυσικό σκίτσο βάσει χαρακτηρισμού των γραμμών του σκίτσου (Line-Labeling)	49-52
<i>13.1 Χαρακτηρισμός των γραμμών σκίτσου (line labeling): προτάσεις για μια νέα ερευνητική στρατηγική</i>	50-52
14. Πολύεδρο από φυσικό σκίτσο βάσει θεωρίας γραφών και στερεάς μοντελοποίησης	53
15. Πολύεδρο από ένα Φυσικό Σκίτσο: Ο νέος Αλγόριθμος ΠΦΣ	54-56
16. Πολύεδρο από Φυσικό Σκίτσο: Παραδείγματα εφαρμογής του νέου Αλγορίθμου ΠΦΣ	57
17. Κατασκευή Πολύεδρου Συμβατού με την «Σχεδιαστική Πρόθεση» του Σχεδιαστή	58
18. Συμπεράσματα και τρέχουσα έρευνα	59
19. Χαρακτηριστικά επιχειρήσεων / οργανισμών και φορέων παροχής υπηρεσιών	60
20. Κόστος υλοποίησης	61
21. Συνθήκες υλοποίησης	62-63
<i>21.1 Σφάλματα εφαρμογής</i>	62
<i>21.2 Άγνοια Χειριστή</i>	63
22. Διαδικασία υλοποίησης	64-69
<i>22.1 Βήματα/ στάδια</i>	64-65
<i>22.2 Εκπαίδευση</i>	65-66
<i>22.3 Οργάνωση</i>	66-67
<i>22.4 Λειτουργίες</i>	67-68
<i>22.5 Διαδικασίες</i>	68-69
<i>22.6 Σχετικό λογισμικό (υπάρχον ή υπό κατασκευή)</i>	69
23. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ	70-71

1. Περιγραφή

1.1 Σε τι συνίσταται η τεχνική

Ως Σχεδιασμός Με τη Βοήθεια Υπολογιστή (CAD) ορίζεται η χρήση της τεχνολογίας πληροφορικής στη διαδικασία Σχεδιασμού. Ένα σύστημα CAD αποτελείται από υλικότεχνολογίας πληροφορικής (hardware - H/W), εξειδικευμένο λογισμικό (software - S/W), ανάλογα με τη συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογής, και περιφερειακά συστήματα, τα οποία σε ορισμένες εφαρμογές είναι απολύτως εξειδικευμένα. Πυρήνα ενός συστήματος CAD αποτελεί το λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιεί γραφικά για την αναπαράσταση του προϊόντος, βάσεις δεδομένων για την αποθήκευση του μοντέλου του προϊόντος και οδηγεί τα περιφερειακά για την παρουσίαση του προϊόντος. Η χρήση του δεν μεταβάλλει τη φύση της διαδικασίας σχεδιασμού αλλά, όπως δηλώνει η ονομασία του, αποτελεί βοήθημα για το σχεδιαστή του προϊόντος. Ο σχεδιαστής διατηρεί τον πρωταρχικό ρόλο στη διαδικασία, από τη φάση της αναγνώρισης του προβλήματος έως αυτήν της υλοποίησης. Ο ρόλος του συστήματος CAD είναι η προσφορά βοήθειας προς το σχεδιαστή εξασφαλίζοντάς του:

- Ακριβή και εύκολα τροποποιήσιμη γραφική αναπαράσταση του προϊόντος. Ο χρήστης έχει στην οθόνη του μια σχεδόν πραγματική άποψη του προϊόντος, στο οποίο μπορεί να επιφέρει οιοσδήποτε τροποποιήσεις, ενώ μπορεί να παρουσιάσει τις ιδέες του επί της οθόνης χωρίς πρωτότυπο, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων της διαδικασίας σχεδιασμού.
- Δυνατότητα για σύνθετη ανάλυση σχεδιασμού σε σύντομο χρόνο. Με την υλοποίηση των μεθόδων Ανάλυσης Πεπερασμένων Στοιχείων ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει:
- Ανάλυση Στατικής, Δυναμικής και Φυσικής Συχνότητας, ανάλυση μεταφοράς Θερμότητας, Πλαστική ανάλυση, ανάλυση Ροής Ρευστού, ανάλυση Κίνησης, ανάλυση Ανοχής, βελτιστοποίηση Σχεδιασμού
- Καταγραφή και ανάκληση πληροφοριών με συνοχή και ταχύτητα. Συγκεκριμένα, η χρήση των συστημάτων Διαχείρισης Δεδομένων Προϊόντων (PDM) δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης όλου του ιστορικού του σχεδιασμού και της επεξεργασίας ενός συγκεκριμένου προϊόντος, για μελλοντική χρήση και αναβάθμιση.

Την τεχνική εισηγήθηκε ο Ian Sutherland του MIT, όταν δημιουργήθηκε το πρώτο σχετικό σύστημα, το Sketch - pad, στα πλαίσια του ερευνητικού

προγράμματος SAGE (Semi-Automatic Ground Environment). Πρώτοι χρήστες και πρόδρομοι της ανάπτυξης της τεχνολογίας CAD υπήρξαν οι βιομηχανίες αυτοκινήτων και αεροδιαστημικής.

Το πρώτο σύστημα είχε ιδιαίτερα υψηλό κόστος καθώς η τεχνολογία γραφικών με υπολογιστή δεν ήταν ακόμη αρκετά εξελιγμένη και η χρήση του συστήματος απαιτούσε εξειδικευμένο υλικό και λογισμικό, τα οποία παρείχαν κυρίως οι διανομείς του συστήματος CAD. Τα πρώτα συστήματα CAD ήταν συστήματα με υποστήριξη υπολογιστή εξαρτώμενα από το κεντρικό σύστημα, ενώ σήμερα η σχετική τεχνολογία απευθύνεται σε συνδεδεμένους σε δίκτυο αλλά αυτόνομους σταθμούς εργασίας (συστήματα με βάση τα UNIX ή WINDOWS). Στις αρχές του 1980, η AUTODESK κυκλοφορεί το πρώτο σύστημα CAD που βασίζεται σε προσωπικό υπολογιστή (PC), το AUTOCAD. Σήμερα, το κύριο λειτουργικό σύστημα για συστήματα CAD είναι τα WINDOWS.

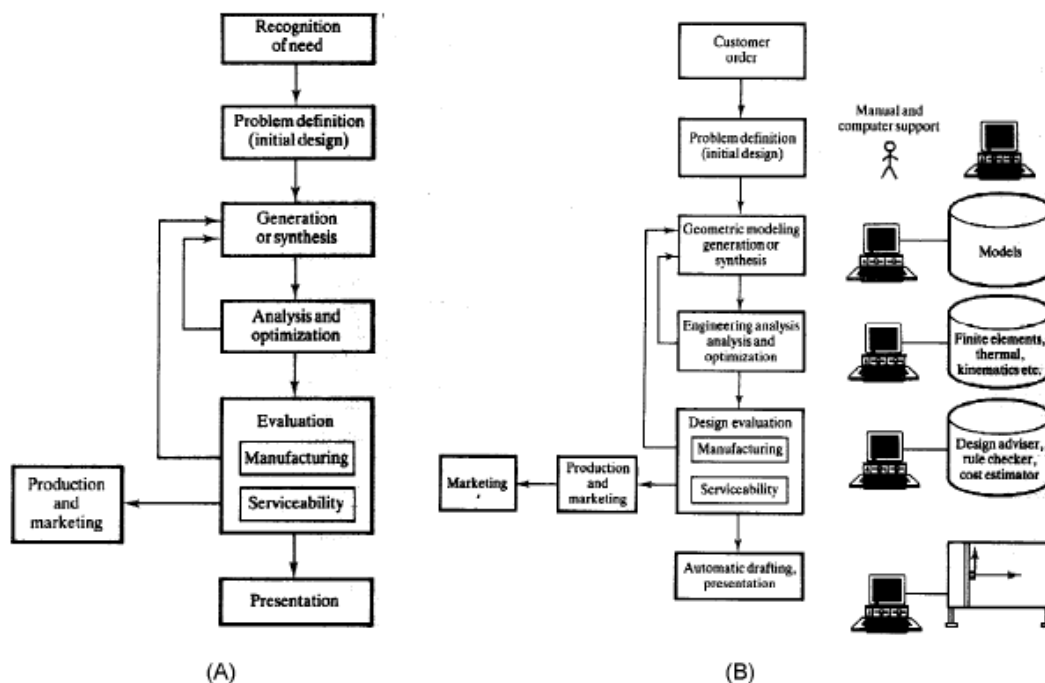
Οι πρώτες εφαρμογές αφορούσαν σχεδίαση δύο διαστάσεων (2D), ενώ τα συστήματα είχαν επίσης τη δυνατότητα μοντελοποίησης, δύο διαστάσεων μόνο. Ακόμη και σήμερα, η εκτέλεση σχεδίων δύο διαστάσεων εξακολουθεί να αποτελεί τον κύριο τομέα εφαρμογής (ως προς τον αριθμό των σταθμών εργασίας). Αργότερα, (στα μέσα της δεκαετίας του '80), ως επακόλουθο της προόδου της τεχνολογίας τρισδιάστατης μοντελοποίησης και της ανάπτυξης στον τομέα του υλικού τεχνολογίας πληροφορικής, τα συστήματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης γνώρισαν ιδιαίτερη επιτυχία. Στην αρχή τα εν λόγω συστήματα βασίζονταν σε μοντέλα ακμών. Οι βιομηχανίες αυτοκινήτων και αεροδιαστημικής χρησιμοποιούσαν συστήματα μοντελοποίησης επιφανείας για την ακριβή αναπαράσταση του κορμού του προϊόντος. Παράλληλα, η μοντελοποίηση στερεών όγκων αναγνωριζόταν ως το μόνο σύστημα με ικανότητα παραγωγής σαφούς αναπαράστασης του προϊόντος, μη διαθέτοντας όμως επαρκή υποστήριξη για αναπαραστάσεις σύνθετων εξαρτημάτων. Σήμερα παρατηρείται μια συγχώνευση των τεχνολογιών μοντελοποίησης επιφανειών και στερεών όγκων. Στην πλειονότητά τους, τα συστήματα μοντελοποίησης στερεών όγκων μπορούν να μοντελοποιούν τα περισσότερα βιομηχανικά προϊόντα. Τα συστήματα που είναι διαθέσιμα σήμερα (ιδιαίτερα όσα προορίζονται για μηχανικές εφαρμογές, τα οποία και αποτελούν την πλειονότητα των συστημάτων που διατίθενται ανά τον κόσμο) χαρακτηρίζονται ως συστήματα βάσει NURBS, χρησιμοποιούν την τεχνολογία μοντελοποίησης στερεών όγκων, και αποτελούν συστήματα που λειτουργούν βάσει παραμέτρων και χαρακτηριστικών.

Η χρήση των συστημάτων CAD έχει εξαπλωθεί σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας, όπως AEC, Ηλεκτρονική, Κλωστοϋφαντουργία, Συσκευασία, Ένδυση, Δερμάτινα Είδη και Υποδηματοποιία, κλπ. Σήμερα,

κυκλοφορούν πολλά συστήματα CAD, τα οποία διατίθενται σε διάφορες χώρες από μεγάλο αριθμό διανομέων.

1.2 Σκοποί της τεχνικής

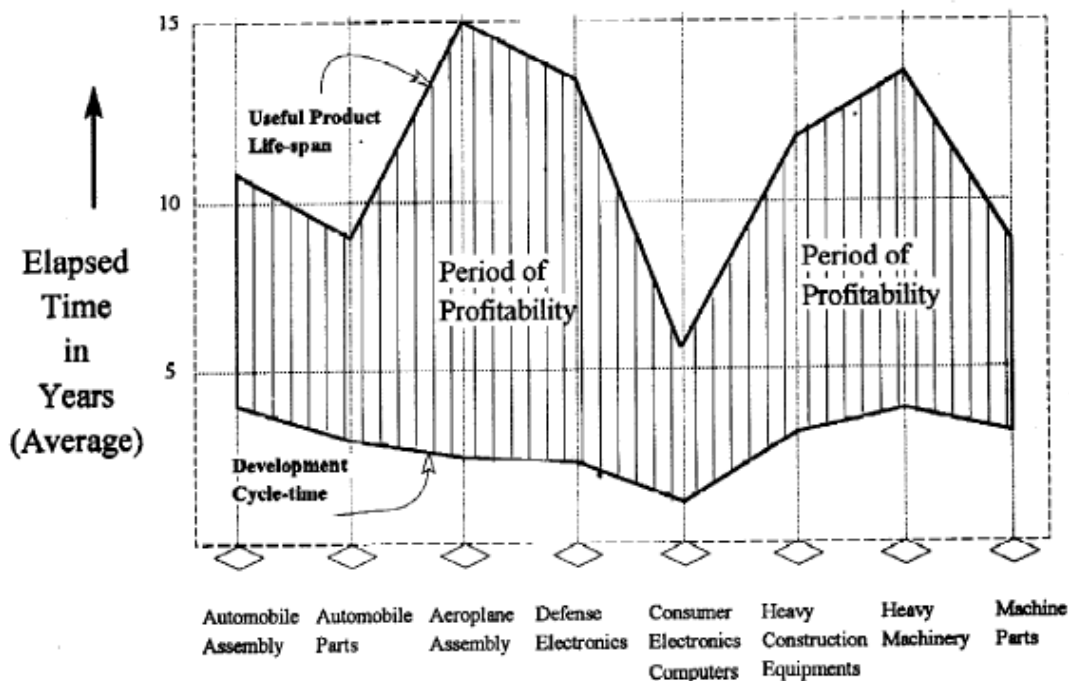
Αρχικά, η εν λόγω τεχνική αποσκοπούσε στην αυτοματοποίηση ενός αριθμού εργασιών, κυρίως μοντελοποίησης προϊόντος. Σήμερα, τα συστήματα CAD καλύπτουν τις περισσότερες δραστηριότητες σχεδιασμού, καταγράφουν το σύνολο των δεδομένων του προϊόντος, και χρησιμοποιούνται ως βάση για τη συνεργασία από απόσταση μεταξύ διαφορετικών ομάδων σχεδιασμού. Οι περισσότερες εφαρμογές του αφορούν στην κατασκευή, ενώ συνήθως ονομασία της εφαρμογής είναι CAD/CAM. Οι περιοχές εφαρμογής τεχνικών που αφορούν στο CAD, όπως CAD, CAE (μηχανική με τη βοήθεια υπολογιστή) και CAM (κατεργασίες με τη βοήθεια υπολογιστή) παρουσιάζονται στο Σχήμα 1a. Στην αριστερή πλευρά του σχήματος εμφανίζεται μια απλοποιημένη αναπαράσταση του κύκλου σχεδιασμού ενώ η δεξιά πλευρά αφορά στη χρήση συστημάτων Τεχνολογίας Πληροφορικής. Οι ανωτέρω λειτουργίες δεν επιτελούνται από ένα και μόνο σύστημα και πολύ συχνά οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν περισσότερα από ένα συστήματα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εφαρμογών CAD και CAE.



Σχ. 1a. (A) Η παραδοσιακή γενικευμένη διαδικασία σχεδιασμού, και (B) εφαρμογές Τεχνολογίας Πληροφορικής στη διαδικασία σχεδιασμού.

Η χρήση των συστημάτων CAD μπορεί να μειώσει το χρόνο που απαιτείται για το σχεδιασμό ενός προϊόντος, γεγονός που θέτει την επιχείρηση

σε πλεονεκτική θέση, εφόσον το προϊόν μπορεί να εισαχθεί νωρίτερα στην αγορά. Στο σχήμα 1b, παρουσιάζεται μια αναπαράσταση του χρόνου ανάπτυξης και της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του προϊόντος. Όσο πιο σύντομος είναι ο χρόνος ανάπτυξης, τόσο πιο νωρίς το προϊόν εισάγεται στην αγορά και τόσο μεγαλύτερη μπορεί να είναι η ωφέλιμη διάρκεια ζωής του, δεδομένου ότι διαθέτει την απαιτούμενη ποιότητα κατασκευής.



Σχ. 1b. Ανάλυση του μέσου χρόνου ανάπτυξης προϊόντος (ενδεικτικό της απαρχής της περιόδου αποπληρωμής) και του ωφέλιμου χρόνου προϊόντος (περίοδος αποδοτικότητας) για διάφορα βιομηχανικά προϊόντα.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι πρώτες εφαρμογές CAD αφορούσαν σε προσχέδια δύο διαστάσεων, ενώ σήμερα πρόκειται κυρίως για τρισδιάστατες συμπαγείς και παραμετρικές αναπαραστάσεις του πραγματικού προϊόντος. Οι δυνατότητες που προσφέρονται περιλαμβάνουν την μοντελοποίηση ολοκληρωμένων συναρμολογήσεων καθώς και την πλήρη ανάλυση ενός εικονικού πρωτοτύπου. Η τρισδιάστατη αναπαράσταση μπορεί να μεταφερθεί για επεξεργασία σε άλλα υπολογιστικά περιβάλλοντα, αποτελώντας το μέσο επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών ομάδων προσωπικού από διάφορα τμήματα μιας επιχείρησης ή ενός οργανισμού.

Τα συστήματα CAD προσφέρουν τη δυνατότητα εφαρμογής της σύγχρονης μηχανικής ενώ μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το κόστος, τη λειτουργικότητα και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

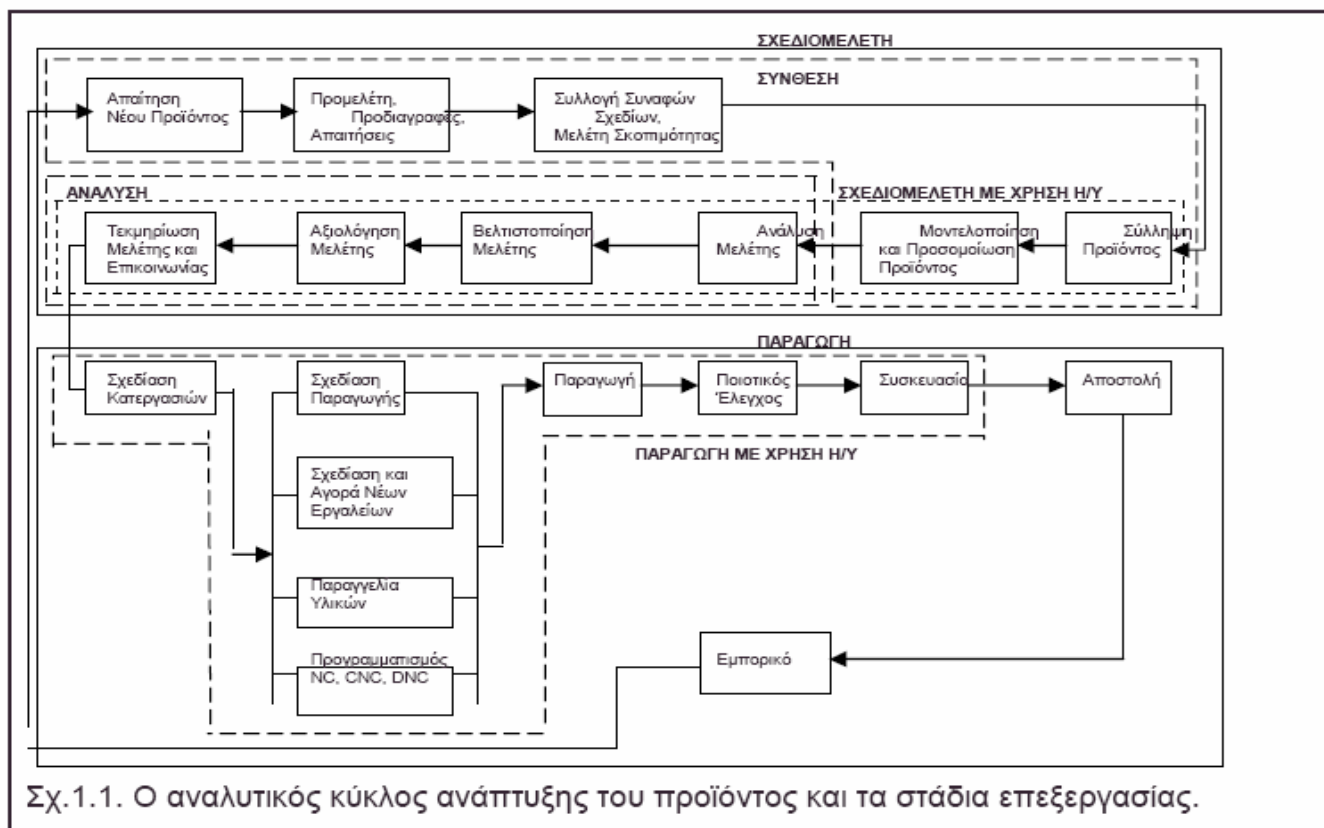
1.3 Η Τεχνολογία σχεδιομελέτης – παραγωγής με Η/Υ στην ανάπτυξη του προϊόντος

Τα στάδια ανάπτυξης ενός προϊόντος φαίνονται στο Σχ.1.1. Διακρίνονται δύο κύριες δραστηριότητες,

- Το στάδιο της μελέτης και ανάπτυξης του προϊόντος (The Design Process)
- Το στάδιο της παραγωγής (The Manufacturing Process)

Η μελέτη και ανάπτυξη του προϊόντος ολοκληρώνεται σε δύο κύκλους, οι οποίοι όμως δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους. Αυτοί είναι:

- Η σύνθεση (Synthesis) και
- Η ανάλυση (Analysis)



Η σύνθεση περιλαμβάνει τα στάδια:

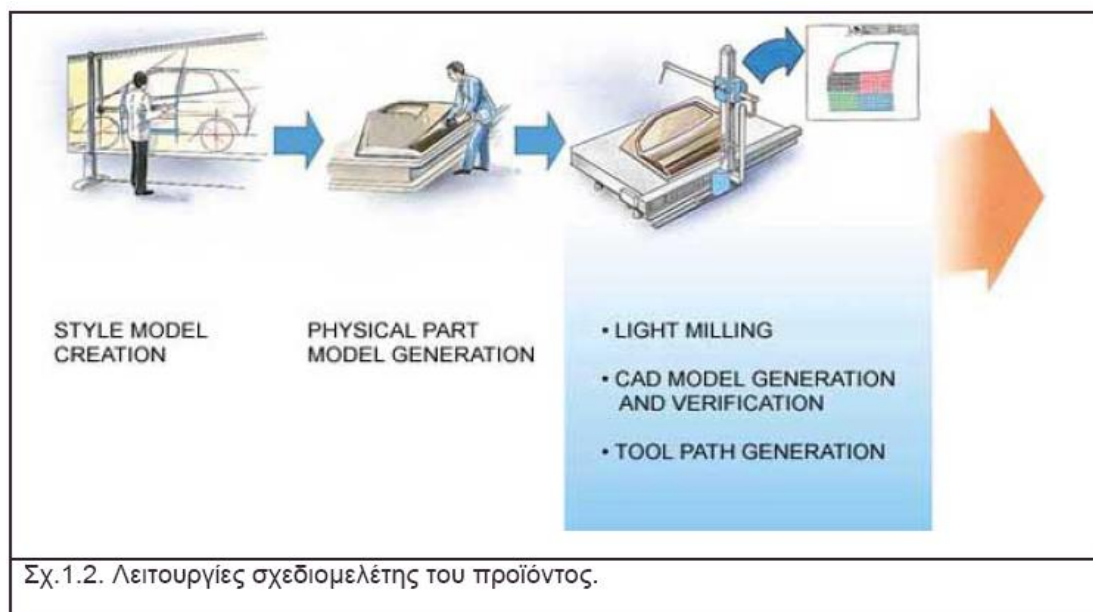
- Ανάλυση της απαίτησης για το νέο προϊόν, που προέρχεται από έρευνα, από ανάγκη της αγοράς, από μελέτη του ανταγωνισμού, κλπ.
- Προμελέτη, που περιλαμβάνει τις απαιτήσεις του πελάτη και τη σύνταξη των προδιαγραφών

