

Κεφάλαιο 1

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ – COMPUTER AIDED DESIGN AND MANUFACTURE (CAD/CAM)

1.1 Ορισμός σχεδιομελέτης με χρήση υπολογιστή – CAD

Ως σχεδιομελέτη και παραγωγή με χρήση υπολογιστή ορίζεται η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος και ιδιαίτερα στη δημιουργία, μεταβολή, ανάλυση, βελτιστοποίηση της μορφής και τον προγραμματισμό των παραγωγικών διαδικασιών του προϊόντος. Στηρίζεται κυρίως στην τεχνολογία των γραφικών, των βάσεων δεδομένων, της μαθηματικής μοντελοποίησης, της προσομοίωσης και του ελέγχου των δεδομένων, και αποσκοπεί στη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος, που περιγράφει όλο τον κύκλο ανάπτυξης και εισαγωγής του προϊόντος στην αγορά. Βασικός παράγοντας στη διαδικασία της σχεδιομελέτης είναι η δημιουργία του γραφικού μοντέλου του προϊόντος, με τα συστήματα μοντελοποίησης με υπολογιστή (Computer Aided Design-CAD), που στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί σε μια σειρά από κάθετες εφαρμογές, όπως:

Παρουσίαση του προϊόντος στον πελάτη με χρήση τεχνικών φωτορεαλισμού. Στο ψηφιακό προϊόν μπορεί να γίνει απόδοση της υφής και του χρώματος των επιφανειών, να γίνει προσομοίωση σε υπολογιστή των συνθηκών λειτουργίας και φωτισμού και να ενοποιηθεί στον τελικό χώρο λειτουργίας με χρήση εικόνων ή άλλων μοντέλων αντικειμένων από το φυσικό ή το τεχνητό περιβάλλον.

Προγραμματισμό των παραγωγικών διαδικασιών, κυρίως σε μηχανές ψηφιακής καθοδήγησης (Computer Numerical Control-CNC), με χρήση των συστημάτων σχεδιασμού παραγωγής με χρήση υπολογιστή – Computer Aided and Manufacture-CAM). Τα συστήματα CAM μπορούν να προσομοιώσουν την κίνηση του κοπτικού εργαλείου της εργαλειομηχανής και να ελέγξουν τη μορφή του μοντέλου και την ακρίβεια της κατεργασίας πριν από την πραγματική εκτέλεση των κατεργασιών στην εργαλειομηχανή.

Ανάλυση και βελτιστοποίηση μορφής και λειτουργίας με χρήση των συστημάτων μοντελοποίησης και ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία (Computer Aided Engineering-CAE, Finite Elements Modelling-FEM) για μια πληθώρα εφαρμογών, όπως τον έλεγχο αντοχής, τη συμπεριφορά σε ροή, την κατεργασιμότητα, κ.λπ. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται γραφικά στην οθόνη, για αξιολόγηση του αποτελέσματος και βελτιστοποίηση της μορφής ή των λειτουργικών χαρακτηριστικών του προϊόντος, ή της κατεργασίας παραγωγής του.

Ταχεία παραγωγή πρωτοτύπου και παραγωγή του προϊόντος (Rapid Prototyping and Manufacturing). Παραγωγή πρωτοτύπων ή τελικών προϊόντων άμεσα από το τρισδιάστατο μοντέλο CAD, με χρήση ειδικών μηχανών και σε μικρή ποσότητα παραγωγής, με σκοπό την παρουσίαση ή τη δοκιμή του πρωτοτύπου, ή την παραγωγή μικρών ποσοτήτων παραγωγής.

Ανάλυση της λειτουργικότητας του πρωτοτύπου με τη χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας (εικονικό ή πλασματικό πρωτότυπο – Virtual Prototype), με κύριο στόχο τη μείωση ή ακόμα και εξάλειψη του αριθμού των απαιτούμενων φυσικών πρωτοτύπων καθώς και για την αξιολόγηση των τεχνικών λύσεων σε πρώιμο στάδιο. Η ανάλυση αυτή μπορεί να συνδυαστεί με άλλα συστήματα ανάλυσης και συστήματα φωτορεαλισμού για την προσομοίωση και αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του πρωτοτύπου.

Επικοινωνία μεταξύ συνεργαζόμενων ομάδων σε τοπικό ή σε απομακρυσμένο δίκτυο. Η ανάπτυξη του προϊόντος είναι αποτέλεσμα συλλογικής δράσης ομάδων εργασίας που μπορεί να μη βρίσκονται στον ίδιο χώρο εργασίας. Οι εφαρμογές αυτές συνεισφέρουν στην καλύτερη επικοινωνία της ομά-

δας και προσφέρουν ανταλλαγή δεδομένων για τη μεταφορά των μοντέλων, ανταλλαγή εικόνων, μεταφορά αποτελεσμάτων και απομακρυσμένη χρήση ειδικών προγραμμάτων, μεταξύ διαφορετικών χρηστών, ομάδων ή διαφορετικών συστημάτων.

Ανάλυση της μεθόδου παραγωγής, με τη χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας (εικονική ή πλασματική παραγωγή και συναρμολόγηση, virtual manufacturing και virtual assembly), όπου μπορεί να γίνει προσομοίωση όλης της γραμμής παραγωγής ή της γραμμής συναρμολόγησης, για την αξιολόγηση της μεθόδου παραγωγής ή της δυνατότητας συναρμολόγησης σε πρώιμο στάδιο πριν από κάθε παραγγελία οδηγών, σφικτήρων, ιδιοσυσκευών ή εργαλείων και άλλων αυτοματοποιημένων συστημάτων.

Βασικός σκοπός της χρήσης όλων των συστημάτων σχεδιομελέτης και παραγωγής με υπολογιστή είναι η ανάπτυξη των «σωστών» προϊόντων από την αρχή, στον ελάχιστο δυνατό χρόνο ανάπτυξης. Η χρήση τους, σε συνδυασμό με τις συγγενείς προς αυτά τεχνολογίες και μεθοδολογίες για την ανάπτυξη του προϊόντος, μπορεί να μειώσει τον αριθμό των σφαλμάτων και των μη επιθυμητών διορθώσεων και επαναλήψεων σε όλη τη διαδικασία ανάπτυξης, να βελτιώσει τον έλεγχο του προϊόντος σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, πριν από την εισαγωγή του στην αγορά και τη χρήση του από τον πελάτη, συνδυάζοντας μείωση του κόστους και του χρόνου ανάπτυξης. Αποτελούν ίσως την πιο σημαντική και απαραίτητη τεχνολογία για την ανάπτυξη κάθε προϊόντος.

1.2 Η τεχνολογία σχεδιομελέτης – παραγωγής με υπολογιστή στην ανάπτυξη του προϊόντος

Η ανάπτυξη ενός προϊόντος είναι μια σύνθετη διαδικασία που ακόμα και για σχετικά απλά προϊόντα διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα και συνήθως εκτελείται από μια διατμηματική ομάδα ανάπτυξης, ώστε να παραχθεί το σωστό προϊόν πριν από την εισαγωγή του στην αγορά. Στην ανάπτυξη ενός προϊόντος χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία λογισμικού, πολλά από τα οποία αποτελούν και προϊόν ίδιας ανάπτυξης από τις εταιρείες που αναπτύσσουν τα προϊόντα. Σε μεγάλα έργα αναφέρονται περιπτώσεις που χρη-

Κεφάλαιο 2

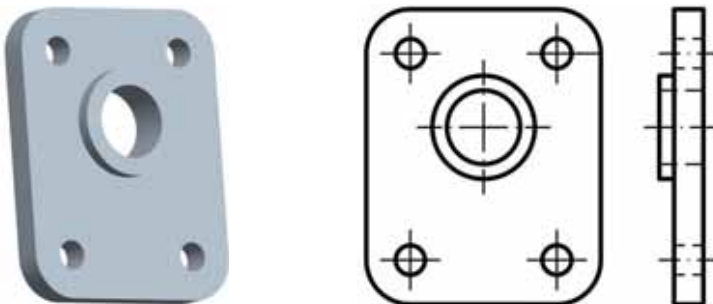
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD

Τα σύγχρονα συστήματα σχεδιομελέτης με χρήση Η/Υ στηρίζονται στη χρήση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Η τρισδιάστατη απεικόνιση είναι απαραίτητη για τις περισσότερες από τις κάθετες εφαρμογές που θα ακολουθήσουν την τρισδιάστατη μοντελοποίηση, όπως είναι η ανάλυση της συμπεριφοράς του αντικειμένου, η παραγωγή του, κ.ά., όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο.

Τα πρώτα συστήματα σχεδιομελέτης ήταν συστήματα δύο διαστάσεων-2D, τα οποία ήταν κατάλληλα μόνο για σχεδίαση, Σχήμα 2.1. Στο σύστημα των δύο διαστάσεων, ο χρήστης σχεδιάζει τις όψεις του αντικειμένου, όπως θα τις σχεδίαζε και σ' ένα φύλο χαρτί. Συχνά ακόμα και σε σύστημα τριών διαστάσεων με μοντέλα ακμών, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να αγνοήσει την τρίτη διάσταση και να σχεδιάσει τις διάφορες όψεις αυτόνομα. Στη δισδιάστατη σχεδίαση, το τρισδιάστατο μοντέλο υφίσταται μόνο στη σκέψη του σχεδιαστή και όχι στη βάση δεδομένων που καταχωρείται για το μοντέλο.

ΣΧΗΜΑ 2.1

Το αντικείμενο και η σχεδιάσή του σε δύο διαστάσεις. Οι δύο όψεις παράγονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη.



