



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΠΜΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Παναγιώτης Μπάρλας**

**Ανάπτυξη υβριδικού συστήματος αυτόματης κοστολόγησης:  
Εφαρμογή σε βιομηχανία παραγωγής ψυκτικών συστημάτων μεσαίας  
κλίμακας**

**Επιβλέπων: Δημήτριος Καραλέκας, Καθηγητής**

**Πειραιάς, 2023**

---

## ΔΗΛΩΣΗ

«Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου».

«Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού ΜΔΕ ανήκουν στο μεταπτυχιακό φοιτητή και το επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και τον επιβλέποντα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα) ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο».

---

## Πρόλογος

Η ολοκλήρωση και η παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οδηγεί στην ολοκλήρωση των σπουδών μου στο τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Από την θέση αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος, για τις γνώσεις που μας μετέδωσαν. Περισσότερο από όλους όμως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας, κ. Δημήτριο Καραλέκα, για την εξαιρετική συνεργασία και τις εύστοχες παρεμβάσεις καθ' όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ θερμά, τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, κ. Γρηγόριο Χονδροκούκη και κ. Νικολέττα Χατζηνταή, για την συμμετοχή τους στην διαδικασία κρίσης και αξιολόγησης της εργασίας.

Πέραν των καθηγητών του τμήματος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην εταιρεία στην οποία εργάζομαι, τόσο για την αμέριστη κατανόηση καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου όσο και για την παροχή δεδομένων και χρήσιμων πληροφοριών για την εκπόνηση της εργασίας. Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, η οποία υποστηρίζει ενεργά κάθε βήμα που επιλέγω να υλοποιήσω στην επαγγελματική και επιστημονική μου σταδιοδρομία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ψηφιακά πρωτότυπα αποτελούν αναμφίβολα ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τις σύγχρονες παραγωγικές μονάδες. Η ανάπτυξη κατάλληλων πρωτοτύπων για την προσομοίωση διάφορων διαδικασιών, γίνεται με την βοήθεια έμπειρων και εξειδικευμένων σχεδιαστών, οι οποίοι επιδρούν ενεργά στα περισσότερα στάδια ανάπτυξης νέων προϊόντων. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, συνδυάζονται οι δυνατότητες των παραμετρικών ψηφιακών πρωτοτύπων με αναλυτικές μεθόδους, έτσι ώστε να αναπτυχθεί ένα υβριδικό σύστημα αυτόματης κοστολόγησης προϊόντων.

Για την ανάπτυξη του συστήματος κοστολόγησης, ακολουθείται μια αλγοριθμική διαδικασία, η οποία δομείται με βάση το πρωτόκολλο του μικρού βαθμού διεπαφής των χρηστών με το σύστημα. Το σύστημα ελέγχεται ως προς την αποτελεσματικότητά του, για ορισμένους ταχυκίνητους κωδικούς μιας εταιρείας παραγωγής ψυκτικών συστημάτων. Τα αποτελέσματα από τον έλεγχο του προτεινόμενου συστήματος, έδειξαν ότι χαρακτηρίζεται από υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας συγκριτικά με τις εμπειρικές μεθόδους κοστολόγησης, που χρησιμοποιούνται στην εταιρεία. Ειδικότερα, αποδείχτηκε ότι οι εμπειρικές μέθοδοι οδηγούν σε υπέρ εκτίμηση του κόστους, σε ποσοστό 20% και άνω. Η ενσωμάτωση του συστήματος στην εταιρεία, αναμένεται να συμβάλει στην δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος μέσω αναδιαμόρφωσης των επιπέδων των τιμών πώλησης και των πλάνων παραγωγής, εν γένει.

**Λέξεις – κλειδιά:** βιομηχανικός σχεδιασμός, ψηφιακά πρωτότυπα, ανάπτυξη προϊόντων, αυτόματη κοστολόγηση

## ABSTRACT

Digital prototypes are undoubtedly a very important tool for modern production units. The development of suitable prototypes for the simulation of various processes is done with the help of experienced and skilled designers, who are active in most stages of new product development. In the context of this paper, the capabilities of parametric digital prototypes are combined with analytical methods to develop a hybrid system of automatic product costing.

To develop the costing system, an algorithmic process is followed, which is structured based on the protocol of the small degree of user interface with the system. The system is tested for its effectiveness, for certain quick codes of a refrigeration manufacturing company. The results from the testing of the proposed system, showed that it is characterized by a high level of detail compared to the empirical costing methods used in the company. In particular, it was shown that the empirical methods lead to an overestimation of costs of more than 20%. The integration of the system in the company is expected to help create a competitive advantage through the reconfiguration of sales price levels and production plans in general.

**Key – words:** industrial design, digital prototypes, product development, automatic costing

---

## Πίνακας περιεχομένων

Κατάλογος Εικόνων .....	8
Κατάλογος Πινάκων.....	9
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Βιομηχανικός σχεδιασμός.....	3
1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο .....	3
1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή .....	5
1.3 Στάδια βιομηχανικού σχεδιασμού .....	7
Κεφάλαιο 2: Τα πρωτότυπα στην βιομηχανία.....	13
2.1 Είδη πρωτοτύπων .....	13
2.1.1 Φυσικά πρωτότυπα.....	15
2.1.2 Ψηφιακά πρωτότυπα (Virtual Prototypes – VP) .....	20
2.2 Λογισμικά ανάπτυξης ψηφιακών πρωτοτύπων .....	21
2.3 Λογισμικά συνδυαστικής προσομοίωσης ανθρώπινου παράγοντα και κατασκευών .....	27
Κεφάλαιο 3: Κόστος ανάπτυξης νέων προϊόντων .....	30
3.1 Κόστη μηχανολογικών στοιχείων.....	31
3.2 Κόστη συναρμολόγησης μηχανολογικών στοιχείων.....	35
3.3 Γενικά παραγωγικά κόστη .....	37
Κεφάλαιο 4: Ανάπτυξη υβριδικού συστήματος αυτόματης κοστολόγησης.....	40
4.1 Στόχος και προστιθέμενη αξία υβριδικού μοντέλου κοστολόγησης .....	40
4.2 Δομή και τρόπος υλοποίησης υβριδικού συστήματος κοστολόγησης .....	43
4.2.1 Υπολογισμός κόστους πρώτων υλών.....	44
4.2.2 Υπολογισμός κόστους εργασίας, εξοπλισμού και καταναλισκόμενης ενέργειας.....	46
4.2.3 Υπολογισμός κόστους συναρμολόγησης και γενικών βιομηχανικών κοστών .....	49

---

4.3 Εφαρμογή συστήματος αυτόματης κοστολόγησης.....	51
4.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων συστήματος αυτόματης κοστολόγησης .....	55
4.5 Η συμβολή του συστήματος στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων πλάνων παραγωγής .....	59
<b>Κεφάλαιο 5: Επίλογος.....</b>	<b>63</b>
5.1 Σύνοψη.....	63
5.2 Σχόλια και συμπεράσματα .....	64
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>66</b>

---

## Κατάλογος Εικόνων

<b>ΕΙΚΟΝΑ 1</b> ΤΑ ΟΡΟΣΗΜΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (2Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ - 2000) .....	7
<b>ΕΙΚΟΝΑ 2</b> Η ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΑ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ (ULRICH AND EPPINGER, 2015) .....	8
<b>ΕΙΚΟΝΑ 3</b> ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ .....	14
<b>ΕΙΚΟΝΑ 4</b> ΔΙΑΔΕΔΟΜΕΝΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ CAD .....	22
<b>ΕΙΚΟΝΑ 5</b> ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΕΝΟΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ (ΔΕΞΙΑ).....	25
<b>ΕΙΚΟΝΑ 6</b> ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ CAE ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ (ΔΕΞΙΑ) .....	27
<b>ΕΙΚΟΝΑ 7</b> ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΜΙΑΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ABC ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ .....	39
<b>ΕΙΚΟΝΑ 8</b> ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (INPUTS - PROCESS - OUTPUTS) ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	44
<b>ΕΙΚΟΝΑ 9</b> ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΟΨΗ ΕΠΙΛΕΧΘΕΝΤΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΕΡΜΑΡΙΟ - St. 304) 51	
<b>ΕΙΚΟΝΑ 10</b> ΑΠΟΣΥΝΤΕΘΗΜΕΝΗ ΟΨΗ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΕΡΜΑΡΙΟΥ.....	53

---



## Κατάλογος Πινάκων

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 1</b> ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ .....	19
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 2</b> ΜΗΤΡΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΟΜΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	34
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3</b> ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	43
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4</b> ΒΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ .....	45
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5</b> ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ.....	46
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 6</b> ΒΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΧΡΗΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ, ΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	48
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 7</b> ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ.....	54
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 8</b> ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΟΘΟΝΗΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ....	56
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 9</b> ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΒΑΣΕΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΘΕΩΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	57
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 10</b> ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΓΟΡΩΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ (St. 304) .....	59
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 11</b> ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΑΣΕΙ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ POSTPONEMENT ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ.....	61

---

## Εισαγωγή

Η εφαρμογή των τεχνικών του βιομηχανικού σχεδιασμού, βρίσκει όλο ένα και περισσότερο πρόσφορο έδαφος, σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες. Η συμμετοχή των σχεδιαστών και η εφαρμογή των πρακτικών τους γνώσεων, θεωρείται εξαιρετικά σημαντική σε όλα τα στάδια ανάπτυξης νέων προϊόντων. Στην πραγματικότητα, οι σχεδιαστές βοηθούν σημαντικά κατά την βελτιστοποίηση διάφορων παραμέτρων σε όλα τα στάδια ανάπτυξης νέων προϊόντων, μέσω της ανάπτυξης ψηφιακών πρωτοτύπων ικανών να προσομοιώνουν με υψηλά επίπεδα ακρίβειας, τόσο την τελική μορφή του αναπτυσσόμενου προϊόντος όσο και τις απαραίτητες παραγωγικές διαδικασίες και κατεργασίες που πρέπει να ολοκληρωθούν για την ανάπτυξή του. Με τον τρόπο αυτό, παρέχεται μια αξιόπιστη απεικόνιση και λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με το ίδιο το προϊόν και τα χαρακτηριστικά του και σχετικά με την βέλτιστη διαδικασία ανάπτυξής του.

Όπως είναι λογικό, η τοποθέτηση των πρωτοτύπων, στο επίκεντρο της λήψης αποφάσεων κατά την ανάπτυξη νέων προϊόντων, οφείλεται κυρίως στις δυνατότητες που αυτά παρέχουν ως προς την ανάπτυξη μοντέλων και προσομοιώσεων, καθώς επίσης και στην εξοικονόμηση χρόνου και κόστους κατά την παραγωγική διαδικασία. Τα κύρια ψηφιακά πρωτότυπα που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικό επίπεδο, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τα τρισδιάστατα σχέδια του φυσικού αντικειμένου, τα μοντέλα προσομοίωσης των απαραίτητων κατεργασιών για την τελική διαμόρφωση της γεωμετρίας του αντικειμένου καθώς και τα μοντέλα προσομοίωσης της ικανότητας των αναπτυσσόμενων κατασκευών να παραλαμβάνουν φορτία. Κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες, υλοποιείται μέσω ξεχωριστών λογισμικών ανάπτυξης. Ειδικότερα, τα τρισδιάστατα σχέδια αναπτύσσονται μέσω CAD συστημάτων, τα μοντέλα των κατεργασιών μέσω CAM συστημάτων και, τέλος, τα μοντέλα δομικού ελέγχου μέσω CAE συστημάτων.

Σε όλα τα παραπάνω λογισμικά, παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής διάφορων παραμέτρων μέσω των οποίων μπορούν να προσδιοριστούν συγκεκριμένες δομές κόστους που υφίστανται σε μία κατασκευή. Ο συνδυασμός των δομών κόστους, μπορεί να οδηγήσει σε μια ικανοποιητική προσέγγιση του κόστους ανάπτυξης ενός προϊόντος. Ωστόσο, η ενσωμάτωση δομών κόστους σε μοντέλα βιομηχανικού σχεδιασμού αποτελεί μια σύνθετη και χρονοβόρα διαδικασία, η οποία απαιτεί την ενασχόληση ενός σχεδιαστή κατά την διαδικασία εκτίμησης του κόστους. Κατά συνέπεια, η διαδικασία εκτίμησης κόστους με χρήση λογισμικών ανάπτυξης ψηφιακών πρωτοτύπων, δεν αποτελεί την βέλτιστη μέθοδο υπολογισμού κόστους.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παράθεση του κύριου θεωρητικού υποβάθρου σχετικά με τα ψηφιακά πρωτότυπα και την χρηστικότητά τους στις βιομηχανικές εφαρμογές και, σε πρακτικό επίπεδο, η ανάπτυξη ενός εύχρηστου και ευέλικτου συστήματος κοστολόγησης, το οποίο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά από οποιοδήποτε εμπλεκόμενο στη διαδικασία ανάπτυξης νέων προϊόντων. Για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου συστήματος, χρησιμοποιείται μια υβριδική αλγοριθμική προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσεται μια αλγοριθμική διαδικασία, σε περιβάλλον Excel, η οποία χρησιμοποιεί δεδομένα τα οποία παρέχονται μέσω ενός παραμετρικού ψηφιακού πρωτοτύπου. Με την έννοια παραμετρικό ψηφιακό πρωτότυπο, νοείται το πρωτότυπο που έχει την ιδιότητα εναλλαγής των διαστάσεων όλων των εξαρτημάτων και των στοιχείων που το απαρτίζουν, με την αλλαγή οποιασδήποτε εκ των εξωτερικών διαστάσεων. Η βασική προδιαγραφή λειτουργίας του συστήματος είναι ο μικρός βαθμός επιτρεπόμενων διεπαφών με τον χρήστη. Ειδικότερα, ο χρήστης μπορεί να εισάγει μόνο τις απαιτήσεις των τελικών διαστάσεων και να λαμβάνει αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τις δομές κόστους.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, η εργασία δομείται σε πέντε (5) κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο για τον βιομηχανικό σχεδιασμό και την χρηστικότητά του κατά τα στάδια ανάπτυξης νέων προϊόντων. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια εστιασμένη παρουσίαση στα φυσικά και στα ψηφιακά πρωτότυπα, ενώ δίνονται και τα λογισμικά ανάπτυξης των ψηφιακών πρωτοτύπων. Στο τρίτο κεφάλαιο, το ενδιαφέρον εστιάζεται στις κύριες δομές κόστους κατά την ανάπτυξη προϊόντων, καθώς και στον τρόπο υπολογισμού τους. Ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο, δίνεται η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος κοστολόγησης, οι βασικές αρχές λειτουργίας του και ελέγχεται η αποτελεσματικότητά του, συγκριτικά με τις υφιστάμενες μεθόδους υπολογισμού του κόστους παραγωγής, σε μια βιομηχανία παραγωγής ψυκτικών συστημάτων μεσαίας κλίμακας. Πέραν των παραπάνω, ελέγχονται και οι δυνατότητες που προσφέρει το σύστημα ως προς την διαμόρφωση ενός δυναμικού πλάνου παραγωγής, βάσει κοστολογικών δεδομένων και ενδείξεων από ιστορικά στοιχεία. Η εργασία ολοκληρώνεται μέσω σύνοψης των όσων αναφέρονται και παράθεσης των κυριότερων συμπερασμάτων, τα οποία γίνονται στο Κεφάλαιο 5.

