

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ Σ. ΜΟΥΣΤΑΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΠΟΘΗΚΩΝ**

ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΚΟΤΖΙΑΠΑΣΙΗΣ ΧΡΙΣΤΟΣ Α.Μ. 9811145

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΒΑΣΙΛΗΣ Σ. ΜΟΥΣΤΑΚΗΣ, Καθηγητής
ΜΠΙΛΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Καθηγητής
ΖΑΜΠΕΤΑΚΗΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ Δρ. Μ.Π.Δ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΘΕΜΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΘΗΚΩΝ	7
2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	9
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
2.2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	10
2.2.1 Έρευνα αγοράς.....	11
2.2.2 Καθορισμός Προδιαγραφών Σχεδιασμού του Προϊόντος (ΚΠΣΠ).....	12
2.2.3 Διαδικασία Σχεδιασμού.....	13
2.2.3.1. Λειτουργικός Σχεδιασμός.....	13
2.2.3.2. Πρωταρχικός Σχεδιασμός.....	13
2.2.3.3. Λεπτομερής σχεδιασμός.....	15
2.2.3.4. Υλική υπόσταση στο σχεδιασμό.....	16
2.2.3.5. Ανάλυση.....	16
2.2.4 Κατασκευή.....	17
2.2.5 Διαφήμιση – Προώθηση πωλήσεων.....	18
2.3 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	19
2.3.1 Εργαλεία για προκαταρκτικό σχεδιασμό.....	20
2.3.2 Σχεδιασμός Με Χρήση H/Y.....	21
2.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	23
2.5 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	24
2.5.1 Λήψη αποφάσεων.....	24
2.5.1.1. Η αξιωματική προσέγγιση του σχεδιασμού στη λήψη αποφάσεων.....	25
2.6 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	27
2.6.1 Εισαγωγή στον παραμετρικό σχεδιασμό.....	27
2.6.2 Τεχνικές παραμετρικού σχεδιασμού.....	28
2.6.2.1. Εναλλακτικός προγραμματισμός με συμβολοσειρά κώδικα (μακροεντολές) ή διαδικαστική μοντελοποίηση.....	28
2.6.2.2. Κατασκευαστικός παραμετρικός σχεδιασμός.....	29
2.6.2.3. Εναλλακτική γεωμετρία, εναλλακτικός σχεδιασμός.....	29
2.6.2.4. Μεταβλητές βασισμένες σε κανόνες. Γεωμετρικός συλλογισμός από εξειδικευμένα συστήματα.....	29
2.6.2.5. Σχεδιασμός βασισμένος σε παραμετρικά χαρακτηριστικά.....	30
2.6.2.6. Επέκταση μοντέλου και στη συνέχεια αναθεώρηση (Extend Model and then Revise – EMR).....	30
2.6.2.7. Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση (Complete Model and then Revise – CMR).....	30
2.6.2.8. Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση – μέθοδος «Hill Climbing» (Complete Model and then Revise – Hill Climbing - CMR-HC).....	30
2.6.2.9. Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση – μέθοδος A* (Complete Model and then Revise A* - CMR A*).....	31
2.6.2.10. Σχεδιασμός βασισμένος σε μελέτες εφαρμογών (Case Based Design – CBD).....	31
3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	32
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	32
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	33
3.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	37
3.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	37
3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	43
3.5.1 ΔΟΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ (Στατικές / Δυναμικές, Ταλαντώσεων, Γραμμικές και Μη).....	43
3.5.2 Ρευστομηχανικές Αναλύσεις και Αναλύσεις Μετάδοσης Θερμότητας.....	45
Ενδεικτικές Εφαρμογές.....	45
3.5.3 Ηλεκτρομαγνητικές Αναλύσεις.....	48
Ενδεικτικές εφαρμογές.....	49
3.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	51
3.6.1 Φάση προ-επεξεργασίας (Preprocessing phase).....	51
3.6.1.1. Κατασκευή μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων.....	51
3.6.1.2. Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση) μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων.....	51

3.6.1.3.	Προσδιορισμός ιδιοτήτων των στοιχείων.....	52
3.6.1.4.	Εφαρμογή στο μοντέλο αρχικών και οριακών συνθηκών, φορτίων και περιορισμών.....	53
3.6.2	Φάση επίλυσης	55
3.6.3	Φάση μετεπεξεργασίας (Postprocessing phase)	55
3.6.4	. Καταγραφή και παρουσίαση αποτελεσμάτων	56
3.7	ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΑΚΕΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ F.E.A.....	58
4	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΘΗΚΩΝ.....	61
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	61
4.1.1	Μοντέλο διαδικασίας σχεδιασμού βιομηχανικής αποθήκης.....	66
4.1.2	Μοντέλο προσομοίωσης βιομηχανικής αποθήκης.....	68
4.2	Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	73
4.3	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	74
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η έρευνα στο χώρο της ακαδημαϊκής και της τεχνολογικής εξέλιξης, όσον αφορά στο σχεδιασμό και στη λειτουργία αποθηκών εμπορευμάτων.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια.

Το κεφάλαιο 1 αποτελεί μία σύντομη εισαγωγή στο θέμα του σχεδιασμού βιομηχανικών αποθηκών, αναφερόμενο κυρίως στα προβλήματα του σχεδιασμού και τις υπάρχουσες μεθόδους αντιμετώπισης του.

Το κεφάλαιο 2 αναφέρεται στον Παραμετρικό Σχεδιασμό και το ρόλο του στα πλαίσια του γενικότερου σχεδιασμού προϊόντων. Ο Παραμετρικός Σχεδιασμός αποτελεί τμήμα του σχεδιασμού προϊόντων (προϊόν θεωρείται και μια αποθήκη), ο οποίος υπάγεται στον ολοκληρωτικό σχεδιασμό και για το λόγο αυτό αναλύεται αρχικά ο ολοκληρωτικός σχεδιασμός. Στο Παραμετρικό Σχεδιασμό ή αλλιώς Μοντελοποίηση με τη βοήθεια H /Y CAD υπάγονται αλλά και αναλύονται οι τεχνικές παραμετρικού σχεδιασμού όπως Εναλλακτικός σχεδιασμός και δραστικές μέθοδοι.

Επίσης αναπτύσσονται μέθοδοι όπως Εναλλακτικός προγραμματισμός με εντολές ή διαδικαστική μοντελοποίηση, Κατασκευαστικός παραμετρικός σχεδιασμός, η Εναλλακτική γεωμετρία ή απλούστερα εναλλακτικός σχεδιασμός. Τις Μεταβλητές βασισμένες σε κανόνες. Το Γεωμετρικό συλλογισμό από εξειδικευμένα συστήματα, το σχεδιασμό βασισμένο σε παραμετρικά χαρακτηριστικά. Την Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση (Complete Model and then Revise – CMR), την Επέκταση μοντέλου και στη συνέχεια αναθεώρηση (Extend Model and then Revise – EMR), Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση – μέθοδος «Hill Climbing» (Complete Model and then Revise – Hill Climbing - CMR-HC, Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση – μέθοδος A* (Complete Model and then Revise A* - CMR A*), Σχεδιασμός βασισμένος σε μελέτες εφαρμογών (Case Based Design – CBD)

Ο ολοκληρωτικός σχεδιασμός ο οποίος αποτελείται από την έρευνα αγοράς της προδιαγραφής σχεδιασμού την κατασκευή την διαφήμιση μέχρι και την αγορά. Γίνεται αναφορά στα εργαλεία που χρησιμοποιούνται τη διαχείριση προγραμμάτων σχεδιασμού, και έτσι αναλύονται οι Μέθοδοι CPM (Critical Path Method = Μέθοδος Κρίσιμης Πορείας) και PERT (Program Evaluation and Review Technique = Τεχνική Αποτίμησης του Προγράμματος και Αναθεώρησης)

Για μία δεδομένη σχεδιαστική απαίτηση μπορεί να υπάρχουν πολλές πιθανές λύσεις και έτσι αναλύεται η βελτιστοποίηση με τεχνικές όπως οι παράγωγοι, οι πολλαπλασιαστές Lagrange και ο προγραμματισμός μέσο H/Y ,

Τέλος ο ολοκληρωτικός σχεδιασμός αποτελείται από την οργάνωση και διοίκηση του σχεδιασμού . Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται δύο που βρίσκονται σε ευρεία χρήση: η μέθοδος κρίσιμης πορείας (ΜΚΠ) και η τεχνική αξιολόγησης κι επανεξέτασης του προγράμματος (ΤΑΕΠ) και ολοκληρώνεται το κεφάλαιο αυτό με την ανάλυση της λήψης της τελικής απόφασης

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια εισαγωγή στην Αριθμητική Μοντελοποίηση με τις μεθόδους FDM και FEM. Επισημαίνεται η σημασία της μεθόδου στα πλαίσια του σχεδιασμού των βιομηχανικών αποθηκών, γίνεται μια ιστορική αναδρομή της μεθόδου και παρουσιάζονται οι εφαρμογές των Πεπερασμένων Στοιχείων για δομική ανάλυση των στοιχείων της αποθήκης (Στατικές / Δυναμικές, Ταλαντώσεων, Γραμμικές και Μη), Ρευστομηχανικές Αναλύσεις και Αναλύσεις Μετάδοσης Θερμότητας.

Στη συνέχεια γίνεται μια πιο λεπτομερής αναφορά στη διαδικασία της ανάλυσης συστημάτων με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων η οποία διακρίνεται στην φάση προ- επεξεργασίας την φάση επίλυσης την φάση μετά' επεξεργασίας καθώς και την καταγραφή και παρουσίαση αποτελεσμάτων και παρατίθενται ενδεικτικές εφαρμογές καθώς και διαθέσιμα λογισμικά εργαλεία πεπερασμένων στοιχείων."

Το κεφάλαιο 4 αναφέρεται στη μέθοδο Μοντελοποίησης και Προσομοίωσης της λειτουργίας βιομηχανικών αποθηκών. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού. όπως ο καθορισμός των παραγόντων που επη-

ρεάζουν το μέγεθος της αποθήκης, τους περιορισμούς των πηγών του εξοπλισμού τα διάφορα επιπρόσθετα δεδομένα που θα προέλθουν από παρατήρηση και τέλος τα Δεδομένα που θα προέλθουν από το σύστημα

Επίσης περιγράφεται ένα πλαίσιο μοντελοποίησης αποθήκης αποτελούμενο από της Οντότητες(λειτουργικά χαρακτηριστικά) της Τοποθεσίες (χωροταξία λειτουργικών συστημάτων της αποθήκης) και τέλος τις Πηγές (δυναμικό της αποθήκης)

Ακολουθεί η ανάλυση των βασικών κριτηρίων αξιολόγησης σχεδιαστικών αποφάσεων, κατά τη διάρκεια των εργασιών σχεδιασμού και προσομοίωσης του μοντέλου της αποθήκης. Και κλείνοντας γίνεται μια μικρή αναφορά της ανάγκης για ανάπτυξη τις μελλοντικές προεκτάσεις και τα συμπεράσματα που συγκεντρώνονται στα πλαίσια της εργασίας αυτής

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΘΕΜΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΘΗΚΩΝ

"Κάθε αποθήκη εμπορευμάτων έχει τις ιδιαίτερες ανάγκες της που πρέπει να αναλυθούν προκειμένου να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί συστήματα logistics, όπου επιτρέπουν τη μελέτη και διερεύνηση διαφόρων λύσεων, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση στην οργάνωση, χωροταξία και λειτουργία αποθηκευτικών χώρων.

Τα συστήματα αυτά, αποτελούμενα από εργαλεία software, τα οποία επιτρέπουν τον σχεδιασμό και την επίβλεψη της λειτουργίας μιας αποθήκης σε περιβάλλον προσομοίωσης, ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση της εκάστοτε κίνησης, πριν ακόμη επενδυθούν σημαντικά κεφάλαια για την υλοποίησή της. Κάτι τέτοιο επιτρέπει να γίνουν τυχόν διορθώσεις στη φάση του σχεδιασμού αποφεύγοντας δυσλειτουργίες και εργονομικά σφάλματα.

Τα εργαλεία software και τα συστήματα logistics βασίζονται τόσο σε εμπειριστατωμένη μεθοδολογία όσο και σε εμπειρικούς κανόνες εργονομίας.

Οι βιομηχανικές αποθήκες αποτελούν βασικό συστατικό στοιχείο της αλυσίδας εφοδιασμού. Ο ανταγωνισμός στην αγορά απαιτεί συνεχή βελτίωση στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των δικτύων παραγωγής και αποθήκευσης, τα οποία με τη σειρά τους απαιτούν υψηλές αποδόσεις από τις βιομηχανικές αποθήκες.

Αυτή η εργασία θα εστιάσει στα προβλήματα σχεδιασμού αποθηκών εμπορευμάτων, καθώς και σε προβλήματα προγραμματισμού λειτουργίας και αξιολόγηση απόδοσης, όπως έχουν μελετηθεί μέχρι σήμερα, σε επίπεδο ακαδημαϊκής έρευνας αλλά και στο χώρο των τεχνολογικών εφαρμογών.

Οι βασικές προϋποθέσεις σε διαδικασίες αποθηκών εμπορευμάτων είναι να παραληφθούν οι μονάδες φύλαξης αποθέματος (Stock Keeping Units - SKUs) από τους προμηθευτές, να αποθηκευτούν τα SKUs, να παραληφθούν οι παραγγελίες από τους πελάτες, να ανακτηθούν τα SKUs και να συγκεντρωθούν για την αποστολή, και να σταλούν οι ολοκληρωμένες παραγγελίες στους πελάτες.

Υπάρχουν πολλά ζητήματα που περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας αποθήκης εμπορευμάτων για να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις. Πρωτογενή στοιχεία, όπως το διάστημα, η εργασία, και ο εξοπλισμός, πρέπει να διατεθούν μεταξύ των διαφορετικών λειτουργιών αποθηκών εμπορευμάτων, και κάθε λειτουργία πρέπει να εφαρμοστεί προσεκτικά, να χρησιμοποιηθεί, και να συντονιστεί προκειμένου να επιτευχθούν οι απαιτήσεις συστημάτων από την άποψη της ικανότητας, της ρυθμό-απόδοσης, και της παροχής υπηρεσιών με το ελάχιστο δυνατό κόστος."

2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

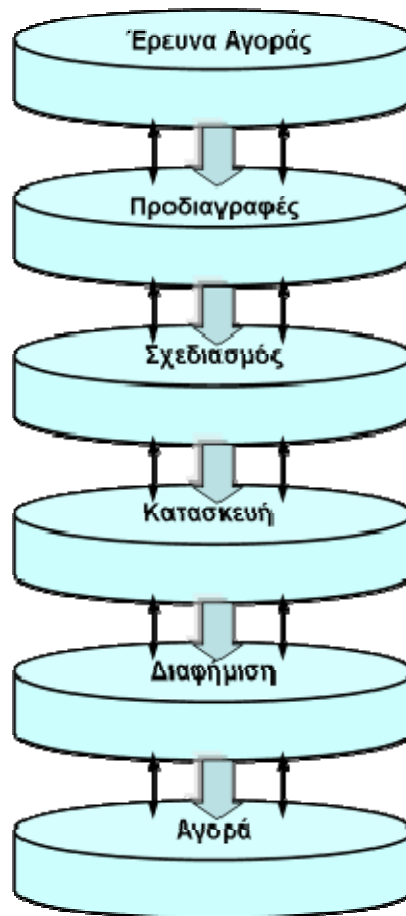
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ρόλος του σχεδιαστή είναι να δημιουργήσει ένα καινούριο προϊόν ή συσκευή. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει ενέργειες και διαδικασίες, όπως η έρευνα για τις ανάγκες της αγοράς, την εύρεση λύσεων για την κάλυψη των αναγκών, τον καθορισμό των προδιαγραφών του προϊόντος, τον λεπτομερή σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαφήμιση.

Οι παραδοσιακές τεχνικές σχεδιασμού δεν είναι πλέον αποτελεσματικές καθώς τα προϊόντα γίνονται όλο και περισσότερο εξεζητημένα, καθορισμένα από τον καταναλωτή και επηρεασμένα από τις κυβερνήσεις, ενώ ένας αυξανόμενος αριθμός από ιδέες προστατεύονται από διπλώματα ευρεσιτεχνίας, προλαμβάνοντας την οικονομική τους χρήση. Προϊόντα βασισμένα σε ιδέες που ξεκίνησαν «από λευκό χαρτί» πιθανώς δεν είναι ικανές να ανταγωνιστούν τις παγκόσμιες βιομηχανίες του σήμερα εκτός και αν οι δημιουργοί τους έχουν αναπτύξει την ανταγωνιστική τους επάρκεια σε τέτοιο επίπεδο ώστε να μπορούν να αναλάβουν ένα σχεδιασμό από τη σύλληψη του συστήματος μέχρι το λεπτομερές σχέδιο, τη διαφήμιση και τη κοστολόγηση.

Υπάρχει μια αξιοπρόσεκτη σχέση ανάμεσα στα ειδικά πεδία που καλύπτονται από τη μοντέρνα επιστήμη του μηχανικού. Σήμερα, οι απαιτήσεις σε θέματα ποιότητας από τους σχεδιαστές συμπεριλαμβάνουν τη λεπτομερή επιστημονική γνώση, τη λογική διαδικασία σκέψης, δημιουργικές και καινοτόμες ιδέες και ικανότητες επικοινωνίας. Τα παραδοσιακά μαθήματα της επιστήμης του μηχανικού όπως η Θερμοδυναμική, η Μετάδοση Θερμότητας και η Ρευστομηχανική, η Στατική και η Δυναμική, ικανοποιούν τις απαιτήσεις για αναλυτική τεχνική επιστημονική γνώση και ανάπτυξη λογικής διαδικασίας σκέψης. Επιπλέον, τα μαθήματα που περιλαμβάνουν διοίκηση και τεχνική επικοινωνία ικανοποιούν τις απαιτήσεις για οργάνωση και επικοινωνία. Οι απαιτήσεις που απομένουν πρέπει να ικανοποιηθούν με σπουδές στο σχεδιασμό και στην προσωπική επαγγελματική ανάπτυξη. Το τελευταίο απαιτεί ένα βαθμό προσωπικής καλλιέργειας και προσφοράς του περιβάλλοντος για ανάπτυξη δημιουργικών και καινοτόμων δεξιοτήτων. Αυτό υποβοηθείται από καλή γενική γνώση του τι έχει γίνει και τι είναι πιθανό και επιστημονικώς εφικτό να γίνει [1].

2.2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ



Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής του ολοκληρωτικού σχεδιασμού από τη έρευνα μέχρι και την αγορά του προϊόντος [1]

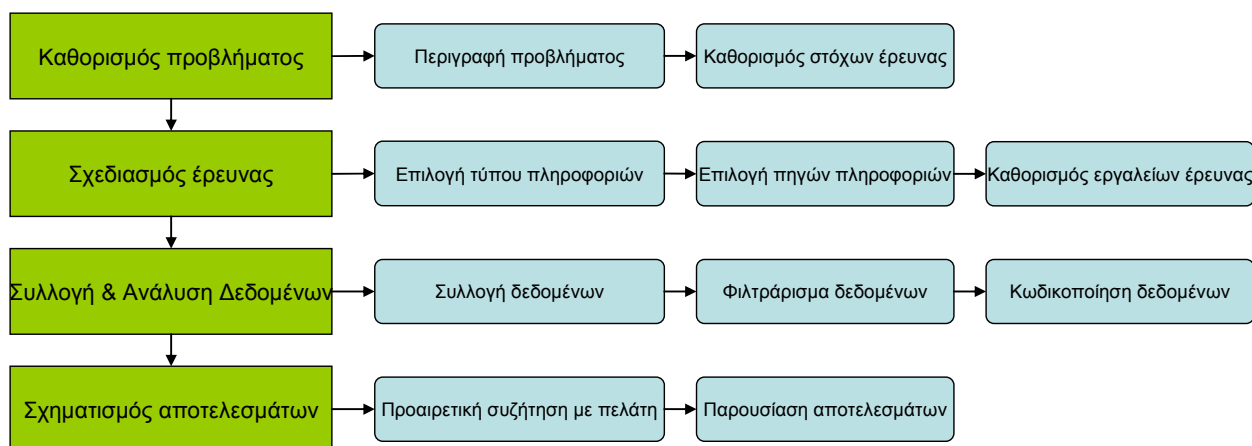
Ολοκληρωτικός σχεδιασμός ονομάζεται η οργανωμένη διαδικασία από την αναγνώριση των αναγκών της αγοράς μέχρι την πώληση των προϊόντων ή απλούστερα η διαδικασία για την ικανοποίηση της ανάγκης αυτής. Ο ολοκληρωτικός σχεδιασμός μπορεί να θεωρηθεί ως ένας κεντρικός πυρήνας εργασιών που αποτελείται από τις ανάγκες της αγοράς, το σχεδιασμό του προϊόντος και τις διαστάσεις του, το πρωταρχικός σχεδιασμό, τον αναλυτικό σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαφήμιση. Η διαδικασία του ολοκληρωτικού σχεδιασμού απαιτεί ένα συνολικό σύστημα που απαρτίζεται από μια λεπτομερή μελέτη όλων των συνιστώμενων μερών, με τη χρησιμοποίηση δεξιοτήτων διαφόρων επιστημονικών ειδικοτήσεων, από τη διαφήμιση μέχρι την ανάλυση συστημάτων και των επιμέρους στοιχείων τους. Η διαδικασία ολοκληρωτικού σχεδιασμού είναι επαναληπτική, με τις εργασίες να επαναλαμβάνονται μέχρι να γίνουν αποδεκτές ή να δημιουργηθούν οι βέλτιστες λύσεις [1].

2.2.1 Έρευνα αγοράς

Η έρευνα αγοράς είναι θεμελιώδης για τη διαδικασία του σχεδιασμού. Το εναρκτήριο σημείο για κάθε σχεδιασμό είναι ο προσδιορισμός της κατάστασης των αναγκών της αγοράς. Αυτές οι ανάγκες, όταν ικανοποιηθούν, θα επιτρέψουν σε ένα προϊόν ή σε μια υπηρεσία να προσφερθούν σε μια υπάρχουσα ή νέα αγορά [1].

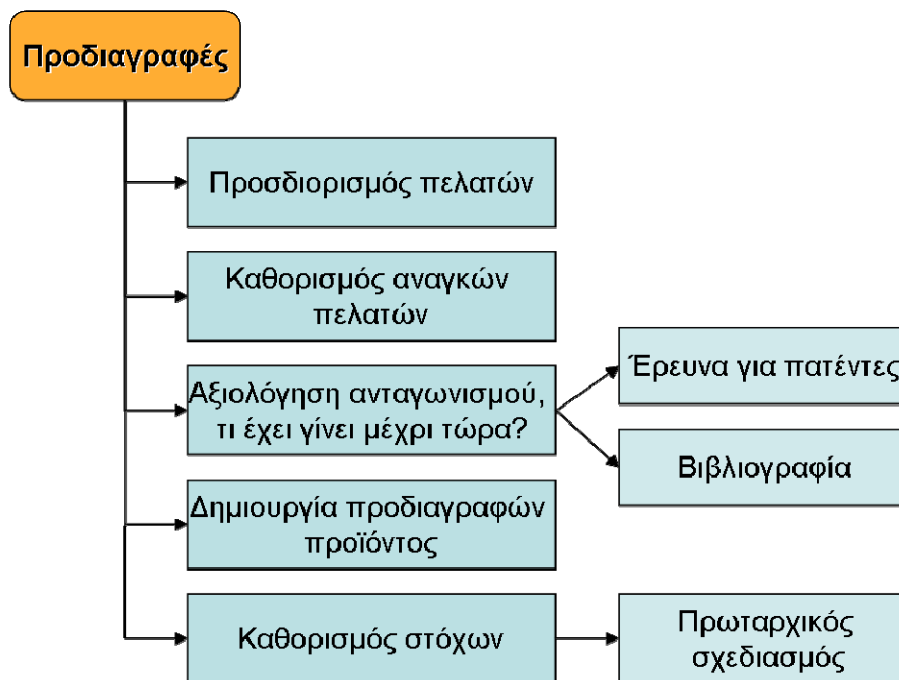
Η έρευνα αγοράς ξεκινάει με τον προσδιορισμό του προβλήματος και των στόχων που θα έχει η έρευνα. Στην προκειμένη περίπτωση, πρόβλημα είναι να καθοριστούν οι ανάγκες της αγοράς στην οποία θα προωθηθεί το προϊόν και στόχος να βγουν τα κατάλληλα συμπεράσματα ώστε ο σχεδιασμός του προϊόντος να καλύπτει τις ανάγκες που θα προκύψουν. Στη συνέχεια, σχεδιάζεται ο τρόπος με τον οποίο θα λάβει χώρα η έρευνα, επιλέγονται οι πηγές και ο τύπος των πληροφοριών που θα αξιοποιηθούν, ενώ καθορίζονται και τα εργαλεία έρευνας που θα χρησιμοποιηθούν. Έχοντας προετοιμάσει τα προηγούμενα, η έρευνα προχωρά στη συλλογή των πληροφοριών (με τη βοήθεια ή μη εξωτερικού εξειδικευμένου συνεργάτη), οι οποίες φιλτράρονται και κατόπιν κωδικοποιούνται. Ακολουθεί συζήτηση με τον πελάτη για τον καθορισμό των τελευταίων λεπτομερειών και τυχόν αποσαφήνιση αποριών και τέλος, τα δεδομένα παρουσιάζονται και αξιολογούνται [12].

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής αναπαρίσταται η διαδικασία της έρευνας αγοράς κατά το σχεδιασμό του προϊόντος:



Εικόνα 2: Διαδικασία έρευνας αγοράς από τον καθορισμό του προβλήματος έως και την παρουσίαση αποτελεσμάτων [12]

2.2.2 Καθορισμός Προδιαγραφών Σχεδιασμού του Προϊόντος (ΚΠΣΠ)

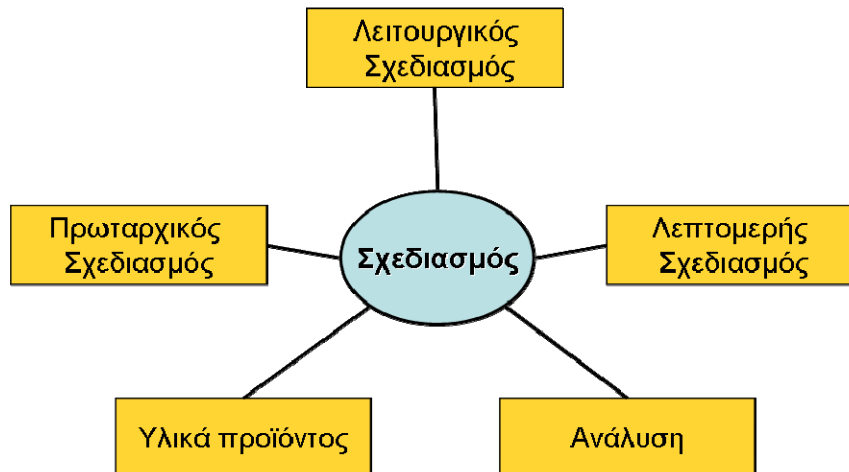


Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής καθορισμού προδιαγραφών [81]

Έχοντας καθορίσει τη γενική ανάγκη ή απαίτηση κι έχοντάς τη τεκμηριωμένη σε μια συνοπτική τεχνική έκθεση, πρέπει να προσδιοριστούν οι προδιαγραφές του προϊόντος που θα αναπτυχθεί. Αυτό ονομάζεται Καθορισμός Προδιαγραφών Σχεδιασμού του Προϊόντος (ΚΠΣΠ). Ο ΚΠΣΠ δρα σαν ελεγκτικός μηχανισμός για τη διαδικασία του ολοκληρωτικού σχεδιασμού. Το εναρκτήριο σημείο για αυτήν τη διαδικασία είναι η έρευνα αγοράς, ανάλυση του ανταγωνισμού και η έρευνα για βιβλιογραφία και πατέντες.