- Μελέτη σκοπιμότητας, όπου αξιολογούνται εναλλακτικές ιδέες και σχέδια.
- Σύλληψη προϊόντος και αξιολόγηση των πρώτων ιδεών και
- Μοντελοποίηση και προσομοίωση του τελικού προϊόντος

Το στάδιο της ανάλυσης περιλαμβάνει:

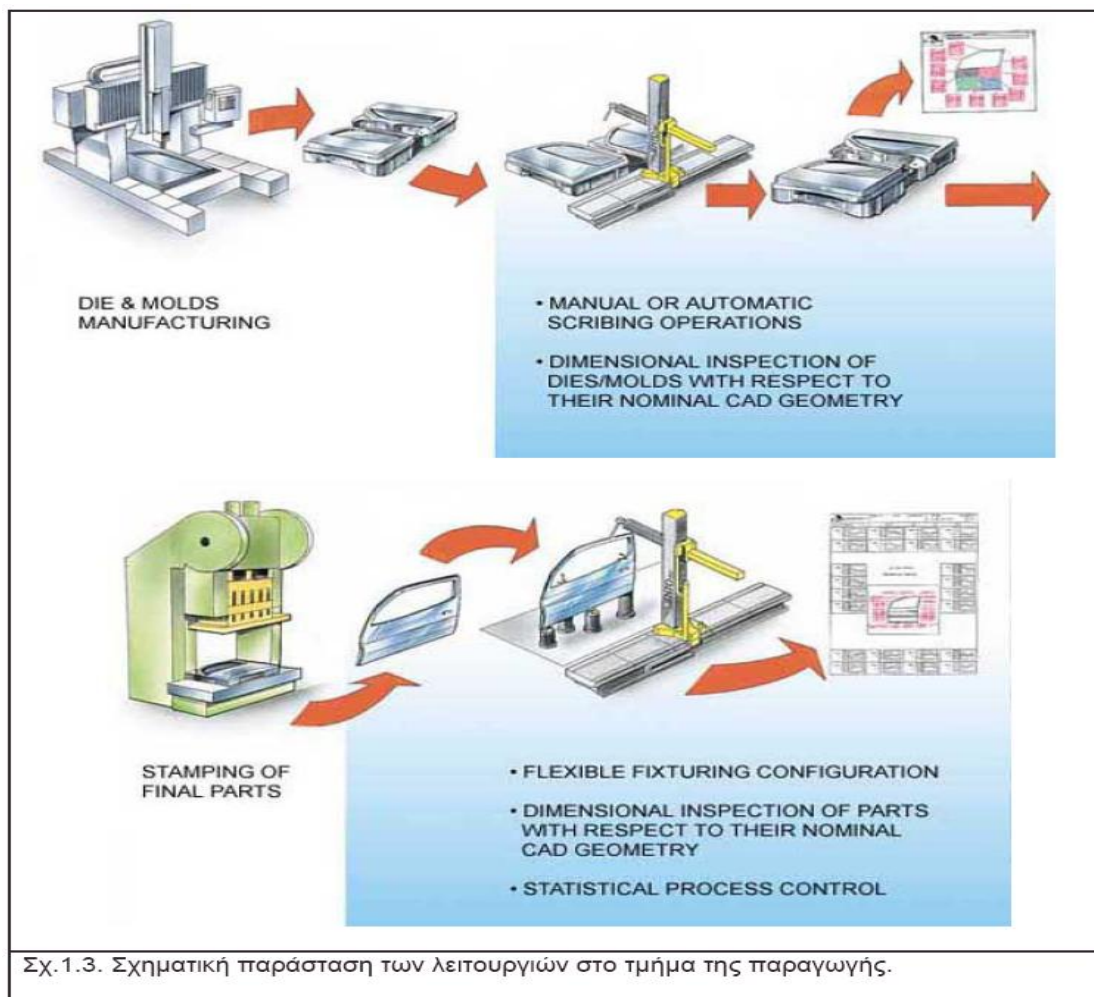
- Την ανάλυση της συμπεριφοράς του προϊόντος, όπου χρησιμοποιούνται μοντέλα προσομοίωσης, τόσο υπολογιστικά όσο και πρωτότυπα,
- Την βελτιστοποίηση της μοντελοποίησης και τελική αξιολόγηση του προϊόντος, και
- Την τεκμηρίωση του, με έντυπα και σχέδια.

Ένα τμήμα της σύνθεσης και σχεδόν όλα τα στάδια της ανάλυσης μπορούν να εξυπηρετηθούν από προϊόντα λογισμικού CAD/CAM, και αυτό φαίνεται στο Σχ. 1.1 στο πλαίσιο Σχεδιομελέτη με χρήση Η/Υ και μερικές από αυτές τις λειτουργίες φαίνονται στο Σχ. 1.2.



Σχ.1.2. Λειτουργίες σχεδιομελέτης του προϊόντος.

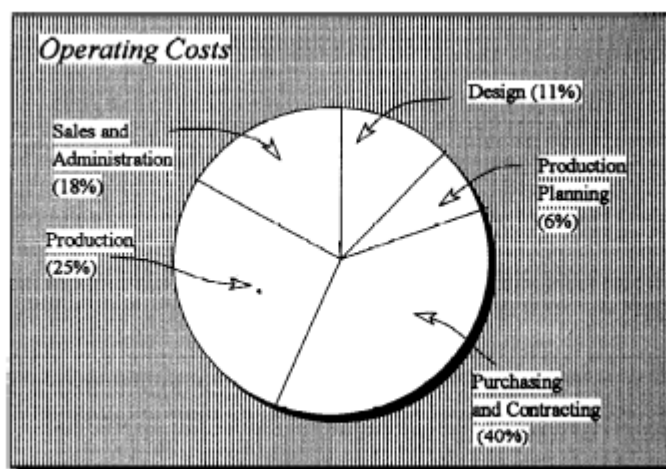
Στην δραστηριότητα της παραγωγής, όλα σχεδόν τα βήματα μπορούν να εξυπηρετηθούν από προϊόντα λογισμικού CAD/CAM, εκτός του Εμπορικού (Marketing) και της Αποστολής (Shipping). Όλα αυτά τα εργαλεία περιλαμβάνονται στο πλαίσιο, Παραγωγή με Χρήση Η/Υ στο Σχ. 1.1. Μερικές από τις εργασίες στο τμήμα της παραγωγής φαίνονται και στο Σχ. 1.3.



Το Σχ. 1.1 δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια σειριακή διαδικασία εκτέλεσης των διαφόρων σταδίων. Αντίθετα, υπάρχει μεταφορά αποτελεσμάτων, υπό τη μορφή σχεδίων και αρχείων, από το ένα στάδιο στο επόμενο και ανάδραση των αποτελεσμάτων προς τα προηγούμενα στάδια. Η όλη διαδικασία δεν πρέπει να είναι σειριακή και να περιμένουμε να τελειώσει ένα στάδιο για να αρχίσει το επόμενο, ιδιαίτερα για μεγάλα έργα, αλλά να υπάρχει συνεργασία των ομάδων για την εκτέλεση κάθε σταδίου και να ελαχιστοποιούνται οι αλλαγές που απαιτούνται να γίνουν στα τελευταία στάδια της μελέτης παραγωγής του προϊόντος. Η τάση αυτή ξεκίνησε από τους μεγάλους χρήστες συστημάτων που σχεδιάζουν και παράγουν σύνθετα προϊόντα, και στη συνέχεια επεκτάθηκε και σε άλλους τομείς. Αυτή η μεθοδολογία εργασίας ονομάζεται παράλληλη μηχανική (concurrent engineering). Η μελέτη και ανάπτυξη ενός προϊόντος δεν είναι αποκλειστική μέριμνα του τμήματος μελέτης, αλλά και τα υπόλοιπα τμήματα της εταιρείας, πρέπει να συμμετάσχουν ενεργά σε όλα τα στάδια. Τα τμήματα τα οποία απαραίτητα πρέπει να συνεργάζονται είναι το εμπορικό, της μελέτης και της παραγωγής και να υποστηρίζονται από την κοστολόγηση, προμήθειες, λογιστήριο, διοίκηση, κλπ. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι η συνεργασία των προμηθευτών και των πωλητών του προϊόντος. Απαραίτητη προϋπόθεση

είναι η συντήρηση και αναδρομή όλων των εμπλεκομένων σε μια ενιαία αναφορά στο προϊόν, που γίνεται σήμερα με τα συστήματα CAD και τα συστήματα PDM- Product Data Management, ή συστήματα Διαχείρισης Δεδομένων Προϊόντων. Τα συστήματα PDM που υφίστανται σήμερα καταγράφουν τον όλο κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος και συνεργάζονται με τα συστήματα CAD και επιπλέον παρέχουν δρομολόγηση καθηκόντων (work flow), συνεργασία ομάδων στην ίδια επιχείρηση ή σε διαφορετικές επιχειρήσεις (Collaboration) και ανταλλαγή δεδομένων μέσα από το διαδίκτυο. Σκοπός είναι η ταχύτερη ανάπτυξη του προϊόντος, η επαναχρησιμοποίηση των δεδομένων και η αξιολόγηση του κύκλου ζωής του προϊόντος.

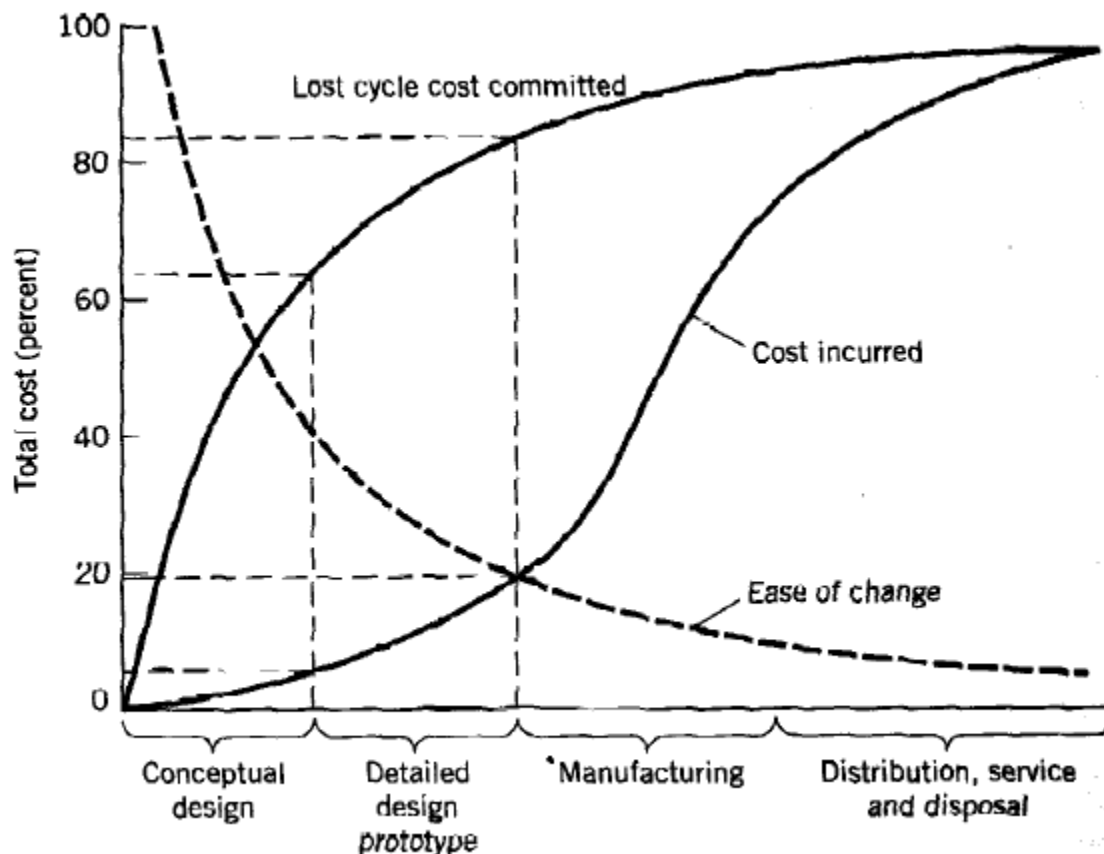
Πολλές μελέτες σε διάφορους τομείς αναφέρουν ότι οι δαπάνες της διαδικασίας σχεδιασμού αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό του συνολικού κόστους προϊόντος (σχήμα 1.4). Ο χρόνος που απαιτείται για το σχεδιασμό ποικίλει ανάλογα με το προϊόν. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της αεροδιαστημικής βιομηχανίας μπορεί να φθάσει έως και το 40 %.



Σχ. 1.4. Κατανομή πραγματικών λειτουργικών δαπανών διάφορων τμημάτων.

Ωστόσο, το τελικό κόστος προϊόντος είναι δυνατό να προβλέπεται κατά τη διάρκεια της φάσης σχεδιασμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.5. Ο άξονας x αναπαριστά τα διάφορα στάδια της διαδικασίας σχεδιασμού ενώ ο άξονας y το κόστος προϊόντος. Οι δύο συμπαγείς καμπύλες αναπαριστούν το κόστος προϊόντος: η χαμηλότερη αντιστοιχεί στις δαπάνες που προκύπτουν στην πορεία, το πραγματικό κόστος του προϊόντος κατά την ανάπτυξή του. Ο εννοιολογικός σχεδιασμός και ο σχεδιασμός των λεπτομερειών αντιπροσωπεύουν μόνο το 20% του τελικού κόστους, ενώ τον παράγοντα με τη μεγαλύτερη βαρύτητα αποτελεί η παραγωγή. Η άλλη καμπύλη, ενδεικτική του καθορισμένου κόστους, υποδεικνύει ότι, κατά το μεγαλύτερο μέρος του,

το κόστος προϊόντος καθορίζεται από τα αρχικά στάδια του κύκλου ζωής του, πριν την ολοκλήρωση του αρχικού κύκλου σχεδιασμού. Καθώς είναι εμφανές ότι ένα σημαντικό μέρος του κόστους καθορίζεται κατά το στάδιο του σχεδιασμού, διάφορες πτυχές της διάρκειας ζωής προϊόντος θα πρέπει να εξετάζονται κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου σταδίου.

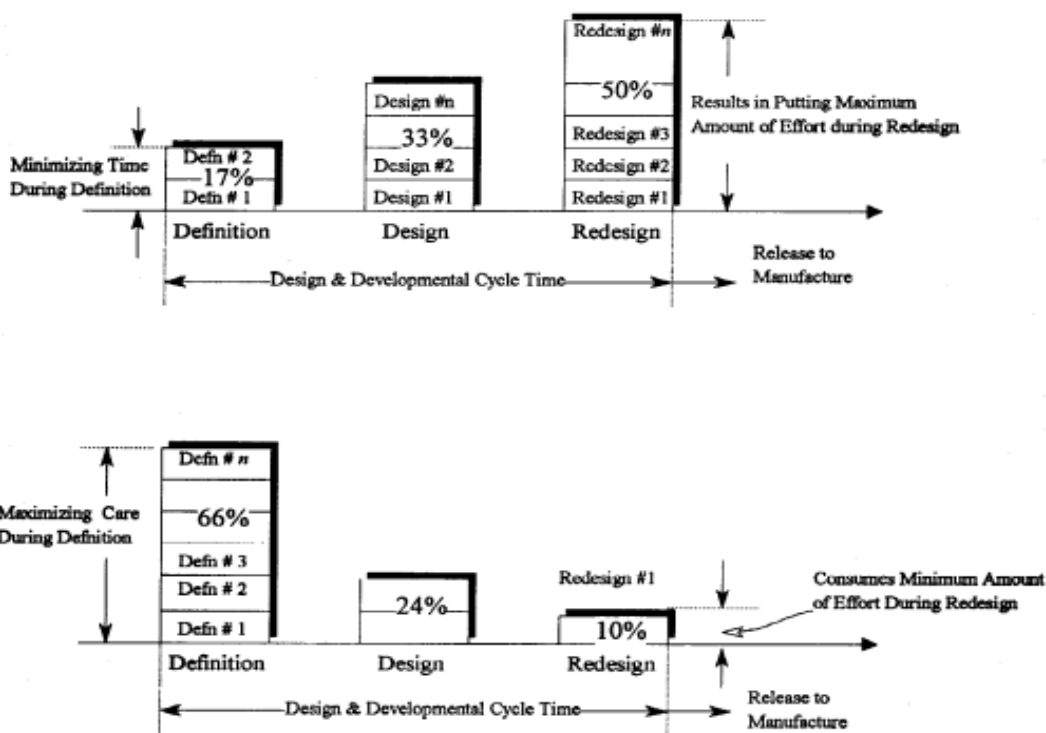


Σχ. 1.5. Χαρακτηριστικές καμπύλες αναπαράστασης του κόστους που προκύπτει και καθορίζεται κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.

Η διακεκομμένη καμπύλη υποδεικνύει τον βαθμό ευκολίας ενσωμάτωσης αλλαγών στο προϊόν. Κατά τα αρχικά στάδια, η δοκιμή διάφορων εναλλακτικών λύσεων είναι εύκολη, ενώ σε μεταγενέστερα στάδια οι τροποποιήσεις γίνονται πολύ δύσκολα.

Τα συστήματα CAD έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν, κατά τα αρχικά στάδια της διαδικασίας σχεδιασμού, ένα ψηφιακό πρωτότυπο του προϊόντος, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς δοκιμών και αξιολόγησης. Πρόσβαση στο συγκεκριμένο πρωτότυπο θα έχουν ειδικοί από διάφορα τμήματα ώστε να μπορούν, ενώ ο σχεδιασμός βρίσκεται σε αρχικό στάδιο, να εκφράσουν τη γνώμη τους για το προϊόν, με σκοπό την ολοκλήρωση της διαδικασίας σε λιγότερο χρόνο και με τα ελάχιστα δυνατά σφάλματα.

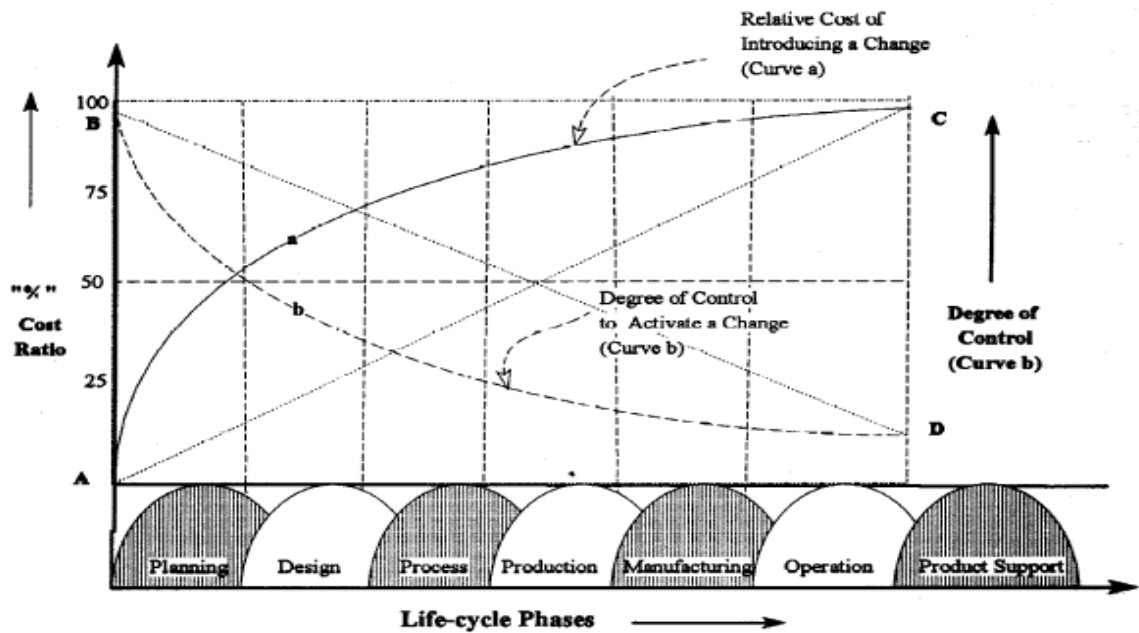
Οι περισσότεροι ερευνητές δέχονται ότι η ύπαρξη ενός ψηφιακού πρωτοτύπου κατά τα αρχικά στάδια του σχεδιασμού επιτρέπει την επικέντρωση των προσπαθειών στο στάδιο καθορισμού (αρχικό στάδιο) της διαδικασίας σχεδιασμού και όχι στον επανασχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.6.



Σχ. 1.6. Κατανομή χρόνου ανάπτυξης προϊόντος. Όσο νωρίτερα προσδιορίζεται ένα νέο προϊόν, τόσο λιγότερος ανασχεδιασμός απαιτείται για την ολοκλήρωση του τελικού σχεδιασμού.

Όσο νωρίτερα δοκιμάζεται μια αλλαγή στο σχεδιασμό, τόσο λιγότερος χρόνος απαιτείται για την υλοποίησή της και τις σχετικές δοκιμές, όπως και λιγότερο αυστηρός έλεγχος πριν την ενεργοποίηση της αλλαγής, με αποτέλεσμα το χαμηλότερο σχετικό κόστος για την εφαρμογή της αλλαγής, Σχήμα 1.6.

Επιπλέον, όσο περισσότερος χρόνος αφιερώνεται στο σχεδιασμό του προϊόντος και όσο περισσότερο οι προσπάθειες επικεντρώνονται στην πρόβλεψη της ποιότητας του τελικού προϊόντος, τόσο μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος για τη διόρθωση σφαλμάτων. Όταν ένα σφάλμα ανιχνεύεται στο στάδιο παραγωγής, οι προσπάθειες επικεντρώνονται στην επανόρθωση των συμπτωμάτων του και όχι της αιτίας που το προκαλεί.



Source: Based on Dataquest Inc Data and an article published in Business Week, New York: McGraw-Hill, April 30, 1990, p. 110.

Σχ. 1.7. (α) Σχετικό κόστος για την εισαγωγή μιας αλλαγής σε ένα προϊόν, (β) Επίπεδο απαιτούμενου ελέγχου για την ενεργοποίηση μιας αλλαγής.

1.4 Επίδραση στην παραγωγή του προϊόντος

Με την τεχνολογία της σχεδιομελέτης και παραγωγής με χρήση Η/Υ, αλλάζει η συμβατική διαδικασία παραγωγής προϊόντων, ιδιαίτερα για μορφές με καμπύλες επιφάνειες, (επιφάνειες ελεύθερης μορφής). Στην συμβατική παραγωγή, Σχ. 1.8, στο στάδιο της αρχικής ιδέας του προϊόντος δημιουργείται ένα φυσικό πρωτότυπο (clay model) από εύπλαστο υλικό (πχ ξύλο, άργιλος, κλπ). Το πρωτότυπο αυτό χρησιμοποιείται για παρουσίαση της μορφής του, δοκιμές λειτουργικής ανάλυσης, κλπ. και σε αυτό γίνονται οι απαραίτητες αλλαγές μέχρι να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό πρωτότυπο. Στη συνέχεια παράγεται η μορφή του στο σχέδιο με συντεταγμένες 3D, συνήθως με τη μέθοδο της αντιγραφής (ψηφιοποίηση του αντικειμένου). Με βάση αυτές τις μετρήσεις οι σχεδιαστές παράγουν τα απαραίτητα σχέδια (blue prints) για την παραγωγή των λειτουργικών πρωτοτύπων. Τα σχέδια αυτά χρησιμοποιούνται από ειδικούς τεχνίτες για την παραγωγή των μοντέλων αντιγραφής (copy models) που δημιουργούνται από ξύλο ή άλλο εύκαμπτο υλικό. Τα μοντέλα αντιγραφής χρησιμοποιούνται, για την παραγωγή των καλουπιών, και για αυτό πρέπει να έχει στις περισσότερες περιπτώσεις πολύ καλή τελική επιφάνεια. Το μοντέλο αντιγραφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φρέζα αντιγραφής για την παραγωγή της κοιλότητας του καλουπιού.