Όλα τα αντικείμενα όμως είναι 3 διαστάσεων και μπορούμε να τα χωρίσουμε σε δύο κατηγορίες, σε σχέση με τη γεωμετρική τους κατασκευή. Τα μοντέλα 2½ διαστάσεων (απλά ή σύνθετα) και τα αμιγώς 3 διαστάσεων, Σχήμα 2.2. Τα 2½ διαστάσεων μοντέλα έχουν μια σταθερή διατομή και το πάχος τους, που ορίζεται κάθετα προς τη διατομή, είναι σταθερό. Τα αξονοσυμμετρικά αντικείμενα είναι επίσης 2½ διαστάσεων. Τα μοντέλα αυτά δημιουργούνται πολύ εύκολα με εντολές σάρωσης (extrude) ή περιστροφής (revolve). Τα σύνθετα μοντέλα 2½ διαστάσεων δημιουργούνται από περισσότερα του ενός στερεά 2½ διαστάσεων. Τα αμιγώς τριών διαστάσεων (3D) μοντέλα δεν έχουν ομοιόμορφη διατομή και/ή δεν έχουν σταθερό πάχος. Τα μοντέλα αυτά δημιουργούνται από το συνδυασμό διαφόρων λειτουργιών μοντελοποίησης.

ΣΧΗΜΑ 2.2 Τα διαφορετικά είδη μοντέλων. Μοντέλα 2½ D και αμιγώς 3D.



Σταθερό πάχος

Αξονο-συμμετρικό

Σύνθετο 2½ D

Μοντέλα 3D

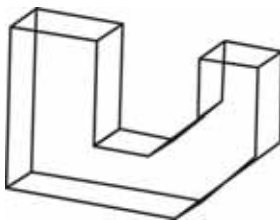
Για τη μοντελοποίηση των τρισδιάστατων αντικειμένων αναπτύχθηκαν διάφορες μεθοδολογίες, με διαφορετικές δυνατότητες μοντελοποίησης, ανάλυσης και ποικιλίας αντικειμένων που καλύπτουν. Αυτές είναι:

- **Μοντέλα ακμών ή σύρματος** – wire frame models, κατάλληλα για αντικείμενα 2½ διαστάσεων.
- **Μοντέλα επιφανειών** – surface models, για πολύπλοκες μορφές αντικειμένων.
- **Μοντέλα στερεών** – solid models, για πλήρη μοντέλα.
- **Στερεά παραμετρικά μοντέλα με μορφολογικά χαρακτηριστικά**– Solid parametric and feature based models, για κάλυψη ομάδων αντικειμένων.

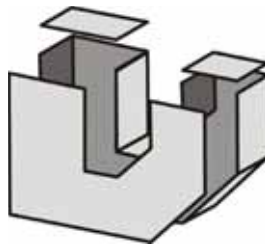
Τα πρώτα τρισδιάστατα συστήματα ήταν μοντέλα ακμών που είναι και η πιο απλή και η λιγότερη απαιτητική εφαρμογή από υπολογιστική ισχύ. Τα μοντέλα αυτά αποδίδουν λίγες μορφές αντικειμένων, έχουν περιορισμένο εύρος εφαρμογών και σήμερα χρησιμοποιούνται μόνον ως ενδιάμεσο στάδιο για τη δημιουργία κυρίως του μοντέλου των επιφανειών, ή του μοντέλου των στερεών. Σήμερα, τα περισσότερα συστήματα τρισδιάστατης απεικόνισης βασίζονται στα στερεά μοντέλα, ή στα μοντέλα επιφανειών. Τα στερεά μοντέλα αποδίδουν μοναδιαία αναπαράσταση κατασκευάσιμων αντικειμένων, αλλά παρόλο που οι δυνατότητες των συστημάτων συνεχώς βελτιώνονται, οι μορφές που αποδίδονται μπορεί να είναι περιορισμένες. Τα μοντέλα των επιφανειών μπορούν να αποδώσουν σχεδόν κάθε δυνατή μορφή του αντικειμένου ακόμα και οργανικές μορφές, αλλά το παραγόμενο μοντέλο μπορεί να έχει ατέλειες.

ΣΧΗΜΑ 2.3

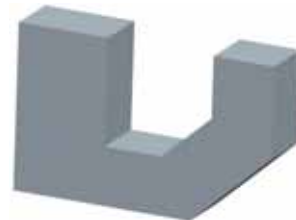
Επίπεδο πληρότητας των διαφόρων συστημάτων τρισδιάστατης απεικόνισης.



Ακμές

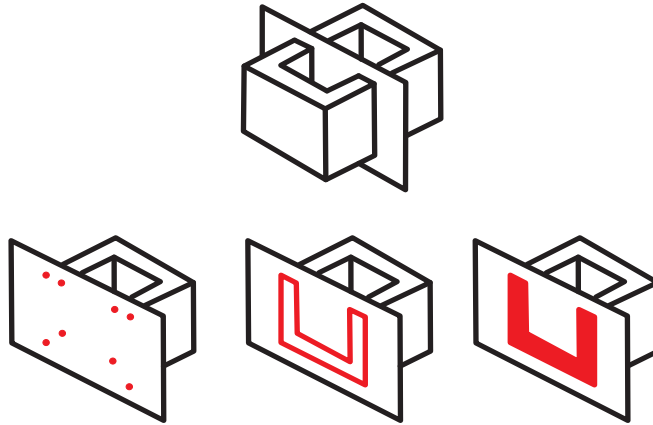


Επιφάνειες



Στερεό

Η πληρότητα του δημιουργούμενου μοντέλου, που εκφράζεται από τα δεδομένα τα οποία καταχωρούνται στο μοντέλο, εξαρτάται από το σύστημα μοντελοποίησης, Σχήμα 2.3. Τα πιο απλά είναι τα μοντέλα ακμών, που καταχωρούν μόνο τις κορυφές και τις ακμές του αντικειμένου, μετά είναι τα μοντέλα επιφανειών που καταχωρούν επιπλέον και τις επιφάνειες που περιβάλλουν το αντικείμενο (εσωτερικές και εξωτερικές) και, τέλος, τα μοντέλα στερεών που καταχωρούν επιπλέον και την τοπολογία μεταξύ των κορυφών, ακμών και επιφανειών, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο τα στοιχεία της γεωμετρίας συνδέονται και γειτονεύουν μεταξύ τους.

ΣΧΗΜΑ 2.4 Διαφορά πληρότητας απεικόνισης μεταξύ των τριών μοντέλων.

Η πληρότητα επηρεάζει και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που παίρνουμε από λειτουργίες που σχετίζονται με το μοντέλο. Πιο πλήρεις και έγκυρες πληροφορίες παίρνουμε από τα μοντέλα στερεών, έπονται τα μοντέλα επιφανειών και, τέλος, είναι τα μοντέλα ακμών. Η διαφορά μεταξύ των τριών συστημάτων φαίνεται στο Σχήμα 2.4 για μια απλή εφαρμογή τομής. Στο σχήμα αυτό, το αντικείμενο, το κουτί μόνο, έχει μοντελοποιηθεί και με τους τρεις διαφορετικούς τρόπους. Τέμνουμε το μοντέλο με το επίπεδο και προβάλλουμε το αποτέλεσμα. Το κάθε μοντέλο μάς δίνει τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Στο μοντέλο των ακμών, το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο σημείων (από την τομή του επιπέδου τομής με τις ακμές του μοντέλου), στο μοντέλο επιφανειών, το αποτέλεσμα είναι το περίγραμμα της τομής (από την τομή μεταξύ του επιπέδου τομής και των επιφανειών που ορίζουν το μοντέλο), ενώ στο στερεό μοντέλο, το αποτέλεσμα είναι και η γραμμοσκίαση της τομής (από την τομή του επιπέδου με το «γεμάτο» στερεό).

Η επιλογή της μεθόδου μοντελοποίησης εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο στη συνέχεια. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, ο χρήστης δεν «βλέπει» τον τρόπο της μαθηματικής μοντελοποίησης και καταχώρησης του συστήματος, ούτε τον τρόπο αναπαράστασης (στερεά ή επιφάνειες), απλώς χρησιμοποιεί τα εργαλεία του συστήματος για τη δημιουργία των στοιχείων που είναι απαραίτητα για τη δη-

μιουργία της γεωμετρίας του μοντέλου. Τα εργαλεία αυτά ποικίλλουν ανάλογα με το είδος μοντελοποίησης, δηλ. μοντέλο ακμών, επιφανειών ή στερεών. Τα βήματα που ακολουθεί ο χρήστης στη μοντελοποίηση τείνουν να είναι τα ίδια για όλα τα διαφορετικά συστήματα που συνήθως διαφέρουν μόνο στη διεπαφή του συστήματος με το χρήστη.

Αν και ο χρήστης δεν ανατρέχει συνήθως στη μαθηματική αναπαράσταση της τρισδιάστατης απεικόνισης, η γνώση της είναι απαραίτητη γιατί παρέχει:

- Γνώση της ορολογίας του CAD/CAM καθώς επίσης και καλύτερη κατανόηση της τεκμηρίωσης των συστημάτων.
- Δυνατότητα να αποφασίζει πιο σωστά για τα στοιχεία που θα χρησιμοποιήσει για τη μοντελοποίηση και την επιλογή των παραμέτρων σχεδίασης για την ακριβή παραγωγή του μοντέλου, όπως κλίση, καμπυλότητα, κ.λπ.
- Δυνατότητα να ερμηνεύσει απρόσμενα αποτελέσματα που προέρχονται από τη χρήση ενός συστήματος.
- Δυνατότητα να αξιολογήσει πιο σωστά τα συστήματα CAD/CAM και τις δυνατότητες που έχουν.
- Στους μηχανικούς παρέχει νέα εργαλεία και μεθοδολογίες που μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν και σε άλλες εφαρμογές.