Ο ΚΠΣΠ είναι δυναμικός. Είναι δηλαδή εφικτό, αν παραστεί ανάγκη, να αλλάξει ο βασικός ΚΠΣΠ ανάλογα με τις νέες προδιαγραφές που θα προκύψουν. Θα πρέπει, να σημειωθεί, ότι ο ΚΠΣΠ μπορεί να αποτελέσει τμήμα των συμβατικών υποχρεώσεων και οι νομικές επιπτώσεις θα πρέπει να αναφερθούν [1].

2.2.3 Διαδικασία Σχεδιασμού



Εικόνα 4: Διαδικασία σχεδιασμού [81]

2.2.3.1. *Λειτουργικός Σχεδιασμός*

Στο λειτουργικό σχεδιασμό παρουσιάζονται οι γενικές λειτουργίες του προϊόντος καθώς και οι αρχικές ιδέες για τη μορφή του προϊόντος σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

2.2.3.2. *Πρωταρχικός Σχεδιασμός*

Ο πρωταρχικός σχεδιασμός είναι η δημιουργία λύσεων που θα αντεπεξέλθουν στις προσδιορισμένες απαιτήσεις. Μπορεί να αναπαραστήσει το σύνολο όλων των υποσυστημάτων και των συστατικών μερών που συνθέτουν ολόκληρο το σύστημα.

Είναι σημαντικό να δημιουργούνται όσο το δυνατόν περισσότερες ιδέες που να είναι ταυτόχρονα και οικονομικά επωφελείς. Οι ιδέες είναι περισσότερο αποτελεσματικές όταν τα μέλη της σχεδιαστικής ομάδας δουλεύουν, αρχικά, ατομικά και στη συνέχεια βρίσκονται όλοι μαζί για να αξιολογήσουν τη συλλογική ιδέα. Αφού πρώτα διευκρινιστούν τα δυνατά σημεία και οι αδυναμίες της κάθε ιδέας στη συνέχεια επιλέγεται μία από αυτές και εξελίσσεται περαιτέρω. Μπορεί επίσης να γίνει συνδυασμός των δυνατών σημείων των διαφόρων ιδεών ή επανάληψη της διαδικασίας ώστε να παραχθούν νέες ιδέες. Διάφορες τεχνικές χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπάρχουν όσο το δυνατόν περισσότερες εναλλακτικές προτάσεις. Αυτές περιλαμβάνουν μετακίνηση των ορίων λειτουργίας και χρήσης του προϊόντος και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, προβληματισμούς και δημιουργική ενάργεια, συσχετισμούς με ήδη υπάρχοντα προϊόντα, δημιουργία κι έλεγχο δένδρων

λειτουργιών και μορφολογικές αναλύσεις. Χρησιμοποιούνται επίσης και διάφορα εργαλεία λογισμικού για να αξιολογηθούν οι προτάσεις, συγκρίνοντας τα στοιχεία με μια βάση δεδομένων.

Η μετακίνηση των ορίων λειτουργίας και χρήσης του προϊόντος περιλαμβάνει την αξιολόγηση των περιορισμών που υπαγορεύθηκαν από τον ΚΠΣΠ για το αν είναι απαραίτητοι. Ο προβληματισμός περιλαμβάνει τη συνάντηση μιας πολυδιάστατης ομάδας για να βρουν λύσεις για ένα δεδομένο πρόβλημα. Η δημιουργική ενέργεια είναι μια εξεζητημένη μορφή προβληματισμού προσανατολισμένη στο να διεγείρει τη διαδικασία της σκέψης. Ο πρωταρχικός σχεδιασμός με αναλογία περιλαμβάνει τη αναζήτηση λύσεων από παρόμοια προβλήματα. Το δένδρο λειτουργιών περιλαμβάνει την ανάλυση των λειτουργιών ενός προϊόντος σε διάφορες υπολειτουργίες. Χρησιμοποιώντας το δένδρο λειτουργιών, ο πρωταρχικός σχεδιασμός λαμβάνει χώρα στο επίπεδο των υποσυστημάτων ή των συστατικών μερών.

Έχοντας καθορίζει τις σχεδιαστικές ιδέες, το επόμενο βήμα είναι η αξιολόγηση και η επιλογή της καλύτερης από αυτές. Μία μέθοδος αξιολόγησης είναι η χρήση απεικονίσεων σε πίνακα. Αυτή η μέθοδος παρέχει μια δομημένη τεχνική αξιολόγησης και καθιστά δύσκολη τη προώθηση ατομικών ιδεών, με παράλογες αιτιολογίες, μεταξύ των μελών μιας σχεδιαστικής ομάδας. Στο παρακάτω πίνακα αναπαρίσταται ένα παράδειγμα ενός πίνακα επιλογών:

	Κριτήριο a	Κριτήριο b	Κριτήριο c	Σύνολο
	Συντελεστής x	Συντελεστής y	Συντελεστής z	
Λύση Α	$A_1 \times x$	$A_2 \times y$	$A_3 \times z$	$(A_1 \times x) + (A_2 \times y) + (A_3 \times z)$
Λύση Β	$B_1 \times x$	$B_2 \times y$	$B_3 \times z$	$(B_1 \times x) + (B_2 \times y) + (B_3 \times z)$
Λύση C	$C_1 \times x$	$C_2 \times y$	$C_3 \times z$	$(C_1 \times x) + (C_2 \times y) + (C_3 \times z)$

Πίνακας 1: Πίνακας επιλογών προς αξιολόγηση λύσεων [19]

Κάθε λύση (A, B, C) βαθμολογείται με ένα βαθμό (A_1, B_1 κ.ο.κ.) στα αντίστοιχα κριτήρια αξιολόγησης (a, b, c). Τα κριτήρια αξιολόγησης έχουν έναν ορισμένο συντελεστή βαρύτητας (x,y,z). Ο βαθμός κάθε λύσης ανά κριτήριο πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή βαρύτητας, Ο τελικός βαθμός κάθε λύσης υπολογίζεται από το άθροισμα των γινομένων των βαθμών αξιολόγησης με τους

συντελεστές βαρύτητας, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Η λύση με την υψηλότερη συνολική βαθμολογία επιλέγεται.

Στη συνέχεια, ύστερα από τη δημιουργία των θεμελιωδών λύσεων, το επόμενο βήμα είναι η παρουσίασή τους ώστε να είναι αναγνωρίσιμες από όλους όσους συνδέονται με τη διαδικασία του ολοκληρωτικού σχεδιασμού. Μέχρι τη στιγμή που το γενικό πλάνο έχει ολοκληρωθεί και έχουν οριστικοποιηθεί οι υπολογισμοί που ελέγχουν και προσδιορίζουν τη συμβατότητα της λύσης με το ΚΠΣΠ, θα έχει δημιουργηθεί η βάση για να αρχίσει η διαδικασία του λεπτομερούς σχεδιασμού.

2.2.3.3. Λεπτομερής σχεδιασμός

Ο θεμελιώδης σχεδιασμός ασχολείται με το να βρει τις λύσεις που θα ανταποκρίνονται στον ΚΠΣΠ. Στην πράξη, τα στάδια του σχεδιασμού είναι επαναληπτικά και συμμετοχικά. Οι φάσεις σχεδιασμού δεν είναι απολύτως διακριτές και τρέχουν η μία μέσα στην άλλη και καλύπτονται. η μια από την άλλη. Ο λεπτομερής σχεδιασμός ασχολείται με τον τεχνικό σχεδιασμό των υποσυστημάτων, των συστατικών μερών που απαρτίζουν την ιδέα και της παραγωγής του γενικού συστήματος και περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της διάταξης, του σχήματος, των διαστάσεων, των ανοχών και των τελειωμάτων της επιφάνειας, των υλικών καθώς και των διεργασιών παραγωγής των εξαρτημάτων. Ο λεπτομερής σχεδιασμός μπορεί επίσης, να περιλαμβάνει το διαχωρισμό ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας σε υποσυστήματα, τις συναρμολογήσεις μονάδων και των εξαρτημάτων των μερών, ανάλυση, πιστοποίηση και βελτιστοποίηση της ιδέας και των μερών που την αποτελούν, σχεδιασμό κι επιλογή των συστατικών μερών, τη δημιουργία πρωτοτύπων και τεστ αξιολόγησης και προετοιμασίας των κατασκευαστικών πληροφοριών όπως σχέδια, υπολογιστικά μοντέλα καθώς και τη διαδικασία επεξεργασίας του προϊόντος.

Ο λεπτομερής σχεδιασμός απαιτεί γνώση των υλικών, τεχνικές ανάλυσης, όγκου παραγωγής, πρόβλεψης διάρκειας ζωής, αισθητικής εμφάνισης κλπ. Η κύρια έμφαση στον επιμέρους σχεδιασμό των εξαρτημάτων δίνεται στις αναγκαίες προδιαγραφές που οφείλουν να πληρούν λαμβάνοντας υπό όψη το περιβάλλον λειτουργίας του εξαρτήματος και τους περιορισμούς που συνεπάγονται.

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ενός εξαρτήματος, το γενικότερο περιβάλλον λειτουργίας του εξαρτήματος είναι ουσιώδες ως προς το σχεδιασμό του. Το περιβάλλον αυτό μπορεί να οριστεί ή να οριστεί σε ποσότητες (ποσοτικοποίηση) από τις προδιαγραφές του προϊόντος.

Η φάση του λεπτομερούς σχεδιασμού εξαρτάται άμεσα από τη φάση της κατασκευής καθώς οι αποφάσεις που παίρνονται έχουν άμεση επίπτωση στη διαδικασία της κατασκευής.

2.2.3.4. Υλική υπόσταση στο σχεδιασμό

Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, από το αποτέλεσμα του πρωταρχικού σχεδιασμού προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά για μία αξιόπιστη δομή, που θα περιλαμβάνει έναν αριθμό εξαρτημάτων, με τα συστατικά στοιχεία τους και τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

Η διαδικασία της επιλογής των υλικών λαμβάνει χώρα σε όλη τη διάρκεια και σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού. Τέσσερα βασικά βήματα πρέπει να ληφθούν υπό όψη κατά τη διάρκεια της επιλογής υλικών για το προϊόν:

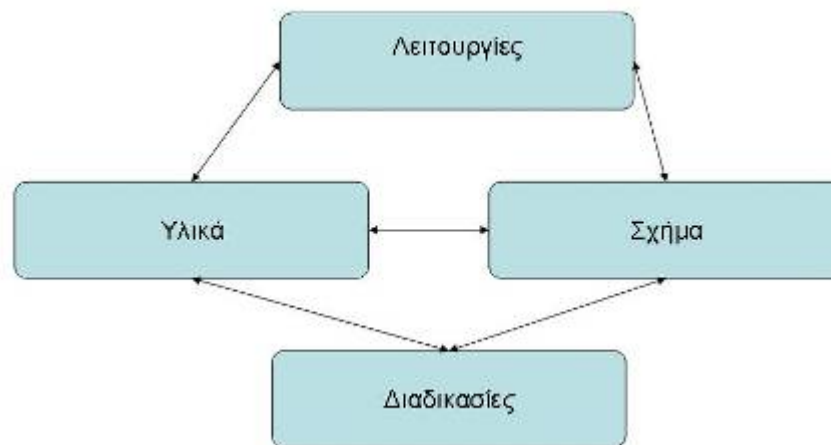
- Ερμηνεία: Προσδιορισμός απαιτήσεων σχεδιασμού, όπως οι περιορισμοί και οι στόχοι του σχεδιασμού
- Διαχωρισμός: Στην ουσία ένα «φιλτράρισμα» μεταξύ των υλικών που μπορούν ή όχι να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις Κύριος χρόνος αποστολής παραγγελίας
- Κατάταξη: Προσδιορισμός των υλικών που εξυπηρετούν καλύτερα τις σχεδιαστικές απαιτήσεις
- Πρόσθετες πληροφορίες: Αναζήτηση πιστοποιημένων εφαρμογών για τα καλύτερα «υποψήφια» υλικά [18]

Η φύση και η ακρίβεια των δεδομένων που χρειάζονται στις πρώτες φάσεις του σχεδιασμού διαφέρουν από τις φάσεις που ακολουθούν. Σημαντικό ρόλο επίσης στην επιλογή του υλικού παίζει και το σχήμα του προϊόντος. Γενικά οι λειτουργίες του προϊόντος καθορίζουν τόσο το σχήμα του όσο και το υλικό από το οποίο θα κατασκευαστεί. Η όλη διαδικασία επηρεάζεται από το υλικό μέσο της ικανότητας του να διαμορφώνεται, να κατεργάζεται, να έπεται συγκόλλησης καθώς και από τη θερμική του συμπεριφορά. Παρακάτω παρουσιάζεται το κεντρικό πρόβλημα στην επιλογή των υλικών στο μηχανολογικό σχεδιασμό: η αλληλεπίδραση μεταξύ του σχήματος, των λειτουργιών του προϊόντος, των διαδικασιών κατασκευής και των υλικών [13].

2.2.3.5. Ανάλυση

Κατά τη διαδικασία της ανάλυσης, εξετάζονται τα αποτελέσματα του σχεδιασμού σύμφωνα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του προϊόντος [3]. Καθορίζονται τα φορτία(δομικά, θερμικά κ.α.) που

θα φέρει το προϊόν κατά τη διάρκεια λειτουργίας και στη συνέχεια εξετάζεται αν ο σχεδιασμός εξασφαλίζει αντοχή και ασφάλεια. Εξετάζεται, επίσης, η συμπεριφορά του προϊόντος κάτω από διαφορετικές συνθήκες και βγαίνουν χρήσιμα συμπεράσματα. Σκοπός της ανάλυσης είναι να εντοπιστούν τα σημεία εκείνα στα οποία ο σχεδιασμός πρέπει να βελτιωθεί ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές λειτουργίας του προϊόντος. Ευρεία χρήση στην ανάλυση έχουν διάφορες υπολογιστικές μέθοδοι, οι οποίες σε μορφή εξειδικευμένων προγραμμάτων λογισμικού εξασφαλίζουν στο σχεδιαστή όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται.



Εικόνα 5: Αλληλεπίδραση μεταξύ του σχήματος, των λειτουργιών, των διαδικασιών κατασκευής και των υλικών κατασκευής του προϊόντος [13]

2.2.4 Κατασκευή

Οι κατασκευαστικές μελέτες πρέπει να ληφθούν υπόψη σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού, από την έρευνα αγοράς μέχρι και τον προσδιορισμό των προδιαγραφών, τον θεμελιώδη σχεδιασμό και τον λεπτομερή σχεδιασμό. Η φάση των προδιαγραφών έχει ξεχωριστές επιπτώσεις στους κατασκευαστικούς τομείς όπως είναι η ποιότητα και η αξιοπιστία, το βάρος, το τελείωμα, η ποσότητα, το κόστος και το μέγεθος. Πρέπει να υπάρχουν υλικά διαθέσιμα για το σχεδιασμό και την κατασκευή και η συναρμολόγηση να είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή. Η μοντέρνα προσέγγιση στην επιλογή των υλικών πρέπει να περιλαμβάνει μελέτη των μετάλλων, των πολυμερών, των κεραμικών και των σύνθετων υλικών για κάθε εξάρτημα.

Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές για τη μελέτη της κατασκευής μέσω της διαδικασίας του σχεδιασμού, όπως ο Σχεδιασμός Για Κατασκευή (ΣΓΚ), ο Σχεδιασμός Για Συναρμολόγηση (ΣΓΣ) και η ταυτόχρονη μηχανική.

Οι κυριότεροι στόχοι του ΣΓΚ είναι να ελαχιστοποιήσει το κόστος των εξαρτημάτων και της συναρμολόγησης καθώς και τους κύκλους ανάπτυξης και να καταστήσει ικανή την ανάπτυξη προϊόντων υψηλότερης ποιότητας. Ο ΣΓΚ έχει δύο κύρια συστατικά: το ΣΓΣ και το Σχεδιασμό Για Παραγωγή (ΣΓΠ). Η ουσία του ΣΓΣ είναι η επιλογή της διαδικασίας συναρμολόγησης, για παράδειγμα χειροκίνητη, με υψηλή ταχύτητα ή συναρμολόγηση με ρομπότ και τον επακόλουθο σχεδιασμό του προϊόντος για την επιλεγμένη διαδικασία συναρμολόγησης. Ο ΣΓΠ ασχολείται με την παραγωγή των επιμέρους κομματιών. Πολλά προϊόντα υπόκεινται σε μείωση του κόστους σε κάποιο στάδιο αργότερα στην εμπορική τους ζωή. Ένας στόχος κλειδί για το ΣΓΚ είναι να θέσει σε σωστή βάση από την αρχή το κόστος και την ποιότητα κατασκευής.

Υπάρχουν εταιρίες που δημιουργούν εξειδικευμένες ομάδες σχεδιασμού και κατασκευής κάθε φορά που ξεκινάει ένα νέο έργο. Η ταυτόχρονη μηχανική είναι μια συστηματική προσέγγιση σε ταυτόχρονες διαδικασίες σχεδιασμού και ανάπτυξης και των δύο συστατικών μεθόδων με τις συνεργαζόμενες διαδικασίες όπως κατασκευή και έλεγχος [1].

2.2.5 Διαφήμιση – Προώθηση πωλήσεων

Κυρίαρχο ρόλο παίζει στο σχεδιασμό η διαφήμιση. Κατά τη διάρκεια της φάσης της διαφήμισης και της προώθησης των πωλήσεων στη διαδικασία του σχεδιασμού, το προϊόν διοχετεύεται στην αγορά. Η προώθηση των πωλήσεων περιλαμβάνει διαφήμιση, παρουσίαση, υπηρεσίες επισκευής και συντήρησης [1].

Η έννοια της διαφήμισης ενός προϊόντος απαντά τέσσερις στρατηγικές ερωτήσεις:

- Τι προϊόντα θα προσφερθούν στον πελάτη (πχ. το εύρος και το βάθος της γραμμής παραγωγής);
- Ποιοι θα είναι οι καταναλωτές - στόχος (πχ. τα τμήματα της αγοράς που θα εξυπηρετηθούν);
- Πώς θα φτάσουν τα προϊόντα στον καταναλωτή (πχ. ποια κανάλια μεταφοράς θα χρησιμοποιηθούν);
- Γιατί οι καταναλωτές θα προτιμήσουν τα προϊόντα μιας εταιρίας εν συγκρίσει μιας άλλης ανταγωνιστικής (πχ. ποιο ξεχωριστό χαρακτηριστικό προσφέρει η εταιρία) [14];

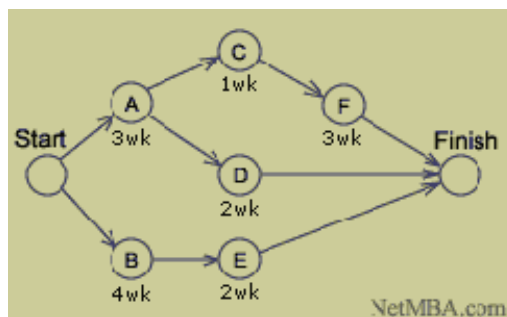
2.3 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η ανάγκη για ανταγωνιστικά προϊόντα και η ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων με πολλαπλές απαιτήσεις προϋποθέτουν ότι τα προϊόντα θα βελτιστοποιηθούν. Δύο μέθοδοι είναι σήμερα σε ευρεία χρήση όσον αφορά τη διαχείριση προγραμμάτων σχεδιασμού, οι CPM (Critical Path Method = Μέθοδος Κρίσιμης Πορείας) και PERT (Program Evaluation and Review Technique = Τεχνική Αποτίμησης του Προγράμματος και Αναθεώρησης).

Η μέθοδος CPM αναπτύχθηκε το 1957 για προγράμματα που αποτελούνται από ανεξάρτητες «δραστηριότητες». Εάν οι δραστηριότητες αυτές απαιτούν άλλες δραστηριότητες να έχουν ολοκληρωθεί για να αρχίσουν, τότε το πρόγραμμα γίνεται περίπλοκο. Με τη μέθοδο CPM:

- Είναι δυνατόν να καθοριστεί ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου
- Δίνεται μια γραφική άποψη του έργου
- Είναι δυνατόν να διακριθούν ποιες δραστηριότητες είναι κρίσιμες για να ολοκληρωθεί το έργο, με την έννοια ότι αν οι παραπάνω δραστηριότητες δεν ολοκληρωθούν έγκαιρα, το έργο θα καθυστερήσει [10].

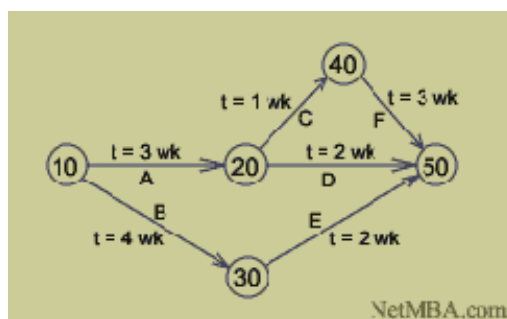
Η μέθοδος CPM μοντελοποιεί τις δραστηριότητες και τα γεγονότα σε ένα δίκτυο. Σε ένα έργο, μια δραστηριότητα είναι μια «αποστολή» που πρέπει να ολοκληρωθεί και το γεγονός είναι ένα ορόσημο που σηματοδοτεί την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας. Οι δραστηριότητες εμφανίζονται ως κόμβοι στο δίκτυο και τα γεγονότα που τονίζουν την έναρξη και το πέρας των δραστηριοτήτων απεικονίζονται σαν βέλη ή γραμμές μεταξύ των κόμβων. Ακολουθεί ένα παράδειγμα δικτύου CPM [9]:



Εικόνα 6: Παράδειγμα δικτύου CPM [9]

Η τεχνική PERT είναι ένα δικτυακό μοντέλο που επιτρέπει τυχαία αποπεράτωση των δραστηριοτήτων του προγράμματος. Αναπτύχθηκε στα τέλη του 1950 για το πρόγραμμα Polaris του Αμερικάνικου Πολεμικού Ναυτικού. Σκοπός του μοντέλου PERT είναι να μειώσει το χρόνο και το κόστος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένα πρόγραμμα.

Στα διαγράμματα PERT γενικά τα ορόσημα παίρνουν αριθμούς έτσι ώστε ο αρχικός κόμβος μιας δραστηριότητας να έχει μικρότερο αριθμό από τον τελευταίο. Αυξάνοντας τους αριθμούς ανά 10 επιτρέπεται σε νέες δραστηριότητες να προστεθούν στο διάγραμμα χωρίς να αλλάζει η δομή του διαγράμματος. Ακολουθώς παρατίθεται ένα πολύ απλό παράδειγμα διαγράμματος PERT:



Εικόνα 7: Παράδειγμα Δικτύου PERT [11]

Οι δραστηριότητες στο παραπάνω διάγραμμα έχουν γράμματα ανάλογα με το πότε αναμένεται να ολοκληρωθεί η δραστηριότητα.[11]

2.3.1 Εργαλεία για προκαταρκτικό σχεδιασμό

- Τα **εξειδικευμένα συστήματα** είναι υπολογιστικά προγράμματα που βασίζονται σε γνωστικά δεδομένα κι επιλύουν συγκεκριμένα προβλήματα.
- Η προσέγγιση **Top - Down** στο σχεδιασμό (από την κορυφή προς τα κάτω) προτιμάται από τους περισσότερους σχεδιαστές για τον αρχικό σχεδιασμό, μιας και ο σχεδιασμός της συναρμολόγησης ξεκινά στα υψηλότερα επίπεδα του σχεδιαστικού δένδρου διαγράμματος.
- Ο **σχεδιασμός** της συναρμολόγησης **με βάση τις λειτουργίες** στα ανώτερα κλιμάκια του καταμερισμού λειτουργιών ανάλογα με τη σπουδαιότητα, λαμβάνει χώρα σταθμίζοντας την προσδοκώμενη λειτουργία με την πραγματική συμπεριφορά των εξαρτημάτων.

- **Διαγράμματα Bond:** Η κεντρική ιδέα πίσω από τα διαγράμματα Bond είναι η χρήση της έννοιας της ενέργειας σαν βασικό στοιχείο ανάλυσης της φυσικής διαδικασίας. Η ροή ενέργειας μοντελοποιείται μέσω ενός εργαλείου μοντελοποίησης και το διάγραμμα Bond, που σχηματίζεται από τα επιμέρους μέρη του προϊόντος, τοποθετείται στα σημεία εναλλαγής ενέργειας.

2.3.2 Σχεδιασμός Με Χρήση Η /Υ

Ο σχεδιασμός με χρήση Η /Υ είναι η διαδικασία επίλυσης προβλημάτων χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η διαδικασία περιλαμβάνει ανάλυση του σχεδίου, ανάλυση και αξιοποίηση των πληροφοριών που σχετίζονται με το σχεδιασμό, δημιουργία σχεδιαστικών ιδεών και δημιουργία και εκμετάλλευση γεωμετρικών σχημάτων ή στερεών μοντέλων. Υπάρχουν πολλοί τύποι υπολογιστικών εργαλείων που βοηθούν το σχεδιασμό, καθένα με συγκεκριμένες ικανότητες και περιορισμούς που το καθιστούν ικανό σε συγκεκριμένες φάσεις ή τεχνικές της διαδικασίας του σχεδιασμού. Τα σημερινά σχεδιαστικά πακέτα είναι βασικά, εργαλεία αξιολόγησης και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις φάσεις της σχεδιαστικής διαδικασίας λόγω περιορισμών του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Τα εργαλεία λογισμικού μπορούν να χωριστούν σε 4 κατηγορίες:

- Εργαλεία ανάλυσης γενικής χρήσεως
- Εργαλεία ανάλυσης ειδικής χρήσεως
- Εργαλεία σχεδιασμού / Νοερής απεικόνισης (οπτικοποίηση)
- Εξειδικευμένα συστήματα

Τα εργαλεία ανάλυσης γενικού σκοπού είναι σαν επεξεργαστές μαθηματικών όρων που επιτρέπουν υπολογισμούς από οτιδήποτε μπορεί να μοντελοποιηθεί μέσω απλών εξισώσεων. Ο πιο κοινός τύπος εργαλείων ανάλυσης είναι το υπολογιστικό φύλλο – ένα πολυδιάστατο πλέγμα που χρησιμοποιείται για συλλογή και υπολογισμό στοιχείων. Τα προγράμματα επίλυσης αριθμητικών εξισώσεων επιτρέπουν λύσεις πολύ πιο πολύπλοκων εξισώσεων από τα υπολογιστικά φύλλα.

Τα εργαλεία ανάλυσης ειδικού σκοπού περιλαμβάνουν εργαλεία ανάλυσης τάσεων και παραμορφώσεων, κινηματικής και δυναμικής ανάλυσης καθώς και εργαλεία ροϊκής και θερμικής ανάλυσης.

Αυτά τα προγράμματα μετατρέπουν την επιφάνεια σε ένα πλέγμα, δίχτυ ή μια σειρά στοιχείων και λύνουν την κατάλληλη ομάδα εξισώσεων με προσεγγιστικές αριθμητικές μεθόδους. Τέτοια εμπορικά εργαλεία είναι το ANSYS, LUSAS, CFD 2000, FLOW3D, STAR-CD και FLUENT.