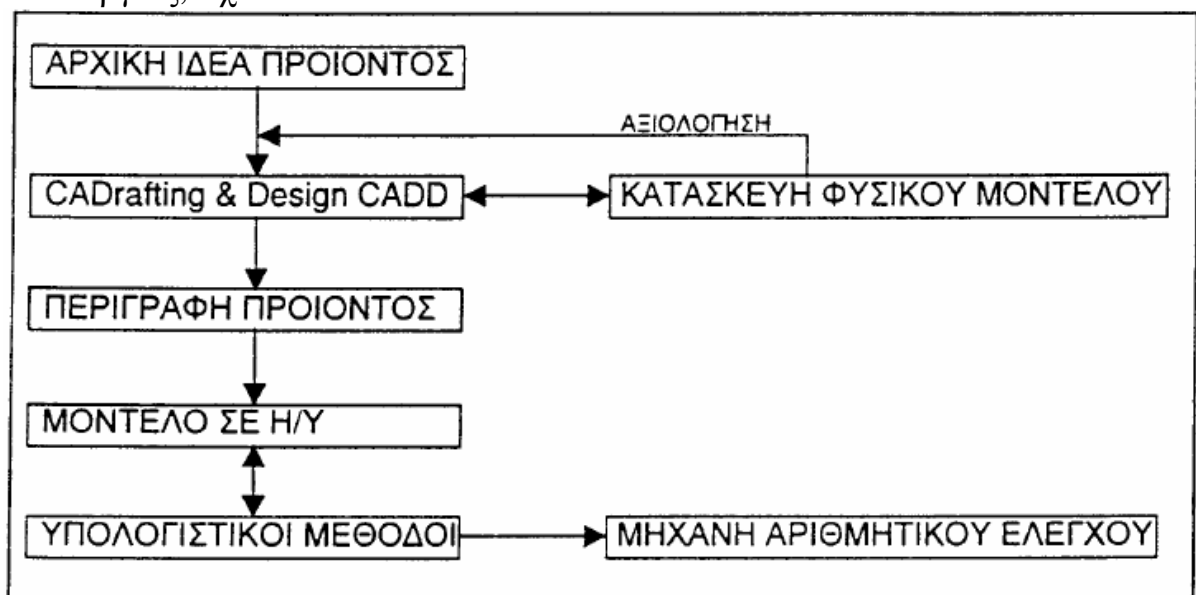


Σχ. 1.8 Συμβατική μέθοδος παραγωγής προϊόντων.

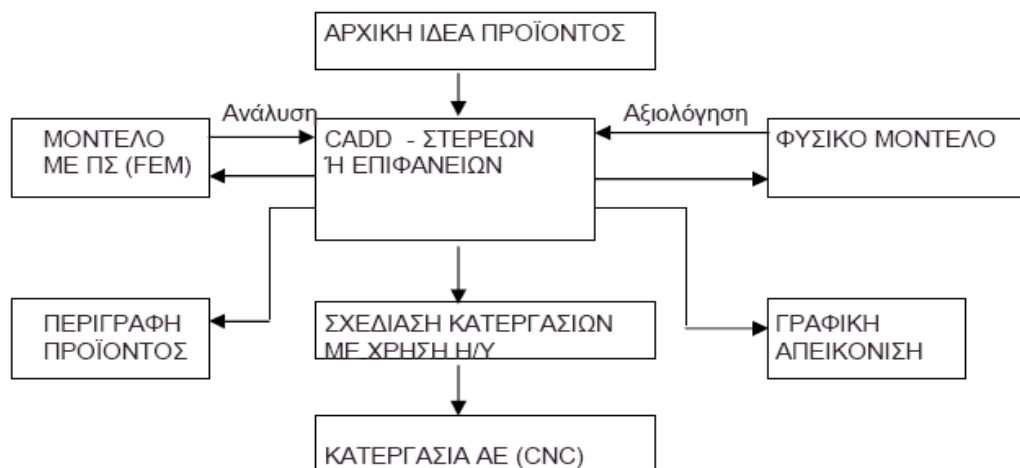
Στην κατασκευή με χρήση Η/Υ, Σχ. 1.9, στην ιδεατή του μορφή, δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο στον υπολογιστή, επιθεωρείται στην οθόνη, αναλύεται με τη χρήση κατάλληλων προγραμμάτων εφαρμογών (ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή) και τέλος χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση των εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου, Σχ. 1.10.

Στη μεθοδολογία αυτή το φυσικό μοντέλο δημιουργείται για λόγους επιθεώρησης κύρια και όχι για την αναπαραγωγή των αντικειμένων.

Ακόμα και σήμερα όμως, στο στάδιο της αρχικής ιδέας δεν μπορούμε να πούμε ότι η λειτουργία του είναι πλήρως ψηφιακή. Φυσικά πρωτότυπα χρησιμοποιούνται ακόμα και για μεγάλα προϊόντα (πχ. Αυτοκίνητα), επειδή πολλές τεχνικές και μέθοδοι δεν είναι κατάλληλες για την πλήρη απόδοση της μορφής των αντικειμένων. Συνεπώς, χρησιμοποιείται ένα ενδιάμεσο μοντέλο λειτουργίας, Σχ. 1.10.



Σχ.1.9. Μέθοδος κατεργασίας με χρήση ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος.



Σχ.1.10. Μέθοδος κατεργασίας με χρήση συμβατικών μεθόδων και μεθόδων CAD.

1.5 Περιγραφή / Δομή μεθοδολογίας / Εναλλακτικές λύσεις

Τα φάσμα των συστημάτων που σχετίζονται με τον κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος είναι ευρύ. Χαρακτηριστική είναι η ακόλουθη ταξινόμηση:

1. Ανάπτυξη Εννοιών (Concept Development) ή Βιομηχανικός Σχεδιασμός (Industrial Design Products)

Πρόκειται κυρίως για συστήματα μοντελοποίησης επιφανείας για μηχανολογικά προϊόντα, με υψηλού επιπέδου απεικόνιση. Συνήθως, η διαδικασία αρχίζει με ένα σκαρίφημα του προϊόντος, Σχήμα 1.11(α), στο οποίο μπορεί να αποδοθεί χρώμα και υφή, Σχ. 1.11(β). Συνεχίζεται με τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου από τα προσχέδια των δύο διαστάσεων, για να φθάσει, με τη χρήση προηγμένης απόδοσης φωτορεαλισμού και κίνησης, στην τελική φάση της περαιτέρω αξιολόγησης, της παρουσίασης και πώλησης των ιδεών, Σχ. 1.11(γ).



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 1.11 (α) Σκαρίφημα προϊόντος, (β) Χαρτογράφηση χρώματος και υφής, (γ) Απόδοση τρισδιάστατου μοντέλου.

Τα συστήματα Βιομηχανικού Σχεδιασμού με τη Βοήθεια Υπολογιστή εφαρμόζονται σε πολλά βιομηχανικά προϊόντα, από τα καταναλωτικά προϊόντα καθημερινής χρήσης, αθλητικά είδη, υπολογιστές, εξοπλισμούς, και σύνθετες κατασκευές όπως αυτοκίνητα, (Σχήμα 1.12).

Αποτελούν συνήθως ολοκληρωμένα προϊόντα τα οποία προσφέρουν τη δυνατότητα της σταδιακής μετάβασης από το στάδιο της αρχικής σύλληψης σε αυτό της δημιουργίας προϊόντων κατασκευής. Συνδυάζουν:

- Ψηφιακό προσχεδιασμό, που παρέχει τη δυνατότητα πειραματισμού, ο οποίος δεν είναι εφικτός με τη χρήση των παραδοσιακών εργαλείων.
- Μοντελοποίηση επιφανειών ελεύθερης μορφής με εργαλεία υψηλής προσαρμοστικότητας.

- Ασυναγώνιστα ρεαλιστική οπτική αναπαράσταση για σκοπούς σχεδιασμού, αξιολόγησης, αναθεώρησης και έγκρισης.
- Ποιότητα, ορθότητα και ακρίβεια που απαιτούνται για την ένταξη με μηχανικές και κατασκευαστικές διεργασίες.
- Εργαλεία ανάστροφης μηχανικής, τα οποία μετατρέπουν δεδομένα από ψηφιακοποίηση σε τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα.
- Μεταφορά δεδομένων σε συστήματα CAD.

Μεταξύ των πλέον διαδεδομένων συστημάτων Βιομηχανικού Σχεδιασμού συγκαταλέγονται τα εξής:

- Alias/Wavefront και Maya της Silicon Graphics
- CDRS της Parametric Technology
- Προϊόντα των CATIA, Unigraphics, SDRC, κλπ.



Σχήμα 1.12. Διάφορα εμπορικά προϊόντα που σχεδιάστηκαν με τη χρήση συστήματος Βιομηχανικού Σχεδιασμού με τη Βοήθεια Υπολογιστή

2. Συστήματα CAD

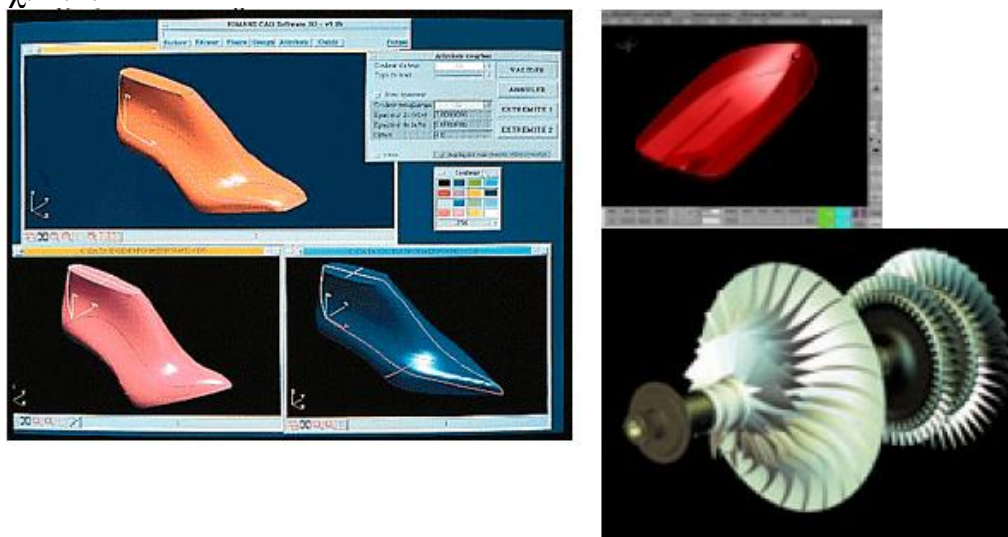
Τα σύγχρονα συστήματα, ιδιαίτερα όσα απευθύνονται σε μηχανολογικά προϊόντα αποτελούν τρισδιάστατα συστήματα τα οποία κατακτούν και τους υπόλοιπους τομείς. Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση μπορεί να αποτελεί μοντελοποίηση Ακμών, Επιφανειών ή Στερεών. Τα περισσότερα μεσαίας κλίμακας συστήματα CAD του τομέα μηχανολογικών προϊόντων είναι Συστήματα Μοντελοποίησης Στερεών Όγκων βάσει Παραμέτρων και Χαρακτηριστικών.

Η μοντελοποίηση ακμών αποτέλεσε την πρώτη απόπειρα αναπαράστασης των τριών διαστάσεων ενός αντικειμένου. Η αναπαράσταση αποδείχθηκε ανεπαρκής εφόσον παρουσίαζε πολλά μειονεκτήματα από άποψη ακριβείας, απεικόνισης, κλπ. Με απλά λόγια, ένα δισδιάστατο μοντέλο δικτύματος κατασκευάζεται σχηματίζοντας τον σκελετό του εξαρτήματος, που αποτελείται από ακμές και μόνο. Η συγκεκριμένη τεχνική αποτελεί πλέον ενδιάμεσο στάδιο για την κατασκευή ενός μοντέλου επιφανειών ή στερεών όγκων.

Ένα μοντέλο επιφανειών μοντελοποιεί την εξωτερική επιφάνεια του εξαρτήματος. Τα πρώτα συστήματα βασίζονταν σε καμπύλες τύπου Ferguson και Bezier, ενώ τα σύγχρονα χρησιμοποιούν κυρίως NURBS, που έχουν τη δυνατότητα μοντελοποίησης όλων σχεδόν των βιομηχανικών εξαρτημάτων, όπως επιφάνειες αεροσκαφών και αυτοκινήτων (επιφάνειες Κλάσης A), ναυπήγησης πλοίων, πλαστικά εξαρτήματα και υλικά συσκευασίας γενικά, μεταλλικά εξαρτήματα, υποδήματα κλπ. Αποτελούν τα καταλληλότερα συστήματα για την αναπαράσταση βιομηχανικών εξαρτημάτων. Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι εύκολη και απαιτεί εις βάθος γνώση των μαθηματικών NURBS. Επιτρέπει την παραγωγή επιφανειών οι οποίες δεν μπορούν προς το παρόν να προκύψουν με τη χρήση συστημάτων μοντελοποίησης στερεών όγκων.

Δημιουργούνται από γενικές σαρώσεις κατά μήκος καμπυλών, σχήματα αναλογικής ανάπτυξης με τη χρήση σωμάτων προερχομένων από εξώθηση 1, 2 ή 3 οδηγών, στρογγυλέματα με κυκλική ή κωνική διατομή και επιφάνειες οι οποίες γεφυρώνουν ομαλά τα κενά μεταξύ δύο ή περισσότερων άλλων σωμάτων. Τα περισσότερα έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας σχημάτων που ορίζονται μέσω ενός πλέγματος από καμπύλες / σημεία ή μέσω ενός σύννεφου από σημεία, μία τεχνική κατάλληλη για εργασίες ανάστροφης μηχανικής. Η επεξεργασία μοντέλων γίνεται με την τροποποίηση των καθορισμένων καμπυλών, με την αλλαγή των αριθμητικών τιμών των

παραμέτρων ή μέσω της χρήσης γραφικών ή μαθηματικών νόμων που ελέγχουν τα δημιουργημένα σχήματα. Τα συστήματα περιλαμβάνουν επίσης εργαλεία εύκολης χρήσης για την αξιολόγηση του σχήματος, του μεγέθους και της καμπυλότητας σύνθετων μοντέλων. Οι επιφάνειες που δημιουργούνται μέσω υπομονάδας επιφανειών ελεύθερης μορφής μπορούν να ενταχθούν σε ένα μοντέλο στερεών όγκων. Τυπικά εξαρτήματα που μοντελοποιούνται με σύστημα μοντελοποίησης επιφανειών απεικονίζονται στο Σχ. 2.1.



Σχ. 2.1. Εξαρτήματα που απαιτούν σύστημα μοντελοποίησης επιφανειών.

Τα συστήματα αυτά δεν έχουν τη δυνατότητα (ή δεν είναι κατάλληλα) για μοντελοποίηση καλλιτεχνικών τεμαχίων (όπως κοσμήματα), ή οργανικών μορφών όπως μορφές δράσης, ανθρώπινα σώματα και πρόσωπα, κλπ. Για τέτοιου είδους εφαρμογές αναπτύσσονται ειδικά συστήματα όπως, το SensAble Free Form της Paraform, και το Simagrafi της Graphitek, κλπ.

Τα συστήματα Μοντελοποίησης Στερεών Όγκων θεωρούνται ότι προσφέρουν την πιο πλήρη αναπαράσταση ενός εξαρτήματος. Συνδυάζουν τη μοντελοποίηση με την τοπολογία. Τα πρώτα συστήματα βασίζονταν στα αρχέτυπα για την αναπαράσταση του διαστήματος, διαμορφώνοντας τα συστήματα CSG (Constructive solid Modelling). Τα σύγχρονα συστήματα είναι τύπου B-Rep (Boundary Representation). Τα CSG και τα B-Rep χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της βάσης δεδομένων της τοπολογίας του εξαρτήματος. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 όλα τα συστήματα μοντελοποίησης στερεών όγκων που διατίθενται χαρακτηρίζονται ως συστήματα βάσει Παραμέτρου και Χαρακτηριστικού.

Άρχισε με την Parametric Technology Corp, όταν εισήγαγε το σύστημα Pro/ENGINEER.

Με την παραμετρική τεχνολογία ο χρήστης αποδίδει παραμέτρους για τον ορισμό των διαστάσεων, των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων και των σχέσεων μεταξύ των εξαρτημάτων (ως προς τη θέση και το μέγεθος). Μπορεί επομένως να ορίσει ένα νέο εξάρτημα αποδίδοντας νέες τιμές στις παραμέτρους ή να ορίσει μία ολόκληρη οικογένεια εξαρτημάτων μέσω ενός πίνακα διαστάσεων. Με την μοντελοποίηση βάσει χαρακτηριστικών ο χρήστης έχει πρόσβαση σε υψηλότερο επίπεδο έκφρασης για μοντελοποίηση (ή μπορεί να ορίσει τα δικά του χαρακτηριστικά). Τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν ενσωματωμένο αριθμό ιδιοτήτων στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η μορφή, οι διαστάσεις και η θέση.

Οι συνηθισμένες λειτουργίες που περιλαμβάνονται στα συστήματα μοντελοποίησης στερεών όγκων είναι δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα ακμών, σαρωμένα εξωθημένα και στερεά εκ περιστροφής, λογικές πράξεις καθώς επίσης και παραμετρική επεξεργασία. Χρησιμοποιούν εργαλεία σχεδίου για γρήγορη και αποτελεσματική εννοιολογική σχεδίαση όπως επίσης και εργαλεία για πιο γενικές εργασίες μοντελοποίησης και επεξεργασίας. Με τη μοντελοποίηση βάσει χαρακτηριστικών ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει διάφορες οπές, αυλακώσεις, εσοχές, βάσεις, εξοχές όπως επίσης και μία πλήρη σειρά κυλίνδρων, κύβων, κώνων, σφαιρών, σωλήνων, ράβδων, στρογγυλεμάτων, λοξοτμήσεων κ.α. Μπορεί επίσης να κοιλάνει μοντέλα στερεών όγκων και να δημιουργήσει λεπτόσωμα αντικείμενα.

Τα χαρακτηριστικά που ορίζονται από τον χρήστη μπορούν να αποθηκευτούν σε έναν κοινό κατάλογο και να προστεθούν στα μοντέλα σχεδιασμού.

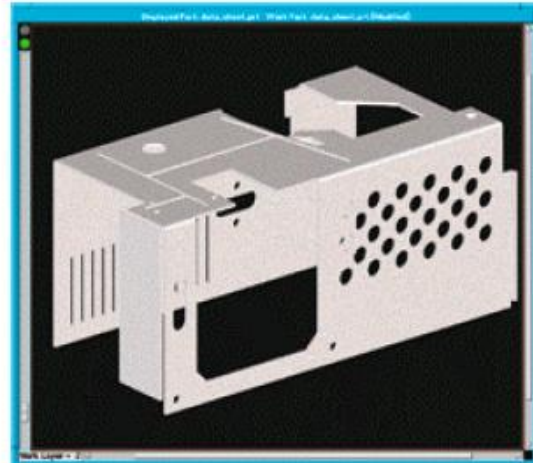
Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του συστήματος μοντελοποίησης στερεών όγκων βάσει Παραμέτρων και Χαρακτηριστικών σχετίζεται με τις δυνατότητες μοντελοποίησης συναρμολόγησης που προσφέρουν μία ταυτόχρονα συνθετική και αναλυτική προσέγγιση στην ανάπτυξη προϊόντων.

Τα εξαρτήματα συνδυάζονται ή τοποθετούνται και είναι συνειρμικά. Ορισμένα από αυτά επιτρέπουν την δημιουργία εξαιρετικά μεγάλων δομών προϊόντων τα οποία μπορεί να μοιράζεται μία ομάδα σχεδιασμού. Για τις συναρμολογήσεις αυτές χρησιμοποιούνται κάποια ειδικά συστήματα που εκτελούν έλεγχο της φόρτωσης δεδομένων ώστε να ανταποκρίνονται γρήγορα στις εντολές του χρήστη. Τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για την ψηφιακή διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου ενός σχεδίου για κατάστρωση σύνθετων προϊόντων και επιτρέπουν το γρήγορο καθαρισμό, τον έλεγχο και τη φωτοαπόδοση των σκιασμένων και των κρυφών γραμμών θέασης.

Τα περισσότερα συστήματα ενσωματώνουν μία υπομονάδα για σχεδιασμό μεταλλικών φύλλων, παρέχοντας στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να ορίζει και να προσομοιώνει τις ακολουθίες κατασκευής, να ξεδιπλώνει και να αναδιπλώνει τα μοντέλα και να παράγει ακριβή δεδομένα επίπεδης σχηματομορφής για downstream εφαρμογές.



(Α) Μοντέλο στερεών όγκων εξαρτήματος



(Β) Μοντέλο στερεού όγκου εξαρτήματος από μεταλλικό φύλλο



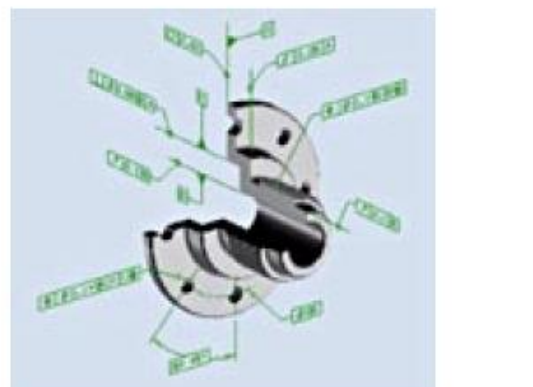
(Γ) Υβριδικό μοντέλο μηχανισμού



(Δ) Μοντέλο συναρμολόγησης μπλοκ κυλίνδρου



(Ε) Σύνθετη και μεγάλου μεγέθους συναρμολόγηση μηχανής που απαιτεί συστήματα εικονικού πρωτότυπου



(Ζ) Γεωμετρικές ανοχές σε μοντέλο στερεού όγκου.

Σχ. 2.2. Αναθεώρηση συστημάτων παραμετρικής μοντελοποίησης

Τα εξαρτήματα που δημιουργούνται σε συστήματα μοντελοποίησης στερεών όγκων μπορούν να μεταφέρονται σε συστήματα προσχεδίων για παραγωγή σχεδίων. Η υπομονάδα αυτή δημιουργεί διαστάσεις που ταυτίζονται με το γεωμετρικό μοντέλο διασφαλίζοντας την ενημέρωσή τους σε κάποια αλλαγή του μοντέλου μειώνοντας έτσι τον χρόνο που απαιτείται για την ενημέρωση των σχεδίων. Οι δυνατότητες αυτόματης κατάστρωσης άποψης παρέχουν γρήγορη κατάστρωση σχεδίου για όλες τις όψεις, τις τομές και τις προβολές.

3. Εργαλεία Μηχανικής με τη Βοήθεια Υπολογιστή

Η μηχανική ανάλυση αφορά την ανάλυση και αξιολόγηση σχεδίων μηχανικών προϊόντων. Για τον υπολογισμό των λειτουργικών, πρακτικών και κατασκευαστικών παραμέτρων του προϊόντος χρησιμοποιούνται κάποιες τεχνικές που βασίζονται στους υπολογιστές. Η Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA) αποτελεί μία από τις πιο συνηθισμένες τεχνικές μηχανικής ανάλυσης. Εκτός από την FEA, η ανάλυση ανοχής, η βελτιστοποίηση σχεδιασμού, η ανάλυση μηχανισμού και η ανάλυση μαζικών ιδιοτήτων μαζών αποτελούν μερικές από τις τεχνικές με τη βοήθεια υπολογιστή που χρησιμοποιούν οι μηχανικοί για την ανάλυση και αξιολόγηση των σχεδίων μηχανικών προϊόντων.

4. Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων

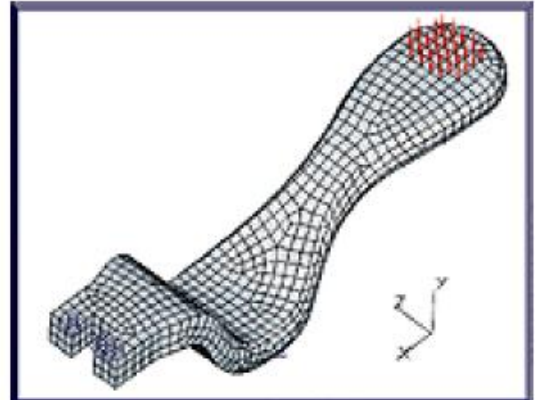
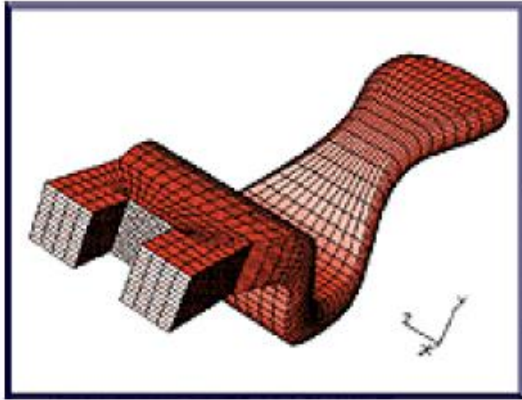
Η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA) είναι μία δυναμική διεργασία αριθμητικής ανάλυσης που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές μηχανικής. Η FEA χρησιμοποιείται για την ανάλυση και τη μελέτη της λειτουργικής επίδοσης ενός αντικειμένου διαχωρίζοντάς το σε μικρά δομικά τμήματα που ονομάζονται πεπερασμένα στοιχεία. Για παράδειγμα, οι λειτουργικές επιδόσεις ενός αντικειμένου ή συνεχούς μέσου, όπως οι τάσεις και οι κάμψεις μίας κατασκευής, προσδιορίζονται με τη χρήση της FEA. Ο πυρήνας της μεθόδου FEA είναι μία εξιδανίκευση του αντικειμένου ή του συνεχούς από ένα πεπερασμένο αριθμό διακριτών μεταβλητών. Για το σκοπό αυτό, το αντικείμενο διαχωρίζεται πρώτα σε ένα πλέγμα στοιχείων που συνιστά το μοντέλο του πραγματικού αντικειμένου. Η διεργασία αυτή ονομάζεται και πλεγμάτωση. Το κάθε στοιχείο είναι ένα απλό σχήμα όπως ένα τετράγωνο, τρίγωνο, ή κύβος ή άλλο πρότυπο σχήμα για το οποίο το Πρόγραμμα Πεπερασμένων Στοιχείων διαθέτει πληροφορίες ώστε να καταγράψει τις εξισώσεις ελέγχου με τη μορφή μίας μήτρας ακαμψίας. Οι άγνωστες παράμετροι για το κάθε στοιχείο είναι οι μετατοπίσεις στα σημεία των κόμβων, που είναι τα σημεία στα οποία τα στοιχεία συνδέονται. Το Πρόγραμμα Πεπερασμένων Στοιχείων συγκεντρώνει τις μήτρες ακαμψίας για αυτά τα απλά στοιχεία για να καταρτίσει τη σφαιρική μήτρα ακαμψίας για ολόκληρο το μοντέλο. Αυτή η μήτρα ακαμψίας λύνεται ως προς τις άγνωστες μετατοπίσεις δεδομένων των γνωστών δυνάμεων και των οριακών συνθηκών.

Από την μετατόπιση στους κόμβους, μπορούν στη συνέχεια να υπολογιστούν οι τάσεις σε κάθε στοιχείο. Κατά την εφαρμογή της FEA ακολουθούνται συνήθως τα παρακάτω βήματα:

1. Διακριτοποίηση του δεδομένου συνεχούς
2. Επιλογή της προσέγγισης της επίλυσης
3. Ανάπτυξη μήτρας για τα στοιχεία και τις εξισώσεις
4. Συγκέντρωση των εξισώσεων των στοιχείων
5. Επίλυση των αγνώστων στους κόμβους
6. Αξιολόγηση του αποτελέσματος

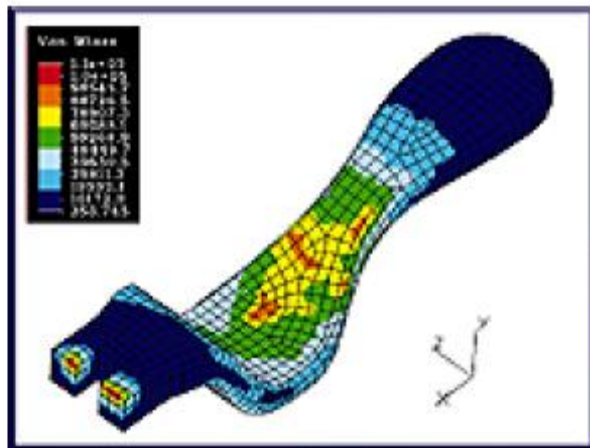
Ορισμένα πακέτα λογισμικού για μηχανική ανάλυση που έχουν αναπτυχθεί έχουν τη δυνατότητα να καλύπτουν μία ευρεία ποικιλία εφαρμογών. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν: Στατική ανάλυση, Δυναμική ανάλυση μεταβατικών φαινομένων, Ανάλυση φυσικής συχνότητας,

Ανάλυση μεταφοράς θερμότητας, Πλαστική ανάλυση, Ανάλυση ροής ρευστού, Ανάλυση κίνησης, Ανάλυση ανοχών.



(1) Το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων

(2) Εφαρμογή φόρτωσης



(3) Ανάλυση και παρουσίαση αποτελεσμάτων



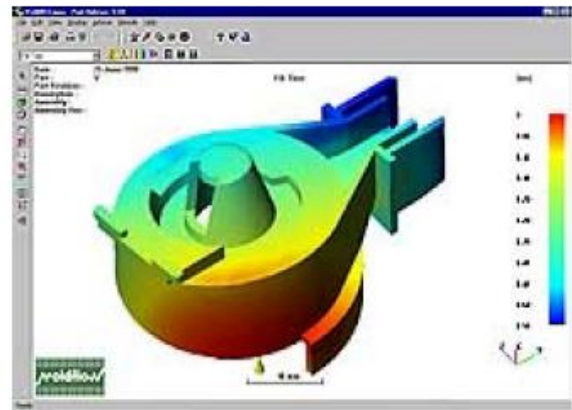
(4) Κινηματική Ανάλυση συστήματος προσγείωσης



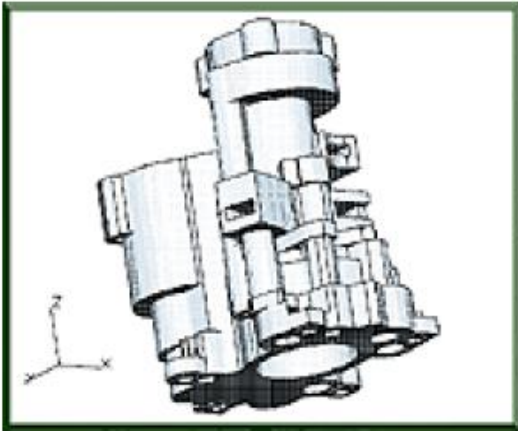
(5) Κινηματική Ανάλυση μηχανισμού υποστήριξης



(6) Προσομοίωση χρόνου Πλήρωσης Καλούπιού

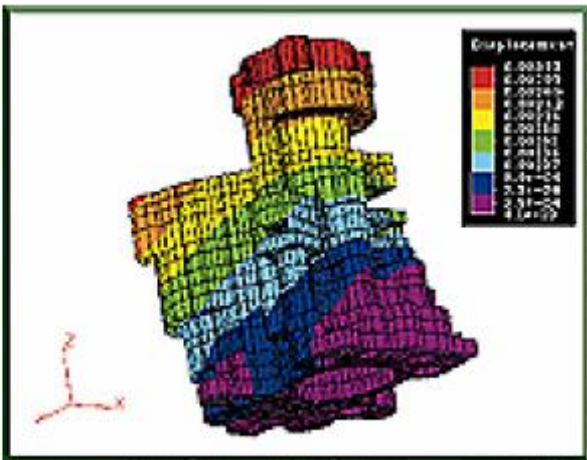


(7) Κατανομή θερμοκρασίας στο καλούπι



(8) Το μοντέλο

(9) Το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων
(χωρίς κρυφές γραμμές)



(10) Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανάλυσης

Σχ. 4.1. Παραδείγματα Ανάλυσης Πεπερασμένων Στοιχείων

5. Εργαλεία και Μηχανές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης

Το Ταχύ Πρωτότυπο επιτρέπει την "εκτύπωση" τρισδιάστατων μοντέλων σχεδίων με εξίσου εύκολο τρόπο όπως κατά την εκτύπωσή τους σε χαρτί. Είναι ένας γρήγορος και αποτελεσματικός ως προς το κόστος τρόπος βελτίωσης του τρόπου μεταβίβασης των ιδεών ενός σχεδιαστή εντός και εκτός του οργανισμού. Επιφέρει επανάσταση στην διεργασία ανάπτυξης, βοηθώντας την ομάδα σχεδιασμού να επωφεληθεί από περισσότερες ευκαιρίες, πιο αποδοτικά από ποτέ. Τα πλεονεκτήματά του συντελούν στη μεγαλύτερη κατανόηση – και τη γρηγορότερη έγκριση – των ιδεών της ομάδας, τη δημιουργία καταπληκτικών μοντέλων γρήγορα και οικονομικά, την άμεση κατασκευή – χωρίς τη μεσολάβηση της εκπαίδευσης – και τη δραματική βελτίωση του τρόπου εργασίας.

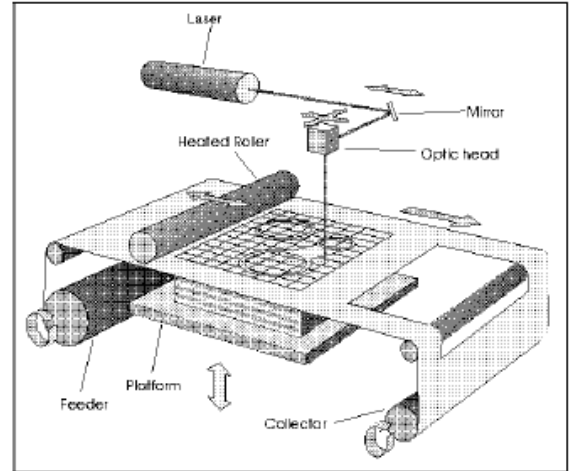
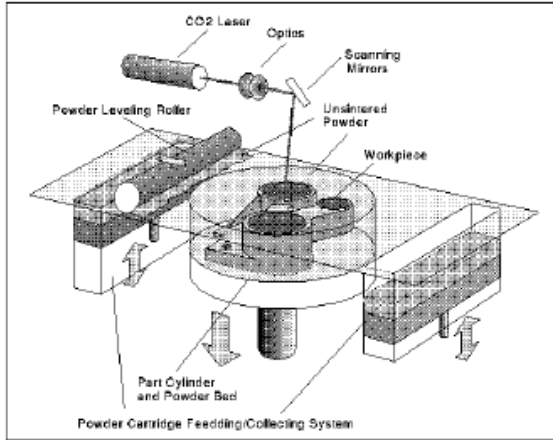
Η τεχνολογία χρησιμοποιείται για:

- Επικύρωση ιδεών
- Κοινοποίηση πρόθεσης σχεδιασμού
- Ανάδραση πληροφοριών μεταξύ πελάτη και διανομέα
- Πακέτα προσφορών
- Master τρισδιάστατων φαξ
- Πρότυπα χύτευσης

Η μέθοδος πρωτοπαρουσιάστηκε το 1987 και σήμερα πολλές τεχνολογίες βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης. Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι:

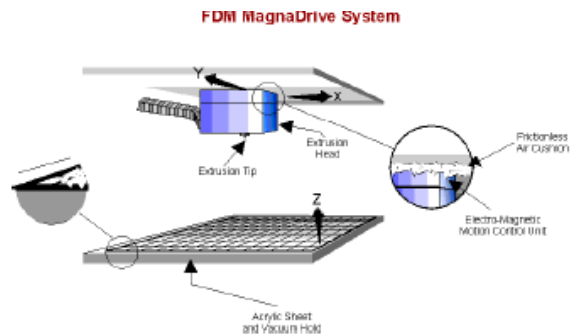
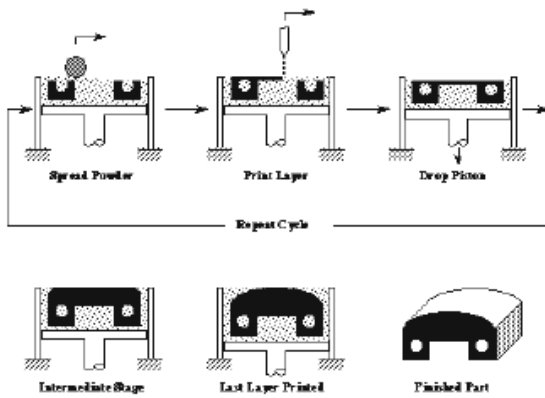
- Στερεολιθογραφία (Stereolithography)
- Σκλήρυνση Στερεού Εδάφους (Solid Ground Curing)
- Επιλογική Περίτηξη με Λείζερ (Selective Laser Sintering)
- Κατασκευή πολυστρωματικών αντικειμένων (Laminated Object Manufacturing)
- Μοντέλα απόθεσης υλικού (Fused Deposition Modelling)
- Τρισδιάστατη Εκτύπωση (Three Dimensional Printing)

Τα περισσότερα συστήματα CAD μπορούν να παρέχουν έξοδο για μηχανές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης στο μορφότυπο STL. Μερικές από τις παραπάνω τεχνολογίες απεικονίζονται στα ακόλουθα σχήματα.



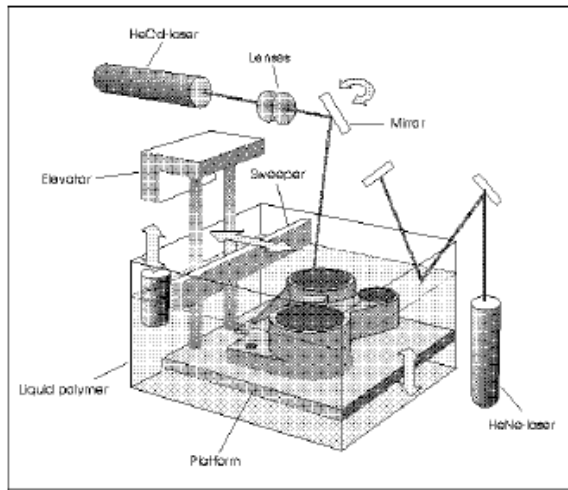
(1) Η μέθοδος Επιλογικής Περίτηξης με Λείζερ

(2) Η μέθοδος Κατασκευής Πολυστρωματικών Αντικειμένων

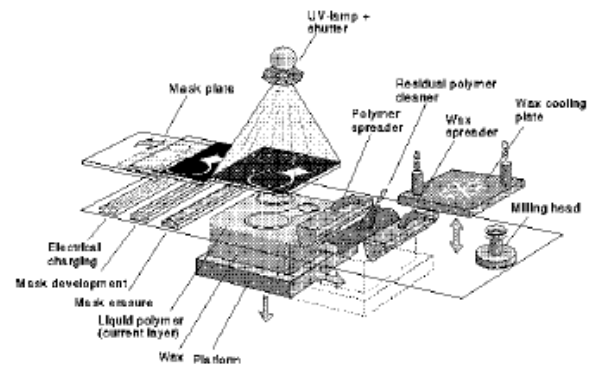


(3) Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής

(4) Η Μέθοδος Απόθεσης με Τήξη



(5) Η μέθοδος Στερεολιθογραφίας



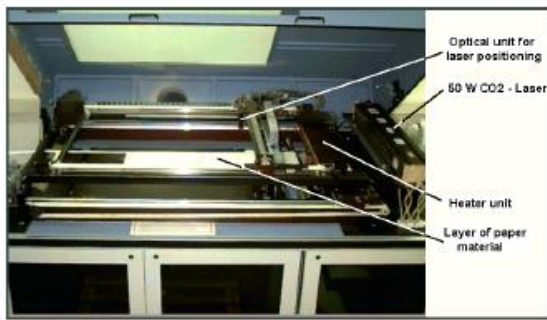
(6) Η Μέθοδος Σκλήρυνσης Στερεού Εδάφους



(7) Εξαρτήματα παραγόμενα με Ταχεία Πρωτοτυποποίηση



(8) Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής από την Stratasys



(9) Η μηχανή LOM



(10) Η μηχανή SLA5000.

Σχ. 5.1. Η μέθοδος Ταχείας Πρωτοτυποποίησης: (1) – (6) Σχηματική παρουσίαση των κύριων τεχνολογιών, (7) –(10) Εξαρτήματα παραγόμενα με Ταχεία Πρωτοτυποποίηση.

6. Εργαλεία Διαχείρισης Δεδομένων Προϊόντος

Η Διαχείριση Δεδομένων Προϊόντος (Product Data Management) αποτελεί ένα εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιείται για την υποστήριξη ολόκληρης της διάρκειας ζωής ενός προϊόντος συμπεριλαμβανομένου του ορισμού του προϊόντος ή της εγκατάστασης και της υποστήριξης λειτουργιών παραγωγής και επιχείρησης.

Η τεχνολογία PDM παρέχει ένα τρόπο συνεργασίας και ανταλλαγής πληροφοριών σε πολλαπλά σημεία συνεχούς ολοκλήρωσης, από τον σχεδιασμό έως την κατασκευή και την υποστήριξη. Σε εκτεταμένες επιχειρήσεις, η PDM μπορεί να φανεί αποτελεσματική στη διαχείριση της αλυσίδας παροχής πληροφοριών των προϊόντων εξυπηρετώντας ως γέφυρα πληροφοριών μεταξύ επιχειρήσεων, υπεργολάβων, διανομέων, συμβούλων, εταίρων και πελατών.

Τα συστήματα PDM διαχειρίζονται την πλήρη διάρθρωση ενός προϊόντος συμπεριλαμβάνοντας όλα τα μηχανικά και ηλεκτρονικά στοιχεία καθώς και τα συστατικά λογισμικού και τεκμηρίωσης. Η τεχνολογία εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε προϊόντα διακριτής κατασκευής όπως αυτοκίνητα, συστήματα αεροσκαφών και άμυνας, εργαλειομηχανές και τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό.

Η τεχνολογία PDM διασφαλίζει την πρόσβαση ανθρώπων και συστημάτων σε ακριβείς πληροφορίες εννοιών σχεδίου, πρωτοτύπων, κατασκευής, λειτουργιών ή συντήρησης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος.

Τα συστήματα PDM παρέχουν μία δομή που δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης, διαχείρισης και ελέγχου όλων των τύπων πληροφοριών προϊόντος. Συμπεριλαμβάνονται ηλεκτρονικά έγγραφα, ψηφιακά αρχεία και αρχεία βάσεων δεδομένων σε ό,τι αφορά τα εξής:

- Διαμόρφωση προϊόντος
- Σχέδια έργου
- Ορισμός εξαρτήματος και άλλα δεδομένα σχεδιασμού
- Οπτικοακουστικά σχόλια
- Προδιαγραφές
- Έγγραφα σε χαρτί
- Σκαριφήματα CAD
- Αρχεία συντήρησης και υποστήριξης
- Γεωμετρικά μοντέλα
- Έγγραφα αποθηκευμένα σε ηλεκτρονική μορφή, σημειώσεις,

αλληλογραφία

- Σαρωμένες εικόνες
- Απαιτήσεις ασφάλειας και κανονισμών
- Μοντέλα και αποτελέσματα μηχανικής ανάλυσης
- Σχέδια προγραμματισμού παραγωγής και δρομολόγηση
- Προγράμματα μερών NC

Τα συστήματα PDM επί του παρόντος χρησιμοποιούνται από πολλές βιομηχανίες όπως:

- Κατασκευής αεροσκαφών
- Αυτοκίνητων: συναρμολόγηση και εξαρτήματα
- Γενικών μηχανικών κατασκευών
- Ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων
- Κατασκευής υπολογιστών
- Αμυντικών συστημάτων
- Έρευνας και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Χημικών και μηχανικής των βιομηχανικών διεργασιών
- Συμβούλων σχεδιασμού και διαχείρισης
- Κατασκευή τροφίμων και ποτών
- Φαρμακευτική
- Παραγωγή ενέργειας
- Επιχειρήσεων δομικών έργων
- Μεταφορέων: οδικών, σιδηροδρομικών, θαλάσσιων, αεροπορικών
- Οργανισμούς κοινής ωφελείας: ηλεκτρικού ρεύματος, ύδρευσης, τηλεπικοινωνιών
- Κεντρικών και τοπικών κυβερνήσεων

7. Αντίστροφη σχεδίαση

Ξεκίνησε ως διαδικασία αντιγραφής προϊόντων και σήμερα έχει εξελιχθεί σε μια ολοκληρωμένη επιστήμη.

Αρχικά οι Ιαπωνικές εταιρείες χρησιμοποιούσαν την αντίστροφη σχεδίαση για να βελτιώσουν τα προϊόντα τους έναντι στον ανταγωνισμό. Η επανασχεδίαση αρχίζει με την παρατήρηση και δοκιμή του προϊόντος. Μετά αποσυναρμολογείται και για τα διάφορα εξαρτήματα αναλύεται η μορφή τους, η λειτουργία τους, οι ανοχές συναρμολόγησης και η διαδικασία παραγωγής. Σκοπός είναι η πλήρης κατανόηση του προϊόντος και του τρόπου λειτουργίας. Με βάση αυτή την κατανόηση, παράγεται ένα βελτιωμένο προϊόν, είτε στο επίπεδο του υποσυστήματος (προσαρμοστικό) ή στο επίπεδο του εξαρτήματος (διαφοροποίηση).

Σήμερα, οι Αμερικάνοι και οι Ευρωπαίοι, έχουν μελετήσει την διαδικασία της αντίστροφης σχεδίασης, έχουν αναπτύξει ισχυρά εργαλεία που την διευκολύνουν και έχουν συμπιέσει τον κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος.

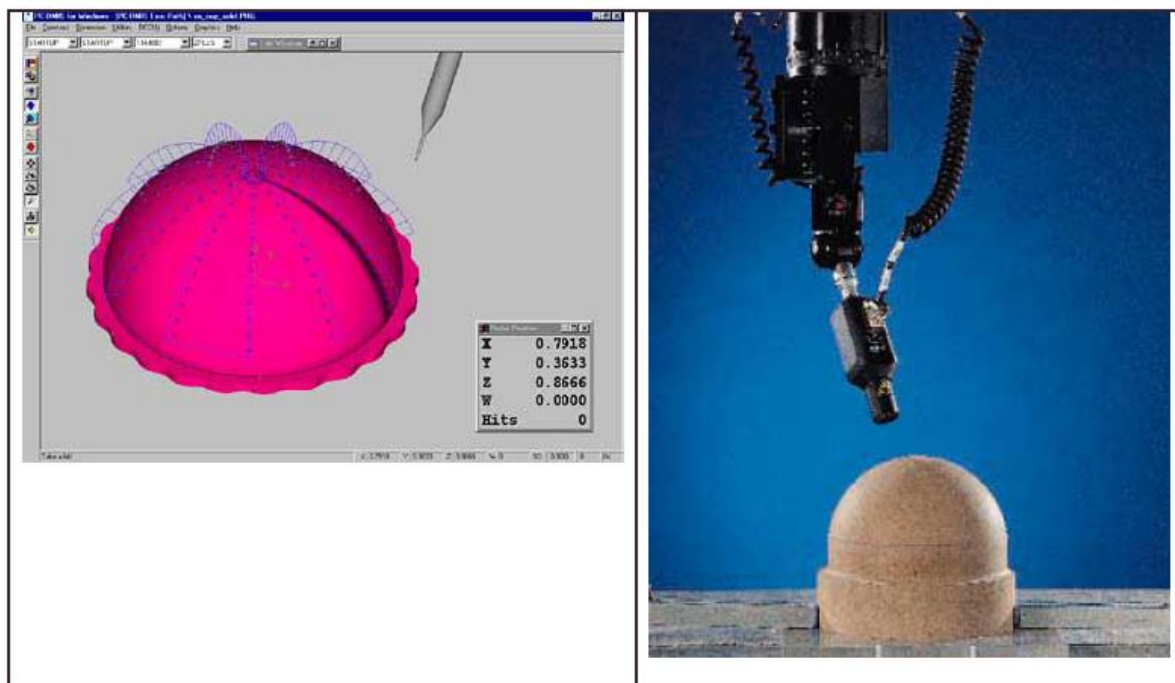
Οι διαδικασίες αυτές έχουν επίσης σημασία και για εταιρείες που αναπαράγουν εξαρτήματα άμεσα από λειτουργικά δοκίμια. Ανταλλακτικά για παρωχημένα μηχανήματα, αντίγραφα παλαιών εργαλείων, ή επανασχεδίαση ξένων προϊόντων με νέα μορφή, είναι περιπτώσεις που κάνουν χρήση της αντίστροφης σχεδίασης.