Στη συνέχεια θα γίνει μια παρουσίαση των διαφόρων μεθόδων τρισδιάστατης μοντελοποίησης, με έμφαση στα εργαλεία που παρέχουν αυτές στο χρήστη για τη δημιουργία του μοντέλου, και τα προτερήματα και μειονεκτήματα που έχει κάθε μέθοδος.

2.1 Μοντέλα ακμών

Ένα τυπικό μοντέλο ακμών ή σύρματος – wireframe model, φαίνεται στο Σχήμα 2.5. Αποτελείται μόνον από κορυφές και ακμές. Οι κορυφές είναι σημεία στο χώρο και οι ακμές είναι ευθύγραμμα τμήματα, κύκλοι, τόξα ή κωνικές τομές και σύνθετες καμπύλες ελεύθερης μορφής, που ορίζονται μεταξύ δύο κορυφών. Αποτελεί την πιο απλή μορφή απεικόνισης του χώρου, και η δισδιάστατη σχεδίαση αποτελεί υποσύνολο του μοντέλου ακμών. Το μοντέλο ακμών προέρχεται από το δισδιάστατο μοντέλο με την προσθήκη της τρίτης διάστασης και την ανάπτυξη εργαλείων δημιουργίας, επεξεργασίας και προβολής της γεωμετρίας στην οθόνη.

Κεφάλαιο 3

ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΚΜΩΝ – ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

3.1 Παραμετρική αναπαράσταση

Οι καμπύλες σ' ένα σύστημα σχεδιομελέτης συνήθως περιγράφονται με δύο μεθόδους: την πεπλεγμένη ή μη παραμετρική εξίσωση και την παραμετρική εξίσωση.

Πεπλεγμένη ή μη παραμετρική εξίσωση. Χρησιμοποιούνται εξισώσεις της μορφής $C(x, y, z) = 0$ (implicit εξίσωση καμπύλης), ή $x = C(y, z)$ (explicit εξίσωση καμπύλης). Και στις δύο περιπτώσεις, υπάρχει σχέση μεταξύ των τριών συντεταγμένων x , y και z κάθε σημείου της καμπύλης στον τρισδιάστατο χώρο, είτε μεταξύ όλων των συντεταγμένων σε μια πεπλεγμένη μορφή (implicit εξίσωση) ή μεταξύ μιας συντεταγμένης σε σχέση με τις άλλες δύο (explicit εξίσωση). Η πεπλεγμένη εξίσωση μπορεί να επαληθεύσει άμεσα εάν ένα σημείο στο χώρο ανήκει σε μια καμπύλη, με απλή αντικατάσταση των τιμών των συντεταγμένων του σημείου στην εξίσωση της καμπύλης. Η πρώτη απεικόνιση δεν μπορεί να επιλύσει εύκολα το αντίστροφο πρόβλημα, δηλαδή να μας δώσει άμεσα σημεία πάνω στην καμπύλη, και πρέπει να βρεθούν με έμμεσο τρόπο, ενώ η δεύτερη μπορεί. Και στις δύο περιπτώσεις είναι εύκολο να υπολογιστεί το μέγεθος του εφαπτόμενου διανύσματος, αλλά στην πρώτη περίπτωση μπορεί να υπολογιστεί ακόμα και στις κάθετες ή σχεδόν κάθετες διευθύνσεις, ενώ στη δεύτερη περίπτωση αυτό δεν είναι εύκολο. Η απεικόνισή τους εξαρτάται από το σύστημα συντεταγμένων, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η εφαρμογή των μετασχηματισμών ή η μεταφορά τους σε άλλο σύστημα συντεταγμένων.

Παραμετρική εξίσωση. Χρησιμοποιούνται εξισώσεις της μορφής $x = X(u)$, $y = Y(u)$ και $z = Z(u)$, όπου κάθε συντεταγμένη του σημείου εκφράζεται με έμμεσο τρόπο, μέσω της παραμέτρου ορισμού της καμπύλης u που συνήθως παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$, χωρίς αυτό να είναι δεσμευτικό. Η τιμή $u = 0$ αντιστοιχεί στην αρχή της καμπύλης και η τιμή $u = 1$ στο τέλος της καμπύλης. Οι εξισώσεις αυτές ονομάζονται και ελεύθερες εξισώσεις κατά x , y και z . Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τον άμεσο υπολογισμό σημείων πάνω στην καμπύλη με απλή αντικατάσταση της τιμής της παραμέτρου ορισμού της καμπύλης, δηλ. υπολογίζουμε σημεία της καμπύλης για συγκεκριμένες τιμές της παραμέτρου u . Μπορεί να αναπαραστήσει με ευκολία κλειστές καμπύλες ή καμπύλες με πολλαπλές τιμές (αυτοτεμνόμενες). Διάφορα διανυσματικά μεγέθη είναι εύκολο να υπολογιστούν, π.χ. εφαπτόμενο διάνυσμα σε σημείο της καμπύλης. Η εξίσωση είναι ανεξάρτητη από το σύστημα συντεταγμένων, με αποτέλεσμα να υλοποιούνται εύκολα οι μετασχηματισμοί και η μεταφορά τους σε άλλο σύστημα συντεταγμένων. Το μειονέκτημα της παραμετρικής εξίσωσης είναι ότι δεν μπορεί να επαληθευτεί εύκολα εάν ένα τυχαίο σημείο, για το οποίο είναι γνωστές οι συντεταγμένες του, ανήκει σε μια καμπύλη. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται ο προσδιορισμός της παραμέτρου ορισμού της καμπύλης, u , για κάθε συντεταγμένη, και η επαλήθευση εάν οι τιμές του u που βρέθηκαν συμπίπτουν.

Η παραμετρική εξίσωση μπορεί να αποδοθεί και με τη διανυσματική απεικόνιση:

$$r = C(u)$$

όπου r είναι το διάνυσμα θέσης του σημείου στην καμπύλη για τη δεδομένη τιμή του u , και $C(u)$ είναι η διανυσματική συνάρτηση ορισμού της καμπύλης, ως προς u .

Σ' ένα σύστημα CAD χρησιμοποιείται η παραμετρική αναπαράσταση, γιατί υλοποιούνται εύκολα οι περισσότερες λειτουργίες όπως:

- σχεδίαση ενός ορισμένου τμήματος της καμπύλης (προβάλλεται το τμήμα της καμπύλης μεταξύ των ορίων της παραμέτρου ορισμού u),
- υπολογισμός διαδοχικών σημείων πάνω στην καμπύλη (αντικαθίστανται στην εξίσωση ορισμού οι διαδοχικές τιμές της παραμέτρου ορισμού u),
- προσδιορισμός ενός ορισμένου σημείου πάνω στην καμπύλη (άμεση αντικατάσταση της παραμέτρου ορισμού u στην εξίσωση), ενώ το αντί-

στροφο πρόβλημα, δηλαδή η εξακρίβωση εάν ένα σημείο ανήκει σε μια καμπύλη, δεν είναι εύκολο.

Η παραμετρική αναπαράσταση δεν είναι μονοσήμαντη. Για παράδειγμα, η παραμετρική εξίσωση τεταρτημορίου κύκλου με κέντρο την αρχή των αξόνων και με ακτίνα ίση με τη μονάδα, μπορεί να είναι:

$$\begin{aligned}x(u) &= \cos(u), \\y(u) &= \sin(u), \text{ με } 0 \leq u \leq \pi/2\end{aligned}$$

ή

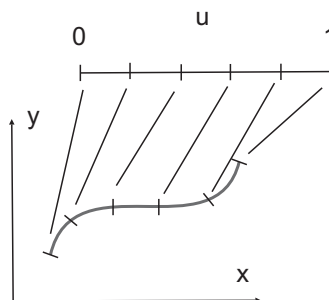
$$\begin{aligned}x(u) &= (1-u^2)/(1+u^2), \\y(u) &= 2u/(1+u^2), \text{ με } 0 \leq u \leq 1\end{aligned}$$

Για την καλύτερη κατανόηση της παραμέτρου ορισμού u της καμπύλης, θεωρούμε ένα όχημα που διατρέχει την καμπύλη του Σχήματος 3.1. Η παράμετρος u απεικονίζει το χρόνο. Στην αρχή του χρόνου ($u = 0$), το όχημα είναι στην αρχή της καμπύλης, ενώ στο τέλος του χρόνου ($u = 1$), το όχημα είναι στο τέλος της καμπύλης και για ενδιάμεσες τιμές της παραμέτρου είναι σε ενδιάμεσα σημεία της καμπύλης. Η πρώτη παράγωγος της καμπύλης ως προς u αντιστοιχεί στην ταχύτητα κίνησης του οχήματος και η δεύτερη παράγωγος στην επιτάχυνσή του.

Στη συνέχεια δίνεται η παραμετρική αναπαράσταση των κυριότερων κω-
νικών τομών.

ΣΧΗΜΑ 3.1

Εξήγηση της παραμετρικής αναπαράστασης επίπεδης καμπύλης.