Τα υπολογιστικά σχεδιαστικά πακέτα αποτελούν πλέον καθιερωμένα εργαλεία για τους περισσότερους μηχανικούς. Ο σχεδιασμός CAD και τα εργαλεία νοερής απεικόνισης ενισχύουν τη διαδικασία του σχεδιασμού με το να βοηθούν στην νοερή απεικόνιση του σχεδίου, στην οργάνωση των δεδομένων, στην επικοινωνία, στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και την κατασκευή. Το πιο διαδεδομένο λογισμικό CAD σήμερα είναι το AutoCAD της Autodesk που προσφέρει ένα πολύ φιλικό κι εύχρηστο περιβάλλον εργασίας, ενώ προσφέρει μια σειρά υπολογιστικών λύσεων καθιστώντας περιττή τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών προγραμμάτων.

Ένα εξειδικευμένο σύστημα είναι μια ομάδα κανόνων, που λέγεται βάση κανόνων, και μια μηχανή συμπερασμάτων, η οποία αφού επεξεργάζεται τις συνθήκες, επανεξετάζει τους κανόνες ανάλογα με τις συνθήκες και εμφανίζει μια λύση. Αυτά τα εξειδικευμένα συστήματα μπορούν να προγραμματιστούν με γλώσσες όπως η Prolog και η Lisp. Χρησιμοποιούνται επικουρικά στη ρύθμιση πολύπλοκων σχεδιασμών δικτύων, στον υπολογισμό του κόστους και στο σχεδιασμό και διοίκηση του project.

2.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Για μία δεδομένη σχεδιαστική απαίτηση μπορεί να υπάρχουν πολλές πιθανές λύσεις. Το αντικείμενο του σχεδιασμού είναι να αντισταθμιστούν οι «συγκρουόμενες» απαιτήσεις με τους περιορισμούς. Η διαδικασία προσδιορισμού της καλύτερης λύσης ονομάζεται βελτιστοποίηση. Διαφορετικά, ως βελτιστοποίηση ορίζεται η προσαρμογή των ιδιοτήτων του προϊόντος στις απαιτήσεις του καταναλωτή, λαμβάνοντας συγχρόνως υπό όψη τα συμφέροντα του κατασκευαστή [15].

Υπάρχουν πολλές τεχνικές διαθέσιμες στο μηχανικό, όπως η παράγωγοι, οι πολλαπλασιαστές Lagrange και ο προγραμματισμός μέσο H/Y .

Στους πολλαπλασιαστές Lagrange οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι «Hill Climbing», «Simulated annealing», γενετικοί αλγόριθμοι, διαφορική εξέλιξη κ.α.

Στα πλαίσια του προγραμματισμού μέσο H/Y συναντούμε διάφορες τεχνικές, όπως ο γραμμικός προγραμματισμός, ο κβαντικός προγραμματισμός, ο μη-γραμμικός προγραμματισμός, ο δυναμικός προγραμματισμός κ.α. [16].

Τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσεται ένα εξειδικευμένο πεδίο βελτιστοποίησης σχεδιασμού με τον όρο «Βελτιστοποίηση Πολύ-πειθαρχικού Σχεδιασμού» (Multidisciplinary Design Optimization = MDO). Ο MDO επιτρέπει στους σχεδιαστές να συνδυάζουν όλες τις πειθαρχίες (disciplines) συγχρόνως. Το πλεονέκτημα της MDO είναι ότι μέσω της ταυτόχρονης επεξεργασίας των πειθαρχιών (disciplines), ο σχεδιαστής μπορεί να εκμεταλλευθεί την αλληλεπίδραση μεταξύ τους και να πάρει το βέλτιστο αποτέλεσμα. Τα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η MDO επιλύονται μέσω βαθμιδωτών αλγορίθμων, αλγορίθμων βασισμένων στο πληθυσμό (population-based algorithms) κ.α. Τα απλούστερα προβλήματα επιλύονται μέσω γραμμικού προγραμματισμού [17].

2.5 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η οργάνωση και η διοίκηση των προγραμμάτων σχεδιασμού είναι πολύ σημαντική. Έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι για αποτελεσματική διοίκηση. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται δύο που βρίσκονται σε ευρεία χρήση: η μέθοδος κρίσιμης πορείας (ΜΚΠ) και η τεχνική αξιολόγησης κι επανεξέτασης του προγράμματος (ΤΑΕΠ). Η βασική θεωρία και όροι που χρησιμοποιούνται στις δύο μεθόδους είναι παρόμοιες. Τα γενικά χαρακτηριστικά ενός προγράμματος ΜΚΠ ή ΤΑΕΠ είναι:

- Υπάρχουν ξεκαθαρισμένες δραστηριότητες που όταν ολοκληρωθούν θα έχουν σαν αποτέλεσμα την ολοκλήρωση του προγράμματος.
- Αφού ξεκινήσει, η δραστηριότητα συνεχίζει χωρίς διακοπή.
- Οι δραστηριότητες είναι ανεξάρτητες.
- Οι δραστηριότητες καθορίζονται και ακολουθούν η μια την άλλη με συγκεκριμένο τρόπο.

Η ΜΚΠ χρησιμοποιείται, γενικά, όταν τα χρονοδιαγράμματα των δραστηριοτήτων είναι προβλέψιμα και η ΤΑΕΠ όταν η διάρκεια των δραστηριοτήτων είναι αβέβαιη, όπως στα προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης.

2.5.1 Λήψη αποφάσεων

Η λήψη αποφάσεων αποτελεί σημείο κλειδί στη διαδικασία του σχεδιασμού κατά τη διάρκεια της οποίας ο σχεδιαστής πασχίζει να παρέχει μια λύση στις απαιτήσεις του πελάτη. Γενικά, ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί τα κριτήρια της λειτουργίας, της ασφάλειας, της οικονομίας, της ευκολίας κατασκευής και της διαφήμισης του προϊόντος. Για να επιτευχθούν τα συγκεκριμένα κριτήρια, ο σχεδιαστής πρέπει να λάβει αποφάσεις για το προϊόν όπως: ποια είναι η προβλεπόμενη αγορά, τα μέρη από τα οποία αποτελείται, οι μέθοδοι κατασκευής, για το αν η σχεδίαση θα είναι επαναστατική ή καθιερωμένη, ποια θα είναι τα αναμενόμενα φορτία, το αναμενόμενο κόστος, οι πηγές ενέργειας, τα υλικά, η διάρκεια ζωής και οι πιθανές τάσεις και παραμορφώσεις.

Από το σημείο αυτό, οι αποφάσεις που χρειάζονται για να ισχυροποιήσουν την πρόταση-λύση μπορεί να είναι πιο λεπτομερείς, όπως: αντοχή κάθε εξαρτήματος, επιτρεπτές παραμορφώσεις, κύριοι κανονισμοί, απαιτήσεις ελέγχου, αναμενόμενες τριβές, γεωμετρία, αξιοπιστία κάθε εξαρτήματος, κύρια πρότυπα, τελείωμα επιφάνειας, απαιτήσεις λίπανσης, ανοχές, απαιτήσεις συντήρησης, περιορισμοί θορύβων, αναμενόμενη διάβρωση και φθορά.

Τα βήματα για έναν σωστό σχεδιασμό μπορούν συνοψισθούν ως:

- Καθορισμός των αντικειμενικών στόχων των αποφάσεων που πρέπει να παρθούν
- Κατηγοριοποίηση των στόχων αναλόγως σημασίας και αντίστοιχος καθορισμών αναγκαίων
- Ανάπτυξη εναλλακτικών δραστηριοτήτων
- Αξιολόγηση εναλλακτικών προτάσεων ανάλογα με την ικανοποίηση των στόχων
- Επιλογή της λύσης με το πιο εφαρμόσιμο αποτέλεσμα για την αξιοποίηση των στόχων, όπως μια διερευνητική απόφαση.
- Διερεύνηση των μελλοντικών συνεπειών από τη διερευνητική απόφαση για αντίστροφα αποτελέσματα
- Έλεγχος των επιπτώσεων της τελικής απόφασης με τη διεξαγωγή κατάλληλων ενεργειών, με παράλληλη παρακολούθηση της εφαρμογής της τελικής απόφασης και των συνεπειών της εφαρμογής αυτής.

Οι τεχνικές που βρίσκονται σε ευρεία χρήση για την ποσοτικοποίηση της λήψης αποφάσεων περιλαμβάνουν αξιολόγηση της καταλληλότητας, της δυνατότητας υλοποίησης, προϋποθέσεις αποδοχής και μεθόδους παρουσίασης πλεονεκτημάτων.

Η μέθοδος αξιολόγησης της καταλληλότητας, δυνατότητας υλοποίησης και αποδοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση διαφόρων προτάσεων.

Η μέθοδος παρουσίασης αποτελεσμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί να συγκρίνει διάφορες προτάσεις. Βαθμοί αξιολογούν το κόστος, το συντελεστή σχεδιασμού, το συντελεστή ασφαλείας, την αξιοπιστία και το χρόνο. Οι βαθμοί συνδυάζονται για να παράγουν ένα συνολικό αποτέλεσμα σύγκρισης. Αυτό πραγματοποιείται για όλες τις λύσεις και τα αποτελέσματα συνδυάζονται για να δώσουν το συνολικό αποτέλεσμα. Η πρόταση με το μεγαλύτερο βαθμό τελικά επιλέγεται (Πίνακας 1) [1].

2.5.1.1. Η αξιωματική προσέγγιση του σχεδιασμού στη λήψη αποφάσεων

Η βάση της αξιωματικής προσέγγισης στο σχεδιασμό είναι το ότι υπάρχουν βασικές παραδοχές που καθορίζουν τη λήψη αποφάσεων στο σχεδιασμό. Υπάρχουν δύο αξιώματα που καθορίζουν έναν καλό σχεδιασμό.

- Αξίωμα 1: Το αξίωμα της ανεξαρτησίας
- Διατηρείται η ανεξαρτησία των απαιτήσεων λειτουργίας
- Αξίωμα 2: Το αξίωμα της πληροφορίας
- Ελαχιστοποιείται το περιεχόμενο των πληροφοριών

Το Αξίωμα 1 δηλώνει ότι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του σχεδιασμού, καθώς μεταβαίνουμε από τις απαιτήσεις λειτουργίας στο λειτουργικό τομέα με τις σχεδιαστικές παραμέτρους στο φυσικό τους τομέα, η χαρτογράφηση πρέπει να είναι τέτοια, ώστε μια μεταβολή σε κάποια σχεδιαστική παράμετρο να επηρεάσει μόνο την αναφερόμενη απαίτηση λειτουργίας.

Το Αξίωμα 2 δηλώνει ότι, ανάμεσα σε όλα τα σχέδια που ικανοποιούν το αξίωμα της Ανεξαρτησίας (Αξίωμα 1), αυτό στο οποίο ελαχιστοποιείται το περιεχόμενο των πληροφοριών είναι και το καλύτερο. Ο όρος «καλύτερο» είναι σχετικός, μιας και ενδεχομένως υπάρχει άπειρος αριθμός σχεδίων που να ικανοποιούν μια δεδομένη ομάδα απαιτήσεων λειτουργίας.

Η δεύτερη τεχνική είναι πανίσχυρη, επειδή μπορεί να αντιμετωπίσει ρεαλιστικά πολυσύνθετα σχεδιαστικά προβλήματα [5].

2.6 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2.6.1 Εισαγωγή στον παραμετρικό σχεδιασμό

Με τον όρο παραμετρικό σχεδιασμό εννοούμε τη χρήση παραμέτρων για να προσδιορίσουμε ένα σχήμα. Ο προσδιορισμός των μεγεθών γίνεται με χρήση σχέσεων. Δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός ανάμεσα σε αυτό που λέμε παραμετρικός σχεδιασμός και στον σχεδιασμό ή μοντελοποίηση με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD) [3]. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα σχέδια δημιουργούνται συνδυάζοντας τα βασικά στοιχεία που εισέρχονται στο μοντέλο αφού συμπληρωθεί ένας βασικός οδηγός που θα περιέχει τις κατάλληλες παραμέτρους. Μια γραμμή, για παράδειγμα, είναι ένα στοιχείο που γίνεται μέρος ενός μοντέλου όταν γίνουν συγκεκριμένες δύο παράμετροι, το μήκος και η κατεύθυνση. Μια πολύγραμμη είναι μια ομάδα γραμμών που ενώνονται στις κορυφές, των οποίων οι παράμετροι θέσης πρέπει να διευκρινιστούν κατά τη δημιουργία της πολύγραμμης. Ένας πρισματικός δικτυωτός όγκος εισέρχεται σε ένα μοντέλο μέσω τεσσάρων παραμέτρων: της τοποθεσίας του, του μήκους, πλάτους και ύψους. Εκτός απ' αυτό, υπάρχει η δυνατότητα ορισμού «κορμών» (AutoCAD), «κελιών» (Micro station), «συμβόλων» ή «συστατικών» (άλλα συστήματα) που συνδυάζουν και κρατούν μαζί με διαφορετικές συνολικές τιμές αυτά τα αρχικά σχήματα. Υπάρχουν, τέλος, λογισμικά τα οποία μας επιτρέπουν να κάνουμε διορθώσεις επαγωγικά στις αρχικά στοιχεία.

Παρ' όλα αυτά, αυτό δεν δουλεύει για περίπλοκα κομμάτια όπου οι σχέσεις πρέπει να διατηρούνται ακόμα και αν τα κομμάτια επεξεργάζονται ξεχωριστά. Για παράδειγμα, αν οριστεί ένα μεταλλικό παράθυρο σαν ένας κορμός και η κλίμακα τη στιγμή της εισόδου αλλάξει, τα μέρη της του πλαισίου θα αλλάξουν στο ίδιο ποσοστό με το συνολικό μέγεθος και έτσι δεν θα είναι εφικτή η διατήρηση ενός σταθερού πλαισίου με διαφορετικές διαστάσεις ανοίγματος [1].

Μπορούμε να ορίσουμε μια διαδικασία, μέσω κάποιας γλώσσας προγραμματισμού, όπως η Auto lisp, με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εξαρχής καθορισμένες μόνο οι σχέσεις της διαδικασίας, ενώ οι επαρκείς διαστάσεις να καθορίζονται μόνο τη στιγμή της εισόδου του μοντέλου. Μπορούμε, επίσης, να ορίσουμε σαν οικογένεια στοιχείων μία ομάδα στοιχείων που διαφέρουν μόνο στις διαστάσεις.

Ένα βασικό πρόβλημα στον παραμετρικό σχεδιασμό είναι το πώς θα μοντελοποιηθούν ορισμένα χαρακτηριστικά στοιχεία προκειμένου να βοηθήσουν το χρήστη να έχει το καλύτερο αποτέλεσμα. Το πρόβλημα λύνεται με τη χρήση των περιορισμών. Η έννοια των περιορισμών έχει να κάνει με

την έννοια των βαθμών ελευθερίας, με υπέρ δεσμευμένα και υπό δεσμευμένα μοντέλα, όπως επίσης και με την έννοια της αντοχής [3].

2.6.2 Τεχνικές παραμετρικού σχεδιασμού

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν δύο τεχνικές παραμετρικού σχεδιασμού, μία που τείνει να παλιώσει και μία που προσελκύει έναν αυξανόμενο αριθμό ερευνητών.

- *Εναλλακτικός προγραμματισμός*, ή στατική δημιουργία εναλλακτικών μοντέλων μέσω προγραμματιστικής διαδικασίας. Αυτά τα συστήματα στηρίζονται στην εσωτερική αναπαράσταση των μοντέλων.
- *Δραστικές μέθοδοι*, δημιουργία γραφικών μέσω εξελεγμένων συστημάτων που επιτρέπουν την τροποποίηση των διαστάσεων και των περιορισμών αφού το μοντέλο δημιουργηθεί.

Το κύριο μειονέκτημα της πρώτης τεχνικής είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμόσει ότι η δεύτερη, δηλαδή να αλλάζει τα χαρακτηριστικά του μοντέλου με δραστικό τρόπο. Από την άλλη μεριά είναι μια μέθοδος η οποία μπορεί να υιοθετηθεί από τα σημερινά συστήματα CAD, εφόσον ο χρήστης έχει στοιχειώδεις γνώσεις προγραμματιστικών τεχνικών [3].

2.6.2.1. *Εναλλακτικός προγραμματισμός με συμβολοσειρά κώδικα (μακροεντολές) ή διαδικαστική μοντελοποίηση*

Με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται μια γλώσσα προγραμματισμού, όπως για παράδειγμα η Auto lisp, για τη σύνταξη μιας συμβολοσειράς κώδικα, μιας ρουτίνας ή ενός μικρού προγράμματος που θα εκτελεί τις απαραίτητες ενέργειες για την μοντελοποίηση ενός κομματιού. Η διαφορά των τριών παραπάνω όρων έγκειται στην ποσότητα, με την έννοια ότι η συμβολοσειρά κώδικα για παράδειγμα περιλαμβάνει λίγες γραμμές και το πρόγραμμα κάποιες σελίδες.

Ο εναλλακτικός προγραμματισμός μπορεί να συγκριθεί με τις αρχικές μορφές γεωμετρικής μοντελοποίησης. Ο κύριος περιορισμός της συγκεκριμένης τεχνικής είναι ότι ο αριθμός και η εμβέλεια των μεταβλητών είναι περιορισμένες και δεν υπάρχει κατάλληλος τρόπος να ελεγχθούν οι παράμετροι που βγάζουν λανθασμένα αποτελέσματα.

Παρόλα αυτά, η μέθοδος μοντελοποίησης χρησιμοποιείται ευρύτατα στην βιομηχανία και στην αρχιτεκτονική [3].

2.6.2.2. Κατασκευαστικός παραμετρικός σχεδιασμός

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί μια δομή δεδομένων και κρατάει αρχείο με τις ακολουθίες που έλαβαν χώρα για να δημιουργηθεί το μοντέλο. Το μοντέλο μπορεί να τροποποιηθεί αλλάζοντας τα δεδομένα σε μια συγκεκριμένη διαδικασία. Η ακολουθία ενσωματώνεται και ζητάει απ' ευθείας από τον χρήστη τα δευτερεύοντα δεδομένα όπως άξονες των γραμμών κλπ.

Όταν το μοντέλο ολοκληρωθεί, οι βαθμοί ελευθερίας μηδενιστούν και το μοντέλο δεν είναι ούτε υπέρ δεσμευμένο ούτε υπό δεσμευμένο, ένα κατασκευαστικό σχέδιο παράγεται. Το ιστορικό καταγράφεται και καταλήγει σε ακιδωτό γράφημα.

Η κύρια διαφορά της συγκεκριμένης μεθόδου και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται παρακάτω είναι ότι οι εντολές που χρησιμοποιούνται είναι μέρος ενός ήδη υπάρχοντος πακέτου CAD. Το πρόγραμμα διαβάζει τις τιμές σαν είσοδο από τον χρήστη και εκτελεί την ακολουθία των εντολών που παρέχονται από το πρόγραμμα [1].

2.6.2.3. Εναλλακτική γεωμετρία, εναλλακτικός σχεδιασμός

Σε αντίθεση με την προηγούμενη μέθοδο, ο παραμετρικός σχεδιασμός που βασίζεται σε εναλλακτική γεωμετρία μπορεί να επαναυπολογίσει ένα σχέδιο που λαμβάνει υπό όψη του την πραγματική κατάσταση, ανεξάρτητα από την διαδικασία που έχει ακολουθηθεί για να φτάσει στη δεδομένη κατάσταση. Η μέθοδος βασίζεται στην περιγραφή των παραμέτρων μέσω εξισώσεων και στην διαθεσιμότητα ενός συστήματος ικανού να τις λύσει. Η μέθοδος απαιτεί το σύστημα να μην είναι ούτε υπέρ δεσμευμένο ούτε υπό δεσμευμένο [2].

2.6.2.4. Μεταβλητές βασισμένες σε κανόνες. Γεωμετρικός συλλογισμός από εξειδικευμένα συστήματα

Η προηγούμενη μέθοδος έχει έναν αριθμό σημαντικών δυσκολιών, όπως η ανάγκη να προσδιοριστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός περιορισμών ή να λυθεί ένας μεγάλος αριθμός εξισώσεων με αριθμητικές μεθόδους. Για να αποφευχθούν τα συγκεκριμένα προβλήματα προτάθηκαν κάποιες εναλλακτικές μέθοδοι, οι οποίες βλέπουν το μοντέλο σαν κάτι που μπορεί να περιγραφεί μέσα από μια σειρά από γεγονότα που σχετίζονται με τα γεωμετρικά στοιχεία και τους περιορισμούς που έχουν αυτά μεταξύ τους. Ένα σχέδιο περιγράφεται μέσα από μια σειρά από λογικά κατηγορήματα χρησιμοποιώντας γλώσσες όπως η Prolog ή η Lisp.

Μια ομάδα κανόνων θεσπίζονται για να δημιουργήσουν σχέσεις μεταξύ των περιορισμών. Αυτοί οι κανόνες εφαρμόζονται μέσω μιας μηχανής συμπερασμάτων που δίνει σαν αποτέλεσμα ένα συγκεκριμένο μοντέλο που ικανοποιεί τους αρχικούς περιορισμούς και τους κανόνες παραγωγής. Η μέθοδος αυτή είναι ακόμα υπό εξέλιξη [1].

2.6.2.5. Σχεδιασμός βασισμένος σε παραμετρικά χαρακτηριστικά

Σε έναν παραμετρικό σχεδιασμό προς μοντελοποίηση, τα εξαρτήματα είναι μέλη «οικογενειών», όπως αναφέραμε παραπάνω και εισέρχονται στο μοντέλο ως παραλλαγή του κύριου στοιχείου που περιλαμβάνεται στη βιβλιοθήκη εξαρτημάτων. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι προσανατολισμένα στον τύπο ή στο αντικείμενο. Αφού το χαρακτηριστικό καθοριστεί εξωτερικά μέσω της διαδικασίας του σχεδιασμού, η θέση του στοιχείου πρέπει επίσης να καθοριστεί μέσα από παραμέτρους [3].

2.6.2.6. Επέκταση μοντέλου και στη συνέχεια αναθεώρηση (*Extend Model and then Revise – EMR*)

Δηλώνοντας μια αρχική ιδέα για το σχέδιο, που καλύπτει τις σχεδιαστικές απαιτήσεις, ο αλγόριθμος του EMR επεκτείνει επαναληπτικά το υπάρχον μοντέλο του σχεδίου με το να υπολογίζει τις τιμές από τις απροσδιόριστες παραμέτρους. Μετά από κάθε απόδοση τιμών σε κάθε παράμετρο ελέγχονται οι περιορισμοί. Αν κάποιος περιορισμός παραβιαστεί, τότε το μοντέλο αναθεωρείται με τις κατάλληλες επιδιορθώσεις [4].

2.6.2.7. Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση (*Complete Model and then Revise – CMR*)

Η συγκεκριμένη μέθοδος ακολουθεί την ίδια τακτική με την προηγούμενη μέθοδο. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι η διαδικασία αναθεώρησης του σχεδίου ξεκινά αφού έχει ολοκληρωθεί η απόδοση τιμών στις παραμέτρους [4].

2.6.2.8. Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση – μέθοδος «*Hill Climbing*» (*Complete Model and then Revise – Hill Climbing - CMR-HC*)

Η μέθοδος διαφέρει από την απλή CMR στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η αναθεώρηση. Στην πρώτη μέθοδο, εφαρμόζονται σειριακά χειρισμοί μέχρι να βρεθεί κάποιος που θα μπορέσει να διορθώσει την παραβίαση των κανονισμών.

Στη μέθοδο CMR – HC, οι χειρισμοί εφαρμόζονται ο ένας μετά τον άλλο κι επιλέγεται ο φθηνότερος που δίνει λύση ή βρίσκεται πιο κοντά στη λύση [4].

2.6.2.9. Ολοκλήρωση του μοντέλου και μετά αναθεώρηση – μέθοδος A (Complete Model and then Revise A* - CMR A*)*

Ο σχεδιασμός του μοντέλου τελειώνει και οι παράμετροι ελέγχονται όπως στην κανονικά διαδικασία CRM. Σε γενικές γραμμές, σε κάθε στάδιο της σχεδιαστικής διαδικασίας το ερευνητικό πεδίο θα περιλαμβάνει διάφορες σχεδιαστικές προτάσεις από τις οποίες θα επιλεγεί η πιο πολλά υποσχόμενη [4].

2.6.2.10. Σχεδιασμός βασισμένος σε μελέτες εφαρμογών (Case Based Design – CBD)

Σε αυτήν την περίπτωση το μοντέλο του σχεδίου συγκρίνεται με μία βιβλιοθήκη εφαρμογών (σύμφωνα με κάποια κριτήρια), που περιέχει προηγούμενες ανάλογες εφαρμογές. Η εφαρμογή αξιολογείται και οι αντίστοιχοι παράμετροι μετατρέπονται, ώστε το μοντέλο το σχεδίου να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του σχεδιασμού [4].

3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για πολλά πρακτικά προβλήματα του Μηχανικού δεν μπορούν να εξαχθούν ακριβή αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται είτε στο ότι δεν μπορεί να βρεθεί ακριβής λύση για τις περίπλοκες διαφορικές εξισώσεις που το περιγράφουν είτε στα προβλήματα που προκύπτουν από το γεγονός ότι η λύση εξαρτάται από την επίδραση αρχικών και οριακών συνθηκών. Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά, χρησιμοποιούνται αριθμητικές προσεγγίσεις. Σε αντίθεση με τις αναλυτικές λύσεις που παρουσιάζουν την ακριβή συμπεριφορά του συστήματος σε κάθε σημείο μέσα στο σύστημα, οι αριθμητικές λύσεις προσεγγίζουν ακριβείς λύσεις σε συγκεκριμένα σημεία, τα οποία ονομάζονται κόμβοι. Το πρώτο βήμα για κάθε αριθμητική μέθοδο είναι η Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση). Η διαδικασία αυτή διαχωρίζει την προς ανάλυση γεωμετρία σε υπό περιοχές και κόμβους.

Υπάρχουν δύο συνηθισμένες τάξεις αριθμητικών μεθόδων:

- Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Διαφορών (Finite Difference Method-FDM)
- Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Method-FEM)

Με την πρώτη, οι διαφορικές εξισώσεις αναπτύσσονται για κάθε κόμβο και τα παράγωγα αντικαθίστανται από εξισώσεις διαφοράς. Αυτή η προσέγγιση καταλήγει σε μια ομάδα από ταυτόχρονες γραμμικές εξισώσεις. Αν και η Μέθοδος των Πεπερασμένων Διαφορών είναι εύκολο να κατανοηθεί και να εφαρμοστεί σε απλά προβλήματα, καθίσταται δύσκολο να εφαρμοσθεί σε προβλήματα με περίπλοκες γεωμέτρους και συνοριακές συνθήκες. Το ίδιο ισχύει και για προβλήματα με ανισότροπες ιδιότητες υλικών.

Αντίθετα, η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων χρησιμοποιεί ολοκληρωτικούς σχηματισμούς αντί διαφορικών εξισώσεων για τη δημιουργία ενός συστήματος αλγεβρικών εξισώσεων. Επίσης, μια προσεγγιστική συνεχής συνάρτηση χρησιμοποιείται για να αναπαρασταθεί η λύση για κάθε στοιχείο. Η τελική λύση δημιουργείται από τη ένωση (συναρμολόγηση) των ξεχωριστών λύσεων, επιτρέποντας έτσι τη συνέχεια στα όρια ανάμεσα στα στοιχεία [22].