## Κεφάλαιο 1: Βιομηχανικός σχεδιασμός

### 1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η ανάπτυξη βιομηχανικών σχεδίων (industrial design), αποτελεί τον θεμέλιο λίθο για τις οργανωμένες παραγωγές προϊόντων (Χειρχαντέρη, 2017). Με την υλοποίηση ενός βιομηχανικού σχεδίου, δημιουργείται ένα απτό ή διακριτό αποτέλεσμα για την αποτύπωση μιας ιδέας ανάπτυξης προϊόντος. Η αποτύπωση μιας ιδέας για την ανάπτυξη προϊόντος, έχει πολλαπλά οφέλη τα οποία σχετίζονται με την ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της αλλά και με διάφορες παραγωγικές διαστάσεις, από την ανάλυση των οποίων μπορούν έμμεσα να προκύψουν συγκεκριμένες εκτιμήσεις σχετικά με τον απαιτούμενο χρόνο παραγωγής, τις απαιτήσεις δέσμευσης πόρων, την εμπορική ισχύ του προς ανάπτυξη προϊόντος καθώς και του συνολικού κόστους και χρόνου ανάπτυξης, εν γένει.

Σύμφωνα με αυτή την λογική, γίνεται σαφής η σημαντικότητα του βιομηχανικού σχεδιασμού καθώς και ο τρόπος επιρροής των επιμέρους διαστάσεων μιας παραγωγικής διαδικασίας. Για τους λόγους αυτούς, η έννοια του βιομηχανικού σχεδιασμού έχει απασχολήσει για αρκετά χρόνια τόσο την επιστημονική κοινότητα όσο και τα στελέχη των οργανισμών ανάπτυξης προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι οι πρώτες προσπάθειες για την συστηματική αντιμετώπιση και την διαχείριση της διαδικασίας του σχεδιασμού, χρονολογούνται σχεδόν από τα αρχαία χρόνια. Στην επόμενη ενότητα γίνεται μια σύντομη ιστορική αναφορά σχετικά με τις προσπάθειες συστημικής αξιολόγησης και βελτίωσης του σχεδιασμού, έως ότου να φτάσουμε στην σημερινή κατάσταση, όπου πλέον ο ρόλος του βιομηχανικού σχεδιασμού στην παραγωγική λειτουργία, είναι εντελώς ξεκάθαρος και διακριτός.

Λόγω της έντονης ερευνητικής ενασχόλησης με την διαδικασία βιομηχανικού σχεδιασμού, έχουν προκύψει, κατά καιρούς, διάφοροι ορισμοί. Ωστόσο, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας επιδιώκεται η σύνοψη των επιμέρους ορισμών, χρησιμοποιώντας τον κάτωθι ορισμό:

*«Βιομηχανικός σχεδιασμός είναι η διαδικασία ανάπτυξης πρωτοτύπων και μοντέλων με γνώμονα την ανάπτυξη και βελτιστοποίηση προϊόντων, υπηρεσιών και διαδικασιών που σχετίζονται με ένα έργο ανάπτυξης προϊόντος ή μια σειρά έργων ανάπτυξης προϊόντων»*

Πιο επεξηγηματικοί και εξειδικευμένοι ορισμοί σχετικά με τον βιομηχανικό σχεδιασμό, παρέχονται από την παγκόσμια ένωση των σχεδιαστών<sup>1</sup>. Ωστόσο, στην συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέγεται η απόδοση ενός πιο ευρύ ορισμού, καθώς επιδιώκεται η έμφαση στην διαδικασία του σχεδιασμού συνολικά για τον βιομηχανικό κλάδο.

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, μπορούμε να σημειώσουμε ότι η έννοια του βιομηχανικού σχεδιασμού δεν περιορίζεται αποκλειστικά και μόνο στην ανάπτυξη σχεδίων, αλλά στο πλαίσιο του σχεδιασμού υπάγεται μια σειρά από επιμέρους διαδικασίες αξιολόγησης των συνολικών παραγωγικών απαιτήσεων καθώς και των δυνητικών οφελών που θα αποκομιστούν από την ανάπτυξη ενός προϊόντος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο πλαίσιο του βιομηχανικού σχεδιασμού, υπάγονται διαδικασίες όπως η ανάλυση κόστους – οφέλους (cost – benefit analysis), ο προσδιορισμός των ειδικών απαιτήσεων των πελατών, ο σχεδιασμός ειδικών στρατηγικών μάρκετινγκ για την τοποθέτηση και την προώθηση των προϊόντων, ο σχεδιασμός πειραμάτων για τον έλεγχο της αξιοπιστίας και της λειτουργικότητας των προς ανάπτυξη προϊόντων και αρκετές ακόμα διαδικασίες.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα ενότητα, θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η έννοια του βιομηχανικού σχεδιασμού βρίσκει καθολική ισχύ σε όλο το φάσμα των βιομηχανιών, όπως για παράδειγμα αυτοκινητοβιομηχανίες, τσιμεντοβιομηχανίες, βιομηχανίες φαρμάκων, βιομηχανίες ψυκτικών κ.λπ. Ωστόσο, οι διαστάσεις του βιομηχανικού σχεδιασμού εφαρμόζονται με διαφορετικά τεχνολογικά και εμπειρικά μέσα σε κάθε κατηγορία βιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα, αν πρόκειται για μία βιομηχανία ανάπτυξης νέων προϊόντων ή ανάπτυξης συγκεκριμένων λειτουργικών τμημάτων ενός μηχανολογικού ή τεχνικού προϊόντος, εν γένει (π.χ. αυτοκινητοβιομηχανία), τότε ένα βασικό μέρος του σχεδιασμού αφορά την ανάπτυξη ενός πρωτοτύπου για το προϊόν (π.χ. μια τρισδιάστατη αποτύπωση της κατασκευής) καθώς και την μοντελοποίηση των πιθανών αλληλοεπιδράσεων του χρήστη με το προϊόν. Αντίθετα, στην περίπτωση ανάπτυξης ενός προϊόντος με διαφορετικά τυπικά χαρακτηριστικά από ένα τεχνικό προϊόν, όπως ένα φάρμακο ή ένα προϊόν λογισμικού (software), ένα βασικό μέρος του σχεδιασμού αφορά την ανάπτυξη των πειραματικών δοκιμών καθώς και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, το θεωρητικό υπόβαθρο περί βιομηχανικού σχεδιασμού, επικεντρώνεται για βιομηχανίες παραγωγής μηχανολογικών προϊόντων, λόγω επιλογής μελέτης περίπτωσης από τον συγκεκριμένο κλάδο.

---

<sup>1</sup> <https://wdo.org/>

## 1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η έννοια της συστηματικής ή τυποποιημένης ανάπτυξης προϊόντων, φαίνεται να εκτείνεται σε μεγάλο ιστορικό βάθος και θεωρείται σχεδόν παράλληλη με την ανθρώπινη ύπαρξη. Πιο συγκεκριμένα, διάφορα εργαλεία που παρατηρούνται από την παλαιολιθική κιόλας εποχή, φαίνεται να έχουν συστηματικό τρόπο ανάπτυξης και παρόμοιες μορφές, σύμφωνα με τα διαθέσιμα αρχαιολογικά ευρήματα. Ωστόσο, οι μελετητές θεωρούν ότι τα μέσα παραγωγής της εποχής, δεν έδιναν την δυνατότητα συστηματικού σχεδιασμού των προϊόντων και κατ' επέκταση η ανάπτυξή τους στηρίζονταν σε εμπειρικές κυρίως θεωρήσεις. Σε κάθε περίπτωση, αυτό που θεωρείται γενικά παραδεκτό, είναι ότι σε όλες τις φάσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας υπάρχει άμεση διεπαφή με ορισμένα αποτελέσματα σχεδιαστικής δραστηριότητας (Μπούρας, 2022).

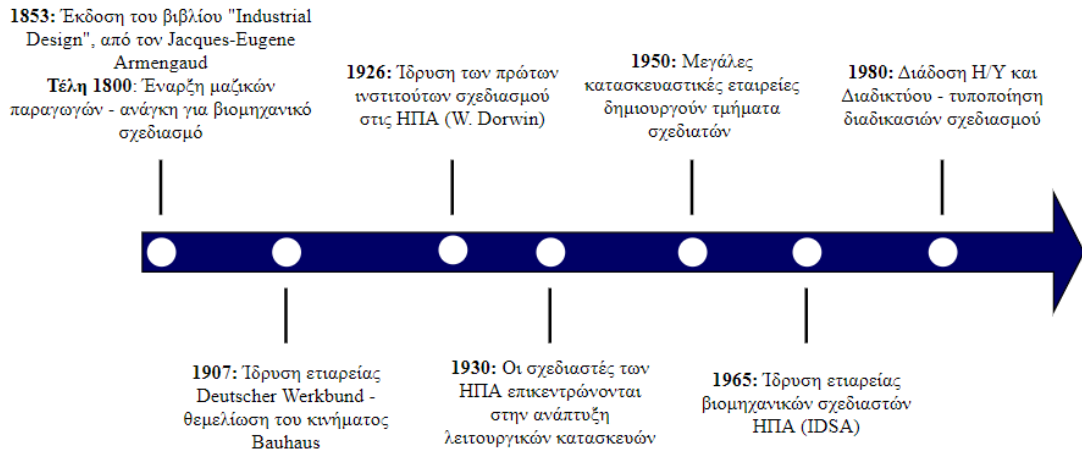
Η συστημική προσέγγιση της διαδικασίας του βιομηχανικού σχεδιασμού, θα λέγαμε, ότι χρονολογείται πολύ αργότερα. Συγκεκριμένα, οι περισσότερες επιστημονικές μελέτες περί του θέματος, θεωρούν ότι η συστημική προσέγγιση ξεκινά να παρατηρείται στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα και ειδικότερα μετά τα τέλη της δεύτερης βιομηχανικής επανάστασης. Στην συγκεκριμένη ενότητα, αποτυπώνεται η ιστορική εξέλιξη του βιομηχανικού σχεδιασμού, κατά την εκατονταετία 1900 – 2000, όπου θεωρείται ότι τέθηκαν τα θεμέλια για την εδραίωση της έννοιας με την σημερινή της μορφή. Αναλυτικότερα, μπορούμε να επισημάνουμε τα κάτωθι:

- **Αρχές 1900:** Το επάγγελμα του σχεδιαστή αρχίζει να έχει δυναμική παρουσία στον βιομηχανικό κλάδο, με τις μεγάλες ευρωπαϊκές κατασκευαστικές εταιρείες να δημιουργούν θέσεις εργασίας για σχεδιαστές και να προσλαμβάνουν νέους μηχανικούς (Ulrich and Eppinger, 2015). Πρόκειται για την πρώτη ένδειξη συστημικής προσέγγισης ως προς την λειτουργία του σχεδιασμού. Οι βασικές αρχές σχεδιασμού, θεμελιώθηκαν, ουσιαστικά, εκείνη την περίοδο και παραμένουν σε μεγάλο βαθμό επίκαιρες έως σήμερα. Στην πραγματικότητα, η έμφαση αποδόθηκε στην ανάπτυξη λειτουργικών προϊόντων, που να επιτρέπουν την ευκολία χρήσης και ταυτόχρονα στην οικονομική παραγωγή.
- **1930 – 1950:** Από την δεκαετία του 1930 και έπειτα, παρατηρείται μια ευθυγράμμιση του βιομηχανικού σχεδιασμού σε Ευρώπη και Αμερική. Οι έως τότε προσεγγίσεις στην Αμερικάνικη βιομηχανία, αντιμετώπιζαν την διαδικασία του σχεδιασμού περισσότερο ως καλλιτεχνική και λιγότερο ως λειτουργική. Αποτέλεσμα της κουλτούρας αυτής, ήταν η ανάπτυξη ορισμένων κατασκευών με

υψηλές αισθητικές προδιαγραφές για την εποχή, οι οποίες όμως δεν θεωρήθηκαν λειτουργικές (Ulrich and Eppinger, 2015). Η ύφεση της συγκεκριμένης περιόδου, θεωρείται ότι έπαιξε σημαντικό ρόλο, στην αναδιαμόρφωση της παραπάνω νοοτροπίας. Στην πραγματικότητα, αυτή η εναλλαγή, οδήγησε στην δημιουργία ορισμένων βελτιστοποιημένων και λειτουργικών κατασκευών, με υψηλή χρηστική αξία ακόμα και σήμερα, όπως για παράδειγμα τα καροτσάκια μεταφοράς των μωρών (Kuen and King, 2016).

- **1950 – 1970:** Το συγκεκριμένο διάστημα, φαίνεται ότι η έννοια του βιομηχανικού σχεδιασμού αρχίζει να καθιερώνεται στην παγκόσμια βιομηχανία. Αρκετοί από τους κολοσσούς της εποχής, αρχίζουν να δημιουργούν αυτόνομα τμήματα βιομηχανικού σχεδιασμού, τα οποία αποκτούν οργανικό ρόλο για την παραγωγική διαδικασία. Επίσης, ξεκινά μια έντονη ερευνητική δραστηριότητα, σχετικά με την επίδραση της διαδικασίας σχεδιασμού στην παραγωγή και την τυποποίηση των πρακτικών που οδηγούν σε βελτιστοποιημένες αποδόσεις (Gibson et al., 2010).
- **1970 – 2000:** Τα επόμενα χρόνια, οι οργανισμοί αποδίδουν ακόμα μεγαλύτερη βαρύτητα στην διαδικασία βιομηχανικού σχεδιασμού και επενδύουν συστηματικά σε αυτήν, αντιμετωπίζοντας την ως κύριο πυλώνα για την χάραξη ανταγωνιστικών στρατηγικών και την δημιουργία ισχυρού ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Παράλληλα, δημιουργούνται διάφορες ενώσεις σχεδιαστών, σε παγκόσμια κλίμακα, μέσα από τις οποίες θεμελιώνονται οι βασικές αρχές βιομηχανικού σχεδιασμού. Συν τοις άλλοις, η έλευση του διαδικτύου και των ηλεκτρονικών υπολογιστών, θεωρείται ότι συνέδραμε σημαντικά στην δημιουργία τυποποιημένων σχεδιαστικών διαδικασιών καθώς και στην διάδοσή τους, σε παγκόσμια κλίμακα.

Ολοκληρώνοντας την συγκεκριμένη ενότητα, παρατίθεται η Εικόνα 1, στην οποία παρουσιάζονται, με την μορφή χρονοδιαγράμματος (timeline), ορισμένα ιστορικά σημεία – ορόσημα, τα οποία θεωρούνται πολύ σημαντικά για την διαμόρφωση της έννοιας του βιομηχανικού σχεδιασμού.



Εικόνα 1 Τα ορόσημα εξέλιξης του βιομηχανικού σχεδιασμού (2η Βιομηχανική Επανάσταση - 2000)

### 1.3 Στάδια βιομηχανικού σχεδιασμού

Όπως έχει ήδη σημειωθεί στις προηγούμενες ενότητες, ο βιομηχανικός σχεδιασμός θεωρείται ως μια λειτουργία των σύγχρονων βιομηχανιών, η οποία εκτείνεται σε ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων κατά την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος. Στην συγκεκριμένη ενότητα, παρουσιάζεται το σύνολο των δραστηριοτήτων που απαρτίζουν την διαδικασία του βιομηχανικού σχεδιασμού. Ειδικότερα, οι συνολικές δραστηριότητες και λειτουργίες, ομαδοποιούνται σε τέσσερα (4) επιμέρους στάδια, σε κάθε ένα από τα οποία επιδιώκεται η αξιοποίηση συγκεκριμένης πληροφορίας, η χρήση κατάλληλων τεχνικών και η δημιουργία παραδοτέων, που βοηθούν στην υλοποίηση των επόμενων σταδίων, έως ότου να αναπτυχθεί πλήρως ένα καινούργιο προϊόν.