Κεφάλαιο 4

ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ – ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

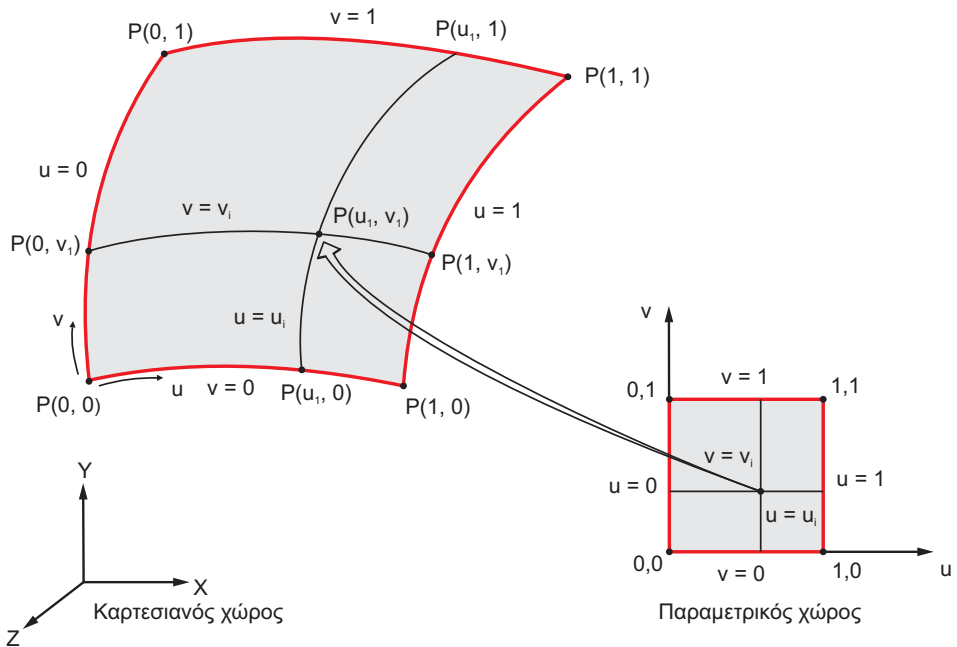
4.1 Παραμετρική αναπαράσταση επιφανειών

Η αναπαράσταση των επιφανειών αποτελεί μια επέκταση της αναπαράστασης των καμπυλών. Μια επιφάνεια ορίζεται ως ο γεωμετρικός τόπος των σημείων στο χώρο που ικανοποιούν μια συνθήκη της μορφής $F(x, y, z) = 0$. (Μη παραμετρική ή πεπλεγμένη αναπαράσταση επιφανειών – Implicit μορφή). Εάν η παραπάνω εξίσωση μπορεί να λυθεί ώστε μια από τις συντεταγμένες να εκφραστεί συναρτήσει των άλλων δύο, τότε έχουμε την explicit μορφή αναπαράστασης των επιφανειών.

Στα συστήματα σχεδιομελέτης με Η/Υ όμως (όπως και στην περίπτωση των καμπυλών), χρησιμοποιείται η παραμετρική αναπαράσταση, με εξισώσεις της μορφής:

$$P(u, v) = (X(u, v), Y(u, v), Z(u, v)),$$

όπου X , Y και Z είναι οι συντεταγμένες ενός σημείου πάνω στην επιφάνεια και εκφράζονται με κατάλληλες συναρτήσεις των δύο παραμέτρων ορισμού της επιφάνειας u , v , Σχήμα 4.1.

ΣΧΗΜΑ 4.1 Παραμετρική αναπαράσταση επιφάνειας.

Οι παράμετροι ορισμού u και v μεταβάλλονται από $u_{\min}, v_{\min} \leq u, v \leq u_{\max}, v_{\max}$ και αποτελούν τον παραμετρικό χώρο. Συνήθως, $u_{\min} = v_{\min} = 0$ και $u_{\max} = v_{\max} = 1$. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται μια απλή επιφάνεια και ο παραμετρικός χώρος ορισμού της με όρια $0 \leq u, v \leq 1$. Για τον ορισμό ενός σημείου πάνω σε αυτή την επιφάνεια, με συντεταγμένες (u_1, v_1) , ορίζονται στα δύο απέναντι όρια της επιφάνειας τα σημεία $P(u_1, 0)$ και $P(u_1, 1)$ (αντίστοιχα σημεία) και μεταξύ αυτών ορίζεται μια καμπύλη, $P(u_1, v)$, που ανήκει στην επιφάνεια. Πάνω σε αυτή την καμπύλη ορίζεται το σημείο $P(u_1, v_1)$. Αντίστοιχα μπορούν να οριστούν τα σημεία $P(0, v_1)$ και $P(1, v_1)$ και πάνω στην καμπύλη μεταξύ αυτών των δύο, $P(u, v_1)$, ορίζεται το σημείο $P(u_1, v_1)$. Στο σχήμα σημειώνονται και τα τέσσερα ακραία σημεία της επιφάνειας $P(0, 0)$, $P(1, 0)$, $P(0, 1)$ και $P(1, 1)$.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Παραμετρική αναπαράσταση σφαίρας. Για την περίπτωση σφαίρας ακτίνας R , με κέντρο την αρχή των αξόνων, η πεπλεγμένη (implicit)

εξίσωση είναι $X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2$ και οι παραμετρικές εξισώσεις έχουν τη μορφή

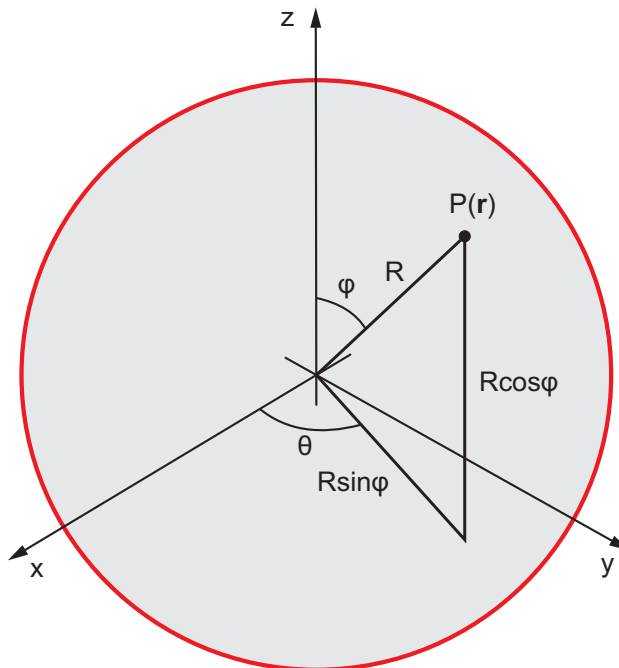
$$x = X(\theta, \varphi) = R \sin\varphi \cos\theta$$

$$y = Y(\theta, \varphi) = R \sin\varphi \sin\theta$$

$$z = Z(\theta, \varphi) = R \cos\varphi$$

όπου οι παράμετροι θ και φ είναι τώρα οι γωνίες Euler, δηλαδή φ (γωνία μεταξύ του άξονα z και της ακτίνας της σφαίρας προς το σημείο) και θ (γωνία μεταξύ της προβολής της ακτίνας στο επίπεδο xy και του άξονα x), Σχήμα 4.2, και $0 \leq \varphi, \theta \leq 2\pi$.

ΣΧΗΜΑ 4.2 Παραμετρική εξίσωση σφαίρας, βάσει των γωνιών θ και φ



Κεφάλαιο 5

ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΤΕΡΕΩΝ

Τα στερεά μοντέλα δημιουργούν μοντέλα πλήρους απεικόνισης του φυσικού στερεού αντικειμένου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αξιοπιστία για να αυτοματοποιήσουν όλες τις κάθετες εφαρμογές σχεδίασης, παραγωγής και ενοποίησης του κύκλου ζωής του προϊόντος. Τα στερεά μοντέλα παρέχουν πλήρη, έγκυρη και αναμφίβολη αναπαράσταση των αντικειμένων, που επιτυγχάνεται με την καταχώρηση τόσο των γεωμετρικών στοιχείων, όσο και των στοιχείων τοπολογίας. Η γεωμετρική πληροφορία είναι ίδια όπως και για τα συστήματα ακμών και επιφανειών, και η τοπολογία είναι αυτή που δίνει την πληρότητα στην απεικόνιση με στερεά μοντέλα. Οι λειτουργίες μοντελοποίησης που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 2 για τα μοντέλα επιφανειών και για τα μοντέλα στερεών δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους μόνον ως προς τις προϋποθέσεις λειτουργίας, αλλά η δομή που δημιουργείται είναι διαφορετική και είναι πιο πλήρης στα στερεά μοντέλα. Το βασικό χαρακτηριστικό των στερεών μοντέλων είναι ότι κατανοούν άμεσα τη σχετική θέση ενός σημείου στο χώρο ως προς το αντικείμενο, δηλ. εάν το σημείο περιέχεται μέσα στο μοντέλο, ή είναι εκτός του μοντέλου, ή βρίσκεται πάνω στο φλοιό του αντικειμένου. Αυτή η ταξινόμηση δεν είναι εφικτή στα άλλα είδη μοντελοποίησης, καλείται διευθέτηση χώρου (spatial addressability) και επιτυγχάνεται με την αποτύπωση και της τοπολογίας του αντικειμένου, εκτός από τη γεωμετρία την οποία κυρίως καταχωρούν τα μοντέλα ακμών και μοντέλα επιφανειών. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν οι δομές δεδομένων που έχουν προταθεί και δημιουργούνται εσωτερικά από το σύστημα, ώστε να παρέχουν αυτή την πληρότητα στα στερεά μοντέλα.

Οι δομές δεδομένων που περιγράφουν ένα στερεό μοντέλο κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα στοιχεία που καταχωρούν:

1. Μοντέλα σύνθεσης – (Constructive models), όπου καταχωρούνται τα στοιχειώδη στερεά και οι μεταξύ τους λειτουργίες συνόλων (Boolean) για την απόδοση της τελικής μορφής. Η μέθοδος ονομάζεται Constructive Solid Geometry-CSG και η δομή δεδομένων έχει τη μορφή δένδρου που καλείται Constructive Solid Geometry Tree.