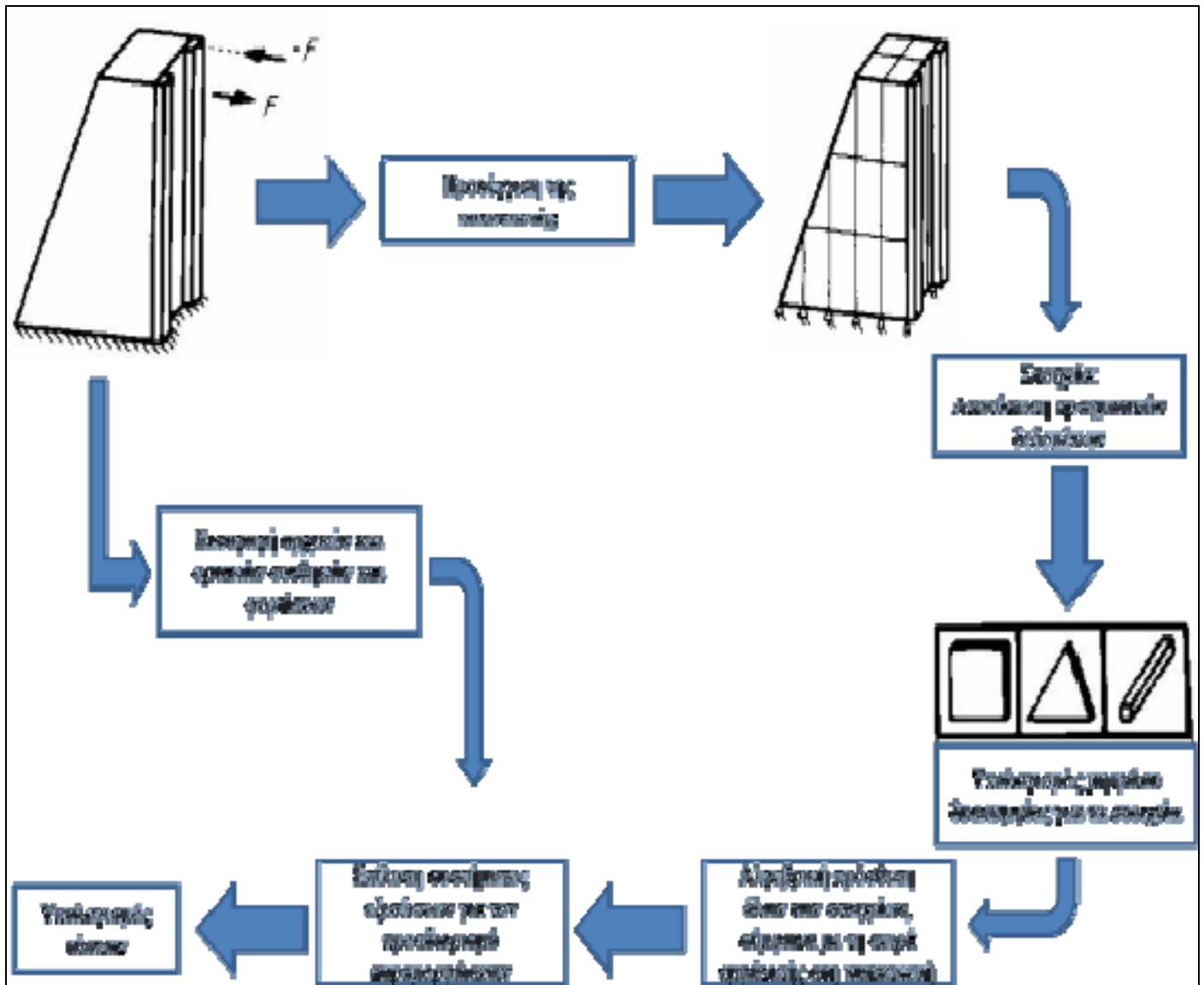
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η Ανάλυση με Πεπερασμένα Στοιχεία (Finite Element Analysis – F.E.A) είναι μέθοδος προσεγγιστικής και αριθμητικής επίλυσης προβλημάτων συνεχούς μέσου (μηχανικής στερεού, προβλημάτων πεδίου, μηχανικής ρευστών κλπ.) αυθαίρετης γεωμετρίας, οριακών συνθηκών και φορτίων. Βασίζεται στον συνδυασμό μεταβλητών μεθόδων και τοπικών προσεγγίσεων που ισχύουν σε περιορισμένη περιοχή του μέσου (πεπερασμένο στοιχείο) για τη Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση) του προβλήματος. Επανάληψη της τοπικής Διακεκριμενοποίησης (υποδιαίρεσης-προσομοίωσης) στον υπόλοιπο χώρο του μέσου καταλήγει στη Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση) του προβλήματος και την προσεγγιστική λύση με τεχνικές γραμμικής άλγεβρας [22].

Τα βασικά στάδια της μεθόδου είναι:

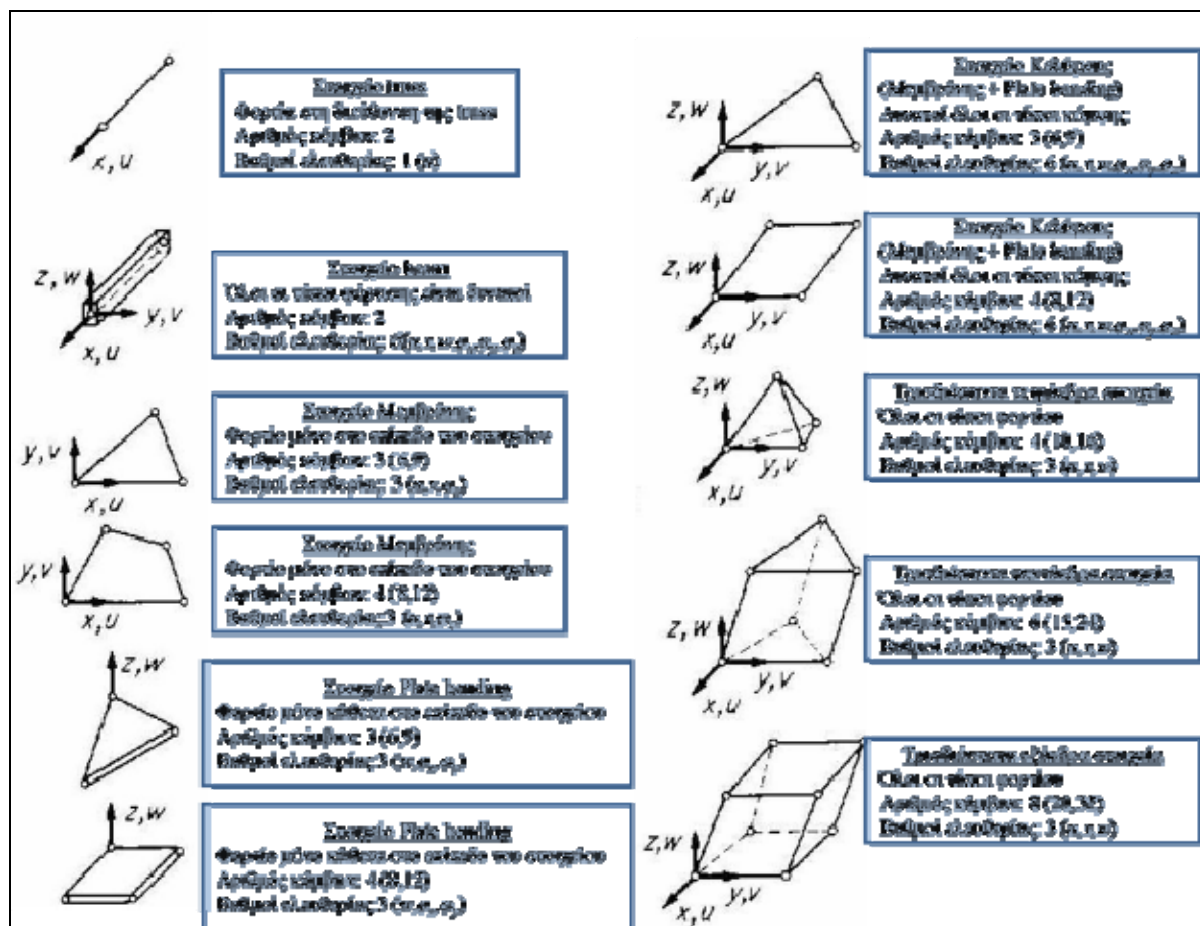
- Η προσομοίωση (Διακεκριμενοποίηση) της κατασκευής με ένα σύνολο στοιχείων που συνδέονται σε συνοριακούς κόμβους.
- Ο προσδιορισμός των γενικευμένων (άγνωστων) μετατοπίσεων που θα καθορίσουν πλήρως την απόκριση της κατασκευής.
- Η διατύπωση των εξισώσεων ισορροπίας που αντιστοιχούν στις άγνωστες κομβικές μετατοπίσεις και η επίλυσή τους.
- Ο υπολογισμός των εσωτερικών κατανομών των τάσεων των στοιχείων, για δεδομένες μετατοπίσεις στους κόμβους.
- Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, (μετατοπίσεις και τάσεις), με βάση τις δεδομένες παραδοχές του προβλήματος.[76]

Η βασική διαδικασία για να εφαρμοστεί η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων (στην προκειμένη περίπτωση πρόκειται για την εφαρμογή της μεθόδου για ανάλυση σε κατασκευή) παρουσιάζεται στην Εικόνα 8. Η γεωμετρία της δομής του προβλήματος που θα αναλυθεί προσεγγίζεται από στοιχεία με απλές οριακές συνθήκες και εύκολα καθορισμένες διαστάσεις. Αυτή η Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση) του αντικειμένου μελέτης σε ένα μαθηματικό μοντέλο πρέπει να γίνει έτσι ώστε η επιλογή του τύπου των στοιχείων και η κατανομή τους να αντανakλά τη γεωμετρική μορφή και τις αναμενόμενες παραμορφώσεις.



Εικόνα 8: Διαδικασία εφαρμογής της FEM γνωρίζοντας τις ασκούμενες δυνάμεις της κατασκευής για την εύρεση των τάσεων [24]

Από τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην Ανάλυση με Πεπερασμένα Στοιχεία, τα πιο απλά είναι (1) Στοιχεία “truss” (truss elements) που χρησιμοποιούνται για συνθήκες μόνο-αξονικών καταπονήσεων, (2) “Στοιχεία beam” (beams) που ενσωματώνουν φορτία κάθετα στον άξονα του μήκους. (3) Για επίπεδες γεωμέτρεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τριγωνικά ή ορθογώνια στοιχεία μεμβράνης. (4) Για την προσέγγιση λεπτών κατασκευών, που επιπρόσθετα καταπονούνται κάθετα στην κύρια plane, είναι διαθέσιμα “plate-bended” και (5)στοιχεία κελύφους (elements). (6) Για περίπλοκες τρισδιάστατες (3D) γεωμέτρεις όπου αναμένονται καταπονήσεις στις τρεις διαστάσεις, χρησιμοποιούνται τρισδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία, όπως για παράδειγμα. τετράεδρα και εξάεδρα στοιχεία. Μια επιλογή των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων στοιχείων παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9: Διάφοροι τύποι συχνά χρησιμοποιούμενων στοιχείων για F.E.A από τα πιο απλά που είναι το στοιχείο truss μέχρι και τα πιο πολύπλοκα όπως τα εξάεδρα στοιχεία [24]

Αφού γίνει η επιλογή των κατάλληλων στοιχείων, αυτά ενώνονται στους κόμβους, που βρίσκονται στις γωνίες πλευρών, για να αναπαραστήσουν ολόκληρο το σύστημα.

Καθώς τα χαρακτηριστικά των στοιχείων καθορίζονται από τις θέσεις των κόμβων, τα χαρακτηριστικά ολόκληρου του μοντέλου καθορίζονται μέσω αυτών των διακεκριμένων σημείων έπειτα από την άθροιση των στοιχείων σύμφωνα με τη θέση τους μέσα σε ολόκληρο το σύστημα.

Αυτό το διακεκριμενοποιημένο μαθηματικό μοντέλο αποτελείται από μια ομάδα εξισώσεων, που περιλαμβάνει τα εξωτερικά φορτία, τις οριακές συνθήκες, όπως επίσης και τις συνθήκες σύνδεσης των κόμβων των στοιχείων.

Στην εξίσωση (1), $\{F\}$ είναι ο ταυστείς (vector), του οποίου οι συνιστώσες περιγράφουν όλες τις εξωτερικές δυνάμεις, και ροπές. Το μητρώο $[K]$ δίνει τις συνθήκες ακαμψίας της δομής και ο ταυστείς $\{U\}$ αναπαριστά τις μετατοπίσεις και παραμορφώσεις σε όλα τα διακεκριμενοποιημένα (υποδιαιερέμένα-προσομοιωμένα) σημεία των κόμβων.:

$$\{F\} = [K] \cdot \{U\} \quad (1)$$

Η επίλυση αυτής της ομάδας των εξισώσεων – που μπορεί να έχει χιλιάδες αγνώστους σε πιο περίπλοκα παραδείγματα, απαιτεί τη χρήση ενός κατάλληλου και ισχυρού υπολογιστή.

Στις σύγχρονες εφαρμογές, εκτός από ισχυρούς υπολογιστές είναι απαραίτητη και η χρήση κατάλληλου λογισμικού για να εκτελέσει τέτοιες αναλύσεις. Αυτά τα πακέτα λογισμικού, εκτός από τις αναλύσεις, βοηθούν το χρήστη με την επεξεργασία του μοντέλου πριν και μετά την ανάλυση [24][25][26][27].

3.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η προέλευση της σύγχρονης Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων βρίσκεται στις αρχές του 1900, όπου ερευνητές προσέγγισαν και μοντελοποίησαν ελαστικές συνέχειες χρησιμοποιώντας ξεχωριστές ισοδύναμες ελαστικές μπάρες. Το 1941 ο Hernikoff παρουσίασε λύση προβλημάτων ελαστικότητας με τη μέθοδο του “frame work”. Παρ’ όλ’ αυτά, το 1943, ο Courant καταγράφηκε ως ο πρώτος που χρησιμοποίησε τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων. Χρησιμοποίησε συνεχείς κατά τμήματα συναρτήσεις με μεταβλητές μεθόδους για τη λύση προβλημάτων στρέψης. Οι Turner και Clough με τους συνεργάτες τους παρουσίασαν το 1956 μητρώα δυσκαμψίας για ράβδους και δοκούς. Η Boeing, χρησιμοποίησε στις αρχές του 1950 τριγωνικά στοιχεία κόπωσης για να μοντελοποιήσει πτέρυγες αεροπλάνων. Ο Clough εισήγαγε για πρώτη φορά τον όρο «Πεπερασμένα Στοιχεία» το 1960, ενώ τα πρώτα βιβλία αποκλειστικά για τη μέθοδο γράφτηκαν από τους Argyris το 1956 και Zienkiewicz το 1967. Πλέον, από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 είναι δυνατή η ανάλυση μεγάλων δομικών ή μη συστημάτων [21], [22].

Τα πρώτα πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν σε προβλήματα επίπεδης εντατικής κατάστασης, αργότερα όμως διατυπώθηκαν στοιχεία και για τρισδιάστατα στερεά, ελάσματα υπό κάμψη, παχιά κελύφη, και άλλες μορφές κατασκευών. Μετά την καθιέρωσή τους στη γραμμική ελαστική περιοχή εφαρμόστηκαν και σε δυσκολότερα προβλήματα όπως η δυναμική συμπεριφορά, ο λυρισμός και η μη-γραμμική απόκριση και συμπεριφορά του υλικού. Για να επιλυθούν δε προβλήματα με μη-γραμμική συμπεριφορά του υλικού απαιτείται επαναληπτική διαδικασία.⁹⁰ Υπολογιστικές μέθοδοι και εφαρμογές σε λεπτές κατασκευές Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 αναγνωρίστηκε ότι η μέθοδος αποτελεί συγκεκριμένη μορφή της μεθόδου Ritz, και το 1964 οι Zienkiewicz και Cheung έδειξαν ότι μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα τα προβλήματα πεδίου που έχουν μεταβολική διατύπωση. Για προβλήματα κατασκευών υπάρχει τώρα ένας ικανός αριθμός προγραμμάτων γενικής χρήσης και το γεγονός αυτό σε συνάρτηση με τις δυνατότητες της μεθόδου έχει οδηγήσει στην ραγδαία εξέλιξη και χρήση της τα τελευταία χρόνια.

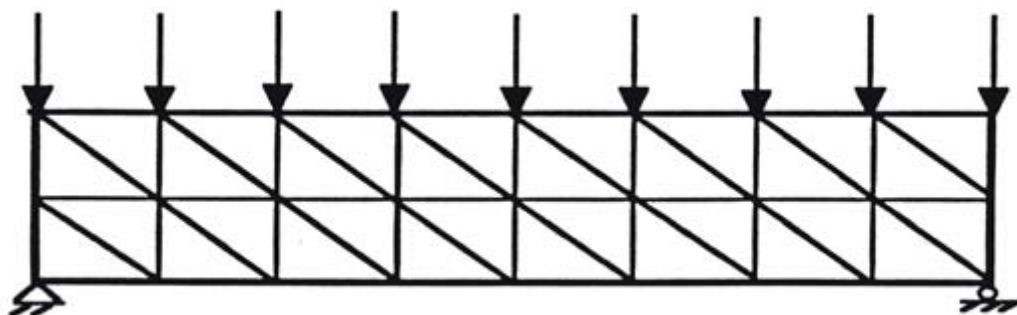
3.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η βασική έννοια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι, όπως και στη αριθμητική (μητρική) ανάλυση, η δυνατότητα προσομοίωσης της πραγματικής κατασκευής με συστατικά στοιχεία τα οποία συνδέονται σε ένα πεπερασμένο αριθμό κόμβων.

Η μεθοδολογία αυτή αποτελεί φυσιολογική προσομοίωση των πλαισίων, καθώς αυτά αποτελούνται από δοκούς που είναι συνδεδεμένες στα άκρα τους. Σε μία συνεχή όμως κατασκευή δεν υπάρχουν φυσικοί διαχωρισμοί και συνεπώς απαιτείται να γίνει τεχνητός διαχωρισμός σε στοιχεία, τα οποία να συνδέονται κατά μήκος των άκρων (πλευρών) τους. Τα τεχνητά αυτά στοιχεία, ή πεπερασμένα στοιχεία είναι συνήθως τετράπλευρα ή τριγωνικά και οι κόμβοι συνήθως βρίσκονται στα άκρα.

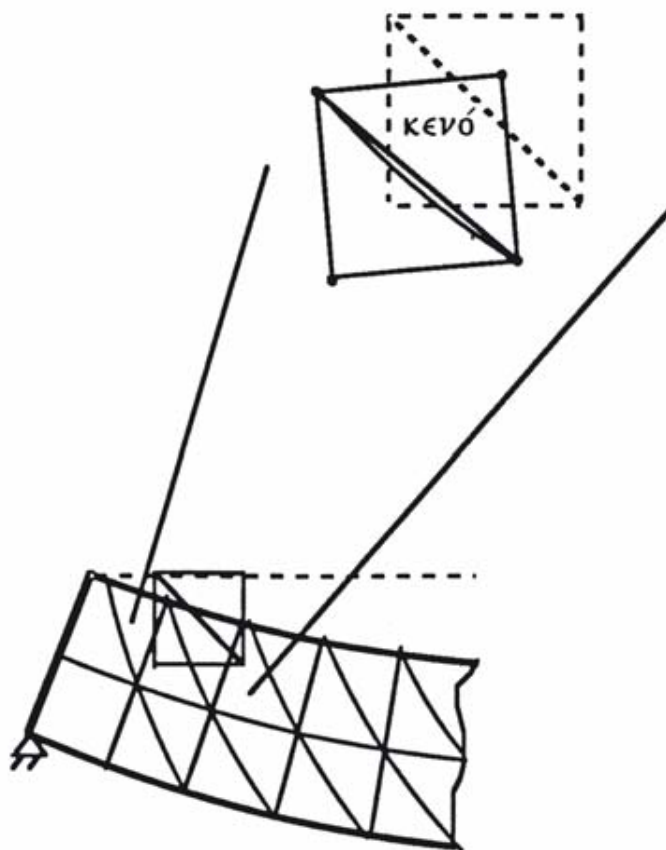
Στην Εικόνα 10 δείχνει τον κορμό δοκού υποδιαιρεμένο σε τριγωνικά στοιχεία. Για να γίνει χρήση μητρικών (αριθμητικών) μεθόδων απαιτείται να προσομοιωθεί η συνεχής κατά-σκευή με ένα πεπερασμένο αριθμό διακριτών μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι μετατοπίσεις των κόμβων και σε ορισμένες περιπτώσεις και οι παράγωγοί τους. Εάν περιλαμβάνονται και οι παράγωγοι γίνεται λόγος για βαθμούς ελευθερίας αντί για μετατοπίσεις κόμβων. Οι μετατοπίσεις στο εσωτερικό των στοιχείων πρέπει να είναι συμβατές με τις μετατοπίσεις των κόμβων και όλες οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων εκφράζονται σε σχέση με τις κομβικές μετατοπίσεις.

Με αυτό τον τρόπο οι μόνοι άγνωστοι είναι οι μετατοπίσεις στους κόμβους και το πρόβλημα μετατρέπεται από συνεχές σε διακριτό. Παρ' όλο που μπορεί να υπάρχει μεγάλος αριθμός κομβικών μετατοπίσεων ο αριθμός τους είναι πεπερασμένος. Το πρόβλημα εκφράζεται τότε ως



Εικόνα10 Χρήση τριγωνικών στοιχείων για τη Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση) αμφιέρειστης δοκού υπό καμπτική φόρτιση <http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2003/Chapter%2003.pdf>
Αύγουστος 2010 σελ 90 [76]

ένα σύνολο (σύστημα) γραμμικών εξισώσεων οι οποίες επιλύονται με αριθμητικές (μητρικές) μεθόδους.



Εικόνα 11 Παραμόρφωση στοιχείων

<http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2003/Chapter%2003.pdf> Αύγουστος 2010 σελ 91 [76]

Για να επιτευχθεί ακριβής λύση ενός συγκεκριμένου προβλήματος στη διακεκριμενοποιημένη (υποδιαιρεμένη-προσομοιωμένη) μορφή του, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι συνθήκες ισορροπίας και γεωμετρικής συμβατότητας στο εσωτερικό των στοιχείων αλλά και στα σύνορά τους. Οι απαιτήσεις αυτές ανάγονται στην ικανοποίηση τεσσάρων συνθηκών. Ας θεωρηθεί, για παράδειγμα, η συμβατότητα μεταξύ των στοιχείων. Σε μία συνεχή κατασκευή όπως το έλασμα της Εικόνας 11 ισχύει συνέχεια των μετατοπίσεων στα κοινά όρια των στοιχείων. Συνεπώς στο αριθμητικό μοντέλο (πεπερασμένα στοιχεία) δεν επαρκεί να ικανοποιείται η συνθήκη της συνέχειας των μετατοπίσεων στους κόμβους και μόνο.

Εάν δηλαδή δεν διατυπωθούν περιορισμοί στις μετατοπίσεις κατά μήκος των ορίων των στοιχείων το θεωρητικό μοντέλο της κατασκευής θα είναι περισσότερο εύκαμπτο επειδή θα δημιουργηθούν κενά, όπως δείχνει η Εικόνα 11. Ένας τρόπος να περιορισθεί το σφάλμα είναι να χρησιμοποιηθούν μικρότερα και περισσότερα στοιχεία διότι έτσι θα δημιουργηθούν περισσότεροι κόμβοι και συνεπώς περισσότερα σημεία στα οποία θα ικανοποιείται η συμβατότητα.

Μία διακριτή προσομοίωση δεν μπορεί όμως να αποδώσει με απόλυτη ακρίβεια την συμπεριφορά ενός συνεχούς μέσου, ανεξαρτήτως του αριθμού των διακριτών μεταβλητών που χρησιμοποιούνται.

Υπάρχει δηλαδή πάντοτε ένα σφάλμα, το οποίο όμως μπορεί να περιορισθεί και να γίνει αμελητέο και τοπικό. Δεν είναι συνεπώς δυνατόν να ικανοποιηθούν όλες οι προαναφερθείσες συνθήκες με απόλυτη ακρίβεια, έστω και αν γίνει χρήση μεγάλου αριθμού στοιχείων. Είναι όμως δυνατό, με σωστή επιλογή των ιδιοτήτων των στοιχείων και κατάλληλη Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση), να περιορισθεί το αριθμητικό σφάλμα. Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των στοιχείων αποτελεί ένα από τα βασικότερα στάδια διατύπωσης μιας λύσης. Θα πρέπει τότε να γίνεται αυτό έτσι ώστε να ικανοποιούνται επαρκώς οι συνθήκες συμβατότητας χωρίς να χρειασθεί να γίνει χρήση υπερβολικά μικρών στοιχείων.

Η συμπεριφορά των στοιχείων καθορίζεται από συναρτήσεις οι οποίες ορίζουν τον τρόπο μεταβολής των τάσεων ή των μετατοπίσεων στο εσωτερικό τους. Με άλλα λόγια, προκαθορίζεται ο τρόπος συμπεριφοράς των διαφόρων μεταβλητών. Το αποτέλεσμα είναι ότι, παρ όλο που οι συνθήκες ισορροπίας και συμβατότητας ικανοποιούνται μόνο στους κόμβους, η προδιαγεγραμμένη συμπεριφορά στο εσωτερικό κάθε στοιχείου εξασφαλίζει ότι η συμβατότητα ικανοποιείται επαρκώς στο εσωτερικό και στα σύνορά τους.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι απαιτείται προσοχή κατά την Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση) της κατασκευής, καθώς επίσης και κατά την επιλογή της συνάρτησης που περιγράφει τη συμπεριφορά στο εσωτερικό του κάθε στοιχείου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ακρίβεια της μεθόδου αυξάνεται όταν αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων, ή καλύτερα, των κόμβων. Όσο αυξάνεται όμως ο αριθμός των στοιχείων, τόσο αυξάνονται ο χρόνος υπολογισμού και το κόστος.

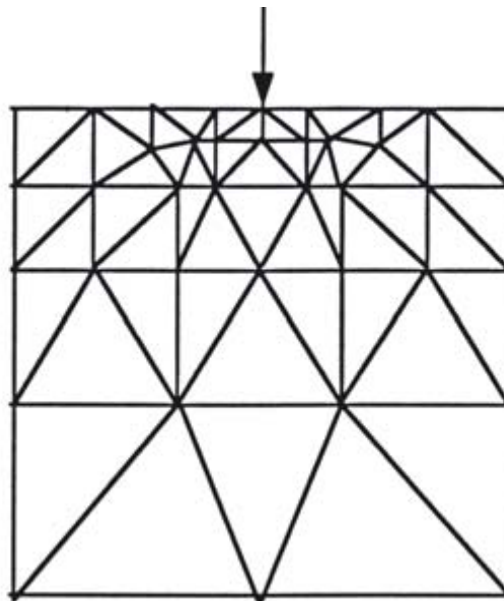
Σε πολλές περιπτώσεις η βαθμιαία μεταβολή του μεγέθους των στοιχείων χρησιμοποιείται για να αποκτηθεί ακριβέστερη εικόνα της τοπικής συμπεριφοράς (σε συγκεντρώσεις τάσεων, σε ανοίγματα, κοντά στο σημείο εφαρμογής του εξωτερικού φορτίου, κλπ). Η βαθμιαία μεταβολή του μεγέθους των στοιχείων είναι ένας εφικτός τρόπος ελάττωσης του κόστους χωρίς να μειωθεί ακρίβεια της λύσης του προβλήματος. Λόγω όμως της μεγάλης ποικιλίας κατασκευών και φορτίσεων δεν είναι δυνατό να δοθεί γενικός κανόνας σχετικά με τον αριθμό ή το μέγεθος των στοιχείων ή τον τρόπο Διακεκριμενοποίησης (υποδιαίρεσης-προσομοίωσης) που απαιτούνται για επαρκή ακρίβεια. Σε κάθε περίπτωση ο τρόπος Διακεκριμενοποίησης(υποδιαίρεσης-προσομοίωσης) πρέπει να βασίζεται στην εμπειρία συμπεριφοράς και μελέτης παρόμοιων κατασκευών. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό πρέπει να επιλυθεί σειρά προβλημάτων με διαφορετικές διακεκριμενοποιήσεις (υποδιαίρεσεις-

προσομοιώσεις) και να υπολογισθεί ο βαθμός σύγκλισης στην ακριβή λύση. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η ακρίβεια της λύσης για το συγκεκριμένο πρόβλημα (Εικόνα 12).