Η διαδικασία έχει εμπλουτιστεί και με ειδικό λογισμικό που προσδίδει νέα σημασία στην αντίστροφη σχεδίαση. Ο υπολογιστής χρησιμοποιείται για την σύλληψη της γεωμετρίας του εξαρτήματος, την παρουσίαση της τρισδιάστατης μορφής, την εκτέλεση των απαιτούμενων αλλαγών στο μοντέλο, την δοκιμή της απόδοσης και την προσομοίωση της διαδικασίας παραγωγής και ελέγχου, χωρίς την παραγωγή του πραγματικού πρωτότυπου.

Η διαδικασία έγκειται στην χρήση μιας εργαλειομηχανής μέτρησης συντεταγμένων (coordinate measuring machine) για την αποτύπωση της επιφάνειας του εξαρτήματος. Τα ψηφιακά δεδομένα επεξεργάζονται από το ειδικό λογισμικό του συστήματος CAD/CAM, και παίρνουμε την τρισδιάστατη εικόνα του αντικειμένου και το CNC πρόγραμμα για την κατεργασία του.

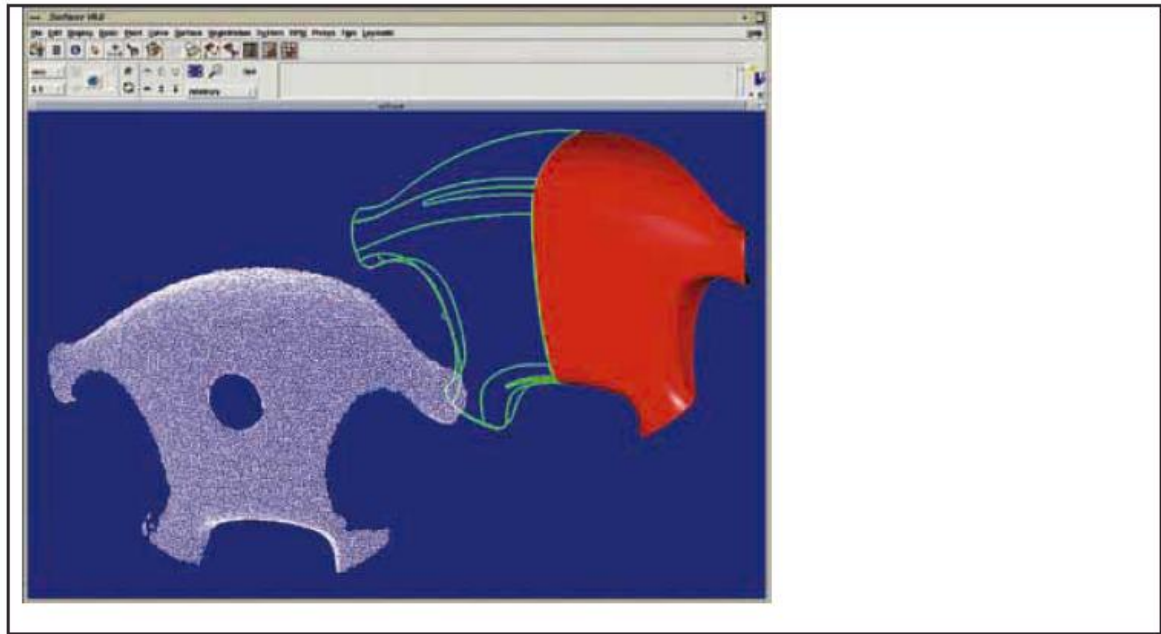
Η μηχανή μέτρησης των συντεταγμένων μπορεί να είναι με αισθητήριο επαφής ή κεφαλής οπτικής σάρωσης, Σχ. 7.1. Η πρώτη είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στις μεσαίου μεγέθους μηχανές,

και στηρίζεται στην άμεση επαφή του αισθητήριου με το εξάρτημα. Στη δεύτερη μέθοδο το σύστημα ελέγχου οδηγεί το σύστημα σάρωσης σε συνεχή πορεία και συλλέγει εκατοντάδες ή χιλιάδες ανεξάρτητα σημεία για να ορίσει την πραγματική γεωμετρία του εξαρτήματος. Όσο περισσότερα σημεία συλλέγονται τόσο μεγαλύτερη είναι και η ακρίβεια αναπαράστασης



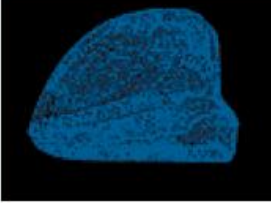
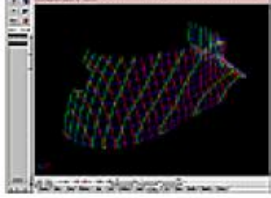
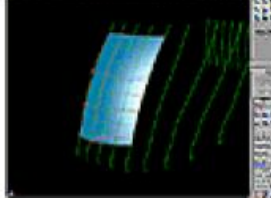
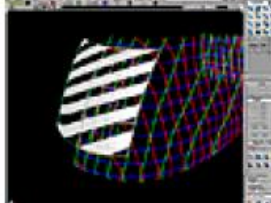

Σχ. 7.1. Οι δύο μέθοδοι σάρωσης, (α) με επαφή και (β) με οπτική σάρωση.

Τα σημεία που έχουν συλλεχθεί χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του μοντέλου επιφανειών του προϊόντος, Σχ. 7.2. Δεν απαιτείται δηλαδή η απόδοση της μορφής του προϊόντος με λειτουργίες μοντελοποίησης του συστήματος.



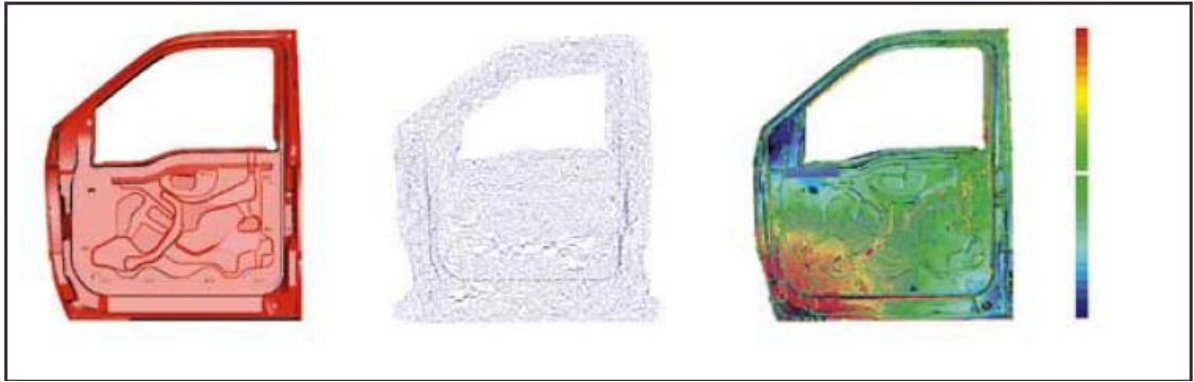
Σχ. 7.2. Το νέφος των σημείων και η δημιουργία της επιφάνειας από το νέφος των σημείων.

Τα δεδομένα που διαβάζει η μηχανή σάρωσης τα εξάγει σε μορφή αρχείου IGES, VDA-FS, ISO G-Code, DFX, ASCII, ή σε μορφή άμεσα συνδεδεμένη με σύστημα CAD/CAM. Τα δεδομένα αυτά τα επεξεργάζεται το αντίστοιχο λογισμικό των συστημάτων, και τέτοια συστήματα είναι τα: ScanTools - PTC, Surfacer - Imageware/SDRC, SurfaceStudio - Alias/Wavefront, κα. Το λογισμικό πρέπει να έχει τις παρακάτω δυνατότητες, που δείχνουν και την πορεία εκτέλεσης της λειτουργίας ενός συστήματος αντίστροφης σχεδίασης, Σχ. 7.3, (Surfacestudio της Alias/Wavefront).

<p>Εισαγωγή γεωμετρίας (συντεταγμένες σημείων) σε διάφορες τυποποιήσεις. Τα δεδομένα μπορούν να κλειστούν σε πολυγωνικό πλέγμα και να εξομαλυνθούν απομακρύνοντας τυχόν σφάλματα (noise) από τα σημεία.</p>	
<p>Παραγωγή χαρακτηριστικών διατομών σάρωσης υψηλής πιστότητας.</p>	
<p>Δημιουργία επιφανειών από τις χαρακτηριστικές διατομές. Επιφάνειες μπορούν να δημιουργηθούν από προσαρμογή επιφάνειας σε τέσσερα οριακά σημεία, προσαρμογή καμπυλών στις χαρακτηριστικές διατομές, και στη συνέχεια προσαρμογή επιφανειών στις καμπύλες.</p>	
<p>Εξέταση της ποιότητας της επιφάνειας με μέτρηση της απόκλισης από τα δεδομένα, διαγράμματα καμπυλότητας διαφόρων μορφών, σκίαση της επιφάνειας, κλπ.</p>	
<p>Δημιουργία του τελικού μοντέλου του προϊόντος, έτοιμου για κάθετες εφαρμογές, προσομοίωσης, παραγωγής, κλπ.</p>	

Σχ. 7.3. Τυπική πορεία λειτουργιών στην αντίστροφη σχεδίαση και δυνατότητες συστημάτων.

Μια σημαντική λειτουργία των συστημάτων είναι η αντιπαραβολή των αρχικών σημείων με την τελική γεωμετρία που παράγει το σύστημα και η παρουσίαση των αποκλίσεων σε γραφική μορφή, Σχ. 7.4.



Σχ. 7.4. Αρχικό αντικείμενο, σάρωση δεδομένων με μηχανή σάρωσης, μοντέλο CAD στο οποίο φαίνονται σε έγχρωμη αποτύπωση η απόκλιση των δεδομένων από τη γεωμετρία του μοντέλου.

8. Εργαλεία CAM – Υποστήριξης κατασκευής

Περιλαμβάνει την μελέτη και προγραμματισμό των κατεργασιών, την παραγωγή του προγράμματος οδήγησης των εργαλειομηχανών ΑΕ, τον έλεγχο του προγράμματος οδήγησης της εργαλειομηχανής, τον έλεγχο του αποτελέσματος της κατεργασίας και τον προγραμματισμό του συστήματος παραγωγής.

8.1 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

Μπορεί να γίνει με τα συστήματα Computer Aided Process Planning - CAPP, που υπολογίζουν:

- τα στάδια και τη σειρά εκτέλεσης της επεξεργασίας του προϊόντος,
- τις μηχανές που θα χρησιμοποιηθούν με τα αντίστοιχα εργαλεία και τις συνθήκες επεξεργασίας
- την κοστολόγηση της παραγωγής.

Η χρήση τους δεν είναι εκτεταμένη και δεν υφίστανται ακόμα συστήματα που να είναι αποδοτικά για όλα τα είδη των εξαρτημάτων.

Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με το είδος της χρησιμοποιούμενης λογικής εξαγωγής αποτελεσμάτων:

- Συστήματα με ανάκληση παλαιών πλάνων παραγωγής (Retrieval systems)
- Συστήματα με δημιουργία εξ αρχής του πλάνου παραγωγής (Generative systems)

Η εφαρμογή τους δεν είναι εκτεταμένη και ενδείκνυνται για ορισμένο μόνο φάσμα εφαρμογών και κατηγορία προϊόντων.

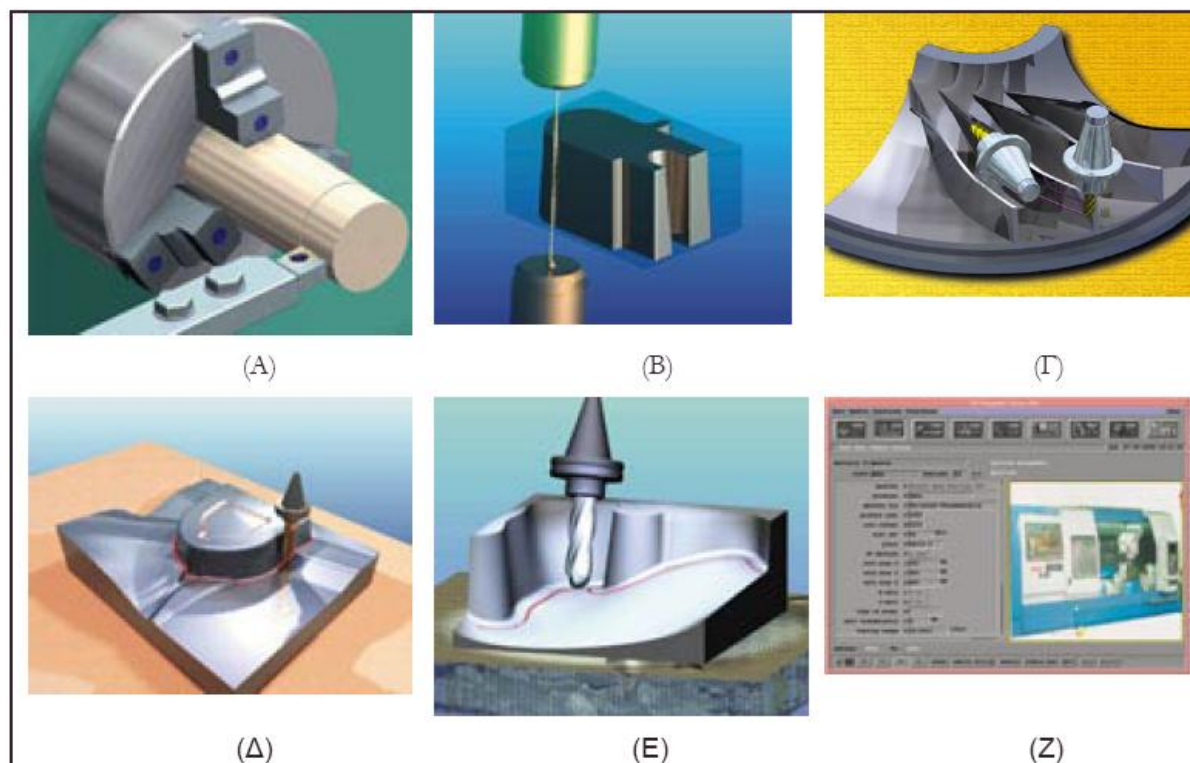
8.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

Χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου – CNC.

Το σύστημα δημιουργεί την πορεία της κίνησης του κοπτικού εργαλείου για την κατεργασία ορισμένης περιοχής που υποδεικνύεται από το χρήστη. Ο χρήστης προσδιορίζει πρώτα την πρώτη ύλη από την οποία θα προέλθει η τελική μορφή. Στη συνέχεια, για κάθε στάδιο επεξεργασίας προσδιορίζει, το είδος της κατεργασίας, το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί, τις συνθήκες και την ακρίβεια της κατεργασίας, και την περιοχή κατεργασίας του αντικειμένου. Το σύστημα υπολογίζει την απαραίτητη πορεία του κοπτικού εργαλείου για την απόδοση της επιθυμητής μορφής.

Υπάρχουν συστήματα προγραμματισμού για την πλειοψηφία των εργαλειομηχανών και για τις περισσότερες εφαρμογές, Σχ. 8.1,όπως:

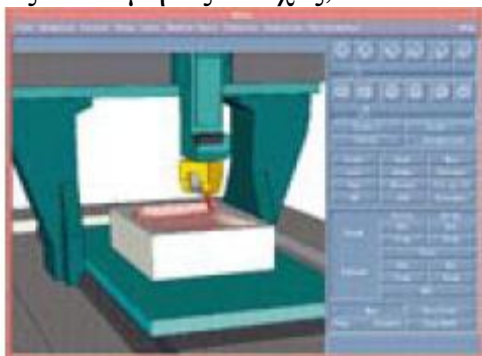
- Φρεζάρισμα, 2, 2 ½ , 3 – 5 αξόνων ελέγχου
- Τόρνευση, 2 – 4 αξόνων ελέγχου
- Ηλεκτροδιάβρωση, 2 – 4 αξόνων ελέγχου
- Πρέσας, Φλογοκοπής, κλπ.
- Ειδικές κατεργασίες



Σχ. 8.1. Διάφορα παραδείγματα από CAM, (A) Τόρνευση, (B) Ηλεκτροδιάβρωση με σύρμα,(Gamma-E) Φρεζάρισμα σε πολλούς άξονες, (Z) Αρχείο εργαλειομηχανών.

8.3 ΕΛΕΓΧΟΣ

Πρόκειται για λογισμικό ελέγχου πορείας του εργαλείου για έλεγχο παρεμβολών, Σχ. 8.2, λογισμικό έλεγχου ανοχών κατεργασίας μετά από μέτρηση του τελικού αποτελέσματος με αυτόματη μηχανή και σύγκριση με τις επιθυμητές ανοχές, κλπ.



Σχ. 8.2. Γραφική αναπαράσταση όλης της κατεργασίας

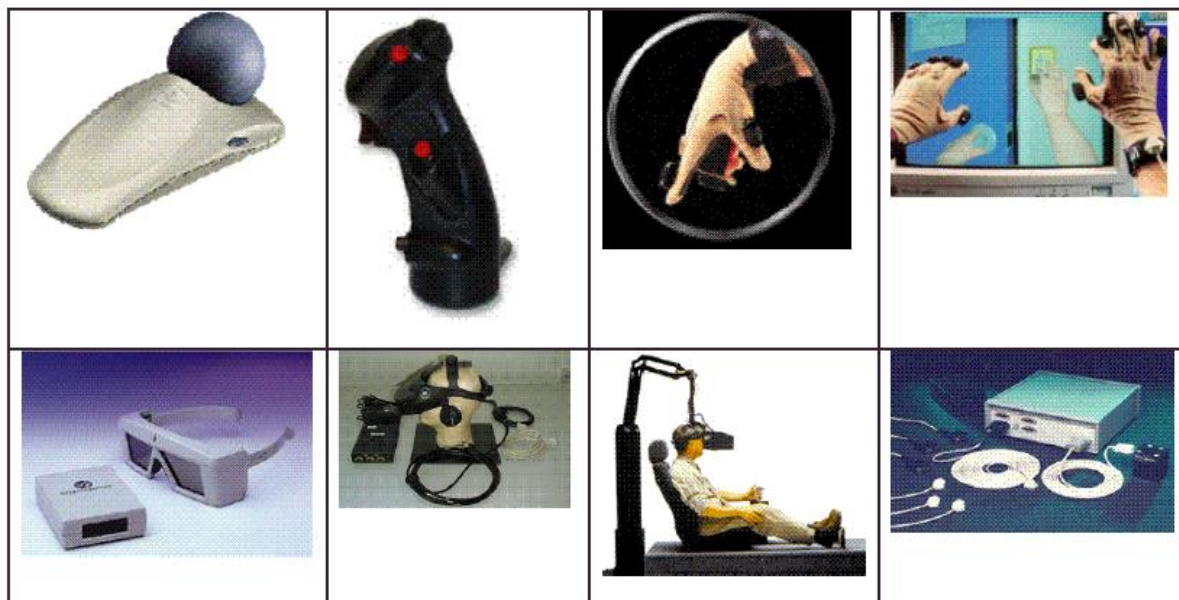
8.4 ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ – ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Αποτελούν σήμερα την σύγχρονη εξέλιξη στην προσομοίωση των προϊόντων, στο επίπεδο της σύλληψης και ελέγχου των σταδίων παραγωγής του με τη χρήση της εικονικής πραγματικότητας. Διακρίνουμε το πλασματικό (εικονικό) πρωτότυπο και την πλασματική (εικονική) παραγωγή.

Σε πρώτο στάδιο τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν περιφερειακά εικονικής πραγματικότητας, Σχ. 8.3 ,δηλ.

- γάντια, κράνος, 3-διαστάσεων ποντίκι
- συσκευές ιχνηλάτησης κίνησης

Χρησιμοποιούνται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης του προϊόντος στον έλεγχο της σχεδίασης του προϊόντος και στον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής, Σχ. 8.4.



Σχ. 8.3. Διάφορα περιφερειακά που χρησιμοποιούνται σε συστήματα εικονικής πρωτοτυποποίησης και παραγωγής, 3-διαστάσεων ποντίκι, τριών διαστάσεων χειριστήριο, γάντι σε εργασίες μεταφοράς και επιλογής, γυαλιά τρισδιάστατης όρασης, κράνος, μηχανική ιχνηλάτηση, ηλεκτρομηχανική ιχνηλάτηση.



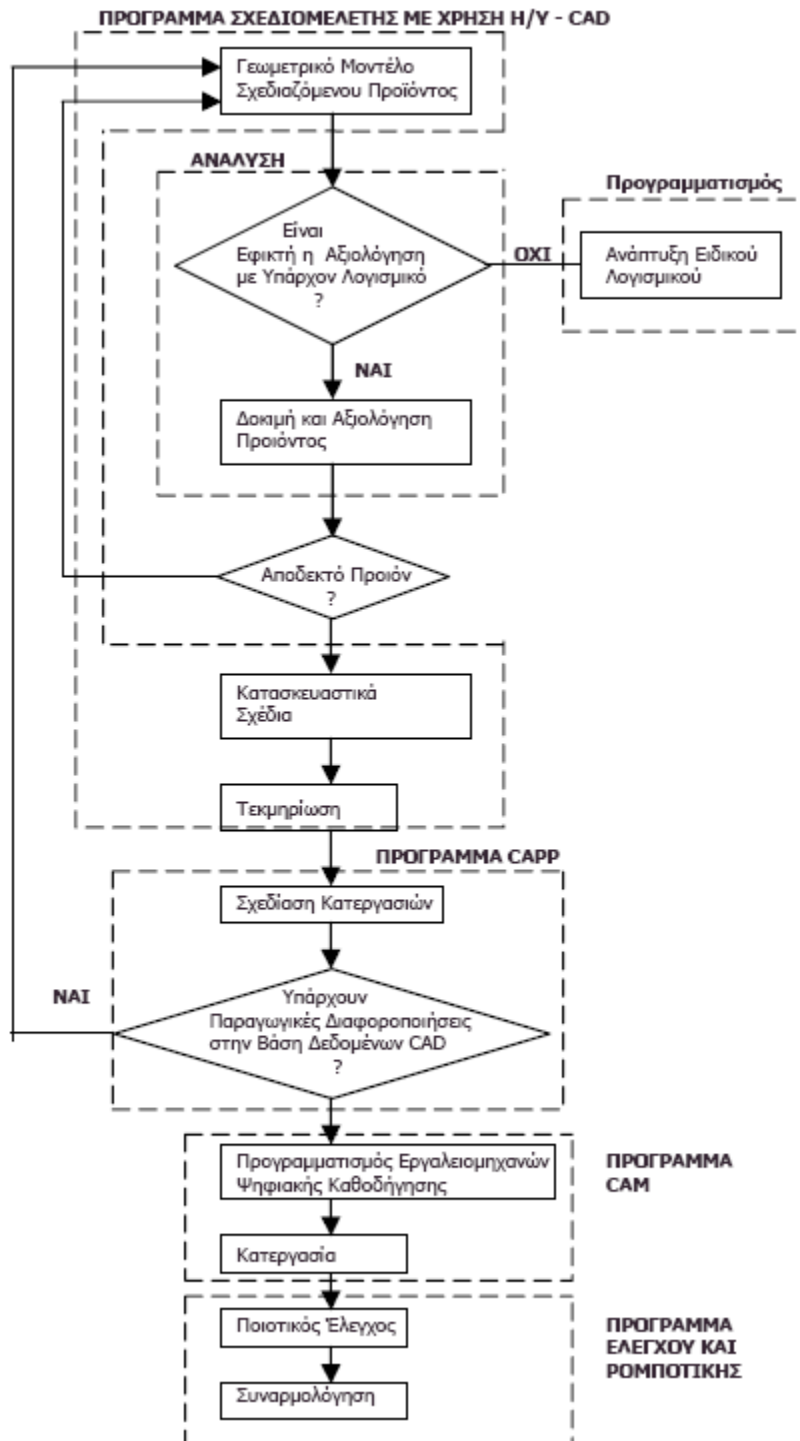
Σχ. 8.4. Διάφορες εφαρμογές εικονικής πρωτοτυποποίησης και παραγωγής, εσωτερικό αυτοκινήτου, αεροπλάνου, αυτοκίνητο, συναρμολόγηση, εργοστάσιο, έλεγχος εργασιών.