2. Οριακά μοντέλα (Boundary models), όπου καταχωρείται η περιβάλλουσα επιφάνεια του στερεού μοντέλου. Η περιβάλλουσα επιφάνεια αποτελείται από επιμέρους έδρες (faces). Οι επιμέρους έδρες περιβάλλονται από μονοδιάστατες καμπύλες, τις ακμές. Η κάθε ακμή ορίζεται από δύο σημεία (κορυφές). Η μέθοδος καλείται Οριακή Αναπαράσταση – Boundary Representation ή B-Rep, και η αντίστοιχη δομή δεδομένων B-Rep data structure και περιλαμβάνει τον τρόπο σύνδεσης των παραπάνω στοιχείων τόσο σε ενδιάμεσα στοιχεία τοπολογίας, όσο και στο τελικό μοντέλο.

3. Μοντέλα αποσύνθεσης (Decomposition models), όπου καταχωρείται ένα σύνολο απλών στερεών μικρού μεγέθους, συνήθως κύβων, που συνδυάζονται μεταξύ τους μόνο με λειτουργία σύνδεσης. Η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να περιγράψει ένα αντικείμενο με ακρίβεια και ως μέθοδος χρησιμοποιείται σε ήδη υπάρχοντα μοντέλα για ειδικές εφαρμογές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1

Εμπορικά συστήματα από τις διάφορες εταιρείες CAD/CAM, και το είδος της αναπαράστασης που χρησιμοποιούν

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ
ACIS	Spatial Technology	B-Rep
Anvil 5000	MCS	CSG/ B-Rep
Bravo 3-SM	Applicon	CSG/ B-Rep
CADDS4X	CV/Prime	B-Rep
CATIA SGM	IBM-Dassault	CSG/ B-Rep
Cimplex Design	CIMPLEX	CSG/ B-Rep
Designbase	RICOH	B-Rep
Euclid-IS	Matra Datavision	CSG/ B-Rep
Geomod	General Electric	B-Rep
Medusa 3D	CV/Prime	B-Rep
ME Series 30	HP	B-Rep
Parasolid	Electronic Data Systems	B-Rep
Pro/ENGINEER	Parametric Technology	B-Rep
Tips-1	CAM-I	CSG

Κεφάλαιο 6

ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ CAD

6.1 Παρουσίαση του προβλήματος

Η μεγάλη διαφορά μεταξύ των υπαρχόντων συστημάτων CAD δεν είναι οι διαφορετικές λειτουργίες που διαθέτουν ή το πεδίο στο οποίο είναι πιο κατάλληλη η εφαρμογή τους, αλλά ο τρόπος με τον οποίο καταχωρούν τα δεδομένα που παράγονται από τις διάφορες εφαρμογές που υποστηρίζουν. Ακόμα και για απλά γεωμετρικά στοιχεία μπορεί να έχει επιλεγεί και διαφορετικό σχήμα απεικόνισης του στοιχείου, π.χ. ένας κύκλος μπορεί να αποτυπωθεί με NURBS ή με παραμετρική αναπαράσταση. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μην υπάρχει άμεση επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Επιπλέον, σ' ένα περιβάλλον ανάπτυξης προϊόντων, ακόμα και όταν η ανάπτυξη λαμβάνει μέρος στα στενά όρια της επιχείρησης, σπάνια χρησιμοποιείται ένα μόνο σύστημα CAD/CAM. Όταν η ανάπτυξη είναι καταμεμημένη σε πολλούς υποκατασκευαστές, τότε ο καθένας μπορεί να χρησιμοποιεί το δικό του σύστημα. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, μεγάλοι κατασκευαστές δεν δέχονται μεταφορά δεδομένων και θέλουν το ίδιο υπολογιστικό σύστημα με το δικό τους από όλους τους υποκατασκευαστές, ώστε να αποφεύγουν πιθανά σφάλματα από την ανταλλαγή των δεδομένων ή για να εξαιψουν το χρόνο που απαιτείται για τη διόρθωση των αρχείων μετά τη μετάφραση. Πολλές φορές αυτή η τυποποίηση στο υπολογιστικό σύστημα δεν είναι μόνο σε επίπεδο συστήματος αλλά και στην έκδοση που χρησιμοποιούν για τη μεταξύ τους συνεργασία.

Τα δεδομένα που δημιουργούνται από τα συστήματα CAD/CAM είναι διάφορων μορφών, όπως:

- γεωμετρικά δεδομένα και τα δεδομένα τοπολογίας για τη μορφή του μοντέλου,

- πρόσθετα δεδομένα στη μορφή, όπως είναι οι εικόνες από εφαρμογές φωτορεαλισμού,
- το σχήμα της βάσης των δεδομένων,
- αποτελέσματα ανάλυσης, όπως είναι τα δεδομένα και τα αποτελέσματα από τα συστήματα ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία (CAE) και
- δεδομένα παραγωγής, όπως είναι οι ανοχές και η λίστα των υλικών.

Από τα πρώτα στάδια της εφαρμογής και διάδοσης των συστημάτων CAD/CAM έγινε προφανές ότι απαιτείται και μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διαφόρων συστημάτων, με αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μεταφραστές με διαφορετικές δυνατότητες. Η πρώτη προσπάθεια ήταν τα συστήματα IGES, με έμφαση στα γραφικά δεδομένα και η πλέον πρόσφατη είναι το STEP, με έμφαση σε όλα τα δεδομένα, του προϊόντος σε όλο τον κύκλο ζωής του. Μεταφραστές επίσης προέκυψαν από συστήματα που έχουν μεγάλη διάδοση, όπως είναι το DXF από την AUTODESK και το ACIS, που ήταν ο πρώτος πυρήνας στερεάς μοντελοποίησης με μορφολογικά χαρακτηριστικά. Λόγω της μεγάλης διάδοσής τους, πολλοί τρίτοι προμηθευτές συστημάτων παρείχαν μεταφραστές προς αυτά τα είδη αρχείων.

6.2 Είδη μεταφραστών

Βασικά, υπάρχουν δύο είδη μεταφραστών. Οι άμεσοι και οι έμμεσοι. Οι **άμεσοι** μεταφραστές αποτέλεσαν την πρώτη μέθοδο μεταφοράς δεδομένων, η οποία παραμένει και η πιο αποδοτική. Μεταφράζει τα δεδομένα από ένα σύστημα σε σχήμα που μπορεί να εισαχθεί σ' ένα άλλο σύστημα και αντίστροφα. Συνεπώς, απαιτείται ένα ζεύγος μεταφραστών για 2 συστήματα που επικοινωνούν (Σχήμα 6.1). Η δημιουργία τους απαιτεί γνώση και των δύο βάσεων δεδομένων και ενημέρωση των μεταφραστών με κάθε αναβάθμιση του λογισμικού από κάθε σύστημα. Η μέθοδος μπορεί να μεταφέρει με ακρίβεια όλα τα δεδομένα του προϊόντος και η παραγωγή τους γίνεται από ειδικευμένες εταιρείες λογισμικού που πωλούν άμεσους μεταφραστές.

Τα προτερήματα της μεθόδου είναι:

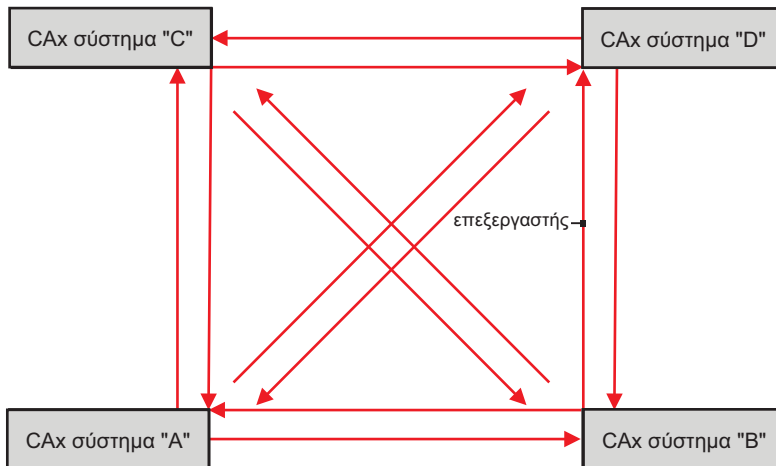
- μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις που οι άλλοι μέθοδοι δεν είναι κατάλληλοι,
- είναι γρήγοροι αλγόριθμοι,

- ο κώδικας που απαιτείται για ένα ζεύγος μόνο συστημάτων είναι λιγότερος από ουδέτερους μεταφραστές.

Η μέθοδος όμως έχει και σημαντικά μειονεκτήματα, όπως:

- ο αριθμός των μεταφραστών αυξάνει σχεδόν ανάλογα με το τετράγωνο του αριθμού των συστημάτων που υπάρχουν,
- η ανάπτυξη του άμεσου μεταφραστή απαιτεί πρόσβαση στη μέθοδο αναπαράστασης των δεδομένων και στα δύο συστήματα, μια πληροφορία που δεν είναι συνήθως διαθέσιμη,
- δεν είναι προφανές ποιος είναι υπεύθυνος για τυχόν προβλήματα που θα έχει η μετάφραση και
- υφίσταται ανάγκη να κατανοείται ο μηχανισμός της μεταφοράς δεδομένων.