Στην Εικόνα 13 δείχνεται ότι η εξωτερική φόρτιση παριστάνεται με σύνολα αντίστοιχων σημειακών φορτίων τα οποία εφαρμόζονται στους κόμβους των στοιχείων. Στην περίπτωση συγκεντρωμένων φορτίων ο προφανής τρόπος είναι να επιλεγεί κόμβος στο σημείο εφαρμογής του φορτίου. Για κατανεμημένα φορτία πρέπει να επιλεγούν στατικά ισοδύναμα σημειακά φορτία στους αντίστοιχους κόμβους. Τα περισσότερα στοιχεία επίπεδης εντατικής κατάστασης δεν έχουν βαθμό ελευθερίας στρέψης και συνεπώς δεν είναι δυνατό να γίνει χρήση αντίστοιχων ροπών στους κόμβους.

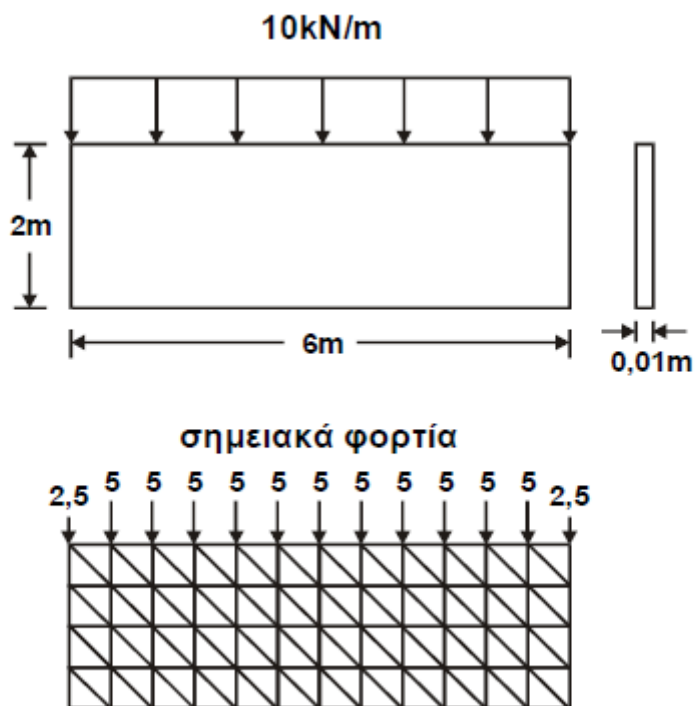
Αυτό δεν είναι όμως σοβαρό πρόβλημα διότι οι κόμβοι είναι αρκετά κοντά ο ένας στον άλλο και έτσι οι δυνάμεις στους κόμβους αποτελούν ικανοποιητική προσομοίωση του κατανεμημένου φορτίου.

Για παράδειγμα, η Εικόνα 13 δείχνει τον κορμό της δοκού που θεωρήθηκε προηγουμένως, με μήκος 6 m και κατανεμημένο φορτίο 10 kN/m. Η επιλογή των ισοδύναμων φορτίων στους κόμβους είναι προφανής και δίνεται στο σχήμα αυτό.[76] [77] [78]



Εικόνα 12 Βαθμιαία ελάττωση του μεγέθους των στοιχείων

<http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2003/Chapter%2003.pdf> Αύγουστος 2010 σελ 92[76]



Εικόνα 13 Ισοδύναμα επικόμβια φορτία

<http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2003/Chapter%2003.pdf> Αύγουστος 2010 σελ 93 [76]

3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ανάλυση με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος που έχει την ικανότητα να επιλύσει πολύπλοκα προβλήματα που μπορούν να αναπαρασταθούν με τη μορφή διαφορικών εξισώσεων. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να προέρχονται από όλα τα πεδία των φυσικών επιστημών.

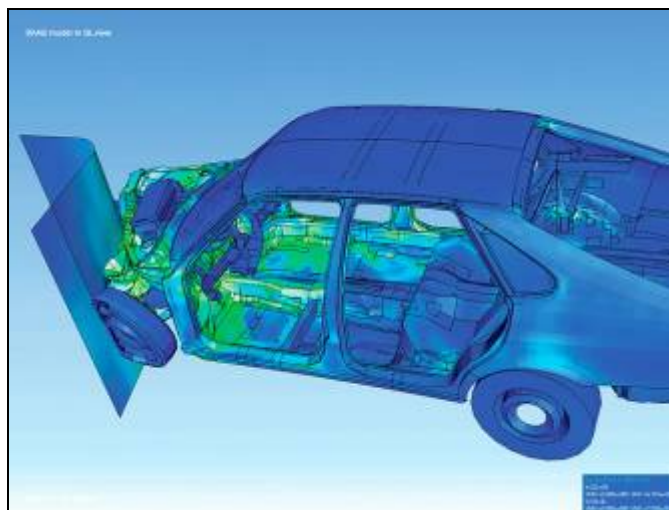
Η κύρια εφαρμογή των F.E.A είναι σε δομικά προβλήματα μηχανικών, όπου εκτελούνται αναλύσεις στατικές, δυναμικές, ταλαντώσεων κλπ. Επίσης, σημαντικές εφαρμογές βρίσκουν στην αεροδιαστημική, ναυπηγική και αυτοκινητοβιομηχανία. Τα τελευταία χρόνια η ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία έχουν βρει εφαρμογές και στην εμβιομηχανική, στη χημική μηχανική, γεωμηχανική και άλλα.

Σήμερα, ακόμα και τα πιο απλά προϊόντα στηρίζονται στα F.E.A για αξιολόγηση του σχεδιασμού τους. Αυτό γιατί τα σύγχρονα σχεδιαστικά προβλήματα δεν μπορούν να επιλυθούν με την ίδια ακρίβεια και το ίδιο οικονομικά με τις υπόλοιπες διαθέσιμες μεθόδους ανάλυσης. Εξάλλου, η πειραματική δοκιμή που παλαιότερα ήταν η μοναδική μέθοδος αξιολόγησης, σήμερα απλά είναι πολύ δαπανηρή [36].

Στη συνέχεια, παρατίθενται παραδείγματα εφαρμογών των 3 συνηθέστερων τύπων ανάλυσης που χρησιμοποιούνται σήμερα στη βιομηχανία.

3.5.1 **ΔΟΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ (Στατικές / Δυναμικές, Ταλαντώσεων, Γραμμικές και Μη)**

Σε δομικές αναλύσεις, η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων βοηθάει σημαντικά στο να παρέχει λεπτομερείς απεικονίσεις των περιοχών της κατασκευής όπου αναπτύσσονται οι μέγιστες τάσεις κάτω από οποιαδήποτε μορφής φόρτιση. Αυτό βοηθά στη σωστή επιλογή υλικών και στην ελαχιστοποίηση του βάρους και του κόστους [23]. Παρακάτω φαίνεται η απεικόνιση της παραμόρφωσης ενός αυτοκινήτου έπειτα από ασύμμετρη σύγκρουση (Εικόνα 14).

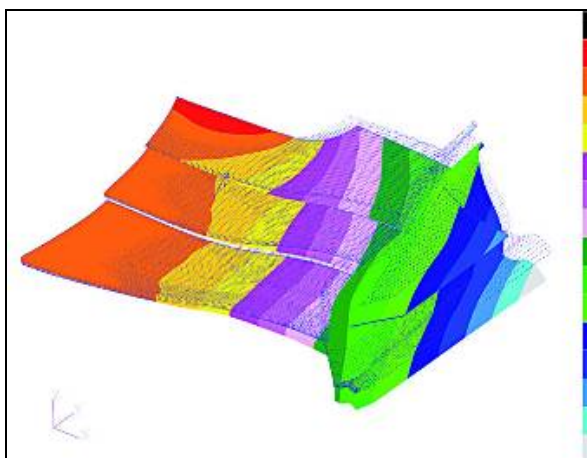


Εικόνα 14: Παράδειγμα παραμόρφωσης αυτοκινήτου έπειτα από ασύμμετρη σύγκρουση
http://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_analysis [23]

Ενδεικτικές Εφαρμογές

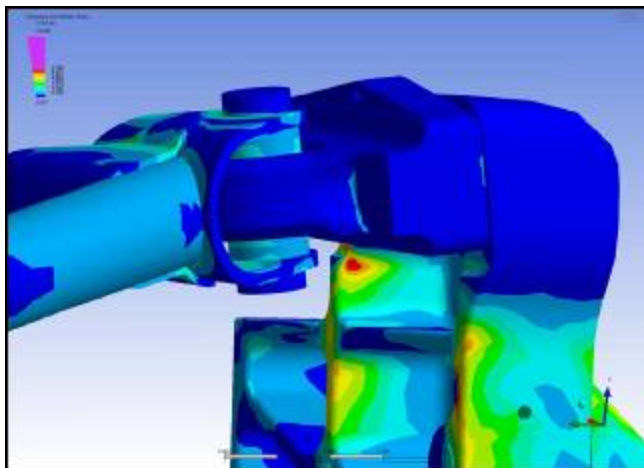
- Η McLaren Mercedes χρησιμοποιεί πακέτα F.E.A για να εκτελεί δομικές αναλύσεις στα τμήματα του αγωνιστικού της αυτοκινήτου. Οι αναλύσεις αυτές παρέχουν τη δυνατότητα απεικόνισης της αντοχής και της ακαμψίας της κατασκευής. Βοηθούν στον εντοπισμό των περιοχών όπου η κατασκευή υστερεί δομικά σύμφωνα με τις απαιτήσεις και στη συνέχεια οι περιοχές αυτές βελτιστοποιούνται.

Η εικονική δοκιμή των εξαρτημάτων επέτρεψε την επιτάχυνση της διαδικασίας κατασκευής ενός σύγχρονου F1. Επέτρεψε επίσης, το σχεδιασμό και κατασκευή των εξαρτημάτων του F1 στο βέλτιστο βάρος και αντοχή [34]. Παρακάτω φαίνεται η δομική προσομοίωση πτέρυγας F1 χωρισμένη σε ζώνες τάσεων με το κόκκινο χρώμα να δείχνει το μεγαλύτερο βαθμό τάσης. (Εικόνα 15)



Εικόνα 15: Παράδειγμα δομικής προσομοίωσης πτέρυγας μονοθεσίου Formula 1 της McLaren-Mercedes χωρισμένη σε ζώνες τάσεων http://www.mclaren.com/F.E.Atures/technical/stress_to_impress.php [34].

- Η εταιρεία Pratt & Miller Engineering χρησιμοποιεί F.E.A προκειμένου να επανασχεδιάσει και να δοκιμάσει μέρος της μπροστινής ανάρτησης του αγωνιστικού αυτοκινήτου της. Πιο συγκεκριμένα, στόχος της είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και των αστοχιών λόγω συγκρούσεων [35].



Εικόνα 16: Παράδειγμα απεικόνισης περιοχών υψηλών τάσεων σε ανάρτηση αγωνιστικού αυτοκινήτου <http://www.ansys.com/industries/automotive-underhood-cooling.asp#> [35]

3.5.2 Ρευστομηχανικές Αναλύσεις και Αναλύσεις Μετάδοσης Θερμότητας

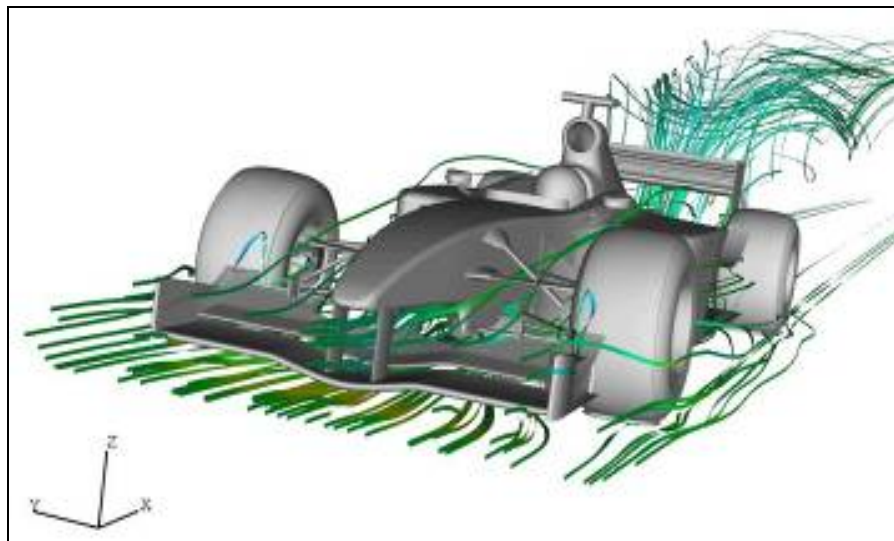
Σκοπός των αναλύσεων αυτών είναι ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς μιας γεωμετρίας που περιβάλλεται από ροή ρευστού, καθώς και η μετάδοση θερμότητας σε ένα σύστημα.

Ενδεικτικές Εφαρμογές

- Η Sauber Petronas χρησιμοποιεί λογισμικό υπολογιστικής ρευστομηχανικής, το οποίο σε συνδυασμό με τα πειραματικά δεδομένα, οδηγεί στη πιο γρήγορη και ακριβή προσέγγιση και στη βελτίωση των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών του αγωνιστικού αυτοκινήτου[31]. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή πιέσεων και οι ροϊκές γραμμές γύρω από αγωνιστικό αυτοκίνητο Formula 1 της Sauber Petronas:

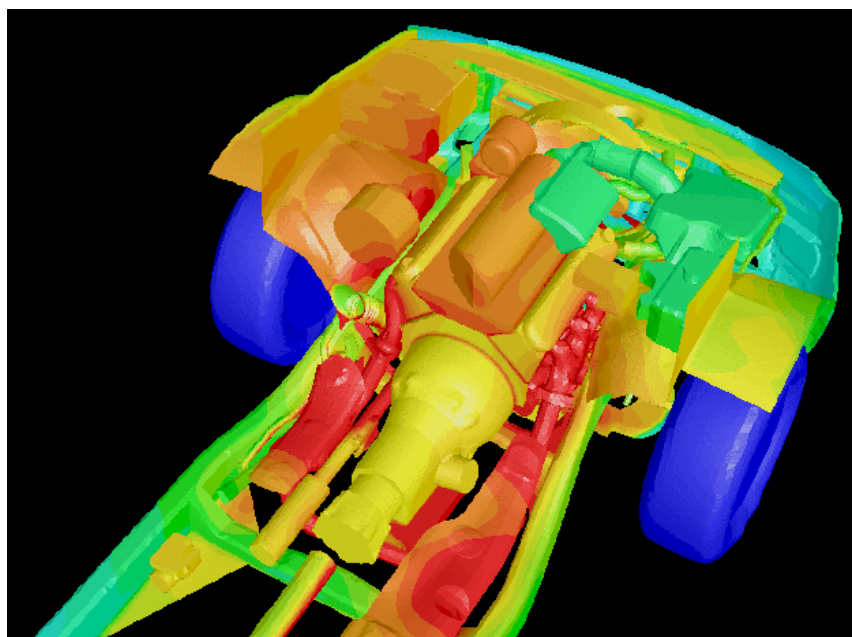


Εικόνα 17: Κατανομή πιέσεων γύρω από αγωνιστικό αυτοκίνητο Formula 1 της Sauber Petronas όπως φαίνεται στο πακέτο FEA <http://www.fluent.com/about/news/newsletters/00v9i1/a7.htm> [31]



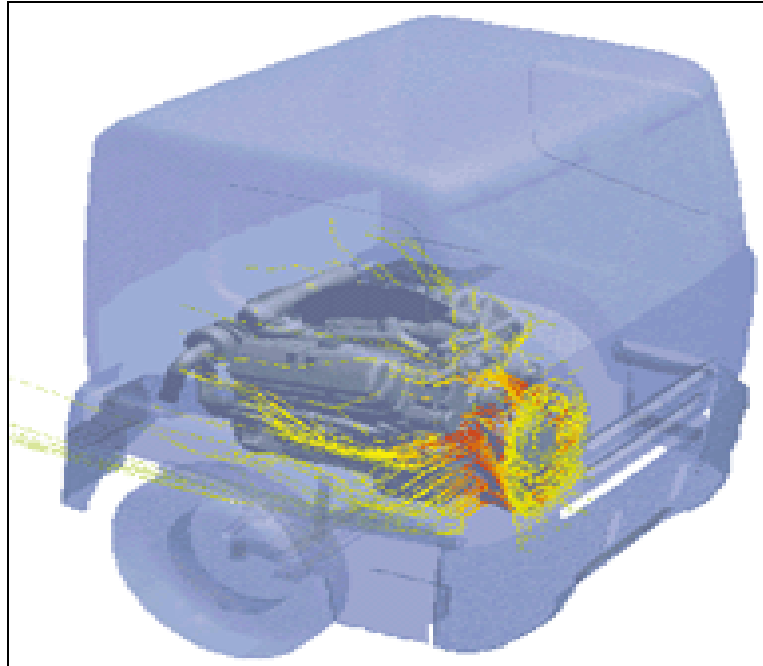
Εικόνα 18: Απεικόνιση ροϊκών γραμμών γύρω από αγωνιστικό αυτοκίνητο Formula 1 της Sauber Petronas όπως φαίνεται στο λογισμικό πακέτο FEA [32]

- Οι μηχανικοί της General Motors χρησιμοποιούν πακέτο προσομοίωσης μετάδοσης θερμότητας προκειμένου να επιλύσουν θέματα μετάδοσης θερμότητας κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού. Τα αποτελέσματα επαληθεύονται από τα πειραματικά δεδομένα. Η συγκεκριμένη διαδικασία βοηθάει αφενός στο να καθοριστούν οι προδιαγραφές θερμικού σχεδιασμού πριν ξεκινήσει η φάση των δοκιμών, κι αφετέρου στο να μειωθεί ο χρόνος διάθεσης των προϊόντων στην αγορά [33]. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια λειτουργίας Μηχανής Εσωτερικής Καύσης της General Motors:



Εικόνα 19: Κατανομή θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια λειτουργίας Μ.Ε.Κ. της General Motors όπως φαίνεται στο λογισμικό πακέτο FEA [33]

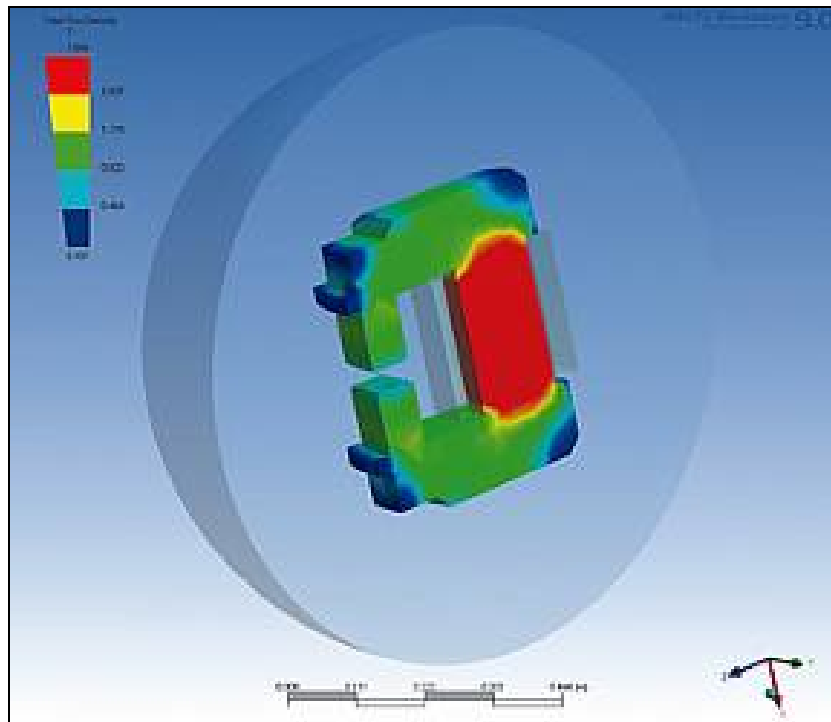
- Η Mitsubishi Motors Corporation (MMC) στην Ιαπωνία χρησιμοποιεί επιτυχώς λογισμικό υπολογιστικής ρευστομηχανικής για να βελτιώσει το σχεδιασμό φορτηγών βαρέως τύπου.
- Οι προσομοιώσεις της MMC περιλαμβάνουν κυρίως αναλύσεις ροών στο τμήμα του κινητήρα και στο εξωτερικό τμήμα του φορτηγού. Στην προκειμένη περίπτωση, το λογισμικό χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή συμπερασμάτων μερών του κινητήρα όπως οι ανεμιστήρες, όπου λόγω των σύγχρονων απαιτήσεων για μείωση του θορύβου, τα μέρη αυτά είναι περιφραγμένα και είναι δύσκολο να μελετηθούν οι ροές πειραματικά [31]. Παρακάτω είναι εμφανείς οι ροϊκές γραμμές στο τμήμα κινητήρα της MMC:



Εικόνα 20: Ροϊκές γραμμές στο τμήμα του κινητήρα όπως φαίνεται στο λογισμικό πακέτο FEA <http://www.fluent.com/about/news/newsletters/00v9i1/a7.htm>[31]

3.5.3 Ηλεκτρομαγνητικές Αναλύσεις

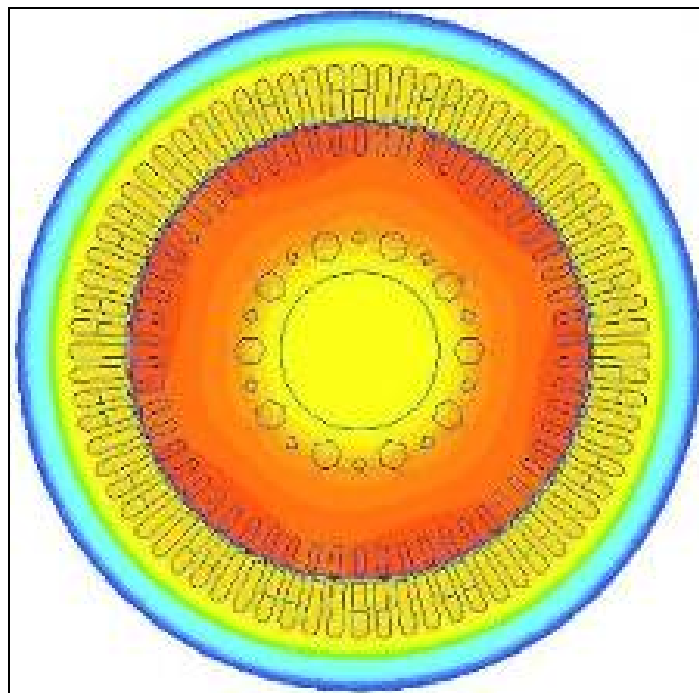
Οι ηλεκτρομαγνητικές αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμες στις βιομηχανίες που παράγουν ανάλογα προϊόντα. Παρακάτω φαίνεται η απεικόνιση της ανάλυσης ενός ηλεκτρομαγνήτη για την πυκνότητα της μαγνητικής ροής:



Εικόνα 21: Ανάλυση ηλεκτρομαγνήτη που απεικονίζει την πυκνότητα της μαγνητικής ροής όπως φαίνεται στο λογισμικό πακέτο FEA : <http://www.ansys.com> [28]

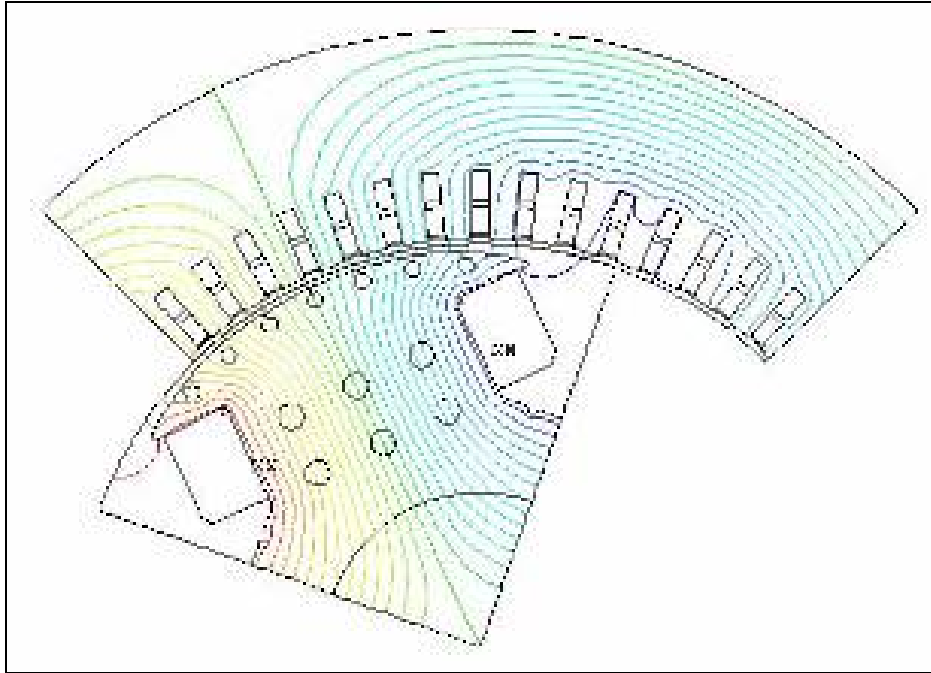
Ενδεικτικές εφαρμογές

- Η εταιρεία Baldor Electric Co. χρησιμοποιεί πακέτο F.E.A για να υπολογίσει το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα της ακτινικής δύναμης που εφαρμόζεται σε στάτορα εξά-πολου ηλεκτροκινητήρα AC, 600 ίππων [37]. Παρακάτω απεικονίζεται το υπολογιζόμενο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα του ηλεκτροκινητήρα:



Εικόνα 22: Απεικόνιση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε 6-πολο AC ηλεκτροκινητήρα 600hp όπως φαίνεται στο λογισμικό πακέτο FEA <http://machinedesign.com/article/giving-soldiers-a-high-tech-leg-up-1208> [37]

- Η εταιρεία Kato Engineering χρησιμοποιεί πακέτο F.E.A για να προβλέπει την άεργη αντίσταση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας. Το αποτέλεσμα της χρήσης F.E.A είναι η καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών της γεννήτριας και η ταχύτερη ανάπτυξη νέων γεννητριών [38]. Παρακάτω παρουσιάζεται μια απεικόνιση των αποτελεσμάτων που αξιοποιεί η εταιρεία:



Εικόνα 23: Απεικόνιση άεργης αντίστασης ηλεκτρικής γεννήτριας όπως φαίνεται στο λογισμικό πακέτο FEA <http://www.ansys.com/products/electromagnetics/default.asp> [38]

3.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται στη διαδικασία της ανάλυσης με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων είναι τα εξής:

3.6.1 Φάση προ-επεξεργασίας (Preprocessing phase)

3.6.1.1. *Κατασκευή μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων*

Αρχικά, δημιουργείται και διαχωρίζεται το πεδίο ορισμού της λύσης, σε περασμένα στοιχεία. Δηλαδή, κατασκευάζεται ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων.