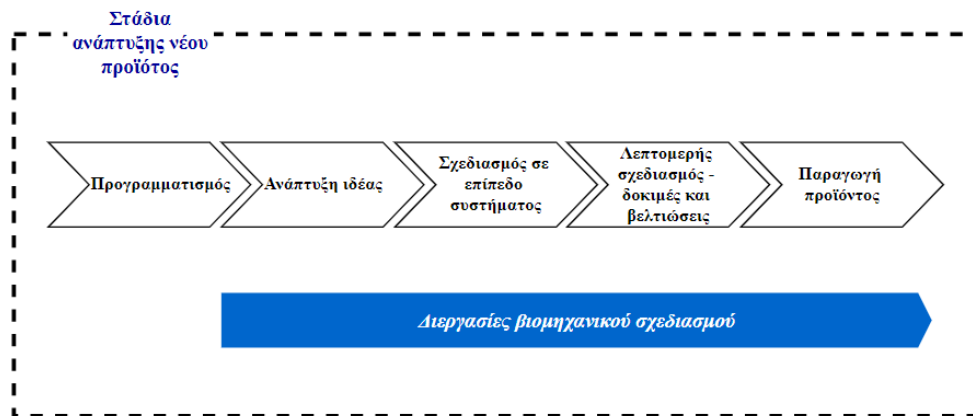
Η επιλογή των τεσσάρων σταδίων, γίνεται με γνώμονα την παρουσίαση της διαδικασίας σχεδιασμού, από το εντελώς αρχικό στάδιο, στο οποίο δεν υπάρχει ακόμα ξεκάθαρη εικόνα σχετικά με το ποιο προϊόν πρόκειται να αναπτυχθεί ή για το ποιες ανάγκες των καταναλωτών επιδιώκεται να καλυφθούν και να υποστηριχτούν, έως το τελευταίο στάδιο κατά το οποίο παρέχονται σαφείς και ξεκάθαρες προδιαγραφές για το προϊόν αλλά και οδηγίες για την παραγωγή του. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται σαφές ότι οι διαδικασίες σχεδιασμού έχουν σημαντικό ρόλο σε όλο το φάσμα ανάπτυξης προϊόντος αλλά και στον στρατηγικό σχεδιασμό των βιομηχανιών, εν γένει.

Στην Εικόνα 2, παρουσιάζονται οι επιμέρους φάσεις ανάπτυξης προϊόντων, όπως προτείνονται από τους Ulrich and Eppinger. Σύμφωνα με την εικόνα αυτή, παρατηρούμε τα συνολικά στάδια σε μια διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος, είναι πέντε (5) και συγκεκριμένα το στάδιο του προγραμματισμού του έργου ανάπτυξης, το στάδιο της συλλογής απαιτήσεων και



σύλληψης ιδεών, το στάδιο του σχεδιασμού σε αρχικό επίπεδο (στο πλαίσιο συστήματος), το στάδιο του λεπτομερούς σχεδιασμού καθώς και το στάδιο προετοιμασίας των απαραίτητων οδηγιών και προδιαγραφών για την παραγωγή του προϊόντος.

Όπως γίνεται αντιληπτό, στα τέσσερα από τα πέντε αυτά στάδια μπορούμε να εντοπίσουμε άμεση συνεισφορά των διεργασιών βιομηχανικού σχεδιασμού. Ειδικότερα, μπορούμε να σημειώσουμε ότι η έννοια του σχεδιασμού εμπλέκεται σε όλες τις επιμέρους φάσεις, πέραν του προγραμματισμού. Στην συνέχεια αναλύεται η συνεισφορά των σχεδιαστών, σε κάθε ένα από τα παρακάτω στάδια, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίον εμπλέκονται και συνδράμουν στην επιτυχή ολοκλήρωση των φάσεων και στην δημιουργία παραδοτέων που χρησιμοποιούνται σε επόμενες φάσεις.



Εικόνα 2 Η συμμετοχή των διεργασιών βιομηχανικού σχεδιασμού στα επιμέρους στάδια ανάπτυξης προϊόντων (Ulrich and Eppinger, 2015)

Στην συνέχεια, αναλύεται ο τρόπος συμμετοχής και συνεισφοράς των βιομηχανικών σχεδιαστών σε κάθε μία από τις επιμέρους φάσεις ανάπτυξης, στις οποίες εμπλέκονται ενεργά οι διεργασίες του βιομηχανικού σχεδιασμού.

### **Ο βιομηχανικός σχεδιασμός κατά την ανάπτυξη της ιδέας**

Στην πραγματικότητα, η σύλληψη μιας ιδέας για την ανάπτυξη ενός προϊόντος, αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία η οποία είναι προσανατολισμένη ως προς την κάλυψη των αναγκών των πελατών ή των εν δυνάμει πελατών καθώς και στην καλλιέργεια και ανάπτυξη αναγκών, οι οποίες πιθανόν να μην έχουν δημιουργηθεί ακόμα. Η συγκεκριμένη διαδικασία, υλοποιείται συνήθως από τα τμήματα μάρκετινγκ των οργανισμών ή από εξειδικευμένους συμβούλους και εξωτερικούς συνεργάτες. Μόλις η διαδικασία συλλογής αναγκών ολοκληρωθεί, τότε οι ανάγκες ποσοτικοποιούνται και συγκεκριμενοποιούνται έτσι ώστε να μετασχηματιστούν σε

χαρακτηριστικά, τα οποία θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο προϊόν που θα αναπτυχθεί προκειμένου αυτό να καλύπτει ή να δημιουργεί συγκεκριμένες ανάγκες.

Η συνεργασία των βιομηχανικών σχεδιαστών, με τους μηχανικούς ανάπτυξης και με τα στελέχη του τμήματος μάρκετινγκ, είναι πολύ σημαντική προκειμένου να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του προς ανάπτυξη προϊόντος. Ειδικότερα, μόλις καταγραφούν οι ανάγκες των πελατών, τότε οι σχεδιαστές ξεκινούν να εμπλέκονται στην συγκεκριμένη διαδικασία, μέσω της ανάπτυξης ορισμένων γρήγορων πρωτοτύπων (rapid prototypes), τα οποία έχουν ορισμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά και επιτρέπουν την αλληλοεπίδραση με τον πελάτη. Η συνήθης διαδικασία, είναι να αναπτύσσονται τρεις (3) έως πέντε (5) εναλλακτικές προσεγγίσεις (ιδέες) για το προϊόν, με περιορισμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά η κάθε μία, και στην συνέχεια, αυτές να δίνονται για χρήση σε ορισμένους πελάτες – κλειδιά (key customers). Με τον τρόπο αυτό, γίνεται εφικτή η συστηματική παρακολούθηση των λειτουργιών που είναι η πιο απαραίτητες για τους πελάτες καθώς και η λήψη feedback σχετικά με αυτές.

Μόλις αναπτυχθούν τα πρωτότυπα και ολοκληρωθεί η δοκιμαστική περίοδος χρήσης τους από τους πελάτες, στο επόμενο στάδιο αποκωδικοποιείται η πληροφορία που συλλέχθηκε και επιλέγονται τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που τελικά θα συμπεριληφθούν στο προϊόν που θα αναπτυχθεί. Στο συγκεκριμένο στάδιο, η συνεισφορά των βιομηχανικών σχεδιαστών είναι επίσης πολύ σημαντική, τόσο ως προς την εκτίμηση του κόστους και του χρόνου για την παραγωγή του προϊόντος όσο και για την τεχνική και ποιοτική εκτίμηση του αποτελέσματος. Αυτό αιτιολογείται υπό την έννοια ότι τα συγκεκριμένα άτομα έχουν συνήθως υψηλή κατάρτιση και τεχνογνωσία ως προς τις τεχνικές παραμέτρους που αφορούν την παραγωγή.

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί ότι για ορισμένα προϊόντα είναι αδύνατον ή οικονομικά ασύμφορο να αναπτυχθούν εναλλακτικές προσεγγίσεις τους, έτσι ώστε αυτές να τεθούν για αλληλεπίδραση στους πελάτες. Τέτοια προϊόντα είναι, για παράδειγμα, τα αποτελέσματα μεγάλων κατασκευαστικών έργων (π.χ. γέφυρες, έργα οδοποιίας κ.λπ.), οι σύνθετες μηχανολογικές κατασκευές, που απαρτίζονται από μεγάλο πλήθος επιμέρους εξαρτημάτων και μερών (π.χ. αεροσκάφη, ψυκτικές διατάξεις κ.λπ.) καθώς και άλλες περιπτώσεις κατασκευών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ανάπτυξη πρωτοτύπων για λεπτομερή καταγραφή απαιτήσεων, λαμβάνει χώρα με διαφορετικό τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, για τα παραπάνω προϊόντα, η δημιουργία των πρωτοτύπων βασίζεται σε δια-δραστικά τρισδιάστατα μοντέλα, ηλεκτρονικού τύπου, τα οποία αναπτύσσονται με χρήση 3-D σχεδιαστικών εργαλείων (π.χ. Solidworks, Catia κ.λπ.) καθώς και με άλλες σύγχρονες τεχνολογικά μεθόδους,

όπως τα μοντέλα επαυξημένης πραγματικότητας. Όπως γίνεται αντιληπτό, η συμμετοχή των σχεδιαστών σε τέτοιες κατασκευές είναι ακόμα πιο σημαντική, υπό την έννοια ότι το μεγαλύτερο πλήθος των τεχνικών απαιτήσεων και προδιαγραφών συλλέγεται κατόπιν της δικής τους παρέμβασης.

### *Ο βιομηχανικός σχεδιασμός στο πλαίσιο του σχεδιασμού σε επίπεδο συστήματος*

Στο πλαίσιο του σχεδιασμού σε επίπεδο συστήματος, δημιουργείται η αρχιτεκτονική του προϊόντος και τυποποιούνται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του. Για την έναρξη του σχεδιασμού σε επίπεδο συστήματος, είναι απαραίτητη προϋπόθεση να έχει ολοκληρωθεί η διαμόρφωση της ιδέας και να έχουν διασαφηνιστεί οι λειτουργίες που θα πρέπει να υλοποιεί το προϊόν. Το αποτέλεσμα του σχεδιασμού σε επίπεδο συστήματος, είναι η ταξινόμηση του προϊόντος σε επιμέρους λειτουργικές ομάδες και η εύρεση των αντίστοιχων στοιχείων μηχανών για την υλοποίηση των συγκεκριμένων λειτουργικών ομάδων. Έχοντας αποκωδικοποιήσει τα απαραίτητα στοιχεία μηχανών, μπορεί να γίνει μια αρκετά ικανοποιητική εκτίμηση σχετικά με την τελική γεωμετρία της κατασκευής καθώς και σχετικά με τον χρόνο και το κόστος σχεδιασμού και ανάπτυξης. Τα στοιχεία αυτά, αναλύονται εκτενώς στο επόμενο στάδιο ανάπτυξης, δηλαδή στο στάδιο του λεπτομερούς σχεδιασμού, όπου εκεί λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένοι ποσοτικοί και ποιοτικοί έλεγχοι επί των στοιχείων.

Επί της ουσίας, η υλοποίηση του παρόντος και του επόμενου σταδίου, αποτελούν την κύρια συμμετοχή των τμημάτων βιομηχανικού σχεδιασμού, κατά την ανάπτυξη νέων προϊόντων. Στο συγκεκριμένο στάδιο, οι σχεδιαστές συνδιαλέγονται με τα τμήματα μάρκετινγκ και τα εμπορικά τμήματα, έτσι ώστε να προκύψει η χρυσή τομή, μεταξύ των εναλλακτικών εφικτών προσεγγίσεων ανάπτυξης και της δυναμικής εμπορικής αξίας κάθε εναλλακτικής. Μόλις ληφθεί η τελική απόφαση σχετικά με την αρχιτεκτονική του προϊόντος, οι σχεδιαστές καθορίζουν τον τρόπο υλοποίησης των λειτουργιών της κατασκευής και, συνήθως, δημιουργούν μια αρχική προσέγγιση για τον βέλτιστο τρόπο συναρμολόγησης των επιμέρους στοιχείων, ώστε να προκύψει η τελική κατασκευή.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική ενός προϊόντος, υπάρχουν δύο κλασσικές προσεγγίσεις ανάπτυξης, σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Η πρώτη προσέγγιση ονομάζεται σπονδυλωτή (modular), ενώ η δεύτερη ονομάζεται προσέγγιση ενοποίησης (integral).

Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση (modular), οι λειτουργίες του συστήματος, καταμερίζονται σε πολλές επιμέρους λειτουργικές ομάδες ή ενότητες, μέσα στις οποίες συμπεριλαμβάνονται από μία (1) έως τρεις (3) ξεχωριστές λειτουργίες. Επιπλέον, επιδιώκεται

η αποφυγή μεγάλου βαθμού αλληλεπιδράσεων και αλληλεξαρτήσεων μεταξύ διαφορετικών λειτουργικών ενοτήτων. Όπως γίνεται αντιληπτό, η ανάπτυξη τέτοιου τύπου αρχιτεκτονικής συστημάτων, αποτελεί μια εξαιρετικά σύνθετη διαδικασία, η οποία απαιτεί λεπτομερή και εκτενή σχεδιασμό. Ωστόσο, οι προσεγγίσεις αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τις οργανωμένες μαζικές παραγωγές, υπό την έννοια ότι αυτόνομες λειτουργικές ενότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε διαφορετικά προϊόντα, εξοικονομώντας σημαντικό χρόνο και κόστος.

Αντίθετα, στην αρχιτεκτονική ενοποίησης, τα επιμέρους λειτουργικά χαρακτηριστικά των προϊόντων, μπορούν να υλοποιούνται με συνδυασμό λειτουργιών από διαφορετικές ενότητες. Σε αυτή την περίπτωση, οι διεπαφές μεταξύ των λειτουργικών ενοτήτων επιδιώκονται. Από πλευράς, σχεδιασμού και ανάλυσης των λειτουργικών ενοτήτων, η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι απλούστερη έναντι της προηγούμενης. Ωστόσο, η δυσκολία της συγκεκριμένης προσέγγισης, έγκειται στον προσεκτικό σχεδιασμό των αλληλεξαρτήσεων έτσι ώστε αποφευχθούν πιθανές δυσλειτουργίες (conflicts) στο τελικό προϊόν.

#### ***Ο βιομηχανικός σχεδιασμός στο πλαίσιο του λεπτομερούς σχεδιασμού***

Όπως σημειώθηκε και παραπάνω, η συμμετοχή των σχεδιαστών στο συγκεκριμένο στάδιο είναι καθολική και ουσιώδης. Στην πραγματικότητα, οι λειτουργικές ενότητες που έχουν προκύψει μέσω του σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής του συστήματος, αναλύονται περαιτέρω και ποσοτικοποιούνται προκειμένου να ολοκληρωθεί ο λεπτομερής σχεδιασμός των επιμέρους λειτουργικών στοιχείων.

Με την έννοια λεπτομερούς σχεδιασμός, νοείται η ανάπτυξη των κατασκευαστικών σχεδίων για κάθε ένα μέρος του προϊόντος καθώς και η ανάπτυξη πλάνων για τον τρόπο συναρμολόγησης των στοιχείων μεταξύ τους, έτσι ώστε να δημιουργηθεί το τελικό προϊόν. Η ανάπτυξη των κατασκευαστικών σχεδίων, γίνεται με τυποποιημένο τρόπο με χρήση δισδιάστατων ή τρισδιάστατων συστημάτων CAD. Η ολοκλήρωση της ανάπτυξης των μοντέλων, σε περιβάλλον CAD, παρέχει την δυνατότητα συνολικής απεικόνισης και αξιολόγησης των προϊόντων.