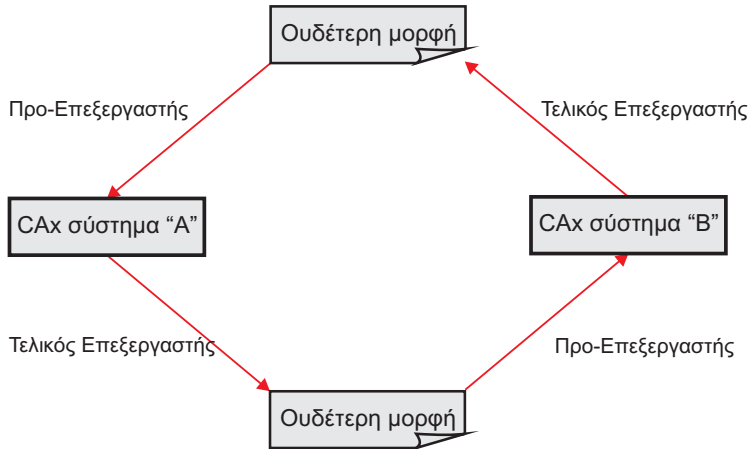
ΣΧΗΜΑ 6.1 Ανταλλαγή δεδομένων με άμεσους μεταφραστές.



Οι **έμμεσοι** μεταφραστές μπορεί να είναι δύο ειδών. Στην πρώτη περίπτωση, ο προμηθευτής ενός συστήματος δημιουργεί μια ουδέτερη μορφή αρχείου, την οποία επίσης δημοσιοποιεί, και κάθε άλλος προμηθευτής μπορεί να δημιουργήσει μεταφραστή που να διαβάζει αυτή τη δομή του αρχείου, (Σχήμα 6.2). Αρκετοί προμηθευτές συστημάτων έχουν δημοσιεύσει μεταφραστές για τη δική τους βάση δεδομένων (π.χ. INTERGRAPH – ISIF, IMB – IIF, AUTODESK – DXF). Η μέθοδος αυτή είχε περισσότερο εμπορικό σκοπό. Έχει πολλά μει-

ονεκτήματα, και το σπουδαιότερο είναι ότι η παρεχόμενη ουδέτερη μορφή προσέγγιζε τη βάση δεδομένων του προμηθευτή.

ΣΧΗΜΑ 6.2 Μεταφορά δεδομένων με ουδέτερο μεταφραστή.



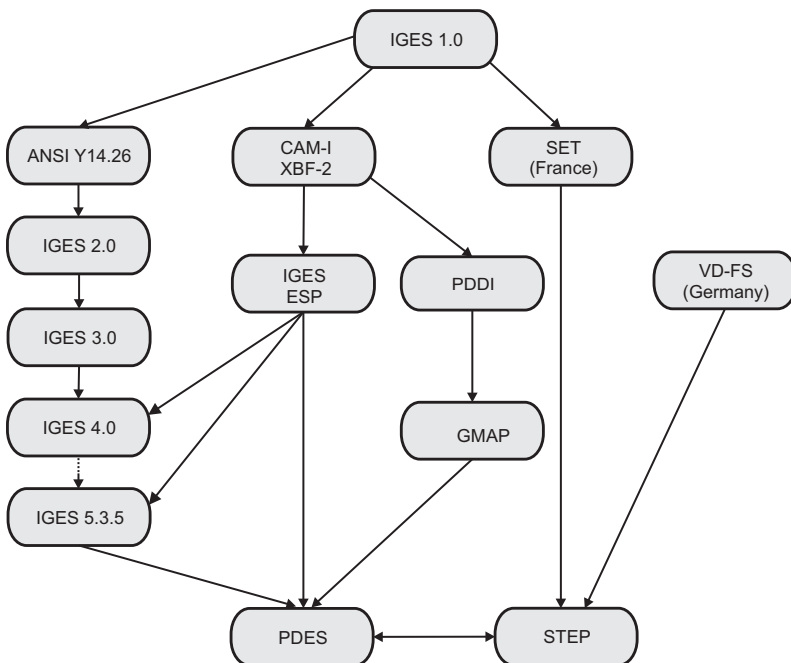
Η δεύτερη γενιά των ουδέτερων μεταφραστών λειτουργεί ανεξάρτητα από τις εταιρείες παραγωγής λογισμικού. Δημιουργείται ένα πρότυπο αρχείο (ουδέτερο αρχείο) προς το οποίο ο κάθε προμηθευτής συστήματος CAD πρέπει να παρέχει δύο μεταφραστές, έναν προ-επεξεργαστή (που μεταφράζει τη βάση προς το ουδέτερο αρχείο) και έναν τελικό-επεξεργαστή (που μεταφράζει το ουδέτερο αρχείο στη δομή του συστήματος). Τα προτερήματα της μεθόδου είναι ότι ο αριθμός των μεταφραστών είναι ανάλογος με τον αριθμό των συστημάτων, ο προμηθευτής είναι υπεύθυνος για την ποιότητα της μετάφρασης, η ποιότητα της μετάφρασης και επικοινωνίας μπορεί να αποτελέσει κριτήριο επιλογής και δοκιμής ενός συστήματος και η δοκιμή του μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο τρίτου φορέα. Τα βασικά μειονεκτήματα είναι όμως σημαντικά. Είναι δύσκολο να αναπτυχθεί ένας διαχρονικός κανονισμός (standard) και οι εταιρείες προμήθειας συστημάτων δεν θέλουν τους μεταφραστές.

Στο Σχήμα 6.3 φαίνεται η εξέλιξη των άμεσων μεταφραστών. Η πρώτη προσπάθεια ήταν με τη μέθοδο IGES-Initial Graphics Exchange Specifications. Η πρώτη έκδοση IGES1.0 ήταν το 1980, το IGES2.0 δημοσιεύτηκε 1983 και η

ανάπτυξη σταμάτησε στο IGES 5.3.5 το 1996. Κάθε νέα έκδοση του IGES επέκτεινε τα στοιχεία που μπορούσε να διαχειριστεί η προηγούμενη έκδοση και διόρθωνε σφάλματα που υπήρχαν σε προηγούμενες εκδόσεις. Με το IGES ESP (Experimental Solids Proposal), για πρώτη φορά οι δυνατότητες του IGES επεκτάθηκαν και στη μεταφορά στερεών μοντέλων. Το PDDI-Product Definition Data Interface, ήταν προϊόν της Αμερικανικής Αεροπορικής Βιομηχανίας που περιελάμβανε πιο σύνθετα δεδομένα απ' ό,τι το IGES. Το σύστημα SET-Standard D'Exchange et De Transfert αναπτύχθηκε στη Γαλλία και προσομοιάζει πολύ το IGES αλλά δημιουργεί σημαντικά μικρότερου μεγέθους αρχεία απ' ό,τι το IGES. Το VD-FS (VDA/VDMA-FS) αναπτύχθηκε στη Γερμανία από την αυτοκινητοβιομηχανία και είναι κατάλληλο για μεταφορά δεδομένων επιφανειών, πολυωνυμικών καμπύλων και επιφανειών. Σήμερα, το STEP-Standard for the Exchanging of Product Definition, αποτελεί την πιο πλήρη μορφή μεταφραστή για τη μεταφορά δεδομένων. Στη συνέχεια θα περιγραφεί πιο αναλυτικά η δομή του IGES και του STEP.

ΣΧΗΜΑ 6.3

Η εξέλιξη των ουδέτερων αρχείων για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συστημάτων CAD.



Κεφάλαιο 7

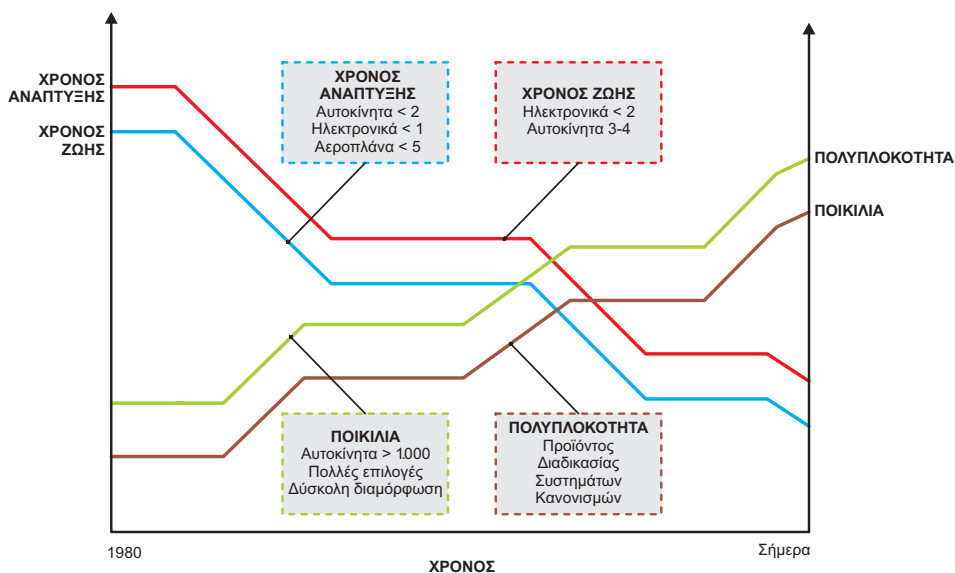
ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

7.1 Ορισμός

Τα προϊόντα σήμερα χαρακτηρίζονται από ορισμένα χαρακτηριστικά που είναι και αντικρουόμενα μεταξύ τους. Αυτά είναι ο χρόνος ζωής του προϊόντος, ο χρόνος ανάπτυξης, η πολυπλοκότητά του και η προσφερόμενη ποικιλία (Σχήμα 7.1).

ΣΧΗΜΑ 7.1

Τάσεις στην ανάπτυξη και τα χαρακτηριστικά των νέων προϊόντων με την πάροδο του χρόνου.