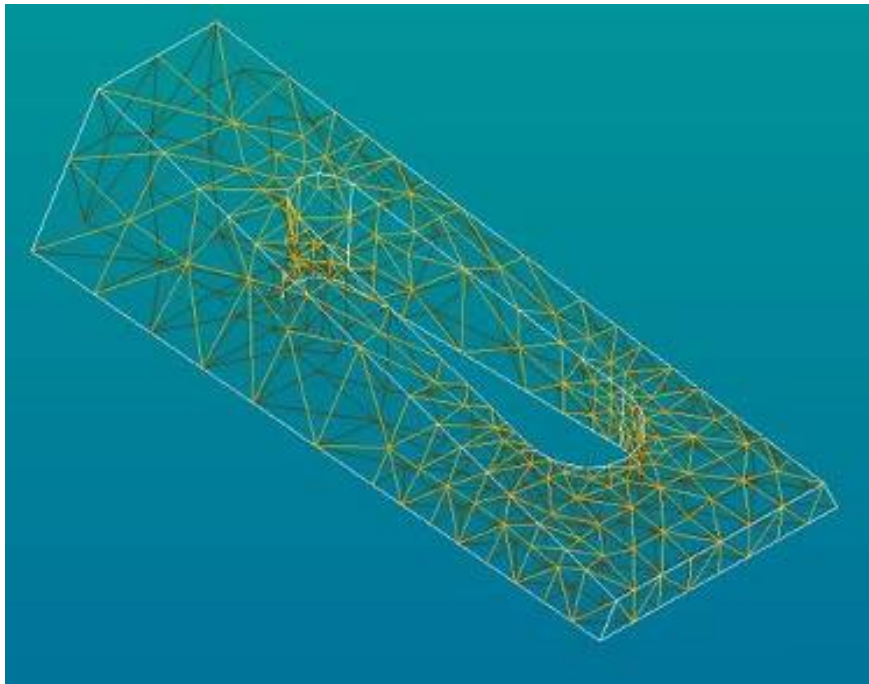
Η εισαγωγή στοιχείων για τη γεωμετρία του προβλήματος είναι απαραίτητη στα περισσότερα πακέτα F.E.A. Το πρόβλημα, υπό τη μορφή μοντέλου, μπορεί να είναι μιας, δύο ή τριών διαστάσεων και να έχει μοντελοποιηθεί από γραμμές, σχήματα ή επιφάνειες αντίστοιχα. Ο κύριος σκοπός του μοντέλου είναι να αναπαραστήσει ρεαλιστικά τις σημαντικότερες παραμέτρους και χαρακτηριστικά του πραγματικού μοντέλου. Το σημείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς το επίπεδο των λεπτομερειών που θα συμπεριληφθούν στο μοντέλο πρέπει να είναι το βέλτιστο. Πιο συγκεκριμένα, αν το μοντέλο έχει υπερβολικά μεγάλο ποσοστό λεπτομέρειας, ο αριθμός των απαραίτητων στοιχείων για να μοντελοποιηθεί η γεωμετρία θα είναι πολύ υψηλός, με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς και χρόνος για την ανάλυση. Υπάρχει, επιπλέον, υψηλή πιθανότητα ανακριβών αποτελεσμάτων. Από την άλλη πλευρά, ένα πολύ απλό μοντέλο θα αποδώσει επίσης ανακριβή αποτελέσματα, καθώς δεν θα περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για ένα επιτυχημένο μοντέλο F.E.A..

Ένας σημαντικός μηχανισμός για να διατηρηθεί η ομοιομορφία μεταξύ πραγματικού και F.E.A μοντέλου είναι να χρησιμοποιηθούν προϋπάρχοντα ψηφιακά μηχανολογικά σχέδια, αρχεία σχεδίων, μοντέλα CAD και άλλα. τα οποία εισάγονται απευθείας στο περιβάλλον F.E.A.

3.6.1.2. *Διακεκριμενοποίηση (υποδιαίρεση-προσομοίωση) μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων*

Αφού δημιουργηθεί το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων, ξεκινά μια διαδικασία Διακεκριμενοποίησης (υποδιαίρεσης-προσομοίωσης) για να καθοριστεί και να διασπαστεί το μοντέλο σε μικρά κομμάτια, τα στοιχεία. Ο τύπος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τη δομή που πρόκειται να μοντελοποιηθεί και τα φορτία που θα φέρει. Γενικότερα, ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων καθορίζεται από ένα δίκτυο πλέγματος, το οποίο σχηματίζεται από τη γεωμετρική κατανομή των

στοιχείων και των κόμβων. Οι κόμβοι αναπαριστούν σημεία στα οποία υπολογίζονται χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα, η πίεση ή η τάση. Τα στοιχεία είναι δεσμευμένα από μια ομάδα κόμβων και καθορίζουν τις τοπικές ιδιότητες του μοντέλου, όπως π.χ. μάζα και ακαμψία. Καθορίζονται επίσης, από αριθμούς που επιτρέπουν την αναφορά σε αντίστοιχες μετατοπίσεις ή τάσεις σε συγκεκριμένες περιοχές του μοντέλου. Στην Εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα μοντέλο ύστερα από τη διαδικασία Διακεκριμενοποίησης (υποδιαίρεσης-προσομοίωσης).



Εικόνα 24: Μοντέλο FEM ύστερα από διαδικασία Διακεκριμενοποίησης (υποδιαίρεσης-προσομοίωσης)

<http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/AU/ProE/ProE.html> [29]

3.6.1.3. Προσδιορισμός ιδιοτήτων των στοιχείων

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της Διακεκριμενοποίησης (υποδιαίρεσης-προσομοίωσης), προσδιορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων. Δυσδιάστατα στοιχεία, όταν χρησιμοποιούνται σε τρισδιάστατες εφαρμογές, πρέπει να έχουν συγκεκριμένο πάχος, ενώ όλα τα στοιχεία χρειάζεται να έχουν καθορισμένες τις ιδιότητες των υλικών τους, όπως για παράδειγμα, ο λόγος Poisson.

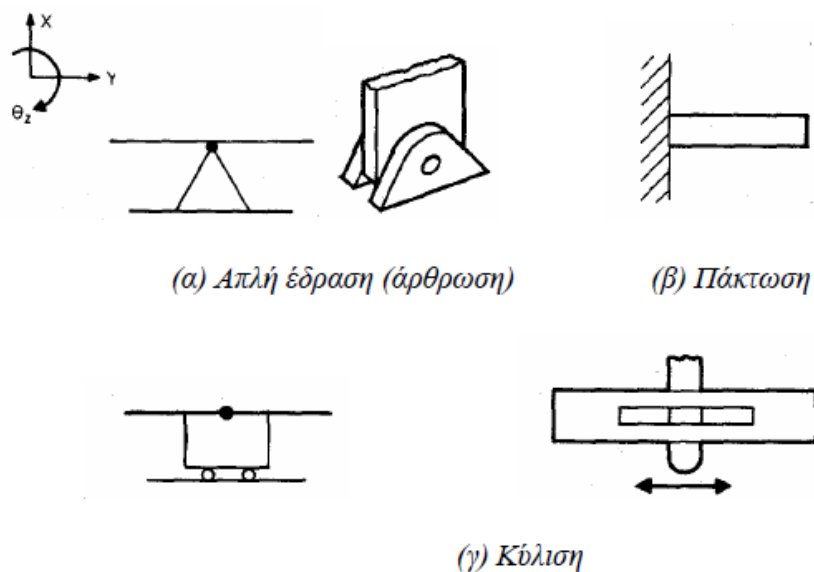
Οι ιδιότητες που απαιτούνται για την περιγραφή του υλικού περιλαμβάνουν:

- Την πυκνότητα
- Το μέτρο ελαστικότητας
- Το λόγο Poisson
- Την τάση διαρροής [80]

3.6.1.4. Εφαρμογή στο μοντέλο αρχικών και οριακών συνθηκών, φορτίων και περιορισμών

Εφαρμόζονται αρχικές συνθήκες, οριακές συνθήκες, φορτία και περιορισμοί. Οι οριακές συνθήκες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαρασταθούν:

- Η επιβαλλόμενη φόρτιση
- Η συμμετρία της κατασκευής και της φόρτισης
- Η συμπεριφορά της στήριξης
- Η σύνδεση στοιχείων οι ιδιότητες των οποίων διαφέρουν (διαφορετικοί βαθμοί ελευθερίας)[79]



Εικόνα 25 Οριακές συνθήκες και αντίστοιχοι περιορισμοί βαθμών ελευθερίας

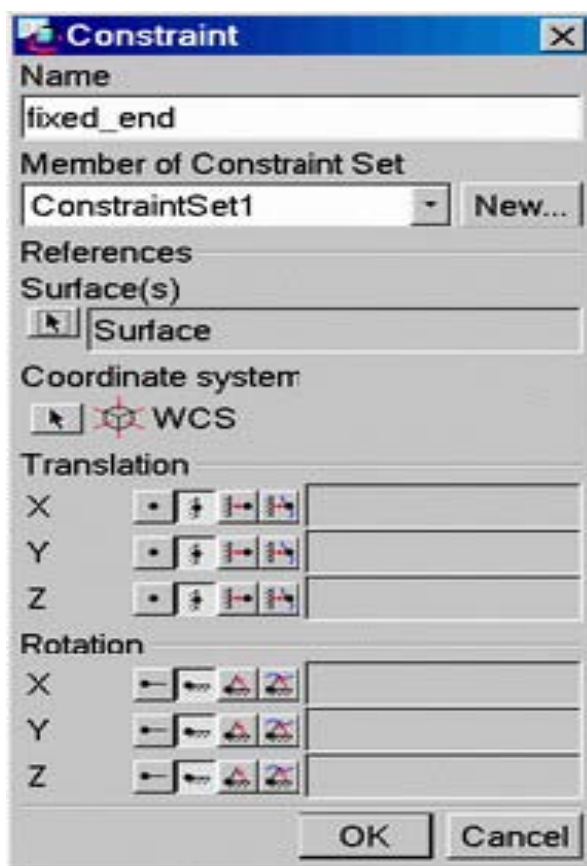
<http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2007/Chapter%2007.pdf> Αύγουστος 2010 σελ 246 [79]

Οι συνήθεις οριακές συνθήκες δείχνονται στην Εικόνα 25.

Μια αρθρωτή κατασκευή στηρίζεται σε ένα κόμβο έτσι ώστε να μην προκύψει μετατόπιση κάθετα στο επίπεδο της κατασκευής. Η κατασκευή μπορεί τότε να περιστραφεί ελεύθερα περί το σημείο στήριξής της χωρίς να αναπτύσσονται οι αντίστοιχες καμπτικές ροπές. Στο Σχήμα 25 δείχνεται ότι οι περιορισμοί του κόμβου αφορούν μετατοπίσεις σε δύο κατευθύνσεις ($u = v = 0$). Ο περιορισμός των μετατοπίσεων στο επίπεδο της κατασκευής αφορά τη δυνατότητα κύλισης της κατασκευής. Όταν η κύλιση κάθετα στο σύνορο της κατασκευής επιτρέπεται, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατόπιση του συνόρου και την παραλαβή των εξωτερικών φορτίων κυρίων με καμπτικές τάσεις. Εάν όμως περιορίζεται η κύλιση του συνόρου της κατασκευής, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη όμοιων επίπεδων τάσεων που συμβάλλουν στην παραλαβή της εξωτερικής φόρτισης. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι τότε αρκετά διαφορετικό από αυτό στην προηγούμενη περίπτωση. Απαιτείται λοιπόν προσοχή κατά την επιλογή των βαθμών ελευθερίας που θα περιορισθούν εκτός της άρθρωσης, μια δεύτερη σημαντική κατηγορία περιορισμών αφορά την πάκτωση. Αυτή η περίπ-

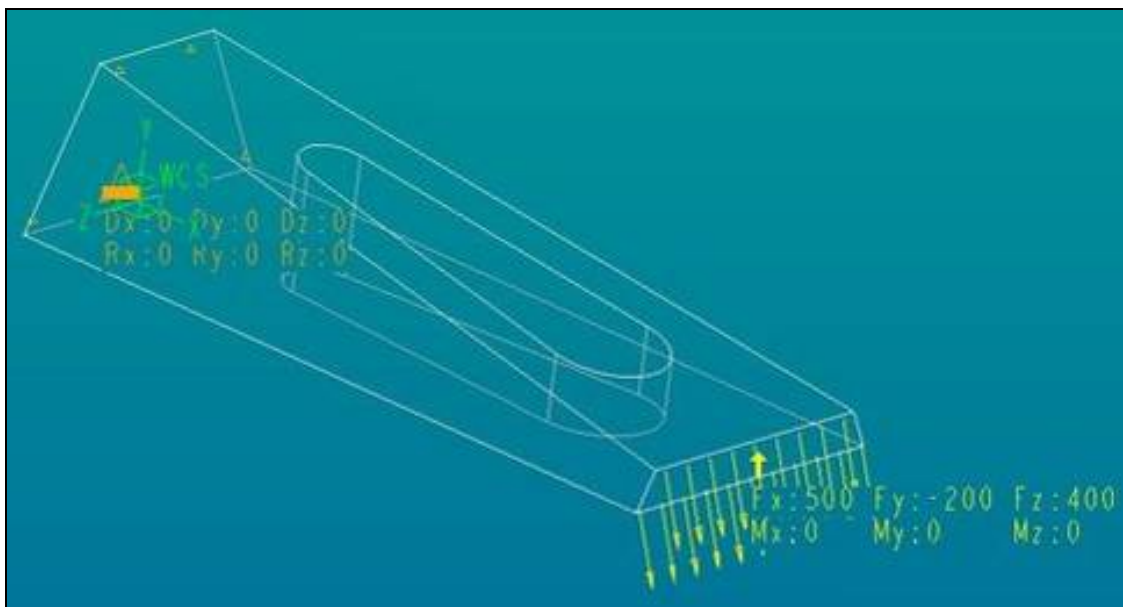
τωση χαρακτηρίζεται από περιορισμό της περιστροφής περί τον άξονα του συνόρου της κατασκευής. Έτσι, στο συνοριακό κόμβο αναπτύσσονται καμπτικές ροπές που περιορίζουν την περιστροφή. Οι παραπάνω περιπτώσεις αφορούν την επιβολή συνθηκών έτσι ώστε να επιτευχθεί η σωστή αναπαράσταση της συμπεριφοράς της πραγματικής κατασκευής.[79]

Τα φορτία μπορούν να εφαρμοσθούν σε μια γραμμή, μια επιφάνεια ή και σε σημεία. Στην τελευταία περίπτωση, ο χρήστης πρέπει να είναι ενήμερος για τις πιθανές ιδιομορφίες που θα προκύψουν από την εφαρμογή φορτίων σε σημεία. Οι περιορισμοί εφαρμόζονται όπως τα φορτία. Ένα μοντέλο μπορεί να μην έχει περιορισμούς, αλλά μόνο ελαστικούς συνδέσμους. Στην Εικόνα26 φαίνεται το πλαίσιο διαλόγου του προγράμματος Pro/Engineer για την εφαρμογή περιορισμών και στην Εικόνα η εφαρμογή φορτίων στο μοντέλο [22][23][23].



Εικόνα 26: Εισαγωγή περιορισμών στο μοντέλο με τη χρήση του F.E.A προγράμματος Pro/ENGINEER

<http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/AU/ProE/ProE.html> [29]



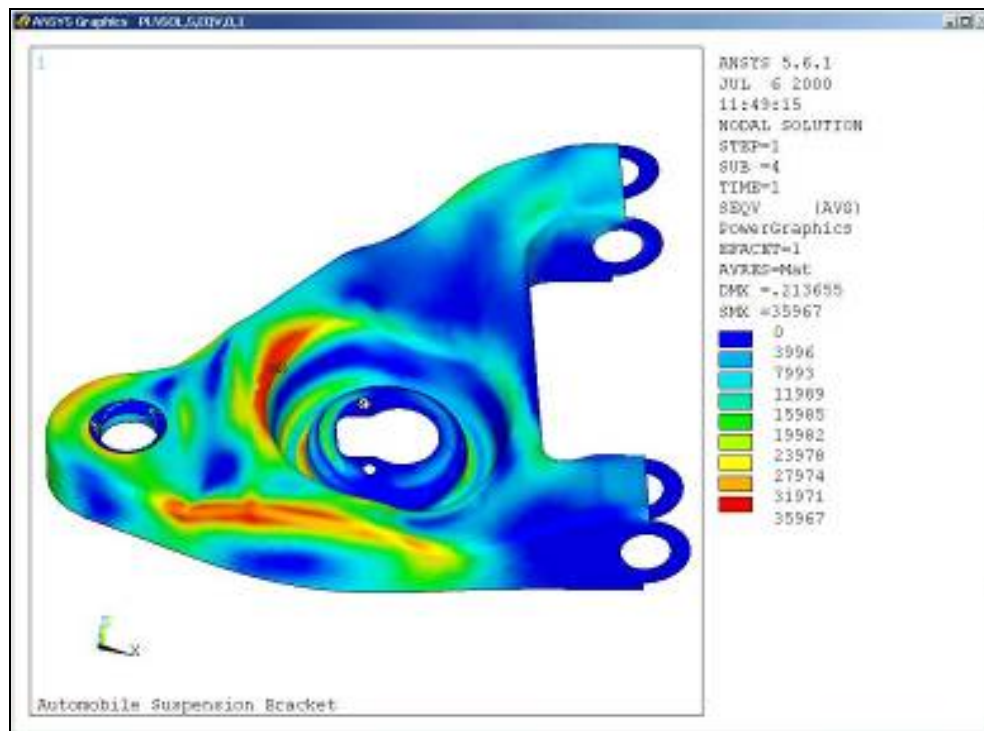
Εικόνα 27: Εφαρμογή φορτίων στο μοντέλο με τη χρήση του FEA προγράμματος Pro/ENGINEER
<http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/AU/ProE/ProE.html> [29]

3.6.2 Φάση επίλυσης

Επιλύονται μια σειρά γραμμικών και μη αλγεβρικών εξισώσεων για να προκύψουν τα αποτελέσματα στους κόμβους. Τέτοια αποτελέσματα είναι π.χ. οι τιμές της θερμοκρασίας σε διαφορετικούς κόμβους σε ένα πρόβλημα μετάδοσης θερμότητας [22]. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης λαμβάνονται υπόψη οι γεωμέτρεις και οι ιδιότητες των στοιχείων, πιθανές οριακές συνθήκες, φορτία και κάθε άλλη αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων [24][25][26][27].

3.6.3 Φάση μετεπεξεργασίας (Postprocessing phase)

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση και άλλες σημαντικές πληροφορίες, τα οποία εξάγονται σε μορφή ASCII αρχείων [24][25][26][27], μπορούν να επεξεργασθούν και να οπτικοποιηθούν [22]. Τα αρχεία αυτά, συνήθως επεξεργάζονται από μετά επεξεργαστές που παρέχει το πακέτο F.E.A και απεικονίζουν τα αποτελέσματα απευθείας στην υπό μελέτη γεωμετρία, χρησιμοποιώντας χρωματιστές γραμμές και /ή επιφάνειες για να αναπαραστήσουν τα διαφορετικά επίπεδα των δεδομένων που παρουσιάζουν, όπως τάσεις, θερμοκρασίες κλπ. [24][25][26][27]. Στην Εικόνα28 φαίνεται το αποτέλεσμα μιας ανάλυσης F.E.A για την παρουσίαση της κατανομής των τάσεων σε ένα δοκίμιο.



Εικόνα 28:Ανάλυση καταπονήσεων με τη χρήση του F.E.A προγράμματος ANSYS : <http://www.ansys.com> [28]

3.6.4 . Καταγραφή και παρουσίαση αποτελεσμάτων

Η συστηματική καταγραφή της όλης διαδικασίας μελέτης, συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της χρήσης της μεθόδου. Σε ένα κατάλληλα οργανωμένο εργασιακό περιβάλλον, η καταγραφή και παρουσίαση της μελέτης θα έχει κωδικοποιηθεί σε ένα μεγάλο βαθμό. Στην περίπτωση όμως που τέτοιες μελέτες γίνονται περιστασιακά υπάρχει ανάγκη να δοθεί ένα περίγραμμα των ζητούμενων. Έχουμε λοιπόν:

- Περιγραφή των σκοπών της μελέτης. Καταγραφή των πιθανών μορφών αστοχίας ή κριτήρια με βάση τα οποία θα αξιολογηθεί το αποτέλεσμα.
- Περιγραφή της υπό μελέτη κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων των κύριων διαστάσεων, του υλικού, των συνθηκών φόρτισης καθώς επίσης και της λειτουργίας της κατασκευής (ένα σκαρίφημα υποβοηθάει).
- Σύντομη περιγραφή του προγράμματος ΠΣ και του υπολογιστικού συστήματος που χρησιμοποιήθηκε.
- Γραφική απεικόνιση του αριθμητικού μοντέλου της κατασκευής, περιγραφή των συνθηκών στήριξης, των εξωτερικών φορτίσεων και των παραδοχών σχετικά με τη συμπεριφορά της κατασκευής.
- Γραφικές παραστάσεις των μετατοπίσεων, ιδιόμορφων, θερμικών και εντατικών πεδίων. Κριτική περιγραφή και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μελέτης.

- Πίνακας των κρίσιμων τιμών των μετατοπίσεων και τάσεων στην κατασκευή.
- Πρόχειροι υπολογισμοί που συνοδεύουν την αριθμητική λύση, και κατάλληλες βιβλιογραφικές αναφορές.
- Συμπεράσματα και προτάσεις. Να περιλαμβάνουν μια περίληψη των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τα κριτήρια αποδοχής ή λειτουργίας της κατασκευής. Προτάσεις για μετατροπές εφόσον βέβαια κρίνονται απαραίτητες.

Η διαδικασία σύνταξης της έκθεσης αναφοράς της μελέτης διασφαλίζει όχι μόνο την καταγραφή της αλλά δίνει και την ευκαιρία στο μελετητή να εντοπίσει τυχόν ελλείψεις που θα πρέπει να αντιμετωπισθούν. Στην περίπτωση μελέτης ναυπηγικών κατασκευών, συστήνεται η χρήση της μεθοδολογίας που περιγράφεται στο κείμενο Guidelines for Evaluation of Finite Elements and Results [80].

3.7 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΑΚΕΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ F.E.A

Τα κυριότερα πακέτα λογισμικού που χρησιμοποιούνται σήμερα φαίνονται στον Πίνακας 2: Πίνακας διαθέσιμων εμπορικών πακέτων F.E.A

Πακέτα γενικών εφαρμογών F.E.A			
1	ABAQUS	14	NASTRAN-xMG και NASTRAN L-Series
2	Adina	15	NISA
3	ALGOR	16	NE/NASTRAN
4	Altair Hyperworks	17	NX NASTRAN
5	AMPS	18	PERMAS
6	ANSYS	19	Plaso Tech
7	COSMOS/M	20	Roshaz
8	CAEFEM	21	SAMCEF
9	JL Analyzer	22	SAP2000
10	LS-DYNA	23	Strand7
11	LUSAS	24	VisualF.E.A
12	MSC. Nastran	25	VR/NASTRAN
13	MYSTRAN		
Πακέτα F.E.A ανοικτού κώδικα			
1	CalculiX	7	F.E.AP
2	CalculiX for Windows	8	FELYX
3	Code Aster	9	ELMER
4	Impact	10	SLFF.E.A
5	Open FEM	11	FELt
6	TOCHNOG	12	Z88
F.E.A βασισμένα σε CAD			
1	Autodesk Inventor	6	Pro/Engineer Wildfire
2	CATIA	7	Pro/Engineer Plastic Advisor
3	COSMOSWorks	8	UG NX MasterFEM(I-deas MasterFEM)
4	MSC.Dynamic Designer for AutoCad Inventor and SolidEdge	9	UG NX Scenario
5	MSC.SimDesigner for CATIA V5		
Πακέτα Προσομοίωσης χύτευσης σε καλούπι			
1	ADSTEFAN	6	Magmasoft
2	Capcast	7	ProCAST
3	CASTech	8	SOLIDCAST
4	dieCAS	9	WinCAST
5	FLOW-3D		

Πακέτα υπολογιστικής ρευστομηχανικής και μετάδοσης θερμότητας			
1	ACRI	11	ESI
2	ACUSIM	12	EXA
3	Aerosoft	13	Flometrics
4	ANSYS CFX	14	Flow-3D
5	AVL	15	Fluent
6	CD-adapco	16	NIKA
7	CFD++	17	NUMECA
8	CFDesign	18	PHOENICS
9	Coolit	19	SC/Tetra
10	COSMOS FloWorks	20	TAK2000
Πακέτα αναλύσεων συγκρούσεων, ασφάλειας και άλλων explicit αναλύσεων			
1	ABAQUS/Explicit	4	PAM Crash
2	LS-DYNA	5	Radioss
3	MSC.Dytran		
Πακέτα ηλεκτρομαγνητικών αναλύσεων			
1	ANSYS EMAG	5	Maxwell
2	CANEL	6	PAM-CEM
3	COSMOS/EMS	7	Quickfield
4	FLO/EMC		
Πακέτα μελέτης κόπωσης, αντοχής και θραύσης			
1	ABAQUS και VCCT για ABAQUS	8	MSC.Fatigue
2	ALGOR Fatigue Wizard	9	Ncode
3	ANSYS Fatigue	10	pc-CRACK
4	Beasy Crackwizard	11	NISA/ENDURE
5	F.E.ACrack - SRT-Boulder	12	Virtual.Lab/Falancs
6	Fe-Safe	13	Zencrack
7	FEMFAT		
Πακέτα κινηματικής ανάλυσης			
1	CarSIM	8	MSC.EASY5
2	COSMOS/Motion	9	MSC.Visual Nastran 4D
3	Euler	10	Pro/Engineer Mechanism Dynamics
4	FEDEM	11	RecurDyn
5	MotionSolve	12	SIMPACT
6	MSC.Adams	13	SimMechanics
7	MSC.Dynamic Designer	14	Virtual.Lab Motion/DADS
Πακέτα ανάλυσης κατεργασίας μετάλλων			
1	Autoform	7	HyperXtrude
2	DEFORM	8	LS-DYNA
3	Dynaform	9	MSC.SuperForge
4	FastForm	10	PAM-STAMP
5	HyperBlank	11	OPTRIS
6	HyperForm		

Πακέτα ανάλυσης πολλαπλών φυσικών επιστημών			
1	ANSYS MultiPhysics	4	FlexPDE
2	AMPSolid	5	SYSTUS
3	COMSOL		
Πακέτα Βελτιστοποίησης και Σχεδιασμού Πειραμάτων			
Λογισμικό βελτιστοποίησης γενικής χρήσεως			
1	AMDESS	7	MSC.Robust Design
2	HyperStudy	8	Pointer
3	IOSO	9	SmartDO
4	iSight	10	VirtualDOC
5	ModelCenter	11	Virtual.Lab/Optimus
6	modeFrontier		
Λογισμικό βελτιστοποίησης τοπολογίας, σχήματος και μεγέθους			
1	Genesis	4	ReSHAPE
2	OPTISHAPE-TS	5	TOSCA
3	Optistruct		
Προσομοίωση διεργασιών για πλαστικά			
1	B-SIM	7	POLYFLOW
2	MoldCAE Specialis	8	SIMBLOW
3	Moldflow	9	SIMPOE
4	Mold Studio 3D	10	T-SIM
5	Moldex3D	11	VISI-Flow
6	PAM-Form		
Πακέτα ανάλυσης ταλαντώσεων και ακουστικής			
1	AutoSEA2	5	Rayon
2	COMET	6	SFE AKUSMOD
3	MSC.Actran	7	Sysnoise/Virtual.Lab
4	PAFEC-VibroAcoustics	8	Vnoise

Πίνακας 2: Πίνακας διαθέσιμων εμπορικών πακέτων F.E.A[30]

4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΘΗΚΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βιομηχανικές αποθήκες αποτελούν βασικό συστατικό στοιχείο της αλυσίδας εφοδιασμού. Ο ανταγωνισμός στην αγορά απαιτεί συνεχή βελτίωση στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των δικτύων παραγωγής και αποθήκευσης, τα οποία με τη σειρά τους απαιτούν υψηλές αποδόσεις από τις βιομηχανικές αποθήκες.