Σε επόμενο στάδιο, τα συγκεκριμένα μοντέλα, μπορούν να αναλυθούν ως προς την λειτουργικότητά τους, μεμονωμένα ή συνολικά, καθώς και ως προς την αντοχή τους σε διάφορες μορφές καταπόνησης και χρήσης, εν γένει. Τέτοιου είδους αναλύσεις, γίνονται αρχικά επί των σχεδιαστικών μοντέλων, ενώ για περαιτέρω διακρίβωση των αποτελεσμάτων, σε αρκετές περιπτώσεις, λαμβάνουν χώρα και ειδικοί έλεγχοι σε πραγματικές συνθήκες

λειτουργίας των κατασκευών – προϊόντων. Για την υλοποίηση των αναλύσεων, χρησιμοποιούνται υπολογιστικά συστήματα, βασισμένα σε αρχές πεπερασμένων στοιχείων (CAE systems). Με την ολοκλήρωση των αναλύσεων αυτών, μπορούν να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με την καταλληλότητα των υλικών που έχουν επιλέγει και να γίνουν οι κατάλληλες προσαρμογές, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός.

Το στάδιο του λεπτομερούς σχεδιασμού δεν θα πρέπει να θεωρείται εντελώς διαφοροποιημένο από τον σχεδιασμό σε επίπεδο συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται ότι τα δύο αυτά στάδια ανάπτυξης, έχουν κυκλική εξάρτηση μεταξύ τους. Δηλαδή, ορισμένες αποφάσεις σχετικά με την λειτουργικότητα, μπορούν να ανατραπούν αν παρατηρηθεί κάποια δυσλειτουργία κατά τον λεπτομερή σχεδιασμό, και αντίστροφα (Παπασπηλίου, 2015). Τα δύο αυτά στάδια, συντελούν στην ανάπτυξη ενός λεπτομερούς τεχνικού πρωτοτύπου για το προϊόν, το οποίο αποτελεί και το κυριότερο στοιχείο μιας διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντος. Στο επόμενο κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική περιγραφή σχετικά με τα πρωτότυπα και το απαιτούμενο επίπεδο λεπτομέρειάς τους, σε κάθε στάδιο της ανάπτυξης.

### ***Ο βιομηχανικός σχεδιασμός κατά την προετοιμασία της παραγωγής***

Απώτερος σκοπός της διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντων, είναι η ανάπτυξη και η μαζική παραγωγή προϊόντων, που δημιουργούν προστιθέμενη αξία στον πελάτη και δίνουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην εταιρεία παραγωγής. Στο πλαίσιο της προετοιμασίας για την παραγωγή, υπάγονται όλες οι βελτιωτικές ενέργειες, από πλευράς χρόνου και κόστους, που πρέπει να υλοποιηθούν προκειμένου να τεθεί σε εφαρμογή η μαζική παραγωγή των προϊόντων.

Στο συγκεκριμένο στάδιο, παράγεται ένας προκαθορισμένος αριθμός προϊόντων, σύμφωνα με μια συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία. Στο τέλος της διαδικασίας, ποσοτικοποιούνται ορισμένες κρίσιμες παράμετροι, όπως είναι ο χρόνος παραγωγής, η αποτελεσματικότητα χρήσης των υλικών στην συγκεκριμένη διαδικασία, η συνεισφορά των εμπειρικών δεξιοτήτων των ανθρώπων της παραγωγής και άλλες παράμετροι. Η αξιολόγηση των παραμέτρων αυτών, γίνεται τόσο από τους σχεδιαστές όσο και από του μηχανικούς της παραγωγής, και αποσκοπεί στην ανάδειξη πιθανών ατελειών στον σχεδιασμό και προγραμματισμό της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπρόσθετα, ελέγχονται διάφορα κρίσιμα στοιχεία σχετικά με τις προδιαγραφές του προϊόντος και το κατά πόσο αυτές έχουν υλοποιηθεί στο επιθυμητό επίπεδο.

Όλη αυτή η πληροφορία, οδηγεί στην αξιολόγηση και αναδιαμόρφωση του σχεδιασμού της παραγωγικής διαδικασίας, έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί η μαζική παραγωγή του προϊόντος.

## Κεφάλαιο 2: Τα πρωτότυπα στην βιομηχανία

Όπως σημειώθηκε κατά στο προηγούμενο κεφάλαιο οι διαδικασίες βιομηχανικού σχεδιασμού είναι πολύ σημαντικές και παίζουν καθοριστικό ρόλο στα περισσότερα στάδια ανάπτυξης ενός προϊόντος. Στην πραγματικότητα, το αποτέλεσμα της δουλειάς των σχεδιαστών είναι η ανάπτυξη πρωτοτύπων, μέσω των οποίων γίνεται οπτικοποίηση του προϊόντος και υπολογίζονται οι διάφορες τεχνικές παράμετροι και περιορισμοί κατά την ανάπτυξή τους. Σύμφωνα με την ανάλυση του πρώτου κεφαλαίου, δύο είναι οι κυριότερες κατηγορίες πρωτοτύπων που συναντώνται στην διαδικασία ανάπτυξης συνολικά. Η πρώτη κατηγορία, αφορά έναν απλοϊκό σχεδιασμό του προϊόντος και χρησιμοποιείται για διασαφήνιση των απαιτήσεων και των λειτουργιών του προϊόντος. Τα πρωτότυπα αυτά, αναπτύσσονται συνήθως στα εντελώς αρχικά στάδια του σχεδιασμού. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από λεπτομερή και επεξηγηματικά πρωτότυπα, τα οποία περιέχουν το σύνολο των επιθυμητών λειτουργιών, έχουν ξεκάθαρη γεωμετρία και αναπτύσσονται ως σύνολο από επιμέρους στοιχεία μηχανών.

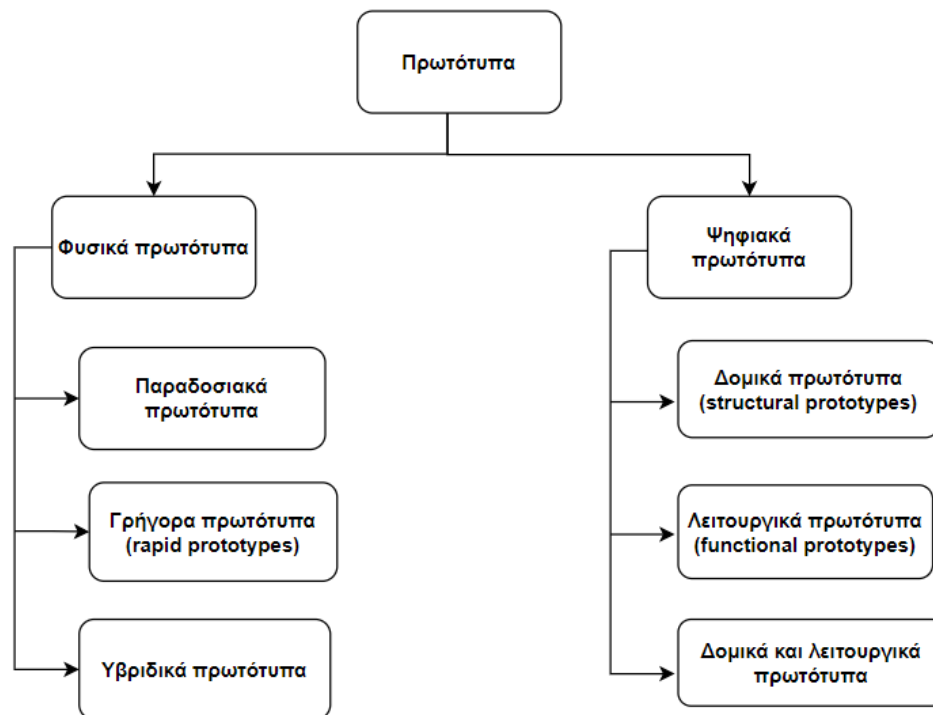
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, εστιάζουμε περισσότερο στην παρουσίαση των ειδών των πρωτοτύπων καθώς και στους δυνητικούς τρόπου ανάπτυξης ενός πρωτοτύπου, όπως αυτοί προκύπτουν από την αντίστοιχη βιβλιογραφία. Μία από τις πιο σύγχρονες και ταυτόχρονα οικονομικές λύσεις είναι η ανάπτυξη ψηφιακών πρωτοτύπων (virtual prototypes), τα οποία μπορούν να χαρακτηρίζονται από μικρό έως πολύ λεπτομερή βαθμό ακρίβειας (Zorriassatine et al., 2003). Η εστίαση, του κεφαλαίου αποδίδεται στην ανάλυση των μέσων ανάπτυξης των ψηφιακών πρωτοτύπων, μέσω της παρουσίασης των συστημάτων CAD/CAM/CAE.

### 2.1 Είδη πρωτοτύπων

Ο ρόλος των πρωτοτύπων στην βιομηχανία είναι πάρα πολύ σημαντικός. Καμία σύγχρονη παραγωγική διαδικασία, δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά, αν δεν έχει προηγηθεί ανάλυση σχετικά με τις παραμέτρους βελτιστοποίησης, πάνω σε κάποιο πρωτότυπο. Τα πρωτότυπα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την λήψη διαφορετικών κρίσιμων αποφάσεων, σχετικά με την ανάπτυξη ενός προϊόντος αλλά και σχετικά με την παραγωγική διαδικασία που ακολουθείται. Ενδεικτικά σημειώνεται αποφάσεις όπως το κόστος παραγωγής, ο χρόνος παραγωγής, η ανάπτυξη της βέλτιστης γεωμετρίας για βελτίωση του χρόνου κατεργασίας, η τραχύτητα της επιφάνειας καθώς και τα υλικά για την κατασκευή των επιμέρους εξαρτημάτων, αποτελούν μόνο ορισμένες αποφάσεις οι οποίες μπορούν να υποστηριχθούν από την ανάπτυξη

πρωτοτύπων και των δοκιμών πάνω σε αυτά. Επιπρόσθετα, τα πρωτότυπα χρησιμεύουν σημαντικά στην ανάπτυξη επικοινωνιακών σχέσεων με τους πελάτες και στην υποβοήθηση των στρατηγικών μάρκετινγκ.

Ανατρέχοντας στην βιβλιογραφία, μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι τα πρωτότυπα που χρησιμοποιούνται κατά την ανάπτυξη νέων προϊόντων, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλα είδη: τα φυσικά πρωτότυπα και τα ψηφιακά πρωτότυπα. Κάθε ένα από τα παραπάνω είδη, μπορεί να αναπτύσσεται με χρήση διαφορετικών προσεγγίσεων, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τα κρίσιμα σημεία ελέγχου κάθε κατασκευής. Στην Εικόνα 3, παρουσιάζονται τα είδη των πρωτοτύπων καθώς και η επιμέρους ταξινόμησή τους σε ομάδες πρωτοτύπων, ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν και τον τρόπο με τον οποίον αναπτύσσονται.



Εικόνα 3 Ταξινόμηση των πρωτοτύπων

Στην συνέχεια της ενότητας, γίνεται ανάλυση σχετικά με τον εκάστοτε τύπο πρωτοτύπου, όπως αυτός εμφανίζεται στην παραπάνω εικόνα. Ωστόσο, στο σημείο αυτό σχολιάζεται ότι η διάκριση των φυσικών πρωτοτύπων, γίνεται με γνώμονα τον τρόπο με τον οποίον αυτά αναπτύσσονται, ενώ η διάκριση των ψηφιακών πρωτοτύπων, γίνεται κυρίως, με το επίπεδο ανάλυσης που εξυπηρετούν, ανάλογα με το ποια στοιχεία αξιολογούνται κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση των ψηφιακών πρωτοτύπων, τα μέσα ανάπτυξης δεν διαφέρουν, δηλαδή η ανάπτυξη γίνεται εξ' ολοκλήρου με χρήση μοντέλων σε ηλεκτρονικό

υπολογιστή. Αυτό που διαφέρει, είναι ο τρόπος εξέτασης των μοντέλων, έτσι ώστε να ληφθούν αποφάσεις είτε για την δομική ακεραιότητα της προτεινόμενης κατασκευής είτε για την λειτουργικότητα του προϊόντος που πρόκειται να αναπτυχθεί. Τα λογισμικά υποστήριξης των συγκεκριμένων διαδικασιών, είναι τόσο αναπτυγμένα έτσι ώστε να επιτρέπουν πλήρη αλληλεπίδραση του χρήστη με το ψηφιακό προϊόν.

### 2.1.1 Φυσικά πρωτότυπα

Όπως προκύπτει από την ονομασία τους, τα φυσικά πρωτότυπα είναι μια μορφή τυποποίησης του προϊόντος που αναπτύσσεται, η οποία αναπτύσσεται με χρήση φυσικών υλικών. Το αποτέλεσμα τέτοιων τυποποιήσεων είναι απτό και μπορεί να έρθει σε απευθείας αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη φυσικών πρωτοτύπων, μπορεί να διαφέρουν από το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί στην πραγματική κατασκευή. Αυτό γίνεται συνήθως, για λόγους εξοικονόμησης πόρων. Συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται στα φυσικά πρωτότυπα είναι ο άργιλος, κάποιες μορφές αφρού καθώς και ξύλο, διότι αποτελούν ορισμένες από τις φθηνότερες κατηγορίες υλικών. Συνήθως, αποφεύγεται η χρήση μεταλλικών ή άλλων ακριβότερων υλικών, ιδίως κατά την ανάπτυξη πρωτοτύπων σε πρωταρχικό στάδιο, όπως στην περίπτωση διασαφήνισης λειτουργιών και συγκέντρωσης απαιτήσεων. Η χρήση υλικών όμοιων με τα πραγματικά υλικά κατασκευής ή υλικών με παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες, λαμβάνει χώρα σε μεταγενέστερα πρωτότυπα της διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντος, όπου και απαιτείται ο έλεγχος και η διακρίβωση της αντοχής των κατασκευών.

Η ταξινόμηση των φυσικών πρωτοτύπων, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3. Η συγκεκριμένη ταξινόμηση γίνεται με γνώμονα τον τρόπο παρέμβασης και κατεργασίας στο αρχικό υλικό, έτσι ώστε να δημιουργηθεί το εκάστοτε πρωτότυπο. Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις τύπους πρωτοτύπων: τα παραδοσιακά πρωτότυπα, τα γρήγορα πρωτότυπα καθώς και τον συνδυασμό των δύο αυτών μορφών (υβριδικά πρωτότυπα). Στην συνέχεια, γίνεται μια σύντομη περιγραφή του κάθε τύπου. Ενώ στο τέλος της συγκεκριμένης υπό ενότητας παρατίθενται ορισμένοι περιορισμοί των συγκεκριμένων πρωτοτύπων, οι οποίοι εν πολλοίς οφείλονται στον περιορισμό της χρήσης τους και στην ανάπτυξη της χρήσης των ψηφιακών πρωτοτύπων.

#### *Παραδοσιακά πρωτότυπα*

Τα παραδοσιακά πρωτότυπα αποτελούν τον πρώτο τύπο πρωτοτύπων που παρουσιάστηκε στην βιομηχανία και βρίσκουν πρόσφορο έδαφος ακόμα και σε σημερινές εφαρμογές, κυρίως



λόγω της απλότητάς τους. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη προσέγγιση, το πρωτότυπο δημιουργείται από μια κατεργασία κοπής ή αφαίρεσης υλικού εν γένει, έως ότου να δημιουργηθεί μια σχεδιασμένη επιφάνεια ή γεωμετρία. Όπως είναι λογικό, η συγκεκριμένη διαδικασία προσεγγίζει εν πολλοίς την πραγματική διαδικασία παραγωγής του προϊόντος. Με την παρακολούθηση της διαδικασίας ανάπτυξης, οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί παραγωγής μπορούν να βγάλουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τους τρόπους παραγωγής και συναρμολόγησης των εξαρτημάτων. Για τον λόγο αυτό, τα συγκεκριμένα πρωτότυπα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα κατά το στάδιο της προ – παραγωγής.