Ο **χρόνος ανάπτυξης** τείνει να μειώνεται συνεχώς χωρίς να μειώνεται η ποιότητα του προϊόντος και πάντα υπάρχει η απαίτηση για την παραγωγή του σωστού προϊόντος από την αρχή (right first time). Στο Σχήμα 7.1, ο χρόνος

ανάπτυξης ενός αυτοκινήτου σήμερα είναι μικρότερος από 2 έτη (ήταν 5 έτη το 1990), στα ηλεκτρονικά προϊόντα λιγότερος από 1 έτος (ήταν 3 έτη), ενώ στα αεροσκάφη είναι λιγότερο από 5 έτη (από > 7 έτη που ήταν). Ο **χρόνος ζωής του προϊόντος** μειώνεται επίσης, με αποτέλεσμα να μειώνεται και η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης για το προϊόν. Στο Σχήμα 7.1 φαίνεται ο χρόνος ζωής ορισμένων προϊόντων σε έτη. Η **πολυπλοκότητα του προϊόντος** αυξάνεται, και αυτό οφείλεται τόσο στο ίδιο το προϊόν που ενσωματώνει όλο και περισσότερες λειτουργίες, στις διαδικασίες παραγωγής που γίνονται όλο και πιο σύνθετες, στα συστήματα ανάπτυξης και στους κανονισμούς που πρέπει να υπακούει, οι οποίοι πολλές φορές απαιτούν σημαντική ανάπτυξη και επανασχεδίαση. Τέλος, η **ποικιλία** του προσφερόμενου προϊόντος αυξάνει σημαντικά, ώστε να καλύψει τόσο τις επιμέρους απαιτήσεις των πελατών αλλά και να μπορεί να εξαστομικεύεται για κάθε χρήστη.

Πολλές από τις παραπάνω προκλήσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση της συνεργατικής σχεδίασης (collaborative design). Ως συνεργατική σχεδίαση ορίζεται η αλληλεπιδραστική και σε πραγματικό χρόνο επικοινωνία μεταξύ των μελών της ομάδας σχεδίασης που μπορεί να βρίσκονται και σε διαφορετική τοποθεσία και σε διαφορετική εταιρεία. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, οι μηχανικοί της ομάδας ανάπτυξης ή μια ομάδα σχεδιαστών συνεργάζονται για να επικυρώσουν, ή να διορθώσουν κάποια σχέδια, ή ιδέες, ή προβλήματα που ανακύπτουν στα πρώτα στάδια κυρίως της ανάπτυξης του προϊόντος. Η συνεργατική σχεδίαση έχει επηρεάσει αντίστοιχα και τα συστήματα CAD, τα οποία τα τελευταία χρόνια έχουν ενοποιησει σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες και υποστηρίζουν όλο και περισσότερο την αρχή της συνεργατικής σχεδίασης.

Τα συστήματα CAD έχουν μεταβληθεί **από:**

- συστήματα που είναι επικεντρωμένα στην απόδοση του χρήστη,
- στην τοπική καταχώρηση του μοντέλου,
- την απομόνωση του χειριστή από την επικοινωνία με άλλα συστήματα,

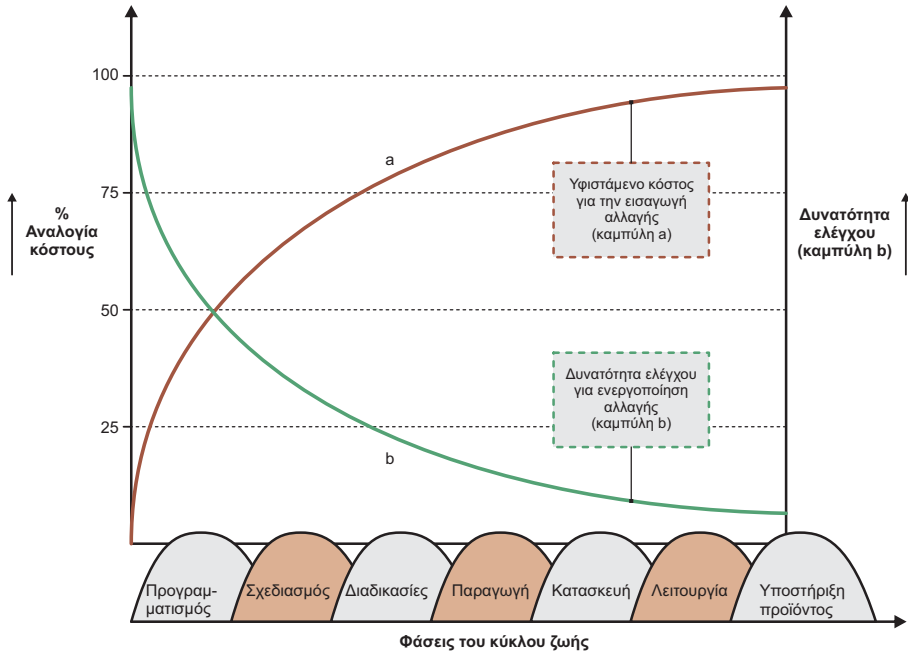
σε:

- συστήματα που είναι προσαρμοσμένα προς τη συνεργασία με άλλους μηχανικούς,
- το σύστημα καταχώρησης είναι ανοικτό και προσβάσιμο σε όλη την ομάδα ανάπτυξης,
- με πολλά ανεπτυγμένα συστήματα ανταλλαγής δεδομένων με διαφορετικές δυνατότητες ανταλλαγής.

Όλα τα συστήματα πλέον επιτρέπουν τη συνεργατική και κατακεντρωμένη ανάπτυξη. Στο πλαίσιο μιας συνεργατικής ανάπτυξης, οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί έχουν τη δυνατότητα να μοιραστούν τις εργασίες τους με τους συνολικά κατακεντρωμένους συναδέλφους τους, μέσω του Διαδικτύου. Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να επιτρέψει στους σχεδιαστές να συνεργαστούν στενά με τους προμηθευτές, τους υπο-κατασκευαστές και άλλους συνεργάτες και τους πελάτες, ώστε να πάρουν έγκαιρα τις απαραίτητες πληροφορίες στο σχέδιό τους. Με μια ευρύτερη οπτική, στη συνεργατική σχεδίαση η σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD), η ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία (CAE), η παραγωγή με χρήση υπολογιστή (CAM), ο προγραμματισμός των επιχειρηματικών πόρων (ERP) και τα συστήματα διαχείρισης δομής των προϊόντων (PDM) μπορούν να ενοποιηθούν για να υποστηρίξουν τις δια-τμηματικές και δια-επιχειρηματικές εφαρμογές για ολόκληρο τον κύκλο της ζωής προϊόντων, όπως συμβαίνει με τα συστήματα Διαχείρισης Κύκλου Ζωής Προϊόντος. Η συνεργατική σχεδίαση δεν είναι μόνον ανταλλαγή δεδομένων και εγγράφων, αλλά μια συνολική αντιμετώπιση του σχεδίου ανάλογα με τις δυνατότητες και τους πόρους που διατίθενται τόσο από τα άτομα, όσο και από τα συστήματα που χρησιμοποιούν τα άτομα της ομάδας ανάπτυξης. Ένα συνεργατικό σύστημα αλλάζει τη ροή της εργασίας από τη σειριακή στην παράλληλη – συνεργατική ανάπτυξη. Στη σειριακή ανάπτυξη, τα διάφορα στάδια εκτελούνται το ένα μετά την περαίωση του προηγούμενου. Τα εργαλεία που υφίστανται, όπως Σχεδίαση για συναρμολόγηση, Σχεδίαση για παραγωγή, Σχεδίαση για Χ δυνατότητα, βελτιώνουν τη διαδικασία ανάπτυξης και το τελικό προϊόν, αλλά η διαδικασία παραμένει σειριακή. Στη σειριακή ανάπτυξη, όταν η ανάπτυξη είναι κατακεντρωμένη, τότε οι διάφοροι υπο-κατασκευαστές χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα, και αυτό δημιουργεί προβλήματα ανταλλαγής δεδομένων και διατήρησης διαφορετικών δεδομένων, τόσο σε μορφή όσο και σε θέση καταχώρησης. Η συνάντηση της ομάδας γίνεται σε ορισμένα σημεία της διαδικασίας ανάπτυξης και δεν είναι συνεχής. Αποτέλεσμα αυτής της σειριακής λειτουργίας είναι η εμφάνιση των προβλημάτων της ανάπτυξης του σχεδίου στα προχωρημένα στάδια της ανάπτυξης του προϊόντος (μετά την περαίωση του σχεδιασμού και ίσως στη φάση της ανάπτυξης των πρωτοτύπων), όπου ο έλεγχος των παραμέτρων του προϊόντος για τη διόρθωση των σφαλμάτων είναι περιορισμένος και οποιοσδήποτε αλλαγές είναι πολύ δαπανηρές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2. Αντίθετα, στη συνεργατική σχεδίαση τα τυχόν σφάλματα μπορούν να ανακαλυφθούν και να επιλυθούν σ' ένα πρώιμο στάδιο, όπου οι διορθώσεις είναι πιο εύκολες και πολύ πιο οικονομικές.

ΣΧΗΜΑ 7.2

Κατανομή του κόστους αλλαγών και της δυνατότητας ελέγχου στο προϊόν, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης.



Οι προμηθευτές λογισμικού είναι σήμερα σε έντονο ανταγωνισμό για να προωθήσουν τα συνεργατικά πακέτα σχεδίασης προϊόντων και ανάπτυξης, τα οποία διαφέρουν στην τιμολόγηση, τη μέθοδο ανταλλαγής στοιχείων, τη στρατηγική συντονισμού και τα παρεχόμενα εργαλεία, την εφαρμογή CAD και το σχήμα αρχείων που υποστηρίζονται, κ.λπ., για να καλύψουν τις διάφορες απαιτήσεις εφαρμογής. Προκειμένου να παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των διάφορων συστημάτων συνεργατικής σχεδίασης και των τεχνολογιών ανάπτυξης προϊόντων, παρουσιάζονται στη συνέχεια μερικές σχετικές έννοιες εν συντομία.