9. Τυπική εφαρμογή συστημάτων CAD/CAM σε βιομηχανικό περιβάλλον

Στο Σχ. 9.1. φαίνεται η ανάλυση της ροής των δεδομένων και όλο το εύρος των εφαρμογών που καλύπτει ένα σύστημα CAD/CAM στο βιομηχανικό περιβάλλον μιας τυπικής MME για κατεργασία. Διακρίνουμε τις παρακάτω εφαρμογές και προγράμματα.

- Σχεδιομελέτη με χρήση Η/Υ - Τμήμα της μοντελοποίησης. Δημιουργία μοντέλου προϊόντος, παραγωγή κατασκευαστικών σχεδίων και τεκμηρίωση του προϊόντος.
- Ανάλυση. Η λειτουργία του μπορεί να απαιτεί περισσότερα του ενός προγράμματα εφαρμογών. Εάν δεν υπάρχουν επαρκή προγράμματα, τότε πρέπει να γίνει ανάπτυξη ειδικού λογισμικού.
- Τμήμα προγραμματισμού κατεργασιών. Μπορεί να εξυπηρετείται και από σύστημα CAPP. Το τμήμα αυτό τροφοδοτεί το τμήμα προγραμματισμού των εργαλειομηχανών.
- Τμήμα προγραμματισμού εργαλειομηχανών, που απαιτεί πρόγραμμα CAM.
- Τέλος ακολουθεί το τμήμα της επιθεώρησης και προγραμματισμού ρομπότ.

Αλλαγές που προκύπτουν από το τμήμα του προγραμματισμού των κατεργασιών και του προγραμματισμού των εργαλειομηχανών, τροφοδοτούνται στο τμήμα της σχεδιομελέτης.



Σχ. 9.1. Τυπική χρήση συστήματος CAD/CAM σε βιομηχανικό περιβάλλον.

10. Προκαταρκτικός Σχεδιασμός Βιομηχανικού Προϊόντος με Υπολογιστή: Νέες Στρατηγικές Έρευνας και Μέθοδοι στην Αυτόματη Κατασκευή Τρισδιάστατου Στερεού από Σκίτσο

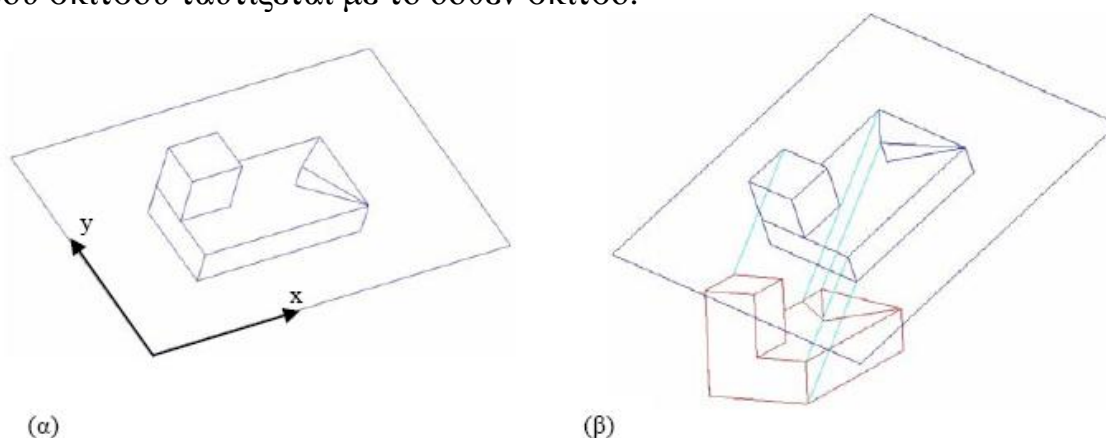
Υπάρχουν σχεδιαστικά προβλήματα στα οποία οι ερευνητές του CAD δεν έχουν κατορθώσει ακόμα να δώσουν ικανοποιητικές λύσεις· τυπικό παράδειγμα αποτελεί ο «ορισμός στερεού πολυέδρου από σκίτσο», απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη / διερεύνηση ιδεών με χρήση σκίτσων σε CAD.

11. Πολύεδρο από σκίτσο: Διατύπωση και ανάλυση του προβλήματος

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη συστήματος Computer-Aided Concept Development (Azariadis/Sapidis 2005, Hsu/Liu 2000, Sapidis 2004), που να υποστηρίζει τη χρήση σκίτσων, είναι η επίλυση του εξής προβλήματος

Ορισμός Πολύεδρου από ένα Σκίτσο

“Δίνεται επίπεδο σκίτσο γραμμών. Να κατασκευαστεί το απλούστερο-δυνατό τρισδιάστατο πολύεδρο του οποίου η ορθογώνια προβολή στο επίπεδο του σκίτσου ταυτίζεται με το δοθέν σκίτσο.”

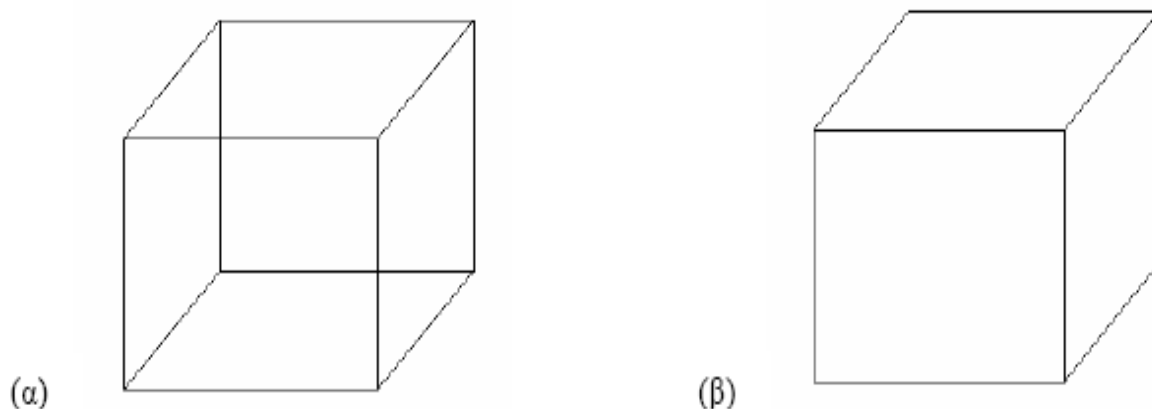


Σχ. 11.1. (α) Τρισδιάστατη απεικόνιση σκίτσου στο επίπεδο (xy). (β) Τρισδιάστατη απεικόνιση που περιλαμβάνει το σκίτσο της Εικόνας 1(α), το αντίστοιχο στερεό πολύεδρο και “κάθετες γραμμές προβολής” που προβάλλουν κορυφές του πολύεδρου στους αντίστοιχους κόμβους του σκίτσου.

Όσον αφορά τις χρησιμοποιούμενες περιγραφές (μοντέλα) για το σκίτσο και το πολύεδρο, σημειώνεται ότι το μεν σκίτσο περιγράφεται ως γράφος που περιλαμβάνει «κόμβους», «γραμμές» και «περιοχές» (Sapidis/Kyratzi/Azariadis 2005), ενώ για το πολύεδρο χρησιμοποιείται το κλασικό μοντέλο “Περιγραφής Συνόρου”, από τον κλάδο της Στερεάς Μοντελοποίησης (Zeid 1991), το οποίο περιλαμβάνει «κορυφές», «ακμές» και «έδρες», που συνθέτουν μια πληροφοριακά-πλήρη περιγραφή του πολύεδρου (δείτε, π.χ., Sapidis 2004 & 2005, και Theodosiou/Sapidis 2004).

12. Είδη και Ιδιότητες Σκίτσων σε σχέση με το Πρόβλημα “Ορισμός Πολύεδρου από ένα Σκίτσο”

Η σχετική βιβλιογραφία (δείτε Lipson 1996, Varley 2005 και βιβλιογραφικές αναφορές σε αυτά) διακρίνει δύο είδη σκίτσων: τα “πλήρη σκίτσα” που περιλαμβάνουν προβολές όλων των ακμών του στερεού (Εικόνα 2(α)) και τα “φυσικά σκίτσα” (Εικόνα 2(β)) που παρουσιάζουν μόνο τις ορατές γραμμές. Η έρευνά μας επικεντρώνεται στα φυσικά σκίτσα διότι κυρίως αυτά χρησιμοποιούνται στον βιομηχανικό σχεδιασμό. Παρά τις προσπάθειες πολλών ερευνητών, το πρόβλημα “ορισμός Πολύεδρου από ένα Φυσικό Σκίτσο (ΠΦΣ)” παραμένει άλυτο ακόμα και για την ειδική (απλούστερη) περίπτωση του «τριεδρικού πολύεδρου», όπου όλες οι κορυφές του πολύεδρου ανήκουν σε τρεις έδρες. Η έρευνά μας, λοιπόν, ασχολείται μόνο με αυτό το είδος πολύεδρων.



Σχ. 12.1. (α) “Πλήρες σκίτσο” κύβου.

(β) “Φυσικό σκίτσο” κύβου.

Όπως όλες οι σχετικές δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες (δείτε Sapidis/Kyrtatzi/Azariadis 2005, Varley 2005, και βιβλιογραφικές αναφορές σε αυτά), έτσι και η παρούσα έρευνα βασίζεται στις παρακάτω δύο υποθέσεις: (1) Το δοθέν σκίτσο δεν είναι «ιδιαίτερο» αλλά παρουσιάζει μία «γενική (τυχαία) όψη» του στερεού όπου καμία έδρα / ακμή του δεν είναι παράλληλη στην κατεύθυνση προβολής. (2) Η δεδομένη απεικόνιση είναι «πληροφοριακά επαρκής», δηλ., όλα τα σημαντικά χαρακτηριστικά του στερεού είναι (πλήρως ή εν μέρει) ορατά. Η υπόθεση / αρχή αυτή διατυπώνεται εναλλακτικά ως εξής: “Το μη-ορατό τμήμα του πολύεδρου περιλαμβάνει μόνο τα ελάχιστα στοιχεία τα οποία επάγονται το ορατό τμήμα του σκίτσου και οι νόμοι τοπολογικής / γεωμετρικής ορθότητας του υπό-κατασκευής πολύεδρου.”

13. Πολύεδρο από ένα φυσικό σκίτσο βάσει χαρακτηρισμού των γραμμών του σκίτσου (Line-Labeling)

Ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται από πολλές μεθόδους ΠΦΣ είναι ο “ορισμός ετικετών” (ή αλλιώς “χαρακτηρισμός”) για τις γραμμές του σκίτσου (line labeling ή LL). Δείτε Varley (2002 & 2005) και την βιβλιογραφία που αυτά δίνουν. Η τεχνική LL δίνει σε κάθε γραμμή του σκίτσου μία από τις ετικέτες {+, -, →, ←}, που σημαίνουν τα εξής :

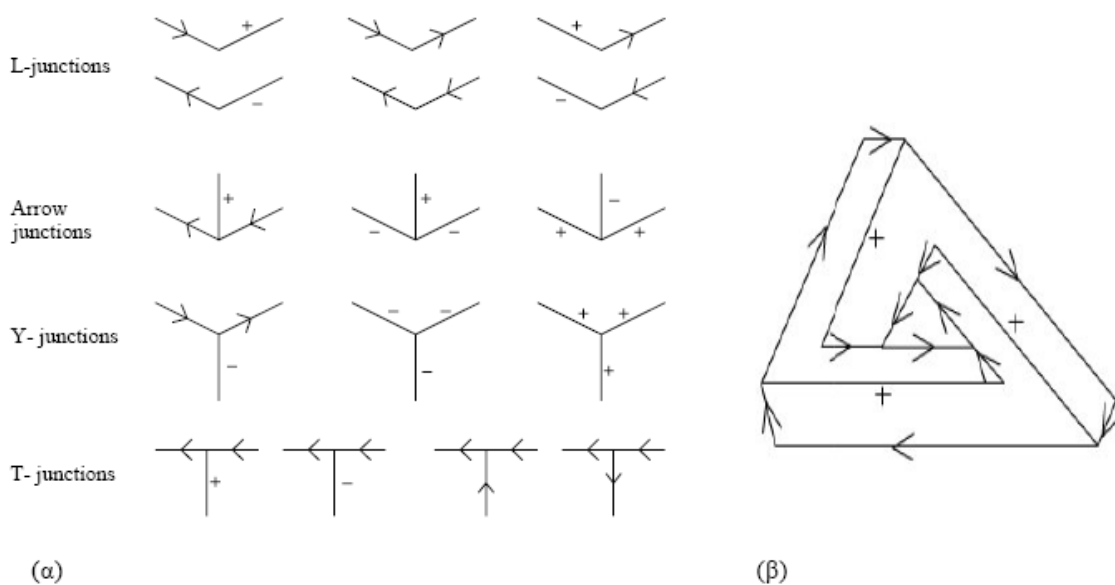
“+” (“-”) : Η γραμμή είναι κυρτή (κοίλη), δηλ., οι δύο έδρες που συναντώνται στην αντίστοιχη ακμή του πολύεδρου ορίζουν γωνία $>$ ($<$) 180° .

“→” : Η γραμμή είναι “φράκτης”, δηλ., από τα δύο χωρία που μοιράζονται αυτήν τη γραμμή, μόνο αυτό που κείται στα δεξιά του “βέλους” (δηλ., της προσανατολισμένης γραμμής) αντιστοιχεί σε έδρα που περιλαμβάνει την αντίστοιχη ακμή· το άλλο χωρίο αντιστοιχεί σε έδρα εν-μέρει ορατή.

Η πλέον διαδεδομένη τεχνική LL χρησιμοποιεί έναν «κατάλογο κόμβων-ετικετών» (Σχ. 13.1(α)) που καταγράφει όλες τις πιθανές περιπτώσεις διασταυρώσεων γραμμών (ακμών). Ο αντίστοιχος αλγόριθμος LL επιλέγει ετικέτες για τις γραμμές του σκίτσου έτσι ώστε:

- Η προκύπτουσα διάταξη ετικετών, σε κάθε κόμβο, να περιλαμβάνεται στον δεδομένο «κατάλογο κόμβων-ετικετών».
- Η κάθε γραμμή του σκίτσου παίρνει την ίδια ετικέτα από τον τύπο διασταύρωσης και των δύο κόμβων της.

Ένα σκίτσο, στις γραμμές του οποίου έχουν προστεθεί ετικέτες συμβατές με τις δύο αυτές αρχές, ονομάζεται χαρακτηρισμένο σκίτσο. Ο χαρακτηρισμός ενός σκίτσου είναι αναγκαία μόνο συνθήκη για το σκίτσο να αντιστοιχεί σε πολύεδρο. Έτσι, υπάρχουν χαρακτηρισμένα σκίτσα, όπως αυτό του Σχ. 13.1(β), που δεν αντιστοιχούν σε σωστό πολύεδρο.



Σχ 13.1. (α) Κατάλογος κόμβων-ετικετών. (β) Φυσικό σκίτσο που επιδέχεται σωστό “χαρακτηρισμό γραμμών” αν και δεν ορίζει πολύεδρο.

Είναι προφανές ότι η μέθοδος LL και το χαρακτηρισμένο σκίτσο βοηθούν στην επίλυση του προβλήματος ΠΦΣ μόνον εφόσον υπάρχει μέθοδος ελέγχου του αν ένα χαρακτηρισμένο σκίτσο αντιστοιχεί σε πολύεδρο. Παρά την εκτεταμένη έρευνα από πληθώρα ερευνητών τα τελευταία 20 χρόνια (από τον Sugihara (1986) έως τον Varley (2002 & 2005) κ.α.), τέτοια μέθοδος δυστυχώς δεν υπάρχει. Έτσι, π.χ. ο Varley, αφού παρουσίασε στη Διδακτορική του Διατριβή (2002), και σε ακόλουθα δημοσιεύματα, βελτιωμένες εκδοχές της μεθόδου LL, στην πρόσφατή του εργασία (2005) αμφισβητεί την χρησιμότητα του LL και προτείνει νέες μεθόδους ΠΦΣ που δεν βασίζονται στο LL.

13.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΚΙΤΣΟΥ (LINE LABELING): ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΝΕΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ.

Και η μελέτη της βιβλιογραφίας (Sapidis/Kyratzi/Azariadis 2005) στον τομέα ΠΦΣ καταλήγει στο ίδιο συμπέρασμα, με τους Varley κ.α. (2005), ότι η ιδέα του LL, ενώ καταρχήν φαίνεται πολύ χρήσιμη, δεν έχει συμβάλει αποφασιστικά στη λύση του προβλήματος ΠΦΣ. Όμως η μελέτη (Sapidis/Kyratzi/Azariadis 2005) αναδεικνύει και δύο προβληματικές “βασικές αρχές” της υπάρχουσας έρευνας “LL για ΠΦΣ”, οι οποίες πιθανόν έχουν παίξει βασικό ρόλο στην αποτυχία των παρελθουσών ερευνητικών προσπαθειών στον τομέα αυτόν:

(A1) “Το LL πρέπει να εξυπηρετεί το γρήγορο σκίτσάρισμα (π.χ., για διερεύνηση ιδεών στον βιομηχανικό σχεδιασμό), άρα πρέπει να είναι γρήγορο. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ευρετικών τεχνικών στον «χαρακτηρισμό» ενός σκίτσου”.

(A2) “Το LL συνήθως παράγει πάρα πολλούς πιθανούς «χαρακτηρισμούς» για ένα δεδομένο σκίτσο, γεγονός πιθανώς ασύμβατο με την βασική απαίτηση του γρήγορου σκίτσαρίσματος (δείτε παραπάνω). Απαιτείται γρήγορος εντοπισμός και απόρριψη των «χαρακτηρισμών» που με μεγάλη βεβαιότητα δεν αντιστοιχούν σε σωστό πολύεδρο· αυτό πραγματοποιείται με χρήση ευρετικών τεχνικών”.

Συμπέρασμα: Για διάφορους λόγους, η υπάρχουσα έρευνα σε LL/ΠΦΣ δίνει μεγάλη σημασία στην ανάπτυξη υπολογιστικά γρήγορων λύσεων και γι’ αυτό χρησιμοποιεί, σε μεγάλο βαθμό, ευρετικές τεχνικές, δηλ., κριτήρια και αλγόριθμους αυθαίρετους, με ελλιπή ή εντελώς ανύπαρκτη θεωρητική θεμελίωση. Συνεπώς, η πρώτη πρόταση για μια νέα ερευνητική στρατηγική, στον τομέα “LL για ΠΦΣ”, είναι: Μια και η εμμονή της ερευνητικής κοινότητας στις αρχές (A1) και (A2) δεν έχει δώσει καλά αποτελέσματα, προτείνεται η πλήρης απαλοιφή τους. Προτείνεται η έρευνα στο “LL για ΠΦΣ” να έχει, κατ’ αρχήν, έναν μόνο στόχο: την ανάπτυξη μιας λύσης που θα είναι μαθηματικά / αλγοριθμικά πλήρης και αποδείξιμα-σωστή.

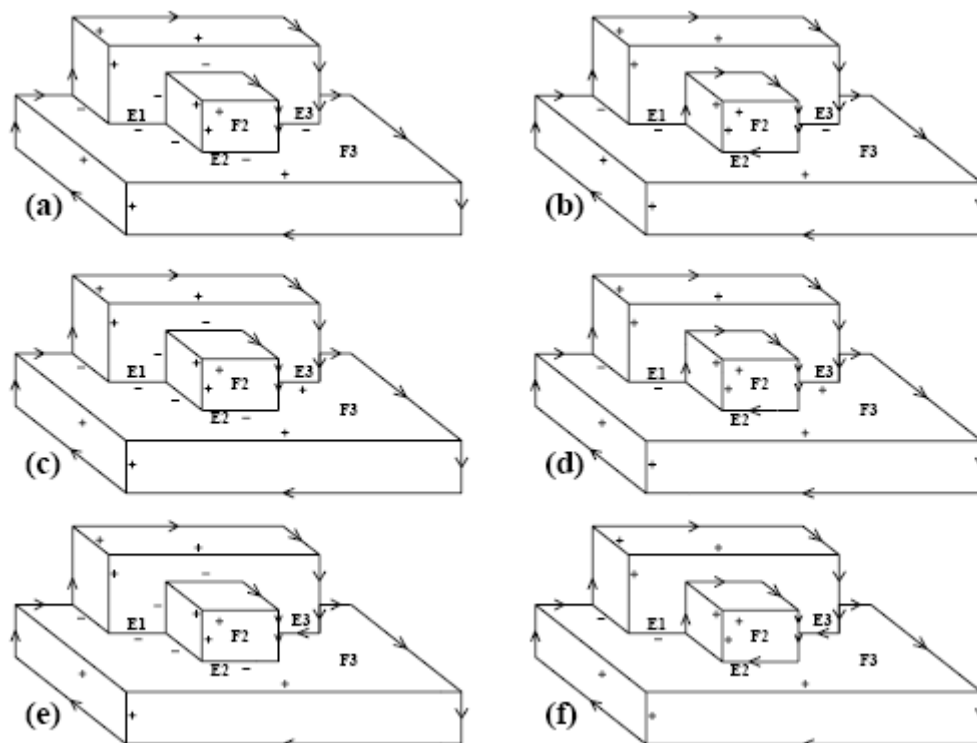
Αφού επιτευχθεί ο στόχος αυτός, η ερευνητική κοινότητα θα διαθέτει την απαραίτητη γνώση για να επικεντρωθεί στον στόχο του:

(α) να προσθέσει σε αυτήν τη υπάρχουσα λύση τις απαραίτητες «τεχνικές επιτάχυνσης».

ή

(β) να την αντικαταστήσει από άλλη λύση που θα είναι και υπολογιστικά αποδοτική.

Η δεύτερη πρόταση, σχετικά με μια σωστή στρατηγική στην έρευνα “LL για ΠΦΣ”, αναφέρεται στην ασάφεια που συχνά ένα σκίτσο έχει, την οποία μόνο ο χρήστης / σχεδιαστής μπορεί να διασαφηνίσει.



Σχ. 13.2. Το σκίτσο αυτό επιδέχεται τους έξι πιθανούς χαρακτηρισμούς Line - labeling (a)-(f).