Αντίθετα, η ανάπτυξη τέτοιου είδους πρωτοτύπων, δεν αποτελεί την βέλτιστη λύση, στα αρχικά στάδια ανάπτυξης ενός προϊόντος. Αυτό μπορεί να τεκμηριωθεί με δύο επιχειρήματα. Αρχικά, στα πρώτα στάδια δεν υπάρχει ακόμα λεπτομερής επεξήγηση για τις προδιαγραφές του προϊόντος και των επιμέρους εξαρτημάτων και ως εκ τούτου δεν μπορούν να προκύψουν λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια, για την ανάπτυξη ενός παραδοσιακού φυσικού πρωτοτύπου. Επιπλέον, η ανάπτυξη φυσικών πρωτοτύπων, αποτελεί μια κοστοβόρα διαδικασία, καθώς καταναλώνονται φυσικοί πόροι (υλικά), στα οποία μάλιστα το ποσοστό εκμετάλλευσης τους είναι σημαντικά μικρότερο, σε σύγκριση με την τυποποιημένη παραγωγική διαδικασία. Με πιο απλά λόγια, πρόκειται για σπατάλη υλικού και παραγωγή υψηλού ποσοστού φύρας (scrap).

Από τεχνικής σκοπιάς, υπάρχουν οι τρεις (3) παρακάτω τρόποι για την ανάπτυξη φυσικών πρωτοτύπων:

1. Εντελώς χειροκίνητες τεχνικές, με χρήση απλών εξαρτημάτων από εξειδικευμένους τεχνίτες του κλάδου. Αν και οι συγκεκριμένες τεχνικές ανάπτυξης, θεωρούνται γενικά ξεπερασμένες, βρίσκουν ακόμα εφαρμογή στην ανάπτυξη έργων μεγάλης κλίμακας (π.χ. γέφυρες) (Zorriassatine et al., 2003).
2. Συνδυασμός υπολογιστικών και εμπειρικών τεχνικών, με τεχνολογίες κατεργασίας σε CNC μηχανές. Σύμφωνα με αυτόν τρόπο, ορισμένοι ειδικοί επιστήμονες του κλάδου κάνουν κάποιες παραδοχές για την τελική γεωμετρία και αναπτύσσουν αντίστοιχα σχέδια, τα οποία τροφοδοτούνται σε μηχανές CNC, για την ανάπτυξη των πρωτοτύπων.
3. Εντελώς αυτοματοποιημένες τεχνικές ανάπτυξης. Πρόκειται για το στάδιο τελικού σχεδιασμού του προϊόντος, στο οποίο έχει γίνει λεπτομερής σχεδιασμός των επιμέρους στοιχείων και της συνολικής γεωμετρίας. Οι σύγχρονες μηχανές CNC, μπορούν να υλοποιήσουν οποιαδήποτε γεωμετρία, αυτόνομα, και προσαρμόζοντας

τα κοπτικά εργαλεία κατάλληλα, έτσι ώστε να παραχθεί η λιγότερη δυνατή φύρα (Schmitz et al., 2001).

### ***Γρήγορα πρωτότυπα***

Αποτελεί, αναμφίβολα, μια πολύ πιο σύγχρονη προσέγγιση ανάπτυξης φυσικών πρωτοτύπων, έναντι της προηγούμενης προσέγγισης. Στην περίπτωση αυτή, δεν αφαιρείται υλικό για να δημιουργηθεί μια τελική γεωμετρία. Αντίθετα, πρόκειται για μια προσθετική προσέγγιση. Δηλαδή, το τελικό πρωτότυπο δημιουργείται με πολλαπλές στρώσεις (layers) κατάλληλα διαμορφωμένου υλικού, έως ότου να αναπτυχθεί η τελική γεωμετρία. Η χρήση των γρήγορων πρωτοτύπων, φαίνεται να αποκτά συνεχώς αυξανόμενη απήχηση σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας, διότι έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα. Αρχικά, οδηγεί στην δημιουργία ενός απτού προϊόντος, το οποίο σαφώς έχει συγκριτικά οφέλη έναντι των απλών ψηφιακών μοντέλων. Ενώ, παράλληλα είναι αρκετά πιο οικονομική προσέγγιση έναντι της κατασκευής πρωτοτύπου με αφαίρεση υλικού, καθώς περιορίζει σε μηδενικό σχεδόν βαθμό την ποσότητα της φύρας και ταυτόχρονα δεν απαιτεί την χρήση εξειδικευμένων τεχνιτών ή σύνθετων κεφαλών και εξαρτημάτων των CNC μηχανών, για διαμόρφωση της τελικής γεωμετρίας.

Όπως γίνεται αντιληπτό, από την παραπάνω περιγραφή, η ανάπτυξη τέτοιων πρωτοτύπων, στηρίζεται σε τεχνολογίες τρισδιάστατης σχεδίασης (3-D printing). Δηλαδή, σε ένα πρώτο στάδιο δημιουργείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο της κατασκευής, μέσω κατάλληλου λογισμικού και στην συνέχεια το μοντέλο αυτό παραμετροποιείται κατάλληλα, ώστε να μετατραπεί σε μορφή κώδικα, την οποία μπορεί να επεξεργαστεί ο εκτυπωτής. Συνεπώς, δεν πρόκειται για μια εντελώς αυτόνομη διαδικασία, αλλά απαιτείται η συμβολή των διαδικασιών σχεδιασμού. Οι σύγχρονοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, έχουν την δυνατότητα άμεσης αλληλεπίδρασης με ορισμένα διάσημα σχεδιαστικά προγράμματα, όπως για παράδειγμα το SolidWorks ή το Catia. Έτσι, ο χρόνος προγραμματισμού της διαδικασίας εκτύπωσης, και κατ' επέκταση ο χρόνος ανάπτυξης των πρωτοτύπων, μειώνεται σημαντικά. Αυτό αποτελεί, σαφώς, έναν κύριο παράγοντα για την ανάπτυξη αυτών των τύπων πρωτοτυπιοίησης.

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα, της συγκεκριμένης κατηγορίας, είναι ο βαθμός επιρροής που επιτρέπει κατά την ανάπτυξη της δομής του προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα, οι σύγχρονοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, επιτρέπουν την ανάπτυξη πρωτοτύπων, με διαφορετικά υλικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων της κατασκευής καθώς επίσης και την μείωση διάφορων άλλων στοιχείων, όπως το βάρος. Αναμφίβολα,

πρόκειται για ένα μεγάλο συγκριτικό πλεονέκτημα, το οποίο δεν παρέχεται από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις ανάπτυξης πρωτοτύπων (Bhashyam et al., 2000).

### ***Υβριδικά πρωτότυπα***

Πρόκειται για την πιο σύγχρονη προσέγγιση ανάπτυξης φυσικών πρωτοτύπων. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, η ανάπτυξη του πρωτοτύπου ολοκληρώνεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση αναπτύσσεται ένα γρήγορο πρωτότυπο, με χρήση των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, και στη δεύτερη φάση ακολουθεί περαιτέρω κατεργασία του πρωτοτύπου αυτού, σε κάποια εργαλειομηχανή (π.χ. CNC), έτσι ώστε να δημιουργηθεί το ακριβέστερο δυνατό αποτέλεσμα διαστασιολογικά και λειτουργικά.

Είναι σαφές, ότι η προσέγγιση αυτή αυξάνει το επίπεδο της λεπτομέρειας του πρωτοτύπου, ωστόσο είναι περισσότερο χρονοβόρα από την προηγούμενη προσέγγιση. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη υβριδικών πρωτοτύπων, θεωρείται ότι έχει προστιθέμενη αξία, στην περίπτωση που απαιτείται μεγάλη λεπτομέρεια και ακρίβεια. Δηλαδή, όταν πρόκειται για πρωτότυπο, κατά τα τελικά στάδια ανάπτυξης ενός προϊόντος ή κατά τον έλεγχο των δυνατοτήτων παραγωγής, δηλαδή στο στάδιο της προ – παραγωγής.

Η ανάγκη ανάπτυξης υβριδικών τεχνικών για την υλοποίηση πρωτοτύπων, βασίστηκε σε μια συγκεκριμένη αδυναμία, που αποδεδειγμένα παρουσιάζουν τα γρήγορα πρωτότυπα, ως προς τον βαθμό λεπτομέρειάς τους. Συγκεκριμένα, τα γρήγορα πρωτότυπα, περιορίζονται σε 2.5 διαστάσεις, έναντι του κλασσικού χωρικού συστήματος (x, y, z). Αυτός ο περιορισμός, σχετίζεται με την ελευθερία κινήσεων των συσκευών ανάπτυξης τους, οι οποίες κατά κύριο λόγο επιτρέπουν ελευθερία κινήσεων στον x και στον y άξονα, ενώ η κίνηση στον z είναι σχετική και όχι ελεύθερη (Spelic, 2019).

Ολοκληρώνοντας, την συγκεκριμένη υπό - ενότητα αναφέρεται ότι παρόλο που η ανάπτυξη φυσικών πρωτοτύπων είναι πολύ χρήσιμη στην βιομηχανία και βοηθά στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, έχει αντικατασταθεί σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη ψηφιακών πρωτοτύπων. Σαφώς, η μεταστροφή αυτή οφείλεται στις βελτιωμένες δυνατότητες τα τεχνολογίας καθώς και στον βαθμό εξέλιξης και εκσυγχρονισμού που προσφέρουν, αντιμετωπίζοντας ορισμένες προβληματικές διαστάσεις των φυσικών πρωτοτύπων. Στον Πίνακα 1, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά, ορισμένα από τα μειονεκτήματα των φυσικών πρωτοτύπων καθώς και το πως αυτά βελτιώνονται ή μειώνεται το αντίκτυπό τους, μέσω χρήσης ψηφιακών πρωτοτύπων. Σαφώς, αυτές οι διαστάσεις του σχεδιασμού, δεν είναι οι

μοναδικές που βελτιώνονται με την χρήση ψηφιακών εργαλείων, ωστόσο αποτελούν ορισμένες από τις πλέον σημαντικές.

Πίνακας 1 Μειονεκτήματα φυσικών πρωτοτύπων που αντιμετωπίζονται με τα ψηφιακά πρωτότυπα

<b>Διαστάσεις ανάπτυξης</b>	<b>Μειονέκτημα φυσικού πρωτοτύπου</b>	<b>Αντιστοίχιση με πλεονέκτημα ψηφιακού πρωτοτύπου</b>
<b>Οικονομική διάσταση</b>	Απαραίτητη χρήση υλικών πόρων και αναλώσιμων μηχανών	Δεν χρειάζονται καθόλου φυσικοί πόροι. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των υλικών κατασκευής αποτυπώνονται με μεγάλη ακρίβεια
<b>Αποδοτικότητα ανάπτυξης</b>	Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ελαφρώς τροποποιημένων πρωτοτύπων	Αυτόνομα λειτουργικά μέρη χρησιμοποιούνται, ως έχουν, σε οποιοδήποτε άλλο πρωτότυπο και τα παρεμφερή μέρη παραμετροποιούνται πολύ εύκολα και γρήγορα
<b>Επικοινωνιακή διάσταση</b>	Δεν επιτρέπουν ασύγχρονη αλληλεπίδραση και δεν βοηθούν σε παγκόσμιες συνέργειες	Επιτρέπουν παρεμβάσεις επί του προϊόντος και παρέχουν ένα κοινό επικοινωνιακό πλαίσιο
<b>Χρονική διάσταση</b>	Απαιτούν λεπτομερή σχεδιασμό και παραγωγή με φυσικό τρόπο	Δεν απαιτούν παραγωγή με φυσικό τρόπο. Στα αρχικά στάδια ο σχεδιασμός μπορεί να παραμετροποιηθεί και να γίνει ανάπτυξη του μοντέλου σε ελάχιστο χρονικό διάστημα.
<b>Δομικός έλεγχος και εναλλακτικά σενάρια</b>	Ο έλεγχος της αντοχής απαιτεί την ανάπτυξη και την χρήση σε πραγματικές συνθήκες. Πιθανή εναλλαγή υλικού απαιτεί εκ νέου κατασκευή	Το προϊόν υπόκειται σε προσομοίωση εντός του προγράμματος, με πολλή μεγάλη ακρίβεια. Οι εναλλαγές των υλικών είναι πολύ απλές και γρήγορες.

### 2.1.2 Ψηφιακά πρωτότυπα (Virtual Prototypes – VP)

Όπως προκύπτει από την ανάλυση του Πίνακα 1, τα ψηφιακά πρωτότυπα, έχουν ισχυρό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των παραδοσιακών πρωτοτύπων, λόγω της βελτίωσης της αποτελεσματικότητας που επιφέρουν, σε διαφορετικές διαστάσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Η αύξηση της απήχησης των ψηφιακών πρωτοτύπων, οφείλεται σε σημαντικό βαθμό στην βελτίωση της υπολογιστικής ισχύος στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές καθώς και στην βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα διάφορα εμπορικά λογισμικά. Ο παράγοντας των λογισμικών για την ανάπτυξη των πρωτοτύπων, θεωρείται καθοριστικός ως προς τις δυνατότητες που προσφέρονται και για τον λόγο αυτό, γίνεται αναλυτική περιγραφή των συστημάτων σε επόμενη ενότητα.

Αναφορικά, με την ταξινόμηση των ψηφιακών πρωτοτύπων, που παρουσιάστηκε στην Εικόνα 3, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για την δομική ανάλυση, για λειτουργική ανάλυση καθώς και για την συνδυαστική ανάλυση των κατασκευών. Με τον όρο δομική ανάλυση, νοούνται χαρακτηριστικά του προϊόντος τα οποία σχετίζονται πρωτίστως με το υλικό κατασκευής τους και σε ένα δεύτερο επίπεδο με την γενική μορφολογία και την όψη τους. Επιπρόσθετα, ως λειτουργική ανάλυση των κατασκευών, θεωρείται η ενσωμάτωση διάφορων λειτουργικών χαρακτηριστικών, όπως τα κινηματικά χαρακτηριστικά, καθώς και ο έλεγχος ότι υπάρχει αρμονική συνεργασία μεταξύ των επιμέρους μερών μιας κατασκευής. Τέλος, η συνδυαστική ανάλυση των κατασκευών, αποσκοπεί στην συνολική εποπτεία των επιμέρους μερών, έτσι ώστε να εντοπιστούν πιθανά σημεία βελτιστοποίησης του σχεδιασμού. Υπό την έννοια αυτή, συμπεραίνουμε ότι η συνδυαστική ανάλυση των ψηφιακών πρωτοτύπων, αποσκοπεί κυρίως στον σχεδιασμό των παραγωγικών διαδικασιών των προϊόντων, καθώς και του τρόπου μοντελοποίησης διάφορων κρίσιμων παραγόντων, όπως για παράδειγμα ο τρόπος συναρμολόγησης. Τα ζητήματα αυτά, επαφίονται κυρίως, στο στάδιο προ – παραγωγής των προϊόντων, το οποίο όπως έχει ήδη σημειωθεί, αποτελεί ένα σημαντικό στάδιο του σχεδιασμού και της παραγωγής, εν γένει.

Η παραπάνω ταξινόμηση, δίνει το γενικό πλαίσιο σχετικά με την σημαντικότητα χρήσης των συστημάτων. Ωστόσο, δεν φανερώνει όλες τις δυνατότητες που παρέχουν τα ψηφιακά πρωτότυπα, τόσο από πλευράς μοντελοποίησης και ανάλυσης όσο και από πλευράς αλληλεπίδρασης με τον χρήστη. Για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης επιχειρηματολογίας, είναι απαραίτητη η εστίαση σε ορισμένες κατηγορίες συστημάτων και η παρουσίαση των δυνατοτήτων που παρέχουν. Η ανάλυση αυτή γίνεται στην προσεχή ενότητα.