7.2 Βασικές έννοιες

Διανομή εναντίον της συνεργασίας. Ένα συνεργατικό σύστημα ανάπτυξης προϊόντων χρειάζεται δύο είδη ικανοτήτων και χαρακτηριστικών: δια-

Κεφάλαιο 8

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

Στη σημερινή παγκόσμια αγορά, οι επιχειρήσεις πρέπει να καινοτομούν για να επιβιώσουν. Η επιχειρηματική καινοτομία πρέπει να συντελείται σε όλες τις διαστάσεις –πρόϊόν, διαδικασία και οργάνωση– για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και της επίδοσης της επιχείρησης. Οι επιχειρήσεις, για να διαφοροποιηθούν, πρέπει να καταγράψουν, να διαχειριστούν και να ενισχύσουν τα πνευματικά περιουσιακά στοιχεία τους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί καλύτερα με την κατάλληλη εφαρμογή μιας προσέγγισης Διαχείρισης Κύκλου Ζωής Προϊόντος (Product Lifecycle Management-PLM, ΔΚΖΠ) που αντιμετωπίζει τις ανάγκες της εκτεταμένης επιχείρησης.

8.1 Ορισμός

Ως Διαχείριση του Κύκλου Ζωής Προϊόντος ορίζεται η διαδικασία διαχείρισης όλου του κύκλου ζωής του προϊόντος από το στάδιο της σύλληψης και σχεδίασης, ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία, έως τον προγραμματισμό παραγωγής, την παρουσίαση, την εμπορική εκμετάλλευση και την απόσυρση του προϊόντος μετά την περάτωση της χρήσιμης ζωής του. Συνεπώς, τα συστήματα ΔΚΖΠ υποστηρίζουν το χαρτοφυλάκιο των προϊόντων μιας επιχείρησης, τις διαδικασίες και τις υπηρεσίες, από την αρχική σύλληψη της ιδέας του προϊόντος μέχρι την τελική του απόσυρση μετά την περάτωση της χρήσιμης ζωής του. Στο Σχήμα 8.1 δίνεται μια διάκριση των εφαρμογών που συνθέτουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα ΔΚΖΠ καθώς και οι λειτουργίες που εκτελούνται από κάθε εφαρμογή. Ο πυρήνας είναι η συνεργατική σχεδίαση (Collaborative Product Design), που είναι το τμήμα των προγραμμάτων που σχετίζονται με τα συστήματα CAD/CAM και τη μεταξύ τους επικοινωνία και εννοποίηση. Η

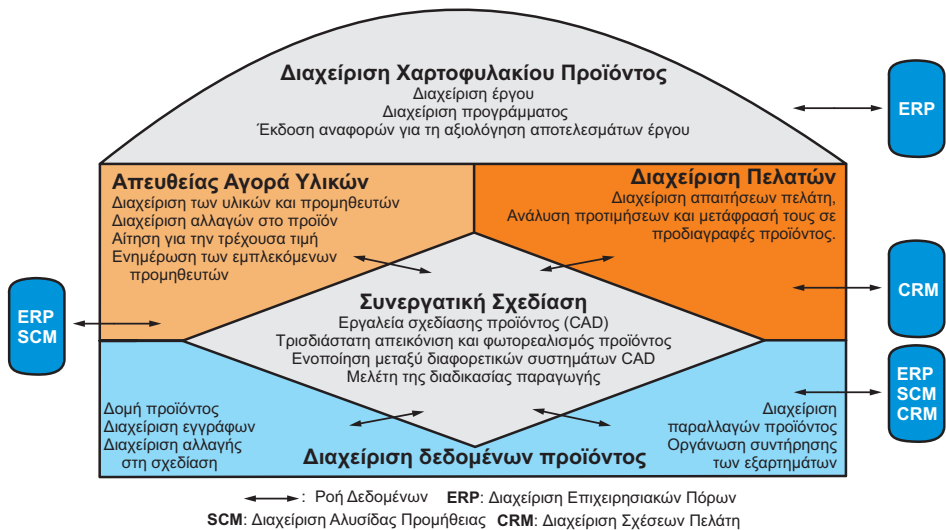
πρώτη προσέγγιση για τη ΔΚΖΠ έγινε με τα συστήματα διαχείρισης της Δομής του Προϊόντος – ΔΔΠ (Product Data Management-PDM) που αποτέλεσαν και τον πρόδρομο των συστημάτων ΔΚΖΠ. Πρόσθετες εφαρμογές είναι:

- η Διαχείριση των Υλικών και Προμηθευτών.
- η Διαχείριση Απαιτήσεων Πελατών και
- η Διαχείριση του Χαρτοφυλακίου.

Στο σχήμα φαίνεται και η αλληλεπίδραση του συστήματος ΔΚΖΠ με άλλες εφαρμογές όπως η Διαχείριση Επιχειρησιακών Πόρων (ERP), η Διαχείριση Σχέσεων Πελάτη (CRM) και η Διαχείριση Αλυσίδας Προμήθειας (SCM) και τα τμήματα του συστήματος τα οποία απαιτούν συνεργασία με αυτές τις εφαρμογές.

ΣΧΗΜΑ 8.1

Διακριτές εφαρμογές που συνιστούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα ΔΚΖΠ.



Ο πυρήνας στην ανάπτυξη ενός συστήματος ΔΚΖΠ είναι η Συνεργατική Σχεδίαση Προϊόντος, που εξαλείφει την επανάληψη σχεδίων και ορίζει τη διαδικασία σχετικά με το τι πρέπει να κατασκευαστεί και πώς μπορεί να γίνει γρήγορα και έξυπνα. Εστιάζει στη διαδραστική διαδικασία σχεδίασης, όπου οι εταιρείες μοιράζονται σχέδια με τους συνεργάτες τους, οδηγούνται από το σχέδιο σε σχετικές πληροφορίες και εισάγουν αλλαγές στο σχέδιο. Η περιοχή

αυτή περιλαμβάνει Εργαλεία Σχεδίασης Προϊόντος (CAD), τρισδιάστατη απεικόνιση και φωτορεαλισμό (rendering) προϊόντος, ενοποίηση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων CAD και μελέτη της διαδικασίας παραγωγής.

Η Διαχείριση Δεδομένων Προϊόντος (PDM-Product Data Management) είναι η βάση για την ευρύτερη εφαρμογή της ΔΚΖΠ. Όλες οι εφαρμογές προστιθέμενης αξίας ΔΚΖΠ βασίζονται στην πλατφόρμα ΔΔΠ για πληροφορία. Η περιοχή περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η Διαχείριση Αλλαγής στη Σχεδίαση, η Διαχείριση Παραλλαγών Προϊόντος (configuration management), η Δομή Προϊόντος (BOM) και η Διαχείριση Εγγράφων.

Συστηματική συγκέντρωση και ανάλυση των απαιτήσεων ενός προϊόντος, που καθορίζονται από τον πελάτη ή την αγορά – Διαχείριση Απαιτήσεων Πελάτη (CNM-Customer Needs Management). Εστιάζει στη δυνατότητα να αποτυπώσουν τις απαιτήσεις του πελάτη και να εκτιμήσουν την ικανότητα να σχεδιάσουν και να παράγουν ένα προϊόν σε μια επικερδή τιμή. Στην περιοχή αυτή περιλαμβάνονται λειτουργίες Συλλογής Απαιτήσεων Πελάτη, ανάλυσης προτιμήσεων και μετάφρασής τους σε προδιαγραφές προϊόντος.

Συστηματική αξιολόγηση, επιλογή και αγορά προσαρμοσμένων ή τυποποιημένων κομματιών/εξαρτημάτων, έτσι ώστε να διατηρηθεί το κόστος χαμηλά και η ποιότητα ψηλά – Απευθείας Αγορά Υλικών (DMS-Direct Materials Sourcing). Η τεχνική μελέτη ανάπτυξης παίζει σημαντικό ρόλο στην πρώιμη αναζήτηση των υλικών, για την ανάπτυξη νέου προϊόντος όπως και για τη συνεχή βελτίωση υφιστάμενων προϊόντων. Αυτή η κατηγορία αφορά το πόσο καλά οι λύσεις ΔΚΖΠ υποστηρίζουν τη διαδικασία αγορών, με την αίτηση για την τρέχουσα τιμή (RFQ-Request for Quotation), την ανάλυση προσφορών, το μοίρασμα των σχεδίων και τη συνεργατική σχεδίαση. Στην περιοχή αυτή περιλαμβάνονται Διαχείριση Προμηθευτών και Αγορών, Διαχείριση Αλλαγών στο προϊόν και ενημέρωση των εμπλεκόμενων προμηθευτών.

Η ορθολογική εκτίμηση του καταμερισμού των πόρων σε έργα ανάπτυξης προϊόντος σε σύγκριση με τις προσδοκίες ρίσκου/απόδοσης του καθενός – Διαχείριση Χαρτοφυλακίου Προϊόντος (PPM-Product Portfolio Management). Μακροπρόθεσμη διαχείριση της επένδυσης πόρων, σε σχέση με στρατηγικούς στόχους υψηλού επιπέδου για τη διαχείριση γραμμής προϊόντος. Συμπεριλαμβάνονται η εκτίμηση υψηλά αβέβαιων στοιχημάτων σε νέες τεχνολογίες, ανάπτυξη μάρκας ή στρατηγικές κινήσεις, όπως συγχωνεύσεις και κοινοπραξίες. Στην περιοχή αυτή περιλαμβάνονται λειτουργίες, όπως η