Παράδειγμα: Το σκίτσο του σχ.13.2 επιδέχεται εν-γένει έξι πιθανούς χαρακτηρισμούς LL, όπου τρεις από αυτούς (δείτε τα σχήματα 4(a, c, e)) αντιστοιχούν σε πολύεδρο με την ακμή E2 να είναι τμήμα του κοινού συνόρου των εδρών F2 και F3, ενώ στους υπόλοιπους τρεις (σχήματα 4(b, d, f)) η ακμή E2 ανήκει μόνο σε μία από τις έδρες F2, F3. Επομένως, οι πιθανοί χαρακτηρισμοί LL αυτού του σκίτσου περιορίζονται αμέσως σε τρεις (3) όταν ο χρήστης απαντήσει στο πολύ απλό ερώτημα «θέλεις η έδρα F2 του πολύεδρου να αγγίζει την έδρα του F3 κατά μήκος της ακμής E2 ή όχι;». Συμπερασματικά, η δεύτερή μας πρόταση στρατηγικής LL αναγνωρίζει ότι το σκίτσο πολλές φορές είναι ασαφές και επιτρέπει την διατύπωση σχετικών διευκρινιστικών ερωτήσεων στον χρήστη του προγράμματος χωρίς αυτό να μειώνει τον βαθμό αυτοματοποίησης της προσφερόμενης μεθόδου LL / ΠΦΣ.

14. Πολύεδρο από φυσικό σκίτσο βάσει θεωρίας γραφών και στερεάς μοντελοποίησης

Χωρίς να υιοθετούμε πλήρως τις απόψεις που θεωρούν το LL μάλλον άχρηστο για το πρόβλημα ΠΦΣ (Varley 2005), επικεντρώνουμε την ερευνητική μας εργασία στα πάρα πολλά εργαλεία / μεθοδολογίες που τομείς όπως η Θεωρία Γράφων και η Στερεά Μοντελοποίηση έχουν να προσφέρουν για την ανάπτυξη αξιόπιστων μεθόδων ΠΦΣ. Ένα απλό παράδειγμα εργαλείου από τη Θεωρία Γράφων, που αν και προφανώς είναι χρήσιμο στο ΠΦΣ εν τούτοις δεν χρησιμοποιείται στη σχετική έρευνα, είναι το θεώρημα “Ο αριθμός των κόμβων περιττού βαθμού σε έναν γράφο είναι πάντα άρτιος”. Η μέχρι-τόρα έρευνά μας (Sapidis/Kyratzi/Azariadis 2005) πιστοποιεί ότι η Θεωρία Γράφων και η Στερεά Μοντελοποίηση, σε συνδυασμό με τις σχετικές θεμελιώδεις επιστήμες (Ευκλείδεια Γεωμετρία, Αλγεβρική Τοπολογία, Αναλυτική Γεωμετρία, κ.α.), προσφέρουν πληθώρα τεχνικών και αποτελεσμάτων απόλυτα σχετικών με την ανάλυση σκίτσων και την κατασκευή πολύεδρων, που δεν έχουν ακόμα χρησιμοποιηθεί από τους ερευνητές του χώρου ΠΦΣ. Οι συγγραφείς έχουν αναπτύξει μία νέο μέθοδο ΠΦΣ που ακριβώς βασίζεται στα παραπάνω αποτελέσματα, και περιγράφεται περιληπτικά παρακάτω .

15. Πολύεδρο από ένα Φυσικό Σκίτσο: Ο νέος Αλγόριθμος ΠΦΣ

Τα βασικά βήματα του νέου αλγόριθμου ΠΦΣ είναι:

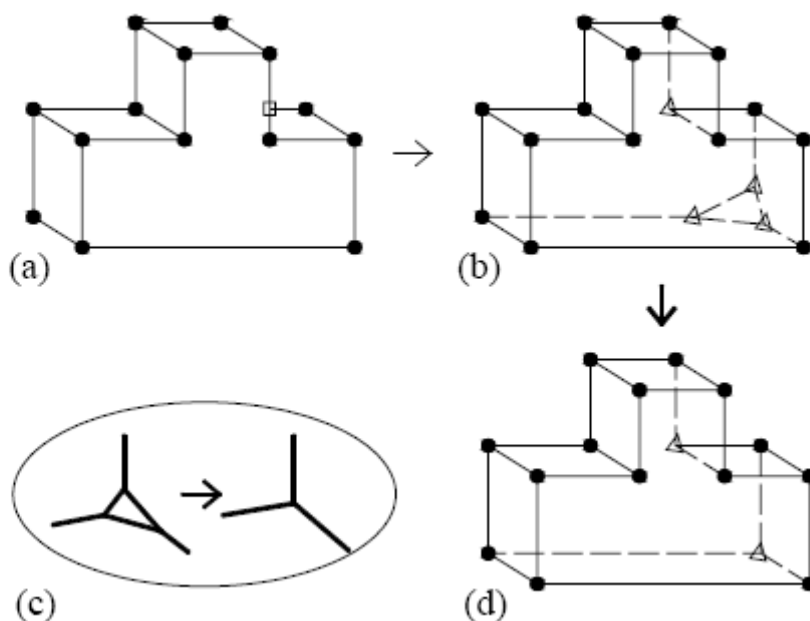
ΠΦΣ_1. Το δοθέν φυσικό σκίτσο υποβάλλεται σε πλήρη «γραφοθεωρητική ανάλυση», η οποία εντοπίζει τα χωρία που ορίζουν οι γραμμές του σκίτσου, τους κόμβους τύπου-L, τους κόμβους τύπου-T, κ.α.

ΠΦΣ_2. Υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός μη-ορατών κόμβων και γραμμών που πρέπει να προστεθούν στο δοθέν φυσικό σκίτσο ώστε αυτό να μετατραπεί σε πλήρες σκίτσο (προβολή) ενός τοπολογικά - σωστού πολύεδρου.

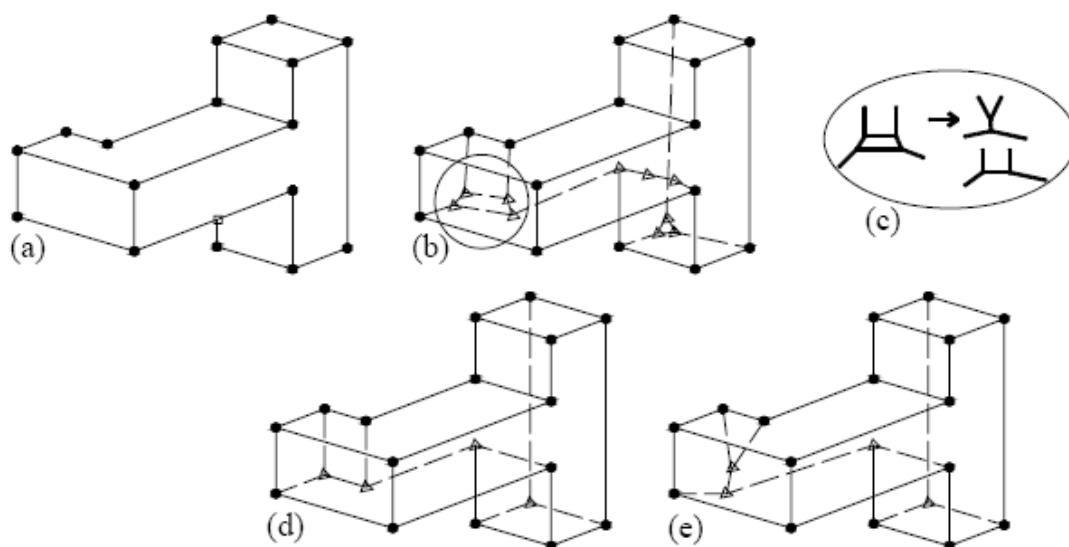
ΠΦΣ_3. Για τους κόμβους του πλήρους σκίτσου, υπολογίζονται κατάλληλες “z” συντεταγμένες, που τους μετατρέπουν σε κορυφές ενός τοπολογικά και γεωμετρικά σωστού πολύεδρου.

Το σημαντικότερο από αυτά τα βήματα είναι σαφώς το δεύτερο. (Όσον αφορά τα άλλα δύο βήματα, το μεν ΠΦΣ_1 απλά συνδυάζει κλασικές γραφοθεωρητικές τεχνικές με τους ορισμούς των κόμβων τύπου-L και -T, το δε ΠΦΣ_3 είναι επέκταση δημοσιευμένων μεθόδων.) Το βήμα ΠΦΣ_2 περιλαμβάνει δύο φάσεις. Η πρώτη φάση («τοπολογικός εμπλουτισμός») προσθέτει στο σκίτσο μη-ορατές γραμμές και κόμβους ώστε οι κόμβοι τύπου-L και τύπου-T να μετατραπούν σε τριεδρικούς.

Παραδείγματα: Στο Σχ. 15.1 (a-b), για να γίνουν όλοι οι κόμβοι τριεδρικοί, προστίθενται διαδοχικά οι πέντε μη-ορατές γραμμές που σχεδιάζονται διακεκομμένες, οι τέσσερις μη – ορατές κορυφές που παρουσιάζονται ως τρίγωνα, οι μη-ορατές γραμμές του τριγώνου κάτω-δεξιά στο 15.1(b), και βεβαίως όλα τα μη-ορατά χωρία που ορίζονται από ορατές και / ή μη-ορατές γραμμές. Στο Σχ. 15.2 (a-b), η ίδια διαδικασία παράγει τις μη-ορατές ακμές (διακεκομμένες) και τους μη-ορατούς κόμβους (τρίγωνα) που παρουσιάζονται στο Σχ. 15.2(b).



Σχ. 15.1. (a) Το αρχικό φυσικό σκίτσο. (b) Το αντίστοιχο “ενδιάμεσο πλήρες σκίτσο”, που παράγεται από την διαδικασία του «τοπολογικού εμπλουτισμού» (πρώτη φάση του βήματος ΠΦΣ_2). Η δεύτερη φάση του ΠΦΣ_2 («τοπολογική απλοποίηση») απλοποιεί, βάσει της διαδικασίας (c), το μη-ορατό τμήμα του (b) και παράγει το τελικό πλήρες σκίτσο (d).

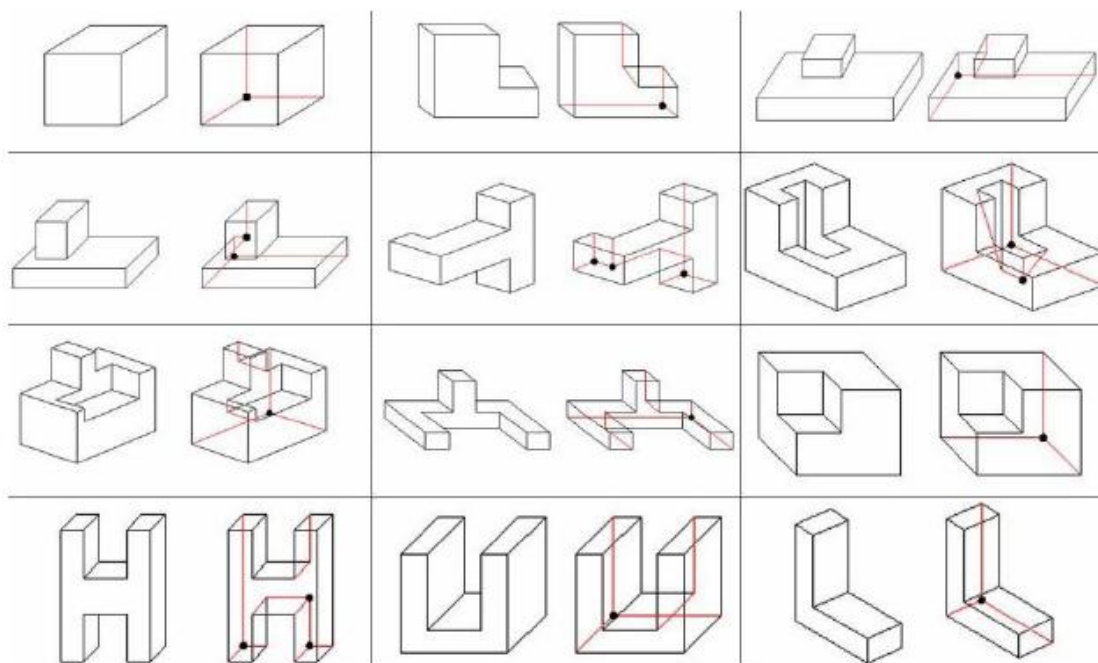


Σχ. 15.2. (a) Το αρχικό φυσικό σκίτσο. (b) Το αντίστοιχο “ενδιάμεσο πλήρες σκίτσο”, που παράγεται από την διαδικασία του «τοπολογικού εμπλουτισμού» (πρώτη φάση του ΠΦΣ_2). Η δεύτερη φάση του ΠΦΣ_2 («τοπολογική απλοποίηση») απλοποιεί, βάσει της διαδικασίας (c), το μη-ορατό τμήμα του (b) και παράγει το τελικό πλήρες σκίτσο (d) ή (e).

Το σκίτσο που παράγει ο «τοπολογικός εμπλουτισμός» ονομάζεται «ενδιάμεσο πλήρες σκίτσο». αυτό είναι τοπολογικά πλήρες αλλά, εν γένει, περιλαμβάνει στοιχεία τα οποία είναι δυνατόν να απλοποιηθούν με το σκίτσο να συνεχίζει να είναι τοπολογικά σωστό. Αυτός είναι ο στόχος της δεύτερης φάσης («τοπολογική απλοποίηση») του βήματος ΠΦΣ_2, που απλοποιεί το μη-ορατό τμήμα του «ενδιάμεσου πλήρους σκίτσου» διατηρώντας την τοπολογική του ορθότητα. Οι χρησιμοποιούμενες διαδικασίες απλοποίησης επικεντρώνονται στον εντοπισμό (i) μη-ορατών χωρίων που μπορούν να αντικατασταθούν από έναν κόμβο (π.χ., Σχ. 15.1(c)) ή μία γραμμή (π.χ., Σχ. 15.2(c)), και (ii) μη-ορατών γραμμών που μπορούν να αντικατασταθούν από έναν κόμβο. Πρέπει να τονιστεί ότι ενώ σε απλά σκίτσα το τελικό «πλήρες σκίτσο» μπορεί να είναι μοναδικό (δείτε παράδειγμα στην Σχ. 15.1), αυτό εν γένει δεν ισχύει. Έτσι, π.χ., στο ΣΧ. 15.2, το τελικό «πλήρες σκίτσο» είναι το 15.2(d) ή το 15.2(e), ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη διαδικασία «τοπολογικής απλοποίησης» (Σχ. 15.2(c)).

16. Πολύεδρο από Φυσικό Σκίτσο: Παραδείγματα εφαρμογής του νέου Αλγορίθμου ΠΦΣ

Ο αλγόριθμος, που περιληπτικά περιγράφηκε παραπάνω, υλοποιείται σε περιβάλλον PC / Windows. Έχει ήδη ολοκληρωθεί η υλοποίηση του «τοπολογικού τμήματος» της μεθόδου (βήματα ΠΦΣ_1 και ΠΦΣ_2) και την τρέχουσα περίοδο επικεντρωνόμαστε στο τελικό βήμα ΠΦΣ_3 της «γεωμετρικής κατασκευής» του πολύγωνου. Πέραν των άλλων αξιολογήσεων της μεθόδου, εκτελούμε και συστηματικά πειράματα με παραδείγματα σκίτσων που προέρχονται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Σχ. 16.1).

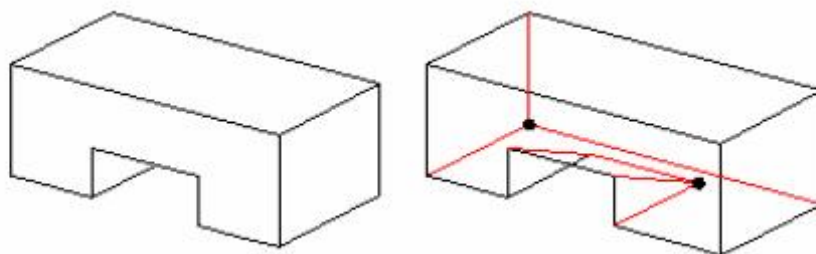


Σχ. 16.1. Παραδείγματα αξιολόγησης της προτεινόμενης μεθόδου ΠΦΣ: Για κάθε ένα από τα 12 παραδείγματα, από το φυσικό σκίτσο στα αριστερά, ο αλγόριθμος ΠΦΣ κατασκευάζει την πλήρη τοπολογική περιγραφή του αντίστοιχου πολύεδρου στα δεξιά.

Τα αποτελέσματα είναι εν-γένει ικανοποιητικά με μόνη εξαίρεση περιπτώσεις όπως το σκίτσο στη δεύτερη γραμμή και τρίτη στήλη όπου το παραγόμενο πολύεδρο μπορεί να θεωρηθεί “ασύμβατο με τις προθέσεις του σχεδιαστή” λόγω του ότι περιλαμβάνει ορισμένες τριγωνικές έδρες. Το θέμα αυτό συζητείται στο επόμενο κεφάλαιο.

17. Κατασκευή Πολύεδρου Συμβατού με την «Σχεδιαστική Πρόθεση» του Σχεδιαστή

Ένα κρίσιμο ζήτημα στην έρευνα ΠΦΣ είναι το κατά πόσον είναι δυνατόν οι σχετικοί αλγόριθμοι να περιλαμβάνουν και επιπλέον κριτήρια / τεχνικές που θα καθοδηγούν τη βασική μέθοδο ΠΦΣ στο να κατασκευάζει πολύεδρα συμβατά με αυτό που περιμένει να δει (στην οθόνη του Η/Υ) ο σχεδιαστής. Ένα πρώτο παράδειγμα «(πιθανώς) μη φυσιολογικού» αποτελέσματος ΠΦΣ συζητήθηκε ήδη · ένα δεύτερο παράδειγμα, πολύ απλούστερο, βλέπουμε στο Σχ. 17.1.



Σχ. 17.1. Για το φυσικό σκίτσο στα αριστερά: το πολύεδρο στα δεξιά είναι το αντίστοιχο απλούστερο «φυσιολογικό πολύεδρο»;

Το θέμα είναι ιδιαίτερα περίπλοκο καθώς εμπεριέχει πολλά δύσκολα ερωτήματα, όπως π.χ.:

- Το πολύεδρο που συμφωνεί με τη «σχεδιαστική πρόθεση (design intent)» του μέσου σχεδιαστή ταυτίζεται πάντα με αυτό που ο μέσος σχεδιαστής θεωρεί «απλούστερο πολύεδρο»;
- Είναι δυνατόν να διατυπωθεί ένα πλήρες σύνολο κανόνων που προσδιορίζουν αυτό που ο μέσος σχεδιαστής (ή μέσος άνθρωπος) θεωρεί «απλούστερο πολύεδρο»;

Παράλληλα με την ολοκλήρωση της υλοποίησης του αλγόριθμου ΠΦΣ, αρχίζουμε να ασχολούμαστε και με το παρόν πολύ-ενδιαφέρον ζήτημα.

18. Συμπεράσματα και τρέχουσα έρευνα

Η παρούσα έρευνα πιστοποιεί ότι πράγματι η Θεωρία Γράφων και η Στερεά Μοντελοποίηση, σε συνδυασμό με τις σχετικές θεμελιώδεις επιστήμες (Ευκλείδεια Γεωμετρία, Αλγεβρική Τοπολογία, Αναλυτική Γεωμετρία, κ.α.), προσφέρουν πληθώρα μεθόδων και τεχνικών που μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού αλγόριθμου για «κατασκευή Πολύεδρου από ένα Φυσικό Σκίτσο». Έχουμε ήδη αναπτύξει / υλοποιήσει αποτελεσματικές τεχνικές για την κατασκευή της τοπολογικής περιγραφής του πολύεδρου, και τώρα επικεντρωνόμαστε στον γεωμετρικό του ορισμό.

19. Χαρακτηριστικά επιχειρήσεων / οργανισμών και φορέων παροχής υπηρεσιών

Υπάρχουν πολλοί διανομείς CAD για τις διάφορες εφαρμογές. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει συνοπτικά μερικούς από αυτούς αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρης.

<p>Πωλητές Μηχανικού CAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alias/Wavefront Surface Studio • Applicon Bravo • Autodesk AutoCAD • Autodesk Mechanical Desktop • Baystate Technologies Cadkey • Bentley Systems MicroStation • CoCreate SolidDesigner • CoCreate ME10 • Dassault Systemes CATIA • IBM CATIA • Matra Datavision Euclid3 • MCS Anvil Express • MicroCADAM Helix • PTC Pro/DESKTOP • PTC Pro/ENGINEER • SDRC Artisan Series • SDRC I-DEAS Master Series • SDRC Imageware Surfacar • SofTech (Adra) CADRA • SolidWorks SolidWorks • Think3 (CAD.LAB) Eureka Gold • Unigraphics Solutions Solid Edge • Unigraphics Solutions Unigraphics • Varimetrix VX Modeling • Visio IntelliCAD • Visionary Design IronCAD 	<p>Πωλητές Μηχανικής (Ανάλυσης) CAE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Algor Algor • ANSYS DesignSpace • MacNeal Schwendler (MSC) NASTRAN, Etc. • MARC Mentat & MARC • Mechanical Dynamics ADAMS • LMS CADSI DADS • PTC Mechanica • SRAC COSMOS/M
<p>Πωλητές AEC CAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autodesk Architectural Desktop • Cadcentre PEGS • IBM CATIA/CADAM • Intelligent Computer Solutions OpenPlant • Intergraph Imagineer 	<p>Πυρήνες CAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Matra Datavision CAS.CADE • Ricoh Designbase • Spatial Technology ACIS • Unigraphics Solutions Parasolid • XOX Shapes
<p>Εργαλεία επαλήθευσης CAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • ITI CAD/IQ • Prescient DesignQA 	<p>Πωλητές Ηλεκτρικών CAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cadence Alta • Mentor Graphics Inter-Connectix
<p>Βιομηχανία Ρουχισμού και Υποδηματοποιίας</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lectra Systemes - Lectra (clothing & shoes) • Gerber - Gerber (clothing & shoes) • Innova - Innova (clothing) • Csm3d - Shoe Master (shoes) 	<p>Ταχύ Πρωτότυπο</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3d Systems - SLA • Cubital - Solider • DTM corp. - SLS • Helisys - Lom • Stratasys - FDM

20. Κόστος υλοποίησης

Το κόστος υλοποίησης συνίσταται στην αγορά εξοπλισμού και λογισμικού και στο κόστος εκπαίδευσης και υποστήριξης. Κανένα από αυτά δεν θα πρέπει να υποτιμάται. Οι τιμές των συστημάτων μειώνονται συνεχώς (Υλικού και Λογισμικού) αλλά το κόστος της εκπαίδευσης αυξάνεται. Η διαδικασία της εκπαίδευσης αναλύεται παρακάτω.

Το κόστος των εξειδικευμένων συστημάτων, όπως κατασκευής φύλλων μετάλλου, προγραμμάτων ανάλυσης κλπ, είναι υψηλότερο. Όσον αφορά στα συστήματα υποστήριξης όπως PDM, RP κλπ., το κόστος της υποστήριξης και των συμβουλευτικών υπηρεσιών είναι πολύ υψηλό. Η διαδικασία υλοποίησης είναι μακροχρόνια και χρειάζεται αρκετός χρόνος για τη ρύθμιση και την αποτελεσματική χρήση του συστήματος.

21. Συνθήκες υλοποίησης

Σε μία έρευνα που διεξάχθηκε από το περιοδικό CAD Report σε κάποιους αναγνώστες του και χρήστες του CAD όσον αφορά στην απώλεια παραγωγικότητας λόγω των λειτουργιών CAD/CAM και CAE, αποκομίστηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Σφάλμα χειριστή – 28%
- Προβλήματα εφαρμογής – 26%
- Ανεπαρκής διαχείριση δεδομένων – 18%
- Αστοχίες του διακομιστή δικτύου ή του συστήματος – 12%
- Αστοχίες του λειτουργικού συστήματος – 4%
- Βλάβη του υλικού (hardware) – 2%
- Άλλο – 10%

Οι διαχειριστές CAD πρέπει να διαχειρίζονται τα αίτια αστοχίας, ιδιαίτερα σε μεγάλες εγκαταστάσεις, ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης λειτουργία του συστήματος. Ακολουθεί περαιτέρω ανάλυση των δύο πρώτων αιτίων αστοχίας.