## 2.2 Λογισμικά ανάπτυξης ψηφιακών πρωτοτύπων

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν τα δύο είδη πρωτοτύπων, η συμβολή τους στην βιομηχανία και στην διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος εν γένει, ενώ παράλληλα τονίστηκαν οι κύριες διαφορές μεταξύ φυσικών και ψηφιακών πρωτοτύπων. Όπως διαπιστώνεται από την ανάλυση που προηγήθηκε, η σύγχρονη τάση σε βιομηχανικό επίπεδο είναι η ανάπτυξη ψηφιακών πρωτοτύπων. Στην συγκεκριμένη ενότητα, γίνεται η παρουσίαση των λογισμικών τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των ψηφιακών πρωτοτύπων καθώς και των δυνατοτήτων που παρέχουν στην σύγχρονη βιομηχανία.

Λόγω της ολοένα και αυξανόμενης απήχησής τους, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα λογισμικών ανάπτυξης ψηφιακών πρωτοτύπων, τα οποία καλύπτουν μια μεγάλη γκάμα βιομηχανικών αναγκών, από την απλή ανάπτυξη τρισδιάστατων μοντέλων έως και την σύνθετη προσομοίωση συνθηκών λειτουργίας ή γενικών περιβαλλοντικών συνθηκών, για την εξέταση του είδους καταπόνησης της κατασκευής και την μελέτη της εντατικής κατάστασης. Αναλυτική περιγραφή σε ορισμένες από τις δυνατότητες προσομοίωσης που παρέχουν τα σύγχρονα λογισμικά ανάπτυξης ψηφιακών πρωτοτύπων, αναλύονται στην επόμενη ενότητα.

Τα συγκεκριμένα λογισμικά, μπορούν κατά γενική ομολογία, να καταταχθούν σε τρεις (μεγάλες) κατηγορίες ή πακέτα λογισμικών, ανάλογα με το ποια λειτουργικότητα της παραγωγής ή του προϊόντος προσομοιώνουν. Οι τρεις αυτές κατηγορίες είναι: τα συστήματα CAD, τα συστήματα CAM και τα συστήματα CAE. Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση της χρήσης του εκάστοτε συστήματος κατά την διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος.

### ***Τα συστήματα CAD***

Ο όρος CAD, προκύπτει ως ακρωνύμιο από την φράση Computer – Aided Design. Όπως προκύπτει και από την ονομασία τους, τα συγκεκριμένα λογισμικά χρησιμοποιούνται για την υποβοήθηση ανάπτυξης σχεδίων από την αρχή ή την βελτιστοποίηση και τροποποίηση υφιστάμενων σχεδίων. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για λογισμικά γραφικής αναπαράστασης ενός πραγματικού αντικειμένου. Στο πλαίσιο της ανάπτυξης ενός πραγματικού αντικειμένου, ένα σύνολο από λειτουργικότητες υποβοήθησης συμπεριλαμβάνεται στα πακέτα αυτά, όπως για παράδειγμα λειτουργικότητες που σχετίζονται με το γεωμετρικό ανάπτυγμα μιας κατασκευής ή τις κατασκευαστικές ανοχές των εξαρτημάτων που απαρτίζουν μια κατασκευή.

Τα συστήματα CAD, θεωρούνται πολύ σημαντικά για όλες τις βιομηχανίες ανάπτυξης προϊόντων, καθώς σχετίζονται με την γεωμετρία των αναπτυσσόμενων προϊόντων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, είναι τα σημαντικότερα τόσο από πλευράς κατεργασίας και παραγωγής, όσο και για την συναρμολόγηση και τον μετέπειτα έλεγχο της δομικής ακεραιότητας. Λόγω της υψηλής απήχησής τους, οι εταιρείες ανάπτυξη των λογισμικών αυτών, έχουν επενδύσει σημαντικά κεφάλαια ως προς την συνεχή βελτίωση των γραφικών αναπαραστάσεων. Τα σημερινά λογισμικά CAD, είναι ικανά να προσομοιώσουν με ακρίβεια μια τεράστια γκάμα προϊόντων, από πολύ μεγάλες και σύνθετες κατασκευές, όπως ένα αεροσκάφος που αποτελείται από πολλές χιλιάδες ή ακόμα και εκατομμύρια εξαρτήματα, έως και την παραμικρή λεπτομέρεια σε μια πολύ μικρή κατασκευή.

Ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας που απαιτεί το εκάστοτε προϊόν καθώς και ανάλογα με την πολυπλοκότητα των επιμέρους μηχανισμών και συνδέσεων, θα πρέπει να γίνεται η κατάλληλη επιλογή λογισμικού. Στην αγορά υπάρχουν διαθέσιμα πάρα πολλά λογισμικά για την ανάπτυξη μοντέλων CAD, από λογισμικά ανοικτού κώδικα έως λογισμικά που επιτρέπουν πολύ σύνθετες και ακριβείς προσεγγίσεις. Ωστόσο, ο εμπειρικός κανόνας καταδεικνύει ότι ορισμένα λογισμικά από αυτά χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ανάπτυξη μηχανολογικών κατασκευών. Στην Εικόνα 4, παρουσιάζονται ορισμένα από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά CAD.



Εικόνα 4 Διαδεδομένα λογισμικά CAD

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί ότι πέραν της σημαντικότητας που έχει η γεωμετρία στην ανάπτυξη προϊόντων, ένα ακόμα χαρακτηριστικό που έχει οδηγήσει στην καθιέρωση των

συστημάτων CAD, είναι ότι αυτά αποτελούν την βάση για την ανάπτυξη μοντέλων CAM και CAE. Τα μοντέλα CAM, αποσκοπούν στην μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας ενός προϊόντος ενώ τα μοντέλα CAE αποσκοπούν στην ανάλυση της αντοχής μιας κατασκευής, σε διάφορες συνθήκες και εντατικές καταστάσεις. Με πιο απλά λόγια, είναι αδύνατον μια παραγωγική διαδικασία να αποκομίσει τα οφέλη των ψηφιακών πρωτοτύπων, αν πρώτα δεν έχει δημιουργηθεί μια ακριβής ψηφιακή αναπαράσταση της κατασκευής, με χρήση λογισμικών CAD.

Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα διαθέσιμα συστήματα CAD, χωρίζονται σε συστήματα ανάπτυξης δισδιάστατων πρωτοτύπων (2-D CAD) και σε συστήματα τρισδιάστατων πρωτοτύπων (3-D CAD). Τα εργαλεία ανάπτυξης δισδιάστατων πρωτοτύπων, είναι τα πρώτα που αναπτύχθηκαν από την δεκαετία του 1970. Ωστόσο, στην σημερινή τους μορφή έχουν εξελιχτεί σημαντικά και αποτελούν σημαντικό κομμάτι παραγωγικής διαδικασίας. Από την άλλη πλευρά, τα τρισδιάστατα εργαλεία, έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην βιομηχανία, καθώς βοηθούν στην κατανόηση όλων των λεπτομερειών των προϊόντων, ενώ παράλληλα βοηθούν σημαντικά σε σκοπούς προώθησης του προϊόντος και στην επικοινωνία με τον πελάτη.

Το σημαντικό είναι ότι για την κατασκευή ενός προϊόντος, αν αυτή πρόκειται να γίνει με την συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα, θα πρέπει να παραχθούν τα δισδιάστατα σχέδια με τις αντίστοιχες διαστασιολογήσεις. Τα σχέδια αυτά ονομάζονται και κατασκευαστικά και μπορούν να προκύψουν είτε με απευθείας σχεδιασμό σε κατάλληλο λογισμικό είτε από αποτύπωση ενός τρισδιάστατου σχεδίου με κατάλληλη επέκταση. Σε πλήρως αυτοματοποιημένες παραγωγές δεν χρειάζεται η αναπαραγωγή κατασκευαστικών σχεδίων, αλλά τα τρισδιάστατα μοντέλα κωδικοποιούνται κατάλληλα και τροφοδοτούνται σε μηχανές CNC.

### ***Τα συστήματα CAM***

Τα συστήματα CAM, ή συστήματα παραγωγής με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer – Aided Manufacturing), είναι εργαλεία λογισμικού που χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας κατασκευής ενός προϊόντος, συνήθως μέσω της επεξεργασίας υλικών όπως τα μέταλλα, το ξύλο ή τα πλαστικά. Η προστιθέμενη αξία των συγκεκριμένων συστημάτων στην παραγωγική διαδικασία είναι η μείωση του χρόνου και του κόστους κατασκευής ενός προϊόντος καθώς και η βελτίωση της ακρίβειας και της ποιότητας του τελικού προϊόντος.



Τα συστήματα CAM αποτελούνται από μια σειρά λειτουργιών και εργαλείων, όπως εργαλεία για την προετοιμασία και τον προγραμματισμό εργαλείων κατεργασίας, εργαλεία για τον έλεγχο της διαδικασίας κατασκευής και τη διαχείριση των δεδομένων παραγωγής, εργαλεία της παραγωγικής ισχύος και άλλα. Επιπλέον, περιλαμβάνουν εργαλεία για την αυτόματη δημιουργία κωδικών προγραμματισμού για εργαλεία κατεργασίας, με βάση τα δεδομένα σχεδιασμού του προϊόντος. Όπως γίνεται κατανοητό, η ανάπτυξη τέτοιου είδους μοντέλων, προϋποθέτει την ανάπτυξη μοντέλων CAD, καθώς πάνω σε αυτά βασίζεται η όλη διαδικασία προσομοίωσης της παραγωγής.

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα συστήματα CAD και CAM, αντιμετωπίζονται ως ένα κοινό σύστημα CAD / CAM. Αυτό αιτιολογείται λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των δύο συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι περιορισμοί της κατασκευής μπορούν να επηρεάσουν τον σχεδιασμό και το αντίστροφο, ιδίως όταν πρόκειται για την ανάπτυξη σύνθετων κατασκευών. Η συνδυαστική χρήση των δύο συστημάτων, οδηγεί στην δημιουργία μιας γεωμετρίας, η οποία είναι εφικτό να παραχθεί με τις διαθέσιμες εργαλειομηχανές (Abduo, 2014).

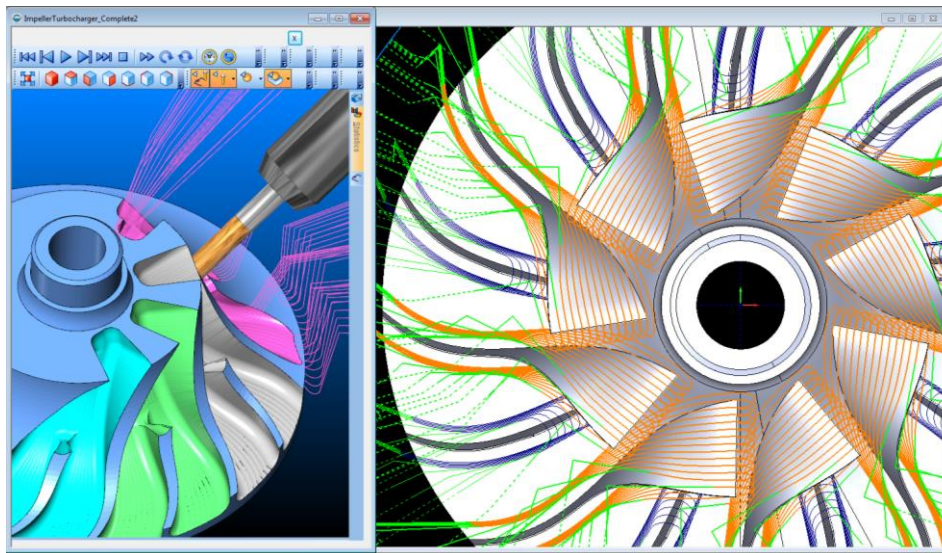
Τα κύρια πλεονεκτήματα των συστημάτων CAM είναι:

- Η ικανότητά τους να παράγουν ακριβείς οδηγίες κατεργασίας για τη διαδικασία κατασκευής, εφαρμόζοντας υπολογιστικά μοντέλα και προσομοιώσεις
- Η ικανότητά τους να μειώνουν το χρόνο και το κόστος της κατασκευής, βελτιστοποιώντας τη διαδικασία κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα CAM μπορούν να αναλύουν διαφορετικά σενάρια κατασκευής και να επιλέγουν την πιο αποτελεσματική και αποδοτική προσέγγιση. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την επιλογή της καταλληλότερης διαδρομής εργαλείων για τα εργαλεία κατεργασίας, τη βελτιστοποίηση της τοποθέτησης του προϊόντος στο χώρο κατασκευής και τη μείωση της σπατάλης υλικών
- Η δυνατότητα παραγωγής πολύπλοκων και περίπλοκων σχεδίων που θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο ή αδύνατο να παραχθούν με το χέρι. Με τα συστήματα CAM, οι σχεδιαστές μπορούν να δημιουργήσουν τρισδιάστατα μοντέλα των σχεδίων τους, τα οποία μπορούν να μεταφραστούν στις ακριβείς οδηγίες κατεργασίας που απαιτούνται για την παραγωγή του τελικού προϊόντος.

Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βελτίωση των τεχνολογιών, που σχετίζεται με τα συγκεκριμένα συστήματα, καθώς και η περαιτέρω ανάπτυξη της ισχύος των υπολογιστικών συστημάτων, θεωρείται ότι θα εδραιώσει ακόμα περισσότερο τα CAM

συστήματα στην παραγωγή. Αυτό βασίζεται στην ικανότητά τους, να αναλύουν τεράστιους όγκους δεδομένων και να λαμβάνουν αποφάσεις αυτόνομα. Ενώ στο άμεσο μέλλον αναμένεται ακόμα και να κάνουν συστάσεις για την ανάπτυξη νέων και καινοτόμων προϊόντων.

Στην Εικόνα 5, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίον συνυπάρχουν και αλληλεξαρτώνται τα συστήματα CAD και CAM. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο τρόπος προσομοίωσης της διαδικασίας παραγωγής ενός σχεδιασμένου ψηφιακού πρωτοτύπου.



Εικόνα 5 Προσομοίωση διαδικασίας ανάπτυξης (αριστερά) ενός τρισδιάστατου ψηφιακού πρωτοτύπου (δεξιά)<sup>2</sup>

### ***Τα συστήματα CAE***

Τα συστήματα υπολογιστικής μηχανικής με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer – Aided Engineering - CAE) είναι προγράμματα λογισμικού που βοηθούν τους μηχανικούς στο σχεδιασμό, την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση πολύπλοκων συστημάτων μηχανικής. Τα συστήματα αυτά παρέχουν ένα ευρύ φάσμα εργαλείων και τεχνικών για την προσομοίωση και την αξιολόγηση της απόδοσης των τρισδιάστατων μοντέλων, καθώς και για τον εντοπισμό και την επίλυση πιθανών προβλημάτων πριν από την κατασκευή ενός φυσικού πρωτοτύπου. Η εφαρμογή των συστημάτων αυτών, σαφώς προϋποθέτει την ανάπτυξη του αντίστοιχου τρισδιάστατου μοντέλου, μέσω CAD. Ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις παραγωγής, ο έλεγχος του προϊόντος σε CAE σύστημα, γίνεται κατόπιν της ανάλυσης και προσομοίωσης της διαδικασίας παραγωγής (CAM). Με άλλα λόγια, τα CAE συστήματα, εφαρμόζονται σε τρίτο στάδιο κατά την ανάλυση κατασκευών.