Κάθε αποθήκη εμπορευμάτων έχει τις ιδιαίτερες ανάγκες της που πρέπει να αναλυθούν προκειμένου να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί συστήματα logistics, όπου επιτρέπουν τη μελέτη και διερεύνηση διαφόρων λύσεων, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση στην οργάνωση, χωροταξία και λειτουργία αποθηκευτικών χώρων.

Τα συστήματα αυτά, αποτελούμενα από εργαλεία software, τα οποία επιτρέπουν τον σχεδιασμό και την επίβλεψη της λειτουργίας μιας αποθήκης σε περιβάλλον προσομοίωσης, ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση της εκάστοτε κίνησης, πριν ακόμη επενδυθούν σημαντικά κεφάλαια για την υλοποίησή της. Κάτι τέτοιο επιτρέπει να γίνουν τυχόν διορθώσεις στη φάση του σχεδιασμού αποφεύγοντας δυσλειτουργίες και εργονομικά σφάλματα.

Τα εργαλεία software και τα συστήματα logistics βασίζονται τόσο σε εμπειριστατωμένη μεθοδολογία όσο και σε εμπειρικούς κανόνες εργονομίας. Πιο κάτω παρατίθεται αναλυτικά η αναζήτηση που διεξήχθη τόσο στο χώρο της ακαδημαϊκής έρευνας όσο και στην ήδη υπάρχουσα τεχνολογία που χρησιμοποιείται στις μέρες μας στον ελλαδικό χώρο, καθώς και για τα διεθνή δεδομένα

Προκειμένου να φτάσουμε στην τελική λύση του προβλήματος μας σκόπιμο είναι να διερευνηθούν οι περιορισμοί και τα συνολικά δεδομένα του. Ανάλογα με την βιομηχανική μονάδα στην οποία θα κατασκευαστεί η αποθήκη καθώς και το είδος των προϊόντων που θα αποθηκεύονται υφίστανται οι αντίστοιχες προδιαγραφές [39], [42].

- Πραγματικός απαιτούμενος χώρος για τα εμπορεύματα
- Χώρος διαθέσιμος αποθήκης (φυσικοί περιορισμοί)
- Χαρακτηριστικά εμπορευμάτων
- Τύπος και βάρος φορτωμένων ραφιών
- Εισροή εμπορευμάτων και συχνότητα

- Προετοιμασία παραγγελιών
- Διαθέσιμα μέσα (μηχανοκίνητα)
- Σύστημα διαχείρισης αποθήκης
- Δυνατότητες ανάπτυξης/ μελλοντικές επεκτάσεις

Παρόλο που μια τέτοια διαδικασία είναι επίπονη το τελικό κέρδος που μπορεί να έχει τόσο ο σχεδιαστής της βιομηχανικής αποθήκης όσο και ο τελικός πελάτης αυτού (βιομηχανία) είναι ιδιαίτερης σημασίας [39], [39], [41], [42]. Εάν ακολουθηθεί μια σωστή μεθοδολογία σχεδιασμού της αποθήκης ο σχεδιαστής θα επιτύχει τα εξής:

- Μείωση του χρόνου σχεδιασμού μιας αποθήκης με άμεση συνέπεια της μείωσης του κόστους σχεδιασμού
- Ευελιξία σχεδιασμού λόγω παραμετροποίησης των μοντέλων

Επιπλέον το σχεδιαζόμενο προϊόν θα παρέχει αρκετά οφέλη στους τελικούς χρήστες/ πελάτες του σχεδιαστή:

- Βέλτιστος τρόπος αποθήκευσης εμπορευμάτων
- Άμεση πρόσβαση σε όλα τα ράφια
- Ευελιξία σε ύψος και βάθος των ραφιών
- Ικανότητα τοποθέτησης σε μονές ή διπλές διατάξεις
- Δυνατότητα προσαρμογής επιπέδων
- Ικανότητα αποθήκευσης για διαφορετικούς τύπους φορτίου και διαφορετικά ύψη φόρτωσης
- Δυνατότητα προσθήκης επιπλέον ραφιών στους ήδη υπάρχοντες ορθοστάτες
- Δυνατότητα χρήσης οποιουδήποτε τύπου forklift
- Προσθήκη αξεσουάρ ασφαλείας

Κατά την ανάλυση ενός σύνθετου συστήματος, στοχαστικά στοιχεία δεν μπορούν να περιγραφούν ακριβώς από ένα μαθηματικό πρότυπο και δεν μπορούν να αξιολογηθούν αναλυτικά όπως τα σύγχρονα συστήματα αποτελούνται από πολλές διαδικασίες που εμφανίζονται τυχαία και όχι γραμμικά [48], [49], [50]. Επομένως, η αντικειμενική λειτουργία μπορεί να μην είναι εκφρασμένη ως ρητή λειτουργία των παραμέτρων εισαγωγής ως εκ τούτου, τα μαθηματικά πρότυπα ή άλλες μέθοδοι είναι μη πρακτικά.

Από άποψη σχεδιασμού, οι αποθήκες εμπορευμάτων μπορούν να χαρακτηριστούν από τις αρχικές λειτουργίες που εκτελούν: λήψη, αποθήκευση, επιλογή και αλληλουχία εντολών, συσκευασία, και αποστολή παραγγελιών. Σε μερικές περιπτώσεις, είναι επίσης προστιθεμένης αξίας διαδικασίες. Ο σχεδιασμός είναι γενικά μια διαδικασία δύο βημάτων, ο προσδιορισμός της γενικής αρχιτεκτονικής συστημάτων, που ακολουθείται από το λεπτομερές σχέδιο των συστατικών συμπεριλαμβανομένης της επιλογής των σχετικών τεχνολογιών και του υπολογισμού των τιμών παραμέτρου που ικανοποιούν τους περιορισμούς και οδηγούν στη βέλτιστη ή αποδεκτή απόδοση [52], [53], [54].

Ένα σημαντικό συστατικό του σχεδίου αποθηκών εμπορευμάτων είναι η συλλογή και επεξεργασία των μεγάλων όγκων των στοιχείων σχετικά με τις εντολές. Οι σχεδιαστές εργάζονται συχνά με τα ανεπαρκή ή αβέβαια στοιχεία. Αυτά τα στοιχεία υποβάλλονται σε επεξεργασία για να εξαγάγουν τις πληροφορίες σχετικά με τα σχετικά μεγέθη των διάφορων περιοχών αποθήκευσης, τεχνολογίες που είναι κατάλληλες για την αποδοτικές αποθήκευση και την επιλογή διαταγής με ένα επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας κλπ.

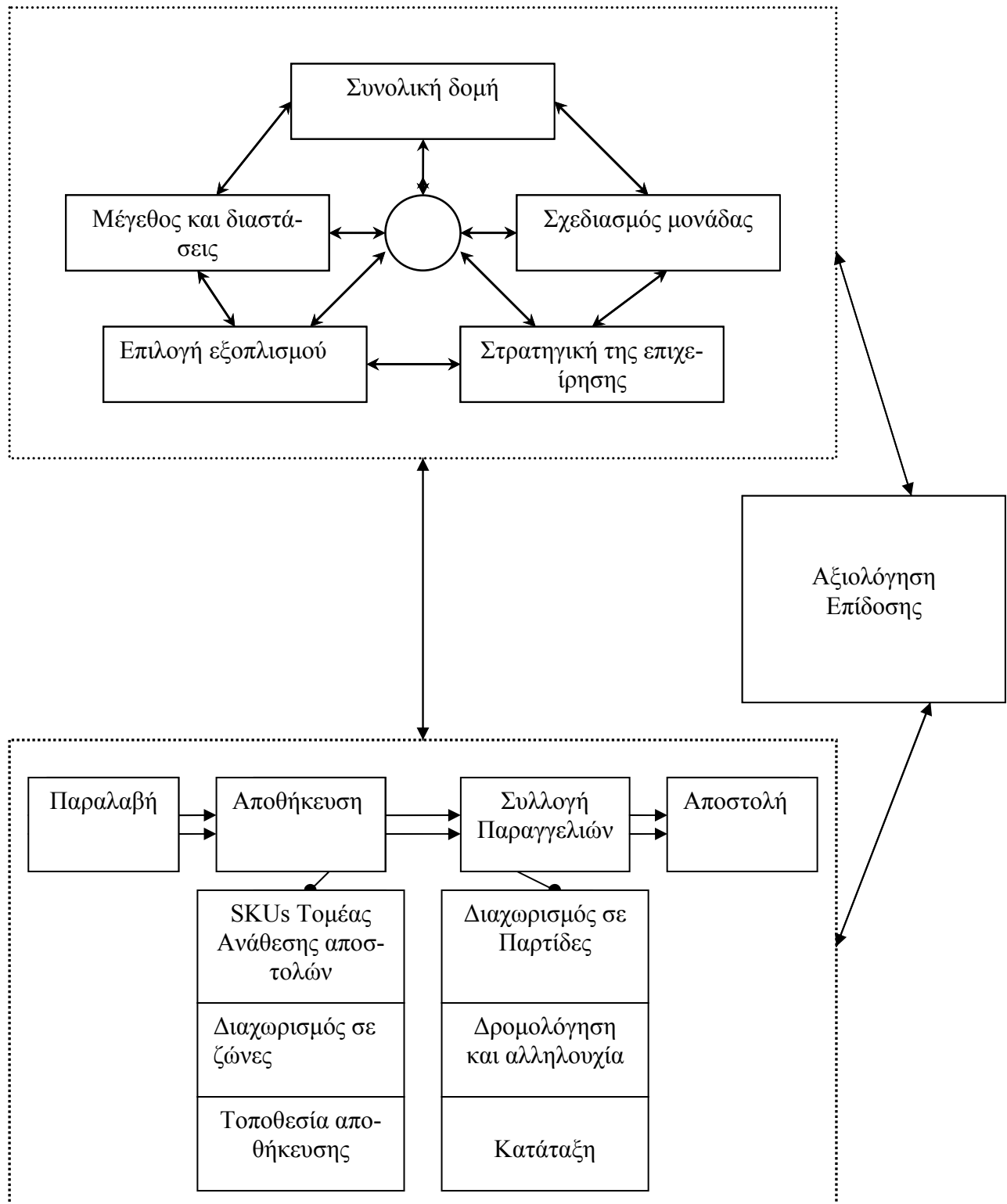
Στο σχεδιασμό αποθηκών εμπορευμάτων, ένα βασικό στρατηγικό ζήτημα είναι η απόφαση σχετικά με το πρόβλημα των περιοχών προώθησης και αποθήκευσης. Η αρχική εκτίμηση για το σχέδιο της περιοχής αποθήκευσης είναι η αποδοτικότητά της. Η προώθηση, αντίθετα, έχει ως σκοπό να διευκολύνει τη γρηγορότερη, και φτηνότερη, επιλογή εντολών των συχνά διαταγμένων στοιχείων, τις μονάδες φύλαξης αποθεμάτων (skus), ή τις οικογένειες προϊόντων, ακόμα κι αν αναλαμβάνει ένα κόστος ξαναγεμίσματος για να κινήσει το υλικό από την αποθήκευση προς την προώθηση καθώς τα προϊόντα μειώνονται [55], [56].

Ακόμα κι αν οι αναλυτικοί ή ευρετικοί αλγόριθμοι μπορούν να είναι διαθέσιμοι για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων σχεδίου, μόλις καθοριστεί η δομή ή η αρχιτεκτονική του συστήματος, το δυσκολότερο πρόβλημα σχεδιασμού αφορά τον προσδιορισμό των κατάλληλων τιμών παραμέτρου για μια δεδομένη αρχιτεκτονική. Τη δομή μπορεί επίσης να αλλάξουν εάν καθορίζεται ότι ένα εναλλακτικό σχέδιο μπορεί να βελτιώσει την απόδοση. Αυτό που απαιτείται, στα πραγματικά σχέδια, είναι ένα σύστημα που επιτρέπει τα εναλλακτικά σενάρια, που διευκολύνουν τη διαλογική βελτιστοποίηση [41], [42], [45].

Ως εκ τούτου στις μέρες μας υφίσταται ένας προσανατολισμός στα συστήματα logistics και παράλληλα στην οπτικό-ποίηση του αρχικού σχεδιασμού σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Το

πρόγραμμα προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σε μια πιο γρήγορη και πιο αποδοτική μετάβαση των προτύπων προσομοίωσης στις πραγματικές διαδικασίες. Το βασικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα σύγκρισης των καταστάσεων της πραγματικής και εικονικής διαδικασίας ανά πάσα στιγμή. Αυτό επιτρέπει την ανεύρεση σημαντικών διαφορών που μπορούν ακόμα να υπάρξουν μεταξύ της πραγματικής διαδικασίας και του εικονικού προτύπου στο στάδιο της αξιολόγησης [56]-[67]

Ένα σχεδιάγραμμα ταξινόμησης προβλημάτων σχεδιασμού και λειτουργίας αποθηκών εμπορευμάτων παρουσιάζεται στην εικόνα 29 (οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν σε παρένθεση τον αριθμό εγγράφων που αναθεωρούνται για κάθε πρόβλημα προγραμματισμού λειτουργίας) και μια πιο λεπτομερής περιγραφή κάθε κατηγορίας προβλήματος δίνεται στον πίνακα 3 [82]



Εικόνα 29: σχεδιάγραμμα ταξινόμησης προβλημάτων σχεδιασμού και λειτουργίας αποθηκών εμπορευμάτων [82]

Σχεδιασμός και προβλήματα διαχείρισης			Αποφάσεις
Σχεδιασμός αποθήκης	Συνολική δομή		- Ροή υλικών - Τομέας Ταυτοποίησης - Σχετική θέση της υπηρεσίας-μονάδας
	Μέγεθος και Διαστάσεις		- Μέγεθος αποθήκης - Μέγεθος και Διαστάσεις των επιμέρους τμημάτων
	Σχεδιασμός μονάδας		- Διαχωριστικά παλετών πρότυπα στοιβάγματος (για την αποθήκευση παλετών) - Προσανατολισμός πτέρυγας - Αριθμός, μήκος και το πλάτος κάθε πτέρυγας - Θέσεις εσόδου
	Επιλογή εξοπλισμού		- Επίπεδο αυτοματοποίησης - Επιλογή εξοπλισμού αποθήκευσης - Επιλογή υλικών χειρισμού εξοπλισμού (προετοιμασία παραγγελιών, διαλογή)
	Στρατηγική της επιχείρησης		- Κανόνες επιλογής αποθήκευσης - Επιλογή μεθόδου προετοιμασίας παραγγελιών
	Παραλαβή και αποστολή Παραγγελιών		- Τοποθεσία σταθμών για φορτηγά ανάθεσης αποστολής - Παραγγελίες-φορτηγών ανάθεσης αποστολής - Πρόγραμμα δρομολογίων φορτηγών αποστολής
Λειτουργία αποθήκης	Αποθήκευση	SKUs Τομέας Ανάθεσης αποστολών	- Ανάθεση των εμπορευμάτων σε διαφορετικές αποθήκες της εταιρίας - Κατανομή χώρου
		Διαχωρισμός σε ζώνες	- Ανάθεση SKUs σε ζώνες - Ανάθεση των συλλεκτών σε ζώνες
		Τοποθεσία αποθήκευσης αποστολής	- Τοποθεσία αποθήκευσης αποστολής - Προδιαγραφές ταξινομημένης αποθήκευσης
	Συλλογή παραγγελιών	Παρτίδες	- Μέγεθος παρτίδας - Ανάθεση παραγγελίας παρτίδας
		Δρομολόγηση και αλληλουχία	- Δρομολόγια και επακόλουθη συλλογή παραγγελιών - Επιλογή έδρας
		Κατάταξη	Ανάθεση παραγγελιών σε διάδρομους κύλισης

Πίνακας 3: Προβλήματα σχεδιασμού και λειτουργίας βιομηχανικής αποθήκης [82]

4.1.1 Μοντέλο διαδικασίας σχεδιασμού βιομηχανικής αποθήκης

Δομή μοντέλου

Βασιζόμενοι στην ακαδημαϊκή και τεχνολογική έρευνα που διεξήχθη, αρχικά θέτουμε μία υποθετική δομή σχεδιασμού βιομηχανικής αποθήκης [43], [44], [45], [46]. Κατά τη διαδικασία αυτή ο

«πελάτης» αποτελεί όρο που θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να αντιπροσωπεύει το άτομο ή τον οργανισμό για τον οποίο πραγματοποιείται ο σχεδιασμός. Οι σχεδιαστές θα μπορούσε να είναι μέλη μιας συμβουλευτικής ομάδας ή θα μπορούσαν να προέρχονται από μια εταιρία logistics provider, ή κάποιος εσωτερικός συνεργάτης από το τμήμα σχεδιασμού.

Η διαδικασία σχεδιασμού λαμβάνει χώρα σε τουλάχιστον δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση οι σχεδιαστές διεξάγουν την απαραίτητη προκαταρκτική εργασία, προκειμένου να παρέχουν μία προεπισκόπηση του γενικού σχεδιασμού. Το αποτέλεσμα αυτής της φάσης μπορεί να είναι μία πρόταση ή ακόμα και ο καθορισμός του προβλήματος, ώστε, προκειμένου να γίνει αποδεκτό από τον πελάτη, να επιδεχτεί τυχόν διορθώσεις.

Η δεύτερη φάση εμπεριέχει την ίδια την εργασία του σχεδιασμού. Το αποτέλεσμα αυτής της φάσης αποτελεί και τον καθοριστικό σχεδιασμό της αποθήκης.

Μία τρίτη φάση θα μπορούσε να είναι η εφαρμογή του σχεδιασμού της βιομηχανικής αποθήκης. Όμως, προς το παρόν δεν υφίσταται πιλοτική περίπτωση ώστε να συμπεριληφθεί και αυτή η φάση στην έρευνά μας.

Κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού υπάρχει μια δομή που περιγράφει τις ενέργειες που αναλήφθηκαν από τον σχεδιαστή. Αυτή η δομή περιγράφει τη ροή πληροφοριών, τη διαδικασία των αποφάσεων καθώς και τις επιπτώσεις τους. Σαν πρώτο βήμα στην εν λόγω διαδικασία οι σχεδιαστές ζητούν δεδομένα από τον πελάτη, τα οποία διακρίνονται σε τέσσερις σημαντικές κατηγορίες [53]:

- Όλα τα προϊόντα που χειρίζεται η αποθήκη (Stock Keeping Units – SKU)
- Ιστορικό των αποστολών του εκάστοτε προμηθευτή
- Ιστορικό απογραφών
- Ιστορικό παραγγελιών πελατών

Φυσικά, όλα τα στοιχεία μπορούν να μην είναι διαθέσιμα, οπότε σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιηθούν εκτιμήσεις. Επιπλέον, πρέπει να προβλεφθεί πιθανή επέκταση της επιχείρησης. Οι σχεδιαστές συμμετέχουν έπειτα σε μια διαδικασία γνωστή ως «σχεδιασμός προφίλ», στην οποία τα στοιχεία αναλύονται για έλεγχο πιθανών επιπτώσεων στο σχεδιασμό [68], [69]. Οι σχεδιαστές, βασισμένοι στην εμπειρία τους, χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα της σκιαγράφησης για να παράγουν τις λειτουργικές απαιτήσεις και τις λειτουργικές δαπάνες. Αυτή η διαδικασία είναι γενικά αναμενόμενη. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι αυτό που αποκαλείται αρχιτεκτονικό

σχέδιο, ή αλλιώς υψηλού επιπέδου προδιαγραφή των λειτουργιών που υποστηρίζονται από την αποθήκη εμπορευμάτων. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτής της προδιαγραφής περιλαμβάνουν διάφορες περιπτώσεις λήψης αποφάσεων, παραδείγματος χάριν, εάν η αποθήκη εμπορευμάτων πρέπει να έχει μια μπροστινή λειτουργία επιλογών για την υψηλή ένταση SKUs, ή αν η αποθήκη εμπορευμάτων πρέπει να επεξεργαστεί κατά δεσμίδες τις διαταγές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, η οποία συνεπάγεται την ανάγκη για μια διαδικασία ταξινόμησης παραγγελιών. Μια διαδικασία εκ των προτέρων επιλογής καθιστά δυνατή την αποδοτικότερη διαταγή επιλογής του SKUs που αποθηκεύεται εκεί, ενώ η επεξεργασία κατά δεσμίδες είναι μια άλλη στρατηγική για να βελτιώσει την αποδοτικότητα διαταγής επιλογής.

Μόλις διευκρινιστεί το αρχιτεκτονικό σχέδιο, η εστίαση μετατοπίζεται στην προδιαγραφή και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων που εφαρμόζουν τις αναγκαίες λειτουργίες, παραδείγματος χάριν η επιλογή, η ταξινόμηση και η διαμόρφωση των τεχνολογιών αποθήκευσης. Φυσικά, η όλη διαδικασία είναι επαναληπτικής φύσης, και είναι πιθανό να οδηγηθεί σε διάφορα εναλλακτικά αρχιτεκτονικά σχέδια. Επιπλέον, ενώ αυτή η δομή ισχύει κυρίως για την εργασία σχεδίου, τα πρώτα της στάδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την διαδικασία προεπισκόπησης των προδιαγραφών του προγράμματος.

4.1.2 Μοντέλο προσομοίωσης βιομηχανικής αποθήκης

Το μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την ανάλυση μίας ήδη υπάρχουσας βιομηχανικής αποθήκης, καθώς επίσης και ως μέθοδος πειραματισμού για διάφορες εναλλακτικές λύσεις αποθηκευτικών διαδικασιών [70], [71], [72]. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο προσομοίωσης αναπτύχθηκε για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να δύναται να δώσει απαντήσεις στα ακόλουθα ζητήματα :

Καθορισμός των ακόλουθων παραγόντων που επηρεάζουν το μέγεθος της αποθήκης :

- Μέγεθος τρέχουσας παραγωγής
- Ηλικία του stock της αποθήκης
- Εισερχόμενο υλικό από άλλες εγκαταστάσεις
- Κύριος χρόνος αποστολής παραγγελίας
- Στοιχεία εξωτερικής προέλευσης
- Χαμηλό επίπεδο ελέγχου αποθήκευσης
- Διαφοροποίηση τύπων ραφιών αποθήκευσης

Περιορισμοί πηγών εξοπλισμού :

- Αποτελεσματικότητα μεθόδου αποθήκευσης
- Αποδοτικότητα μεθόδου επιλογής παραγγελιών (Order picking)
- Δραστηκότητα διάταξης παραγωγής εργοστασίου

Η μοντελοποίηση και η ανάλυση απαιτούν τη συλλογή σημαντικού συνόλου δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά δεν αποτελούνται μόνο από δεδομένα παρατηρήσεων, αλλά και από άντληση πληροφοριών από το σύστημα δεδομένων .

Δεδομένα προερχόμενα από παρατήρηση :

- Διάρκεια αποθήκευσης παλετών
- Διανομή των αφιχθέντων trailer
- Διάρκεια φόρτωσης των trailer
- Διάρκεια παραλαβής παραγγελίας
- Διάρκεια της φάσης επιλογής παραγγελίας

Δεδομένα προερχόμενα από το σύστημα :

- Παραγγελίες πελατών
- Τρέχουσα απογραφή βάσει τοποθεσίας παλετών
- Δεδομένα από τα φυσικά χαρακτηριστικά των ειδών προς αποθήκευση
- Τρέχουσα απογραφή βάσει τεμαχίων
- Παραγωγή παραγγελίας
- Εσωτερικές διαδικασίες αποθήκης
- Απολαβές προμηθευτών

Το μοντέλο προσομοίωσης αποτελείται από επί μέρους υπό μοντέλα, τα οποία όταν συνδυαστούν δημιουργούν ένα δυναμικό μοντέλο, ικανό να χρησιμοποιηθεί για να προσομοιώσει ένα πραγματικό σύστημα. Τα υπό μοντέλα που προαναφέρθηκαν αποτελούν οντότητες, τοποθεσίες ή και πηγές. Οι οντότητες αυτές ελέγχουν τη ροή μιας ενέργειας ή την εκάστοτε διαδικασία μέσα στο σύστημα [73], [74]. Οι τοποθεσίες καθορίζουν τους στόχους όπου αυτές οι διαδικασίες αποσκοπούν και οι πηγές είναι τα αντικείμενα που απαιτούνται προκειμένου να πραγματοποιηθούν αυτές οι διαδικασίες.

Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά στοιχεία κάθε υπό μοντέλου που θα αναπτυχθεί για την προσομοίωση της αποθήκης :

Οντότητες

- *Παραγωγή παραγγελιών*: η συγκεκριμένη οντότητα αντιπροσωπεύει τις ολοκληρωμένες από τις μηχανές παραγωγής παραγγελίες, σε καθημερινή βάση. Επιπλέον αποτελεί δείκτη του αριθμού των προϊόντων και τις ποσότητες που παράγονται από κάθε γραμμή παραγωγής.
- *Μονάδα* : αυτή η οντότητα αντιπροσωπεύει μία μονάδα πακεταρισμένων προϊόντων. Αυτές οι μονάδες φορτώνονται σε παλέτες για ενδεχόμενη μεταφορά στην αποθήκη.
- *Παλέτα* : η συγκεκριμένη οντότητα ξεκινά ως άδεια παλέτα, η οποία τοποθετείται στην περιοχή φόρτωσης, όπου φορτώνεται με δεσμίδες προϊόντων (κιβώτια κλπ.). Όντας γεμάτη, η οντότητα αυτή πλέον θα αντιπροσωπεύει μία παλέτα με προϊόντα έτοιμη για αποθήκευση.
- *Ανεφοδιασμός* : αυτή η οντότητα ελέγχει την λειτουργία του ανεφοδιασμού στην παραλαβή των κιβωτίων. Μόλις δημιουργηθεί, θα οριστεί σε αυτήν την οντότητα ένας αριθμός προϊόντων. Έπειτα θα απελευθερωθούν οι αποθηκευμένες παλέτες, που ανακτώνται από το προσωπικό της αποθήκης (οδηγοί fork lift).
- *Παραγγελία πελάτη* : η οντότητα αυτή είναι γενικευμένη και ρυθμίζει την έναρξη της διαδικασίας επιλογής μονάδων. Η συγκεκριμένη οντότητα παραμένει στο σύστημα έως ότου οι έτοιμες παλέτες να φορτωθούν στο όχημα μεταφοράς
- *Παλέτα πελατών* : αντιπροσωπεύει τις παλέτες που γεμίζουν κατά τη διάρκεια της επιλογής παραγγελίας.