21.1 Σφάλματα εφαρμογής

Τα περισσότερα λογισμικά CAD είναι λιγότερο αξιόπιστα σε σχέση με τα γενικά λογισμικά επιχειρήσεων για τους εξής λόγους:

- εκτελούν δυσκολότερες λειτουργίες
- σε ένα πρόγραμμα CAD υπάρχουν περισσότερες λογικές διακλαδώσεις απ' ό,τι σε μία τυπική εφαρμογή επιχείρησης
- το μικρό μέγεθος της κοινωνίας χρηστών και ο περιορισμένος αριθμός των δοκιμαστών των εκδόσεων βήτα
- οι περισσότεροι ειδικοί ανάπτυξης λογισμικού CAD έχουν μόνο μία αόριστη ιδέα του πώς χρησιμοποιούν τα συστήματά τους οι σχεδιαστές
- οι ειδικοί ανάπτυξης λογισμικού CAD σπάνια συναντούν τους πραγματικούς χρήστες του CAD

Στην αποκατάσταση των προγραμμάτων θα πρέπει να συνεισφέρουν και οι χρήστες του CAD. Πρέπει να συγκεντρώνουν τα δικά τους δεδομένα για τις καταρρεύσεις του συστήματος ή τις αστοχίες κατά την εκτέλεση ορισμένων εργασιών. Αυτό εξάλλου θα τους βοηθήσει να αναγνωρίζουν τις ασυμβατότητες ως προς το Υλισμικό, την απώλεια παραγωγικότητας, τη λανθασμένη εγκατάσταση λογισμικού κλπ.

21.2 Άγνοια Χειριστή

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλοί χρήστες δεν ακολουθούν σωστά τις διαδικασίες, οι οποίες είναι συνήθως πολύπλοκες. Οφείλεται στα εξής:

- Ανεπαρκές λογισμικό
- Τα συστήματα δεν είναι καθόλου «έξυπνα»
- Διαδικασίες όπως αρίθμηση, στρωματοποίηση, ονοματοδοσία φακέλων, βιβλιοθήκες προτύπων μερών κλπ. πρέπει να αναβαθμίζονται με κάθε νέα δημοσίευση.

Ο καλύτερος τρόπος αναβάθμισης των διαδικασιών δεν είναι μέσω δουλειάς γραφείου, αλλά μέσω μίας εσωτερικής τοποθεσίας WEB.

22. Διαδικασία υλοποίησης

22.1 Βήματα/ στάδια

Η επιτυχής εισαγωγή μιας πλήρους σειράς συστήματος CAD/CAM αποτελεί μία μακρόχρονη διαδικασία. Όπως και κάθε εφαρμογή της Τεχνολογίας Πληροφορικής, ξεκινάει με την αξιολόγηση των αναγκών, τις τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος, την επιλογή του πιο κατάλληλου συστήματος και την υλοποίηση.

Κατά την αξιολόγηση των αναγκών πρέπει να πραγματοποιείται μία σταδιακή υλοποίηση του συνολικού συστήματος. Πριν από την υλοποίηση πολλών υπομονάδων πρέπει να ακολουθούνται ορισμένα βήματα. Τα υπάρχοντα συστήματα ή ο εξοπλισμός Πληροφορικής που απαιτεί ανταλλαγή δεδομένων με το σύστημα CAD πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον καθορισμό των προδιαγραφών. Οι τρέχουσες τάσεις στην εξέλιξη των συστημάτων CAD είναι εξίσου σημαντικές και πρέπει να εξετάζονται.

Οι τεχνικές προδιαγραφές ενός συστήματος θα πρέπει να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών του χρήστη. Σε ορισμένες εφαρμογές δεν θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες από τον διανομέα. Σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπως η Ελλάδα, όπου οι χρήστες εξειδικευμένων συστημάτων είναι λίγοι, η τοπική υποστήριξη είναι πολύ σημαντική. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η υπάρχουσα βάση πελατών και να πραγματοποιούνται κάποιες τοπικές επισκέψεις.

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων και της επιλογής του πιο κατάλληλου συστήματος δεν θα πρέπει να βασίζονται μόνο σε θεωρητική αξιολόγηση. Πρέπει να πραγματοποιείται δοκιμασία απόδοσης τριών ή τεσσάρων υποψήφιων συστημάτων με βάση ένα ή δύο τεμάχια που αντιπροσωπεύουν το φάσμα προϊόντων που παράγει μία επιχείρηση. Η θεωρητική αξιολόγηση διαφόρων συστημάτων δεν εκτελείται εύκολα, εκτός αν η επιχείρηση είναι ήδη χρήστης CAD, έχει πολύ καλή γνώση των συστημάτων CAD και παρακολουθεί τις εξελίξεις στα συστήματα CAD.

Μερικές φορές ο τύπος της εργασίας που εκτελεί μία επιχείρηση κατευθύνει και την επιλογή ενός συστήματος CAD. Μεγάλοι κατασκευαστές με πολλούς υπεργολάβους, τους αναγκάζουν να αγοράσουν το ίδιο σύστημα CAD με αυτό που χρησιμοποιούν οι ίδιοι. Αυτό το κάνουν για να αποφύγουν προβλήματα μετάφρασης δεδομένων από ένα σύστημα CAD σε άλλο.

Η υλοποίηση είναι το δυσκολότερο στάδιο. Απαιτεί ισχυρή υποστήριξη από τη διαχείριση, χρόνο για ανταπόδοση και δεν θα πρέπει να αποτελεί μία προσωρινή εργασία για μερικούς σχεδιαστές. Τα προβλήματα που πρέπει να διευθετούνται περιλαμβάνουν εκπαίδευση, οργάνωση της ομάδας CAD, λειτουργία του συστήματος και καθορισμό διαδικασιών. Το καθένα από αυτά περιγράφεται παρακάτω.

22.2 Εκπαίδευση

Η εκπαίδευση είναι το πιο σημαντικό βήμα για την επιτυχή υλοποίηση ενός συστήματος CAD. Για νέες εγκαταστάσεις, η επιλογή του προσωπικού και η επιτυχία της εκπαίδευσης αποτελούν πολύ σημαντικούς παράγοντες καθώς οι αποτυχίες συχνά εξουδετερώνονται πολύ δύσκολα. Η δημιουργία ενός σταθερού επιπέδου εξειδίκευσης και εμπιστοσύνης του χρήστη θα πρέπει να τονίζεται ιδιαίτερα καθώς είναι πολύ σημαντικότερη από τη υιοθέτηση δύσκολων στόχων παραγωγικότητας.

Μετά την αρχική εγκατάσταση του συστήματος και την εκπαίδευση του προσωπικού, θα πρέπει να αρχίζει να αυξάνεται και η παραγωγικότητα η οποία ενδέχεται να πλησιάσει τα επίπεδα παραγωγής που πραγματοποιούνταν πριν την εισαγωγή του CAD. Πολλές φορές όμως, οι αποτυχίες που προκαλούνται λόγω απώλειας δεδομένων, σφαλμάτων των χειριστών ή έλλειψης ικανοτήτων θα συντρίψουν την παραγωγικότητα και θα απογοητεύσουν τη διαχείριση και τους χρήστες. Τα αίτια τέτοιων αποτυχιών πρέπει να ανιχνεύονται και να διορθώνονται. Το κάθε πρόβλημα που αντιμετωπίζεται θα πρέπει να αντιπροσωπεύει για το προσωπικό μία ευκαιρία εκμάθησης.

Οι χειριστές έχουν την τάση να χρησιμοποιούν γνωστές εντολές αντί να προσπαθούν να μάθουν νέους και γρηγορότερους τρόπους να εκτελούν τις εργασίες τους. Συνήθως ο διαχειριστής αναλαμβάνει τον προσδιορισμό πιο παραγωγικών λειτουργιών και την αναζήτηση και ανάπτυξη νέων μεθόδων χρήσης.

Η εκπαίδευση θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Αρχική εκπαίδευση για νέους χειριστές καθώς επίσης και διαρκή εκπαίδευση για έμπειρους χρήστες.
- Εκπαίδευση μεταξύ των μελών της ομάδας. Η παροχή βοήθειας από όλο το προσωπικό CAD προς τα νέα μέλη της ομάδας έχει ιδιαίτερη σημασία ώστε αυτά να μάθουν αποτελεσματικές τεχνικές και διαδικασίες.

- Τακτικές συγκεντρώσεις με σκοπό την παρουσίαση νέων εντολών, προγραμμάτων και μενού ή άλλων τεχνικών εξοικονόμησης χρόνου
- Τεκμηρίωση συγκεκριμένων προγραμμάτων και διαδικασιών για την εύκολη ανεύρεση και χρήση τους από το προσωπικό
- Το προσωπικό πρέπει να αναπτύσσει τις δικές του επιδεξιότητες επίλυσης προβλημάτων. Πρέπει λοιπόν να του ανατίθενται ανάλογες ευθύνες

Καθώς η εκπαίδευση δεν είναι μία δραστηριότητα που διεξάγεται μία μόνο φορά, παρέχουμε τον ακόλουθο κατάλογο εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων:

- Ο κάθε νέος χρήστης πρέπει να ακολουθεί ένα κανονικό πρόγραμμα διδασκαλίας πάνω στη χρήση του λογισμικού CAD.
- Πρέπει να παρέχεται εκπαίδευση με κάθε νέα κυκλοφορία λογισμικού. Συνήθως, η εκπαίδευση αυτή είναι σύντομη (μία ημέρα το πολύ)
- Κάθε δύο εβδομάδες τουλάχιστον, η ομάδα πρέπει να διεξάγει συγκεντρώσεις παραγωγικότητας όπου μπορούν να συζητούνται θέματα όσον αφορά νέες διαδικασίες, σφάλματα κλπ.
- Ανάπτυξη τοποθεσίας WEB για το κάθε εμπορικό είδος λογισμικού (SW) CAD.

Στην τοποθεσία αυτή καταχωρούνται:

- Επιχειρησιακές διεργασίες
- Απαντήσεις σε συχνές ερωτήσεις
- Τρόποι εξουδετέρωσης γνωστών σφαλμάτων λογισμικού
- Έγγραφο αναφοράς σφαλμάτων
- Παρακολούθηση συναντήσεων της ομάδας χρηστών και αποκόμιση αναφοράς τους
- Ανάθεση σε ένα πρόσωπο της ανάπτυξης και τεκμηρίωσης των ειδικών ως προς τις επιχειρησιακές διεργασίες εργαλείων αυτόματου σχεδιασμού
- Προϋπολογισμός για τις δραστηριότητες εκπαίδευσης και αύξησης της παραγωγικότητας.

22.3 Οργάνωση

Η σωστή λειτουργία του CAD κατά την πρώτη απόπειρα είναι πολύ σημαντική. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας ανθρώπους που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να κάνουν το σύστημα να δουλέψει και καθορίζοντας με σαφήνεια τα δικαιώματα και τις ευθύνες τους. Εάν το τμήμα είναι σωστά οργανωμένο, ο διαχειριστής θα έχει τη δυνατότητα να αφιερώνει περισσότερο

χρόνο στην παραγωγή και τα τεχνικά προβλήματα. Αντίθετα, εάν το τμήμα είναι ανοργάνωτο, ή εάν πολλά άτομα και χειριστές χρησιμοποιούν ταυτόχρονα το σύστημα χωρίς λόγο, ή εάν οι χειριστές δεν γνωρίζουν τις υποχρεώσεις τους, δεν θα γίνεται καθόλου δουλειά και το πρόγραμμα CAD θα αποβεί καταστροφικό.

Η συνεργασία μεταξύ των τμημάτων είναι κρίσιμος παράγοντας για την μελλοντική ανάπτυξη του CAD/CAM στα πλαίσια της επιχείρησης. Με την πρόβλεψη των μελλοντικών εφαρμογών του εξοπλισμού CAD/CAM η ομάδα θα είναι καλύτερα προετοιμασμένη ώστε να χειριστεί την ανάπτυξη αυτή οργανωμένα. Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα σχέδια για μελλοντική επέκταση της επιχείρησης πριν τις μεγάλες επενδύσεις σε μελέτες ή σχέδια κατασκευής εγκαταστάσεων. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, η διαμόρφωση μίας επιτροπής γραφικών θα βοηθήσει στον ορισμό της κατεύθυνσης του CAD/CAM στα πλαίσια της επιχείρησης και στην αναγνώριση των ενδεχόμενων περιοχών εφαρμογής νέου εξοπλισμού. Με το σωστό σχεδιασμό και την επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων που θα χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων CAD/CAM μπορούν να αποφεύγονται προβλήματα ασυμβατότητας μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων.

Τα θέματα οργάνωσης είναι κρίσιμα για την αποτελεσματική διαχείριση και ανάπτυξη του συστήματος. Οι διαχειριστές CAD μπορούν να επωφελούνται από τη σωστή οργάνωση των τμημάτων τους ώστε να έχουν τη δυνατότητα να αφιερώνουν περισσότερο χρόνο σε τεχνικά και λειτουργικά θέματα.

22.4 Λειτουργίες

Στην αρχή, το σύστημα CAD θα πρέπει να χρησιμοποιείται για απλά έργα με σκοπό τον έλεγχο του συστήματος και την απόκτηση εμπιστοσύνης. Εάν το σύστημα προορίζεται για παραγωγή σχεδίων, τα σχέδια που ενδέχεται να έχουν πολλές αναθεωρήσεις είναι ιδανικά διότι η αναθεώρηση δεδομένων σε ένα σύστημα CAD είναι γρηγορότερη και καθαρότερη από την αλλαγή σκίτσων τυπωμένων σε χαρτί. Ακόμη και αν η δημιουργία ενός έργου ή ενός σχεδίου απαιτεί περισσότερο χρόνο με το σύστημα CAD απ' ό,τι με τις χειροκίνητες μεθόδους, ο χρόνος που εξοικονομείται κατά τον κύκλο της επανάληψης ή της αναθεώρησης θα πρέπει να αποφέρει καθαρή εξοικονόμηση ως προς την παραδοσιακή μέθοδο ή το χειροκίνητο προσχεδίασμα. Επιπλέον, η εισαγωγή εξαρτημάτων που έχουν ήδη ελεγχθεί, λεπτομερειών, σημειώσεων ή άλλων δεδομένων σε ένα προϊόν ή σχέδιο μπορεί επίσης να συμβάλλει στην εξοικονόμηση του χρόνου ελέγχου.

Η επιτυχία του CAD δεν είναι αυτόματη. Για την επιτυχή λειτουργία του συστήματος απαιτείται αρκετή μελέτη, εκπαίδευση και επιμονή. Είναι βέβαιο ότι οι προσπάθειες για αυτοματοποίηση θα αποτύχουν εάν οι χειριστές δεν διαθέτουν τις απαραίτητες ικανότητες προγραμματισμού του συστήματος, ή εάν ο σχεδιασμός είναι ανεπαρκής.

Μία επιχείρηση πρέπει να εμπεδώσει τον τρόπο χρήσης των μερών της βιβλιοθήκης, των μενού και των βασικών εντολών του συστήματος πριν επιχειρήσει να προγραμματίσει το σύστημα. Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης επιλέγει έργα προς αυτοματοποίηση, πρέπει να βεβαιωθεί ότι υπάρχει αρκετή δουλειά ώστε να αντισταθμίσει το κόστος εκπαίδευσης και ανάπτυξης λογισμικού, ιδιαίτερα εάν απαιτείται εκτεταμένος προγραμματισμός.

Συνιστάται η αρχική αυτοματοποίηση εργασιών που πρόκειται να συμβάλλουν στην εξοικονόμηση των μεγαλύτερων χρηματικών ποσών και που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχούς ολοκλήρωσης στο σύστημα. Και βέβαια, δεν πρόκειται να πραγματοποιηθούν οποιεσδήποτε εργασίες εάν τα καθήκοντα που ανατίθενται υπερβαίνουν τις ικανότητες των χειριστών.

Τα χρονοδιαγράμματα πρέπει να περιλαμβάνουν τον χρόνο για την ανάπτυξη του συστήματος. Διαφορετικά, οι επιδεξιότητες θα καλυφθούν μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η ανάπτυξη θα πρέπει να εφαρμόζεται σε περιοχές που θα αποβούν πλέον ωφέλιμες στο μεγαλύτερο μέρος των ευθυνών της ομάδας. Όλα τα μέλη της ομάδας CAD θα πρέπει να συμμετέχουν στην ανάλυση των εργασιών προκειμένου να βρουν τον «καλύτερο τρόπο εκτέλεσής τους» στο σύστημα CAD.

Ο διαχειριστής του CAD πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτος ώστε να επιτύχει την αποτελεσματική λειτουργία του CAD στο τμήμα και να κατευθύνει την εξέλιξή του στα πλαίσια της επιχείρησης.

22.5 Διαδικασίες

Οι γραπτές διαδικασίες έχουν μεγάλη σημασία διότι παρέχουν σαφείς, αδιαμφισβήτητες οδηγίες στο προσωπικό του CAD και οι χρήστες του CAD έχουν γνώση των συγκεκριμένων υποχρεώσεών τους. Εάν οι χρήστες δεν κατανοήσουν σωστά ορισμένα πράγματα όσον αφορά στις απαιτήσεις εργασίας, μπορούν να γνωστοποιήσουν τα παράπονά τους σαφέστερα, αναφερόμενοι σε μέρη της διαδικασίας που χρειάζονται βελτίωση ή αναθεώρηση. Οι διαδικασίες θα πρέπει να ενημερώνονται κατ' ανάγκη με σκοπό την απλοποίηση και το εκσυγχρονισμό των λειτουργιών και την

επίτευξη της καλύτερης δυνατής ενοποίησης με τα άλλα τμήματα που χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων CAD.

Οι διαδικασίες είναι πολύτιμες και για τον λόγο ότι, αφού οριστικοποιηθούν, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Βοηθούν στην εκπαίδευση νέων χρηστών και στην ανανέωση της εκπαίδευσης περιστασιακών χρηστών. Οι πληροφορίες δεν χάνονται όταν οι άνθρωποι κλειδιά εγκαταλείπουν την επιχείρηση. Οι σωστές διαδικασίες παρέχουν στερεά θεμέλια για την παραγωγική ανάπτυξη του CAD στην επιχείρηση.

22.6 Σχετικό λογισμικό (υπάρχον ή υπό κατασκευή)

Στα πλαίσια του προγράμματος INNOVATION, το έργο SELECT-IT έχει αναπτύξει μία δομημένη μεθοδολογία ως προς την επιλογή συστημάτων CAD.

Η μεθοδολογία λειτουργεί σε τρία επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο βρίσκονται οι δείκτες. Ο κάθε δείκτης αποτελείται από έναν αριθμό Τεμαχίων και το κάθε Τεμάχιο αποτελείται από έναν αριθμό Συστατικών. Το κάθε συστατικό εκτιμάται και παρέχονται οι επιθυμητές τιμές. Το σύστημα επαναλαμβάνει το σύνολο των τριών επιπέδων και, όταν τελειώνει, παράγει τις επιθυμητές προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές διανέμονται στους προμηθευτές οι οποίοι μπορούν να απαντούν στέλνοντας αναφορά των στοιχείων συμμόρφωσής τους με τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Το σύστημα αξιολογεί αυτόματα όλες τις απαντήσεις και με την εκτέλεση ζευγαρωτής σύγκρισης ταξινομεί όλα τα συστήματα.

Το έργο SELECT-IT παρέχει έναν κατάλογο που δεν αφορά μόνο συστήματα CAD αλλά και άλλες εφαρμογές της τεχνολογίας πληροφορικής, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η Λογιστική, τα συστήματα συλλογής δεδομένων χώρων παραγωγής, ο Έλεγχος Ποιότητας, η Ακριβής Χρονοδρομολόγηση και σκοπεύει να επεκτείνει τη σειρά εφαρμογών. Οι κατάλογοι που παρέχονται μπορούν να τροποποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Το λογισμικό υποστηρίζεται μέσω του WEB και ο χρήστης μπορεί εύκολα να έχει σημαντική υποστήριξη από την κοινοπραξία, είτε τοπικά σε πολλές χώρες ή μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου σε παγκόσμια κλίμακα.

23. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

1. Roy L. Wysack, «Effective CAD Mangement – A Manger’s Guide», CAD/CAM Publishing, 1985.
2. Biren Prasad, «Concurrent Engineering Fundamentals – Integrated Product and Process Organisation», Prentice Hall, 1996.
3. U. Rembold, B.O. Nnaji and A. Storr, «Computer Integrated Manufacturing and Engineering», Addison-Welsley, 1993.
4. H. Zeid, «CAD/CAM Theory and Practice», McGraw Hill, 1990.
5. Alias/Wavefront – <http://www.aw.sgi.com/design/products>
6. Lectra systemes- <http://www.lectra.com>
7. Unigraphics system, - <http://www.ugsolutions.com>
8. Paraform system – <http://www.geomatic.com>
9. Sensable system – <http://www.sensable.com>
10. The CAD Report, CAD/CAM Publishing Inc., Vol.19, No 2, 1999.
11. The Select-IT project, <http://www.select-it.org.uk>
12. Azariadis, P., Sapidis, N. 2005. Drawing Curves on Clouds of Points for Point-Based Modelling. Computer-Aided Design 37(1): 109-122.
13. Hsu, W., Liu, B. (ed). 2000. Special issue on “Conceptual design: issues and challanges”, Computer-Aided Design 32(14).
14. Lipson, H., Shpitalni, M. 1996. Optimization-based reconstruction of a 3D object from a singlefreehand line drawing. Computer-Aided Design 28(8): 651–663.
15. Sapidis, N. 2004. Geometric Modeling of Layout Constraints for Plant PLM (or New Challenges for Solid Modeling imposed by PLM)”, in: Holistic Product Development [W. Dankwort (ed.), pp.133-149, Shaker Verlag], Workshop at the University of Kaiserslautern, Germany, 5-7/4, 2004.

16. Sapidis, N. 2005. Virtual Engineering of Complex Systems: Towards Robust Solutions based on Solid Modeling, in: Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping [P.J. Bártolo et al. (eds), Virtual Modelling and Rapid Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, pp. 53-58, Taylor & Francis], Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal, 28/9 – 1/10, 2005.
17. Sapidis, N., Kyratzi, S., Azariadis, P. 2005. Improved computational tools for concept development based on sketches and advanced CAD technologies. Computer-Aided Design and Applications 2(6): 707-716.
18. Sapidis, N., Theodosiou, G. 2000. Informationally-Complete Product Models of Complex Arrangements for Simulation-Based Engineering: Modeling Design-Constraints Using Virtual Solids. Engineering with Computers 16(3/4): 147-161.
19. Stahovich, T.F., Davis, R., Shrobe, H. 1998. Generating multiple new designs from a sketch, Artificial Intelligence 104(1-2): 211-264. Sugihara, K. 1986. Machine Interpretation of Line Drawings. Cambridge, MA: MIT Press.
20. Theodosiou, G., Sapidis, N. 2004. Information Models of Layout Constraints for Product Life-Cycle Management: A Solid-Modelling Approach. Computer-Aided Design 36(6): 549-564.
21. Varley, P.A.C. 2002. Automatic Creation of Boundary-Representation Models from Single Line Drawings. Ph.D. Thesis, Cardiff University.
22. Varley, P.A.C., Martin, R.R., Suzuki, H. 2005. Frontal geometry from sketches of engineering objects: is line labeling necessary?, Computer-Aided Design 37(12): 1285-1307.
23. Zeid, I. 1991. CAD/CAM Theory and Practice. New York: McGraw-Hill.