<sup>2</sup> <https://bobcad.com/cad-cam-how-cnc-manufacturing-technology-is-helping-shape-the-world/>

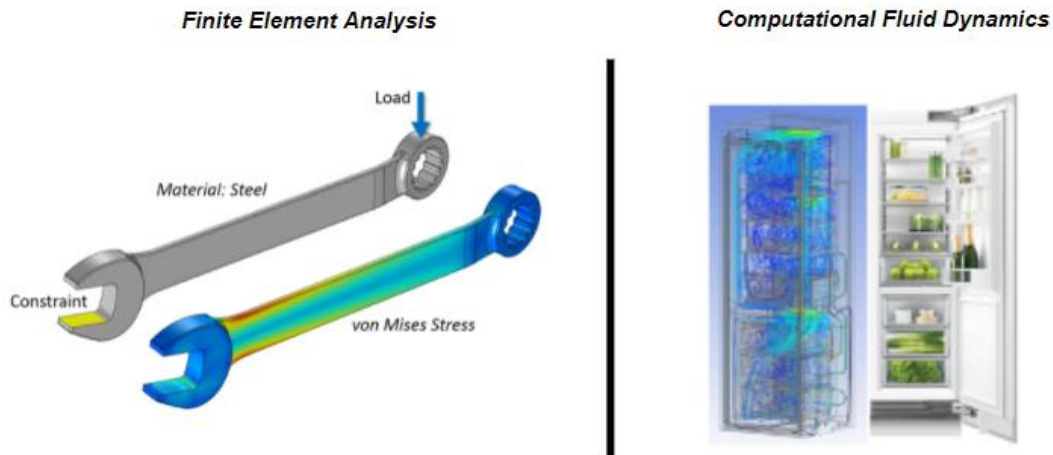
Τα συστήματα CAE χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η ενέργεια και η μεταποίηση, μεταξύ άλλων. Είναι ιδιαίτερα πολύτιμα στο σχεδιασμό πολύπλοκων συστημάτων όπως τα αεροσκάφη, όπου ακόμη και μικρές αλλαγές στο σχεδιασμό μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις επιδόσεις και την ασφάλεια.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των συστημάτων CAE είναι η ικανότητά τους να προσομοιώνουν τη μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών. Αυτό επιτρέπει στους μηχανικούς να δοκιμάζουν τα σχέδιά τους σε ένα εικονικό περιβάλλον και να εντοπίζουν πιθανά προβλήματα πριν επενδύσουν χρόνο και πόρους σε φυσικά πρωτότυπα. Μειώνοντας τον αριθμό των απαιτούμενων φυσικών πρωτοτύπων, τα συστήματα CAE μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος ανάπτυξης και το χρόνο διάθεσης στην αγορά. Επιπρόσθετα, τα συστήματα CAE ενσωματώνουν συνήθως μια σειρά από αναλυτικές τεχνικές, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Analysis – FEA), της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics – CFD) και της δυναμικής πολλαπλών σωμάτων. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της συμπεριφοράς διαφόρων τύπων υλικών, ρευστών και δομών υπό διάφορα φορτία και συνθήκες (Todorov et al., 2017). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων με πολλαπλά αλληλεπιδρώντα εξαρτήματα, όπως κινητήρες ή κιβώτια ταχυτήτων.

Εκτός από την προσομοίωση της συμπεριφοράς των μηχανολογικών συστημάτων, τα συστήματα CAE παρέχουν επίσης εργαλεία βελτιστοποίησης και διερεύνησης του σχεδιασμού. Τα εργαλεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση διαφόρων εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού και τον προσδιορισμό του βέλτιστου σχεδιασμού με βάση συγκεκριμένα κριτήρια απόδοσης, όπως το βάρος, η αντοχή ή το κόστος. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους μηχανικούς να εντοπίσουν πιθανά ζητήματα νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού, με αποτέλεσμα να προκύπτουν προϊόντα με καλύτερες επιδόσεις και πιο οικονομικά αποδοτικά.

Συνοψίζοντας, τα συστήματα CAE αποτελούν ένα κρίσιμο εργαλείο για τον σύγχρονο σχεδιασμό και την ανάλυση της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών. Επιτρέποντας στους μηχανικούς να προσομοιώνουν και να βελτιστοποιούν τη συμπεριφορά πολύπλοκων συστημάτων, τα συστήματα αυτά μπορούν να συμβάλουν στη μείωση του κόστους ανάπτυξης, στην επιτάχυνση του χρόνου διάθεσης στην αγορά και στη βελτίωση της ασφάλειας και της απόδοσης των προϊόντων σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών.

Κατά αντιστοιχία, με την περιγραφή των συστημάτων CAM, παρατίθεται η Εικόνα 6, στην οποία παρουσιάζεται το εικονικό περιβάλλον προσομοίωσης της εντατικής κατάστασης μιας κατασκευής, υπό την επιβολή συγκεντρωμένου φορτίου, με χρήση πεπερασμένων στοιχείων (FEA), στο αριστερά μέρος. Ενώ, στο δεξιά μέρος, παρουσιάζεται η προσομοίωση του ροϊκού πεδίου εντός μια ψυκτικής οικιακής εγκατάστασης (ψυγείο), με χρήση μοντέλων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής.



**Εικόνα 6** Χρήση συστημάτων CAE για ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (αριστερά) και για ανάλυση υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (δεξιά)<sup>34</sup>

### 2.3 Λογισμικά συνδυαστικής προσομοίωσης ανθρώπινου παράγοντα και κατασκευών

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι δυνατότητες των πακέτων ανάπτυξης ψηφιακών πρωτοτύπων. Μέσα από την συγκεκριμένη ανάλυση, δόθηκε έμφαση σε μια σειρά από αποφάσεις σχετικά με τον σχεδιασμό και την παραγωγή, οι οποίες υποστηρίζονται σημαντικά, από την χρήση εργαλείων και λογισμικών τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Το σύνολο των μοντέλων που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, είναι άμεσα συσχετισμένο με τον δομικό έλεγχο καθώς και με τις βέλτιστες μεθόδους παραγωγής εξαρτημάτων ή ανάπτυξης ολόκληρων κατασκευών.

Στην συγκεκριμένη ενότητα, η έμφαση αποδίδεται στην παρουσίαση των δυνατοτήτων των εμπορικών λογισμικών πακέτων, σχετικά με την μοντελοποίηση της συμμετοχής του ανθρώπινου παράγοντα κατά την παραγωγική διαδικασία ή κατά την χρήση του τελικού προϊόντος. Όπως γίνεται αντιληπτό, για να καταστεί εφικτή η ανάπτυξη τέτοιου είδους

<sup>3</sup> <https://www.comsol.com/multiphysics/mesh-refinement>

<sup>4</sup> <https://www.ansys.com/blog/fluid-dynamics-simulations-advance-appliance-designs>

μοντέλων, τα οποία ονομάζονται συχνά και ως μοντέλα επαυξημένες πραγματικότητας (Virtual Reality models), θα πρέπει αρχικά να έχει αναπτυχθεί το ψηφιακό πρωτότυπο της κατασκευής και εν συνεχεία να έχει παραμετροποιηθεί η παραγωγική διαδικασία, μέσω κάποιου CAM λογισμικού πακέτου.

Αναφορικά με την συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στην παραγωγική διαδικασία, μπορούμε να σημειώσουμε ότι ο τρόπος μοντελοποίησης των κινήσεων, των συμπεριφορών και των αντιδράσεων, αποτελεί μια διαχρονική πρόκληση για τους επιστήμονες του κλάδου. Αυτό αιτιολογείται καθώς ο ανθρώπινος παράγοντας εμπλέκεται στα περισσότερα από τα στάδια ανάπτυξης, όπως στον χειρισμό μηχανών, στη συναρμολόγηση των επιμέρους τμημάτων, στη συσκευασία ακόμα και στην συντήρηση του τελικού προϊόντος. Ορισμένες πιο παραδοσιακές προσεγγίσεις στην βιομηχανία, χρησιμοποιούν προσομοίωση με χρήση κάποιων μακετών καθώς ειδαλμάτων εργαζομένων, για να εξάγουν συμπεράσματα σχετικά με την εργονομία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα στην παραγωγή. Ωστόσο, η βελτίωση της υπολογιστικής ισχύος καθώς και των γραφιστικών απεικονίσεων, έχει δώσει την δυνατότητα υλοποίησης των συγκεκριμένων προσομοιώσεων, με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Είναι λογικό ότι η ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων, έχει βελτιστοποιήσει σημαντικά, την λήψη αποφάσεων σχετικά με την παραγωγή, αφού παρέχει την δυνατότητα εξέτασης πολλών διαφορετικών σεναρίων χρήσης. Ειδικότερα, τα εργαλεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού, π.χ. την αξιολόγηση ενός κέντρου εργασίας με βάση κοινά κριτήρια, όπως ο ρυθμός παραγωγής, το μοναδιαίο κόστος, οι κίνδυνοι για την υγεία και την ασφάλεια, η αποδοτικότητα, τα μέτρα ποιότητας, η φιλικότητα προς τον χρήστη, οι διαδικασίες συντήρησης και η προσβασιμότητα των εξαρτημάτων.

Στην αντίπερα όχθη, μοντέλα προσομοίωσης, με συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα, χρησιμοποιούνται για την διακρίβωση της ασφάλειας των τελικών κατασκευών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ανάπτυξης τέτοιων μοντέλων προσομοίωσης αποτελεί η αυτοκινητοβιομηχανία, όπου τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των πτυχών ασφάλειας του χρήστη και περιλαμβάνουν το σχεδιασμό του μηχανισμού της ζώνης ασφαλείας, την προσομοίωση της ανάπτυξης του αερόσακου, την προσομοίωση σύγκρουσης των επιβατών, την πρόβλεψη της απόκρισης χειρισμού για τον οδηγό και την πορεία, την αλληλεπίδραση ελαστικών και οδοστρώματος, συμπεριλαμβανομένης της συμπεριφοράς του οδηγού, το σχεδιασμό των χειριστηρίων και την προσομοίωση της πέδησης

Αν λάβουμε υπόψιν ότι πριν την ανάπτυξη τέτοιου είδους μοντέλων, όλα αυτά τα πειράματα γίνονταν με την συμμετοχή ανθρώπων, τότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι πρόκειται για καινοτόμα συστήματα, τα οποία όχι μόνο εκμηδενίζουν χρόνο και χρήμα, αλλά κυρίως αυξάνουν την ασφάλεια του ανθρώπου.

### Κεφάλαιο 3: Κόστος ανάπτυξης νέων προϊόντων

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε η συμβολή του βιομηχανικού σχεδιασμού, στο σύνολο των διαδικασιών ανάπτυξης ενός νέου προϊόντος, ενώ παράλληλα υπογραμμίστηκε και η συνεισφορά των πρωτοτύπων, ως προς τον υπολογισμό και την βελτιστοποίηση διάφορων παραμέτρων σχετικά με την ανάπτυξη ενός προϊόντος. Σε κάθε περίπτωση, η συνεισφορά των βιομηχανικών σχεδιαστών είναι εξαιρετικά σημαντική στην παραγωγική διαδικασία, ιδίως αν αυτή συνοδεύεται από προτάσεις βελτίωσης και μείωσης των δομών κόστους που επιδρούν σε ένα προϊόν. Στο παρόν κεφάλαιο, η ανάλυση επικεντρώνεται στην παρουσίαση των βασικών δομών κόστους.

Η δομή κόστους είναι άμεσα συνυφασμένη με την εμπορική αξία ενός προϊόντος, καθώς και με τον τρόπο τοποθέτησης του σε ανταγωνιστικές αγορές. Ο τρόπος διαφήμισης και τοποθέτησης ενός προϊόντος, είναι κατά κύριο λόγο, ζήτημα που αφορά την λήψη αποφάσεων που υπάγονται στο ευρύτερο πλαίσιο του μάρκετινγκ, σε έναν οργανισμό. Ωστόσο η λήψη αποφάσεων τιμολόγησης, στους σύγχρονους οργανισμούς, απαιτεί συνδυαστική ανάλυση και εργασία από επιμέρους τμήματα. Ειδικότερα, τα μέλη του μάρκετινγκ καλούνται να τιμολογήσουν τα προϊόντα με αποτελεσματικό τρόπο, έτσι ώστε αυτά να έχουν ισχυρή θέση έναντι των ανταγωνιστικών προϊόντων, αλλά ταυτόχρονα να υπερκαλύπτουν την δομή κόστους ανά προϊόν, έτσι ώστε αυτά να επιτρέπουν την κερδοφορία και την βιωσιμότητα του οργανισμού. Για να γίνει εφικτός ο υπολογισμός των βέλτιστων τιμών και να σχεδιαστούν αποτελεσματικές στρατηγικές, θα πρέπει το τμήμα μάρκετινγκ να αλληλοεπιδρά με τα τμήματα σχεδιασμού και παραγωγής. Όσο πιο σύντομα, κατά την διάρκεια ανάπτυξης, μπορούν να υπάρξουν τεκμηριωμένες και αξιόπιστες προσεγγίσεις των δομών κόστους, τόσο πιο σύντομα μπορούν να υποστηριχτούν οι αποφάσεις τιμολόγησης και να αναπτυχθεί το αντίστοιχο πλάνο.

Οι προσεγγίσεις των δομών κόστους στις παραγωγικές διαδικασίες, υπολογίζονται συνδυαστικά σύμφωνα με δύο άξονες: α/ τους απαιτούμενους υλικούς πόρους και β/ την κοστολόγηση της συμμετοχής τους ανθρώπινου παράγοντα στην εκάστοτε διαδικασία. Σύμφωνα με την ανάλυση υπολογισμού κόστους στην παραγωγή των (Ulrich and Eppinger, 2015), προκύπτει ότι ο υπολογισμός του κόστους θα πρέπει να υπολογίζεται ως το άθροισμα τριών επιμέρους στοιχείων, συνυπολογίζοντας τόσο τους υλικούς όσο και τους ανθρώπινους πόρους. Με την έννοια υλικοί πόροι, λογίζονται τα μηχανήματα για την υλοποίηση κατεργασιών, οι κτηριακές υποδομές και λοιπά στοιχεία του πάγιου ενεργητικού, πέραν της

καθαρής αξίας των υλικών που χρησιμοποιούνται ή παράγονται από τις εκάστοτε κατεργασίες. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη ανάλυση, η δομή κόστους απαρτίζεται από τις κάτωθι ενότητες:

- Κόστη ανάπτυξης ή προμήθειας μηχανολογικών στοιχείων
- Κόστη συναρμολόγησης των επιμέρους στοιχείων, για την ανάπτυξη αυτόνομων λειτουργικών ενότητων των προϊόντων
- Γενικά βιομηχανικά ή παραγωγικά έξοδα

Η ανάλυση των παραπάνω ενότητων, στα στάδια του αρχικού σχεδιασμού, είναι εξαιρετικά σημαντική, διότι μπορεί εξ αρχής να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με το κοστολόγιο του προϊόντος, ανάλογα με τις προδιαγραφές του. Η ύπαρξη τέτοιου είδους δεδομένων, οδηγεί στην συνέχεια ένα σύνολο από αναλύσεις και αντίστοιχες αποφάσεις, όπως για παράδειγμα αναλύσεις κόστους – οφέλους (cost – benefit analysis) και άλλες αναλύσεις, μέχρι και αποφάσεις σχετικά με το αν θα πρέπει ή όχι να υποστηριχτεί η ανάπτυξη ενός προϊόντος, ανάλογα με την δυνητική εμπορική του αξία και το αναμενόμενο κόστος ανάπτυξης και παραγωγής (αποφάσεις τύπου go – no go).

Στην συνέχεια του κεφαλαίου, αναλύονται οι παράμετροι που επιδρούν σε κάθε μία από τις παραπάνω ενότητες της δομής κόστους, έτσι ώστε να αποτυπωθεί ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο προσδιορισμού του κόστους, με την υποβοήθηση των τμημάτων σχεδιασμού.