Τοποθεσίες

- *Σταθμός εργασίας* : αποτελεί τον χώρο όπου βρίσκονται οι μηχανές για την κατασκευή των προϊόντων.
- *Στάδιο προώθησης* : είναι ο χώρος όπου παραμένουν οι παλέτες μεταξύ της παραγωγής και του χώρου αποθήκευσής τους.
- *Αποθήκες παλετών* : προκειμένου να οριστεί το αποθηκευτικό σύστημα μιας βιομηχανικής αποθήκης απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός περιοχών αποθήκευσης. Καθεμία από αυτές τις περιοχές μπορεί να τροποποιηθεί μεταβάλλοντας κάποιες παραμέτρους, έτσι ώστε να καθορίζονται οι διαφορετικοί τύποι αποθήκευσης. Ο αριθμός και ο τύπος θα ποικίλει καθώς διάφορα σενάρια τρόπου αποθήκευσης θα αναπτύσσονται.

- *Θέση αποθήκευσης A* : είναι οι θέσεις των διαθέσιμων παλετών για παράδοση.
- *Θέση προώθησης σε πελάτες* : υπάρχει συγκεκριμένη περιοχή από όπου λαμβάνονται οι παλέτες που πρόκειται να προωθηθούν στο χώρο παράδοσης προς τον πελάτη.

Πηγές

- *Χειριστές υλικού παραγωγής* : αποτελούνται από το πλήρωμα που μεταφέρει τις έτοιμες παλέτες από τον σταθμό παραγωγής στο χώρο συσκευασίας.
- *Οδηγοί οχημάτων αποθήκευσης* : αυτή η ομάδα είναι αρμόδια για την ταξινόμηση και ανάκτηση των παλετών από τις θέσεις αποθήκευσης, όταν αυτό είναι απαραίτητο. Άλλη μία αρμοδιότητά τους είναι το ξεφόρτωμα των παλετών από τους χώρους αποθήκευσης προκειμένου να σταλούν οι παραγγελίες.
- *Πλήρωμα διαλογής* : αυτή η ομάδα είναι υπεύθυνη για την διαλογή και τη συσκευασία των συμπληρωμένων παλετών.
- *Φορητά παραλαβής, ανύψωσης και αποθήκευσης* : Αυτά τα φορητά (fork lift) χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και την ανάκτηση των παλετών από τα ράφια παλετών. Γενικά χρησιμοποιούνται για την φόρτωση των οχημάτων παραγγελιών, αλλά χρησιμοποιούνται και για διάφορες άλλες εργασίες. Αυτή η πηγή θα έχει έναν σχετικό χρόνο διακοπής για τις αλλαγές μπαταριών.

Η γενικότερη λογική ροής διαδικασιών διασπάστηκε σε επιμέρους διαδικασίες / διαγράμματα ροής. Τα διαγράμματα αυτά διασφαλίζουν ότι το μοντέλο αντικατοπτρίζει τις πραγματικές συνθήκες της υπό ανάλυση βιομηχανικής αποθήκης.

- *Παλετοποίηση* : αυτό το τμήμα της μοντελοποίησης είναι διαθέσιμο για τις λειτουργίες της αποθήκης που περιλαμβάνουν την παλετοποίηση. Το διάγραμμα αυτό εμπεριέχει τη λογική ροή των ενεργειών από την παραγωγή και τα εισερχόμενα προϊόντα έως την πλατφόρμα φόρτωσης και την παλετοποίηση
- *Κατασκευή* : περιγράφει τις διαδικασίες της παραγωγής των προϊόντων από το αρχικό setup και την παλετοποίηση έως την παραλαβή των έτοιμων παλετών από την αποθήκη.
- *Αποθήκευση και ανάκτηση* : περιέχει τη διαδικασία ροής των έτοιμων παλετών από το output της κατασκευής προς την αποθήκευση των έτοιμων παλετών, καθώς και την ανάκτησή τους κατά τη διαδικασία επιλογής.
- *Εκπλήρωση παραγγελίας* : περιγράφει τη λειτουργία των εντολών επιλογής παραγγελιών μέσω της αποστολής τους.

Το πρότυπο προσομοίωσης μπορεί να οργανωθεί για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα ανάλογα με το ποσό των προϊόντων που είναι διαθέσιμα. Συγκεκριμένα θα πρέπει το μοντέλο να οργανωθεί για ένα αξιόλογο χρονικό διάστημα ικανό ώστε να έχει λειτουργήσει επαρκώς το σύστημα, προκειμένου να συλλέξει στατιστικά υγιή στοιχεία. Ο χρήστης θα πρέπει να έχει επίσης τη δυνατότητα να αλλάζει τις παραμέτρους των χρονικών καθυστερήσεων τυχαία για πιο αντικειμενικά αποτελέσματα.

4.2 Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Όπως σχεδόν κάθε επιχειρησιακή λειτουργία έτσι και οποιοδήποτε σύστημα διαχείρισης αλυσίδας εφοδιασμού δέχεται σημαντικές αλλαγές με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οφείλετε κυρίως στις μεταβολές της αγοράς (προϊόντων και υπηρεσιών) καθώς έχουν να ικανοποιήσουν ολοένα και περισσότερες ανάγκες (καταναλωτών) και των τεσσάρων παραγόντων που αναφέραμε παραπάνω.

Η ευκολία και η ακρίβεια διάθεσης της πληροφορίας κόστους του συστήματος, τα οποία δυστυχώς ελάχιστες ελληνικές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν είναι ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα για τη διαχείριση αλυσίδας εφοδιασμού. Για τη σωστή λειτουργία αυτών των συστημάτων κοστολόγησης απαραίτητη είναι και η σχετική μεταφορά τεχνογνωσίας από ειδικούς στα μέλη της επιχείρησης που κι αυτή με τη σειρά της δημιουργεί κόστος όχι αμελητέο για τις επιχειρήσεις της χώρας μας.

Απαραίτητη επίσης είναι η εγκατάσταση των αντίστοιχων συστημάτων επικοινωνιών. Το να υπάρχουν συστήματα λογιστικού επιμερισμού του κόστους ή διαχείρισης της αποθηκευτικής πληροφορίας δεν είναι αρκετό καθώς θα πρέπει αυτή η πληροφορία να διαχέεται γρήγορα και αποτελεσματικά προς τις ανάλογες κατευθύνσεις καθώς μόνο τότε μπορεί να βελτιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα ενός πληροφοριακού και διαχειριστικού συστήματος Διαχείρισης Αλυσίδας Εφοδιασμού.

Τα τελευταία χρόνια επίσης παρατηρούμε τις προσπάθειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης να διευρύνει τα σύνορα της, όχι μόνο για την ειρήνη και την ασφάλεια μεταξύ των χωρών μελών της, αλλά και για να βοηθήσει την πρόσβαση των δυτικών επιχειρήσεων σε νέες αγορές, υποβοηθούμενη πάντα από την τεχνολογική επανάσταση που συντελείται στις μέρες μας. Έτσι ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις προσπαθώντας να διεθνοποιηθούν ξεπερνούν τα στενά εθνικά σύνορα και προχωρούν σε εξαγωγές προϊόντων σε όλο τον κόσμο ή τουλάχιστον σε περισσότερες χώρες από αυτές που έκαναν. Το συλλογικό marketing είναι μια από τις δραστηριότητες που έχουν δημιουργήσει οι τάσεις αυτές μεταξύ των εταιριών που ανήκουν στον ίδιο κλάδο με κύριο σκοπό την αύξηση της ζήτησης των τοπικών αγορών. Το σπουδαιότερο έργο του συλλογικού marketing όμως είναι η δημιουργία της ανάγκης για ανάπτυξη από κοινού δικτύων διαχείρισης αλυσίδας εφοδιασμού και η ανάγκη απόκτησης ποικίλων γνώσεων και δεξιοτήτων από στελέχη εξειδικευμένα στην Διαχείριση Αλυσίδας Εφοδιασμού. Όσο μια εταιρεία εξαπλώνεται διεθνώς αυτή η συνολική, ενοποιημένη διαχείριση αλυσίδας εφοδιασμού κερδίζει την εμπιστοσύνη της καθώς η συνολική ανάλυση του κόστους γίνεται ολοένα και πιο σύνθετη. Τέλος αξίζει να αναφέρουμε ότι η διεθνοποίηση των αγορών έχει ανάγκη ένα αρκετά μεγάλο όγκο μικρών εξαγωγικών εταιριών (όπως οι Ελληνικές), ενώ έχει αυξημένες αποθηκευτικές και μεταφορικές απαιτήσεις.

4.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Τα συστήματα διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού θεωρούνται από πολλούς, όχι άδικα, ένας από τους χώρους της πληροφοριακής τεχνολογίας που θα σημειώσουν ισχυρούς ρυθμούς ανάπτυξης για τα επόμενα χρόνια. Στο διεθνές επιχειρηματικό περιβάλλον συνιστούν τις λύσεις ή τις ενότητες λύσεων οι οποίες βρίσκονται στην καρδιά της επίτευξης πολλαπλών ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων, αφού συμβάλουν στον πλήρη έλεγχο, την εποπτεία αλλά και την ταχύτατη προσαρμογή των πολύπλοκων αλλά και ιδιαίτερα απαιτητικών σύγχρονων αλυσίδων εφοδιασμού στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των πελατών.

Στο παραπάνω πλαίσιο γίνεται αντιληπτό ότι το πεδίο μελέτης των συστημάτων αυτών παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον και χαρακτηρίζεται από πολλαπλά οφέλη, ιδιαίτερα για την ανάπτυξη της ελληνικής επιχειρηματικότητας και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ελληνικής οικονομίας. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω μελέτη του πεδίου αυτού προς τις ακόλουθες κατευθύνσεις - προεκτάσεις:

- Καταγραφή των προβλημάτων και των ειδικών ζητημάτων ενοποίησης των SCMs με τα υφιστάμενα συστήματα στις ελληνικές επιχειρήσεις. Καθορισμός ανάγκης ενοποίησης μεταξύ συστημάτων της αλυσίδας εφοδιασμού.
- Παρουσίαση και περιγραφή των κυριότερων Supply Chain Planning (SCPs) και Supply Chain Execution (SCEs) των συστημάτων (αναφορές σε συγκεκριμένα προϊόντα και προμηθευτές - έμφαση στην Ελλάδα) όσο και σε αποκλειστικούς SCMs προμηθευτές όσο και από προμηθευτές ERPs -Οικονομική ανάλυση και πιθανή ομαδοποίηση των εφαρμογών αυτών ανά κλάδο βιομηχανίας.
- Καθιέρωση της παρακολούθησης και καταγραφή του λογιστικού κόστους, ως ποσοστό του ΑΕΠ, στην Ελληνική επικράτεια και αναζήτηση της συμμετοχής της πληροφοριακής τεχνολογίας και των SCMs στο παραπάνω ποσοστό.
- Ποίες είναι οι υφιστάμενες περιοχές σε λύσεις αλυσίδας εφοδιασμού μέσω Application Service Providers (ASP) στην Ελλάδα - Δυνατότητες, κόστη και πιθανές αναλυτικές μελέτες περιπτώσεων.
- Κατηγοριοποίηση επιχειρήσεων σύμφωνα με τις πρακτικές, τα μοντέλα και την υφιστάμενη υποδομή που έχουν υιοθετήσει σε τεχνολογίες e-business.[75]

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περαιτέρω ανάπτυξη ή να αποτελέσει έμπνευση από εταιρίες δημιουργίας ειδικών πακέτων προσομοίωσης για την δημιουργία βιομηχανικών αποθηκών αλλά και άλλων εμπορικών μονάδων όπως είναι τα IKEA τα MACRO τα LIDL τα MALLS κ.α που βασίζονται ή μιμούνται το σχεδιασμό βιομηχανικών αποθηκών και θα έχουν ως κύριους άξονες ανάπτυξης και μελέτης τα τρία βασικότερα στοιχεία ανάπτυξης και σχεδιασμού μελέτης προϊόντος.

- Ενδότερη επιχειρησιακή χωροταξία
- Ασφάλεια
- Οικονομικό όφελος από τεχνοοικονομική μελέτη

Για την λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων απαιτείται τεράστιος όγκος πληροφοριών σχετικά με την εισροή και εκροή δεδομένων που αφορούν πληροφορίες όπως αποθηκευτικός χώρος, οι κατηγοριοποιήσεις των προϊόντων, τα δρομολόγια και πολλές ακόμα πληροφορίες όπως αναπτύχθηκαν και παρουσιάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αυτός λοιπόν ο όγκος πληροφοριών θα πρέπει να είναι οργανωμένος και να μπορεί να παρθεί οποιαδήποτε πληροφορία ανά πάσα στιγμή χωρίς χρονοβόρες διαδικασίες. Με την δημιουργία αυτού του λογισμικού πακέτου η διαδικασία ανάκτησης και ανεύρεσης οποιασδήποτε πληροφορίας αποθηκευμένης στο σύστημα θα είναι άμεση και λειτουργική. Το όφελος θα είναι τεράστιο αν από πριν ακόμα κατασκευαστεί η αποθήκη θα γνωρίζουμε που θα βρίσκονται οι χώροι αποθήκευσης οι διάδρομοι και όλα τα απαραίτητα στοιχεία που απαρτίζουν την αποθήκη αφού δεν θα χρειάζεται η επανασχεδίαση σε πραγματικές συνθήκες πράγμα που σημαίνει πρόβλεψη για την σωστή εκμετάλλευση των χώρων χωρίς επιπρόσθετο κόστος.

Όσον αφορά την ασφάλεια της εγκατάστασης με το πακέτο προσομοίωσης θα μπορούμε να μελετήσουμε αναλυτικά τα στοιχεία που απαρτίζουν τα στοιχεία αποθήκευσης όπως είναι για παράδειγμα το βάρος που θα μπορεί να συγκρατεί η κάθε παλέτα αφού έτσι προνοεί για τυχών ατυχήματα από αστοχία υλικού λόγω υπερβολικού βάρους σε μια παλέτα αλλά ακόμα και για την σωστή επιλογή των υλικών που θα αποτελούνται οι αποθήκες για την αποφυγή οποιασδήποτε αστοχίας, το ύψος που θα μπορεί να φτάσει το στοίβαγμα, το βάρος που θα σηκώνουν οι γερανογέφυρες, το πλάτος των διαδρόμων να είναι αρκετό για τις μανούβρες των forklifts που χωρίς την μελέτη θα ήταν αδύνατη η πρόβλεψη τις επιλογής των ειδικά διαμορφωμένων forklifts ανάλογα με το ύψος

που φτάνουν τα πιρουνιά, το πλάτος τους, αν θα μπορεί να περάσει από τους διαδρόμους, η μελέτη πυρασφάλειας, οι εξαερισμοί και πολλά άλλα.

Τέλος με την χρήση τέτοιων πακέτων όπως αναφέρθηκε και στους προηγούμενους δυο άξονες βλέπουμε καθαρά τα οικονομικά οφέλη, εφόσον με την πρόβλεψη της σωστής και τελικής χωροταξίας και την πρόβλεψη τυχών αστοχιών λόγω υλικών όπως αναφέρθηκε ως παράδειγμα στην προηγούμενη παράγραφο θα είναι τεράστια. Δεν θα χρειάζεται να περιμένουμε να δούμε αν τελικά τα υλικά που διαλέχτηκαν ήταν τα σωστά, ή αν οι χώροι θα είναι αρκετοί για την αποθήκευση των προϊόντων κ.α όλα τα προβλήματα θα είναι από πριν ορατά θα διορθώνονται άμεσα και το κέρδος θα είναι καθαρό.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Childs P.R.N., 2003, “*Mechanical Design*”, Butterworth-Heinemann, Great Britain
- [2] Monedero J., “*Parametric design. A review and some experiences*” TU Wien web-site: (<http://info.tuwien.ac.at/ecaade/proc/moneder/moneder.htm>) Μάρτιος 2010
- [3] Shah J. J. and M. Martii, 2004, “*Parametric and F.E.Atature-based CAD/CAM*”, John Wiley & Sons Inc., United Sates Of America
- [4] University of Calgary’s website: (<http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/motta/pardes-banff.html#fn2>) Μάρτιος 2010
- [5] Suh N. P., 1990, “*The principles of design*”, Oxford University Press, New York
- [6] Ullman D. G., 1997, “*The Mechanical Design Process*”, McGraw-Hill International Editions, Singapore
- [7] Finger S. and J. R. Dixon, 1989, “*A Review of research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-Based Models of Design Processess*”, Research in Engineering Design, Springer-Verlag New York Inc
- [8] Finger S. and J. R. Dixon, 1989, “*A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part II: Representations, Analysis, and Design for the Life Cycle*”, Research in Engineering Design, Springer-Verlag New York Inc
- [9] NetMBA Business Knowledge Center website: (<http://www.netmba.com/operations/project/cpm/>) Μάρτιος 2010
- [10] University of South Carolina, Arnold School of Public Health, Dept. of Health Services Policy and Management Courses and Curricula, HSPM J716 (<http://hadm.sph.sc.edu/COURSES/J716/CPM/CPM.html>) Μάρτιος 2010
- [11] NetMBA Business Knowledge Center website: (<http://www.netmba.com/operations/project/pert/>) Μάρτιος 2010
- [12] Wikipedia website for Market research: (http://en.wikipedia.org/wiki/Market_research) Μάρτιος 2010
- [13] Ashby M. F., 1999, “*Materials Selection in Mechanical Design*”, Butterworth-Heinemann, Great Britain
- [14] Wheelright S. and K. Clark, 1992, “*Revolutionizing Product Development*”, Free Press, New York
- [15] Bugard F. and J. Schlattmann, 2001, “*A systematic analysis of the areas of product optimization*”, Journal of Material Processing Technology, Vol. 117, pp.222 – 225
- [16] Wikipedia website for Optimization techniques (http://en.wikipedia.org/wiki/Optimization_%28mathematics%29#Techniques) Μάρτιος 2010
- [17] Wikipedia website for Multidisciplinary Optimization: (http://en.wikipedia.org/wiki/Multidisciplinary_design_optimization) Μάρτιος 2010

- [18] Gregory J. and R. Kirchain, 2005, “Economic & Environmental Issues in Materials Selection”, MIT lecture notes: (<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Materials-Science-and-Engineering/3-080Fall-2005/LectureNotes/index.htm>) Μάρτιος 2010
- [19] Μιχαλόπουλος Δ., 2002, “Σχεδιασμός Μηχανολογικών Συστημάτων”, Τμήμα Εκτυπώσεων Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα
- [20] Σαραβάνος Δ. Α., 2002, «Εισαγωγή στη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων», Τμήμα Εκτυπώσεων Τυπογραφείου Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα
- [21] Liu Y., 1998, “Introduction to Finite Element Method – I & II”, Lecture Notes, Mechanical Engineering Department, University of Cincinnati
- [22] Moaveni S., 1999, “Finite Element Analysis. Theory And Applications with ANSYS”, Prentice Hall, New Jersey
- [23] Wikipedia site for Finite Element Analysis: http://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_analysis Μάρτιος 2010
- [24] Weck, M., 1984, Handbook of Machine tools - Volume 2: Construction & Mathematical Analysis, J. Wiley
- [25] G. Bianchi, F. Paolucci, P. Van den Braembussche, H. Van Brussel, 1996, Towards virtual engineering in machine tool design, Annals of the CIRP Vol.45
- [26] U. Heisel, M. Gringel, 1996, Machine tool design requirements for high speed machining, Annals of the CIRP Vol.45
- [27] S.B. Rao, 1997, Metal Cutting Machine Tool Design – A review, Transactions of the ASME, Journal of Manufacturing science and Engineering, Vol 119, p. 713-716
- [28] ANSYS Website: <http://www.ansys.com> Μάρτιος 2010
- [29] University of Alberta, website for ANSYS Tutorials, <http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/AU/ProE/ProE.html>
- [30] Website for F.E.A: <http://www.F.E.Adomain.com/> Μάρτιος 2010
- [31] Fluent website: <http://www.fluent.com/about/news/newsletters/00v9i1/a7.htm> Μάρτιος 2010
- [32] Application Briefs from Fluent, 2002, “Formula 1 External Aerodynamics”, Fluent Inc., EX 166
- [33] Damodaran, V. and S. Kaushik, 2000, “Simulation to identify and resolve underhood and underbody vehicle thermal issues”, Journal Articles from Fluent Users, Fluent Inc., JA 118
- [34] Vodafone McLaren Mercedes website: http://www.mclaren.com/F.E.Atures/technical/stress_to_impress.php Μάρτιος 2010
- [35] ANSYS Website: <http://www.ansys.com/industries/automotive-underhood-cooling.asp#> Μάρτιος 2010
- [36] F.E.A Info by Dermot Monaghan website: <http://www.dermotmonaghan.com/> Μάρτιος 2010
- [37] Machine Design website: <http://www.machinedesign.com/asp/viewSelectedArticle.asp?strArticleId=58603&strSite=MDSite&catId=2> Μάρτιος 2010

- [38] ANSYS Website for electromagnetic solutions:
<http://www.ansys.com/solutions/electromagnetics.asp#> Μάρτιος 2010
- [39] Cormier, G. and E. A. Gunn. 1996. "Simple models and insights for warehouse sizing", Journal of the Operational Research Society 47: 690-696.
- [40] Cormier, G. and E. A. Gunn. 1999. "Modelling and analysis for capacity expansion planning in warehousing", Journal of the Operational Research Society 50: 52-59.
- [41] Daniels, R. L., Rummel, J. L., and R. Schantz. 1998. "A model for warehouse order picking", European Journal of Operational Research 105 (1): 1-17.
- [42] Hodson, W. K. (ed.). 1992. "Industrial Engineering Handbook", New York: McGraw-Hill.
- [43] Kelton, W. D., and A. M. Law. 1991. "Simulation Modelling and Analysis", New York: McGraw-Hill.
- [44] A. Hamiani, "CONSISTE: a knowledge-based expert system framework for construction site layout", PhD Thesis, University of Texas, Austin (1987).
- [45] R. Marasini, N.N. Dawood, B. Hobbs, "Stockyard layout planning in precast concrete products industry: a case study and proposed framework", Constr. Manage. Econ. 19 (2001) 365–377.
- [46] D.R. Riley, V.E. Sanvido, "Space planning method for multistory building construction", J. Constr. Eng. Manage., ASCE 123 (2) (1997) 171–180.
- [47] Ashayeri, J. and L. F. Gelders. "Warehouse Design Optimization," European Journal of Operational Research, Vol. 21, pp. 285-294, 1985
- [48] Rosenblatt, M. J., Y. Roll and V. Zyser. "A Combined Optimization and Simulation Approach for Designing Automated Storage-Retrieval Systems", IIE Transactions, Vol. 25, No. 1, pp. 40-50, 1993.
- [49] Gu, J.X., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F., 2005. "Warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review", Working Paper, Virtual Factory Laboratory, Georgia Institute of Technology.
- [50] Egbelu, P.J., 1991. "Framework for dynamic positioning of storage/retrieval machines in an automated storage/retrieval system", International Journal of Production Research 29 (1), 17–37.
- [51] .
- [52] Guenov, M., Raeside, R., 1992. "Zone shapes in class based storage and multicommand order picking when storage/retrieval machines are used", European Journal of Operational Research 58, 37–47.
- [53] Hausman, W.H., Schwarz, L.B., Graves, S.C., 1976. "Optimal storage assignment in automatic warehousing systems", Management Science 22 (6), 629–638.
- [54] Jaikumar, R., Solomon, M.M., 1990. "Dynamic operational policies in an automated warehouse", IIE Transactions 22 (4), 370–376.
- [55] Jane, C.C., 2000. "Storage location assignment in a distribution center", International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 30 (1), 55–71.
- [56] Jarvis, J.M., McDowell, E.D., 1991. "Optimal product layout in an order picking warehouse", IIE Transactions 23 (1), 93–102.

- [57] Zhang, G., Xue, J., Lai, K.K., 2002. "A class of genetic algorithms for multiple-level warehouse layout problems", International Journal of Production Research 40 (3), 731–744.
- [58] Van den Berg, J.P., Gademann, A.J.R.M.N., 2000. "Simulation study of an automated storage/retrieval system", International Journal of Production Research 38 (6), 1339–1356.
- [59] Διαδικτυακή εγκυκλοπαίδεια "WIKIPEDIA"
- [60] (http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_modelling#Parametric_solid_modelling) Μάρτιος 2010
- [61] Διαδικτυακή τεχνική εγκυκλοπείδια "TechWeb"
- [62] (<http://www.techweb.com/encyclopediaparametric+modeling>) Μάρτιος 2010
- [63] Εφαρμογή του παραμετρικού σχεδιαστικού προγράμματος "Solid Works" από την εταιρία "Electrolux"
- [64] (<http://www.solidworks.com/pages/successes/viewsuccess.html?record=472>)
- [65] Εφαρμογή ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων σε ζάντα αυτοκινήτου από την εταιρία CompuMod, για λογαριασμό αυτοκινητοβιομηχανίας
(<http://www.compuMod.com.au/consulting/wheel/wheel.htm>) Μάρτιος 2010
- [66] Εφαρμογή ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων σε σύνδεσμο αξονικού ανεμιστήρα από την εταιρία Air Radiators Pty Ltd, με την χρήση του λογισμικού Lusas
(<http://www.lusas.com/case/analyst/impeller.html>) Μάρτιος 2010
- [67] Τρέχοντα και πρόσφατα ερευνητικά προγράμματα που εκπονούνται από το ινστιτούτο CANCES
(http://www.cances.atp.com.au/Current_Projects/Current_Projects.htm#Wilson) Μάρτιος 2010
- [68] Deisinger, J., Breining R, "Ergonaut: A Tool for Ergonomic Analyses in Virtual Environments", Virtual Environments 2000, Proceedings of the 6th Eurographics Workshop on Virtual Environments June 1 - June 2, 2000, Amsterdam, The Netherlands. J.D. Mulder, R. van Liere (eds.) Springer Wien, New York. ISBN: 3-211-83516-4.
- [69] RAMSIS, http://www.human-solutions.com/produkte_ramsis_e.php Μάρτιος 2010
- [70] <http://www.classwarehouse.com/> Μάρτιος 2010
- [71] http://www.adonix.com/products/geodegx_overview.htm Μάρτιος 2010
- [72] <http://www.provia.com/ProductSolutions/ViaWareWMS/default.htm?ave=3PL> Μάρτιος 2010
- [73] http://www.catalystwms.com/content/Solution_Center/execution/warehousing/management.asp Μάρτιος 2010
- [74] T. Govindaraj, Edgar E. Blanco and Leon E McGinnis, L.F., 2005 "An on-line tutor for warehouse design", Working Paper, Virtual Factory Laboratory, Georgia Institute of Technology
- [75] Βικιεπιστήμιο κοινότητα ανοικτής μάθησης
([http://el.wikiversity.org/wiki/Supply_Chain_Planning_Systems_\(SCP\)](http://el.wikiversity.org/wiki/Supply_Chain_Planning_Systems_(SCP))) Μάρτιος 2010
- [76] <http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2003/Chapter%2003.pdf> Αύγουστος 2010 σελ 90
- [77] Bathe K.J. Finite Element Procedures. Prentice Hall Inc, New Jersey ,1996.
- [78] Hughes O. Ship Structural Design: A rationally-based, computer-aided optimization procedure. SNAME, New York, 1996.

- [79] <http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2007/Chapter%2007.pdf> Αύγουστος 2010 σελ 246
- [80] Basu R.I., Kirkhope K.J., Srinivasan J. "Guidelines for Evaluation of Finite Elements and Results" . Ship Structure Committee Report, SSC-387, Dec 1995, U.S. Coastguard, Washington, U.S.A.
- [81] <http://www.mech.upatras.gr/~nikos/mis-ii/notes/notes-04.pdf>. Ιούνιος 2010
- [82] Cormier, G. and E. A. Gunn. 1999. "*Modelling and analysis for capacity expansion planning in warehousing*", Journal of the Operational Research Society 50: 52-59