### 3.1 Κόστη μηχανολογικών στοιχείων

Τα μηχανολογικά στοιχεία είναι αυτά που απαρτίζουν μια κατασκευή, δηλαδή ένα προϊόν. Στην πραγματικότητα, μια κατασκευή μπορεί να περιέχει δεκάδες ή εκατοντάδες επιμέρους μηχανολογικά στοιχεία, ανάλογα με το εύρος της. Τα στοιχεία αυτά μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες, δηλαδή στα τυποποιημένα στοιχεία και στα προσαρμοσμένα στοιχεία. Στην ευρύτερη κατηγορία των τυποποιημένων στοιχείων, υπάγονται από πολύ μικρά εξαρτήματα, όπως ήλοι και κοχλίες, μέχρι και ολόκληρες σύνθετες κατασκευές ή αυτόνομα λειτουργικά μέρη ενός προϊόντος. Γενικότερα, ως τυποποιημένα χαρακτηρίζονται τα στοιχεία εκείνα, για τα οποία ο οργανισμός επιλέγει την προμήθεια τους από συγκεκριμένους συνεργάτες. Με βάση την λογική αυτή, τα κόστη των τυποποιημένων στοιχείων, είναι γνωστά ανά μονάδα προϊόντος, και δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη ανάλυση για τον υπολογισμό τους, μέσω αναγωγής.



Από την άλλη πλευρά, προσαρμοσμένα θεωρούνται τα εξαρτήματα, για τα οποία η παραγωγός εταιρεία ακολουθεί την τυπική διαδικασία ανάπτυξης τους. Με πιο απλά λόγια, προσαρμοσμένα θεωρούνται τα στοιχεία που παράγει η ίδια η εταιρεία. Για τα στοιχεία αυτά, ακολουθείται, συνήθως, λεπτομερής σχεδιασμός έτσι ώστε να παραχθούν τα κατασκευαστικά σχέδια των εξαρτημάτων ή των επιμέρους στοιχείων. Στην συνέχεια, η παραγωγή βασίζεται πάνω στα συγκεκριμένα σχέδια, και μπορεί να γίνεται είτε εντός του οργανισμού (in – house manufacturing) είτε με χρήση των εγκαταστάσεων κάποιου εξωτερικού συνεργάτη.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η διαδικασία κοστολόγησης των προσαρμοσμένων εξαρτημάτων είναι σημαντικά πιο σύνθετη από την διαδικασία κοστολόγησης των τυποποιημένων στοιχείων. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν αναλυτικές προσεγγίσεις για την αναγωγή του κόστους σε κάθε μονάδα προϊόντος. Όπως προκύπτει από την βιβλιογραφία, τα σημαντικότερα κέντρα κόστους στην συγκεκριμένη περίπτωση αποτελούνται από τα κόστη πρώτων υλών, από τα κόστη εργασίας καθώς και από τα κόστη των χρησιμοποιούμενων εργαλείων.

Όσον αφορά τα κόστη πρώτων υλών, αυτά είναι σε μεγάλο βαθμό γνωστά από την αρχή του σχεδιασμού ή μπορούν να προσεγγιστούν χρησιμοποιώντας αλγόριθμους πρόβλεψης, με ικανοποιητική ακρίβεια. Πιο συγκεκριμένα, η πρακτική που ακολουθείται για τον προσδιορισμό του κόστους πρώτων υλών αποτελείται από δύο επιμέρους στάδια. Στο πρώτο στάδιο, υλοποιείται ο λεπτομερής σχεδιασμών των στοιχείων που θα παραχθούν και γίνεται προσέγγιση της συνολικής μάζας των υλικών κατασκευής. Η διαδικασία υπολογισμού της μάζας, μπορεί σε μεγάλο βαθμό, να υποστηριχτεί από το σχεδιαστικά πακέτα (CAD) ανάπτυξης των σχεδίων (π.χ. SolidWorks).

Έχοντας την πληροφορία σχετικά με την απαιτούμενη μάζα, στο επόμενο στάδιο γίνονται προσεγγίσεις υπολογισμού της φύρας των υλικών, που θα προκύψει από την αντίστοιχη κατεργασία των πρώτων υλών. Η διαδικασία προσδιορισμού της φύρας, μπορεί να υποστηριχτεί τόσο από λογισμικά προσομοίωσης των κατεργασιών παραγωγής (CAM συστήματα), όσο και από εμπειρικούς κανόνες, οι οποίοι προκύπτουν από την άρρητη γνώση που κατέχουν οι σχεδιαστές ή οι μηχανικοί της παραγωγής καθώς και λοιποί εμπειρογνώμονες της παραγωγικής διαδικασίας. Ο προσδιορισμός της φύρας είναι άμεσα συσχετισμένος με την διαδικασία παραγωγής που ακολουθείται, ωστόσο στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι για κατεργασίες χύτευσης ή πρεσαρίσματος η φύρα κυμαίνεται από 10% έως 35%, ενώ για κατεργασίες με εφαρμογή σε μεταλλικά φύλλα, όπως για παράδειγμα η κοπή με λέιζερ, η φύρα ανέρχεται περίπου στο 25%. Μόλις ολοκληρωθεί ο

προσδιορισμός της φύρας, στην πραγματικότητα γίνεται γνωστή και η συνολική απαιτούμενη μάζα πρώτων υλών και κατ' επέκταση το κόστος προμήθειάς τους.

Αντίθετα με τα κόστη πρώτων υλών, τα κόστη εργασίας και εργαλείων, χαρακτηρίζονται από υψηλές διακυμάνσεις και μεταβολές, ανάλογα με τον τύπο του εξαρτήματος ή του στοιχείου που παρασκευάζεται. Με πιο απλά λόγια, τα συγκεκριμένα κόστη απαρτίζονται τόσο από σταθερές όσο και από μεταβλητές πηγές κόστους. Για τον υπολογισμό των μεταβλητών πηγών κόστους και την αναγωγή τους σε επίπεδο μονάδας στοιχείου παραγωγής, έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις, με μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες να θεωρείται η μέθοδος Activity Based Costing (ABC) (Vyas et al., 2022).

Ειδικότερα, για τα κόστη εργασίας θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι αυτά προκύπτουν μέσω του κόστους χρήσης των μηχανών επεξεργασίας, το κόστος του ανθρώπινου παράγοντα καθώς και το κόστος του υποστηρικτικού εξοπλισμού. Με πιο απλά λόγια το μοντέλο ABC, θα πρέπει να τροφοδοτηθεί με δεδομένα σχετικά με τον χρόνο χρήσης κάθε ενός από τα παραπάνω στοιχεία, έτσι ώστε να υπολογιστεί το ανηγμένο κόστος. Σε πιο σύνθετες και λεπτομερείς μελέτες, η κατανάλωση ενέργειας των μηχανών που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη, μοντελοποιείται επίσης. Με τον τρόπο αυτό κάθε στοιχείο κόστους έχει τοποθετηθεί στο παραγόμενο εξάρτημα και έτσι δημιουργείται μια ξεκάθαρη αίσθηση, από πλευράς κοστολόγησης.

Από την άλλη πλευρά, τα κόστη εργαλείων αφορούν στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ειδικών εργαλείων συναρμολόγησης στις μηχανές κατεργασίας, προκειμένου να αναπτυχθούν τα τελικά προϊόντα ή τα στοιχεία που τα απαρτίζουν. Η διαδικασία ανάπτυξης νέων εργαλείων κατεργασίας, αποτελεί σπάνια περίπτωση στην βιομηχανία και είναι απαραίτητη, κυρίως στην περίπτωση όπου το προϊόν που αναπτύσσεται έχει ιδιομορφίες, γεωμετρικές ή λειτουργικές. Αντίθετα, για την ανάπτυξη των τυπικών προϊόντων, η ανάπτυξη ιδιαίτερων εργαλείων δεν είναι απαραίτητη, ιδίως αν ο οργανισμός δεν έχει επιλέξει την στρατηγική ανάπτυξη εντελώς διαφοροποιημένων προϊόντων από αυτά που ήδη παράγει και εμπορεύεται. Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι η πιο συνηθισμένη μορφή αναπτυσσόμενων εργαλείων για την ανάπτυξη προϊόντων, είναι ο σχεδιασμός ειδικών καλουπιών για κατασκευές που δεν μπορούν εύκολα να προκύψουν από τις κλασσικές μηχανολογικές κατεργασίες (π.χ. κοπή).

Στον Πίνακα 2, παρουσιάζεται μια τυπική μήτρα υπολογισμού των κοστών ανάπτυξης μηχανολογικών στοιχείων, βασισμένη στην ABC προσέγγιση, που αναφέρθηκε ανωτέρω. Στην συγκεκριμένη μήτρα, για λόγου έκτασης, έχουν τοποθετηθεί μόνο δύο στοιχεία από την

κάθε δομή κόστους, ωστόσο η μήτρα μπορεί αν επεκταθεί καταλλήλως ανάλογα με τις πραγματικές απαιτήσεις του εκάστοτε προϊόντος.

**Πίνακας 2** Μήτρα υπολογισμού των επιμέρους δομών κόστους κατά την ανάπτυξη μηχανολογικών στοιχείων

<b>Πρώτες ύλες</b>	<b>Εκτίμηση μάζας κατασκευής</b>	<b>Εκτίμηση για scrap</b>	<b>Συνολική απαιτούμενη μάζα</b>	<b>Τιμή ανά kg</b>	<b>Συνολικό κόστος πρώτων υλών</b>
Υλικό 1					
Υλικό 2					
<b>Απαιτούμενη εργασία - επεξεργασία</b>	<b>Απαιτούμενος χρόνος (σε ανθρωποώρες)</b>	<b>Κόστος ανθρωποώρας</b>	<b>Απαιτούμενος χρόνος χρήσης εξοπλισμού</b>	<b>Κόστος εξοπλισμού + κατανάλωση ισχύος</b>	<b>Συνολικό κόστος επεξεργασίας</b>
Επεξεργασία 1					
Επεξεργασία 2					
<b>Ειδικά εργαλεία κατασκευής</b>	<b>Χρόνος σχεδιασμού</b>	<b>Κόστος ανθρωποώρας</b>	<b>Κόστος ανάπτυξης</b>	<b>Κόστος</b>	<b>Συνολικό κόστος ειδικών εργαλείων</b>
Εργαλείο 1					
Εργαλείο 2					

Ολοκληρώνοντας την παρούσα ενότητα, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το σημαντικότερο ποσοστό του κόστους των στοιχείων, πηγάζει από την προμήθεια των πρώτων υλών, και όχι από τις υπόλοιπες διεργασίες. Με βάση αυτή την θεώρηση, συμπεραίνουμε ότι κατά την διαδικασία του σχεδιασμού θα πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη ως προς τις απαιτούμενες ποσότητες των υλικών. Αναφορικά με την προμήθεια πρώτων υλών, υπάρχει καταγεγραμμένο,

ένα σύνολο από διαφορετικές διαχειριστικές προσεγγίσεις και τεχνικές, σχετικά με τη βέλτιστη χρονική περίοδο προμηθειών. Τέτοιου είδους αποφάσεις, επηρεάζουν άμεσα το τελικό κοστολόγιο των προϊόντων καθώς και το περιθώριο κερδοφορίας. Για τον λόγο αυτό, γίνεται αναλυτική προσέγγιση του βέλτιστου χρόνου και της βέλτιστης ποσότητας προμηθειών, στο επόμενο κεφάλαιο. Η προσέγγιση αυτή, τεκμηριώνεται με χρήση πραγματικών δεδομένων προμηθειών.

### 3.2 Κόστη συναρμολόγησης μηχανολογικών στοιχείων

Η συναρμολόγηση των επιμέρους εξαρτημάτων για την σύνθεση ενός τελικού προϊόντος ή μιας αυτόνομης λειτουργικής ενότητας, επιφέρει αξιοσημείωτα κόστη, τα οποία σαφώς θα πρέπει να συνυπολογίζονται κατά την εκτίμηση του κόστους του τελικού προϊόντος. Στο πλαίσιο υπολογισμού του κόστους συναρμολόγησης, ο κυριότερος παράγοντας μελέτης θεωρείται ο χρόνος, δηλαδή η απαιτούμενη διάρκεια για την υλοποίηση των απαραίτητων εργασιών (Kumar, 2013). Ενώ από την άλλη πλευρά, θεωρείται ότι τα κόστη υλικών είναι ασήμαντα έναντι του αντίστοιχου κόστους λόγω χρόνου, και ως εκ τούτου δεν υπολογίζονται, για χάρη απλοποίησης των υπολογισμών.

Για τον ακριβή υπολογισμό του κόστους συναρμολόγησης με βάση τον απαιτούμενο χρόνο, συνηθίζεται ο σχεδιασμός και η διεξαγωγή ειδικών μελετών, για τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε διαδικασίας συναρμολόγησης. Οι μελέτες χρόνου μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό παραγόντων που μειώνουν την αποτελεσματικότητα στη διαδικασία συναρμολόγησης καθώς και στον υπολογισμό του βέλτιστου αριθμού εργαζομένων που απαιτούνται για κάθε εργασία συναρμολόγησης. Επίσης, αποτελεί συνηθισμένη προσέγγιση ο συνδυασμός χρονικών μελετών με χωρικές μελέτες στον χώρο κατασκευής, έτσι ώστε να αναπτυχθούν σύνθετα μοντέλα τα οποία να υποστηρίζουν αποφάσεις σχετικά με την βέλτιστη τοποθέτηση των ημι – έτοιμων προϊόντων, με στόχο την βελτίωση της αποδοτικότητας και κατ' επέκταση την μείωση του χρόνου συναρμολόγησης.

Η ανάπτυξη μελετών χρόνου, σαφώς μπορεί να υποστηριχτεί από υπολογιστικά ή σχεδιαστικά πακέτα ή συνδυασμό αυτών των δύο. Στην πραγματικότητα, ο συνδυασμός φαίνεται να είναι η πιο πρακτική προσέγγιση, υπό την έννοια ότι από τα σχεδιαστικά πακέτα λαμβάνονται οι βέλτιστοι χρόνοι συναρμολόγησης, ενώ από τα υπολογιστικά πακέτα λαμβάνονται οι πραγματικοί χρόνοι, βάσει αναλυτικών υπολογισμών και εμπειρικών θεωρήσεων, και ως εκ τούτου παρέχεται μια συνολική εικόνα σχετικά με την αποδοτικότητα της διαδικασίας καθώς και με τα δυνητικά περιθώρια βελτιστοποίησης.

Σε μια μελέτη σχετικά με τον χρόνο συναρμολόγησης, μπορούν να συμπεριληφθούν όλες οι άμεσες και έμμεσες διαστάσεις, οι οποίες επηρεάζουν χρονικά την διαδικασία, ανάλογα με το επίπεδο της ανάλυσης που επιδιώκεται σε κάθε περίπτωση. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, επιλέγεται η παρουσίαση τριών παραγωγικών διαστάσεων, οι οποίες μεταβάλλονται ανάλογα με τον απαιτούμενο χρόνο. Η εστίαση στις συγκεκριμένες διαστάσεις της παραγωγής, γίνεται με γνώμονα δύο άξονες. Αρχικά, αυτές αποτελούν τα κυριότερα στοιχεία επιρροής του κόστους συναρμολόγησης και συνδέονται άμεσα με την διαδικασία. Ενώ από την άλλη πλευρά, αποτελούν στοιχεία που είναι εύκολα και άμεσα μετρήσιμα. Οι διαστάσεις της συναρμολόγησης που επηρεάζονται από τον χρόνο είναι:

- **Η άμεση εργασία ανθρώπων και εξοπλισμού:** Το κόστος άμεσης εργασίας αποτελεί την σημαντικότερη συνιστώσα του κόστους συναρμολόγησης με βάση τον απαιτούμενο χρόνο. Το κόστος αυτό σχετίζεται με την πραγματική εργασία που απαιτείται για τη συναρμολόγηση του τελικού προϊόντος και συνήθως υπολογίζεται με βάση το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε επιμέρους διαδικασίας συναρμολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, σε όποιες διαδικασίες συμμετέχουν μόνο άνθρωποι, τότε το κόστος προκύπτει με βάση τις εργατοώρες, αντίστοιχα στις διαδικασίες που γίνονται αυτοματοποιημένα, το κόστος προκύπτει από αναγωγή του συνολικού κόστους του εξοπλισμού, ενώ όταν συνυπάρχουν άνθρωποι και εξοπλισμός, το κόστος υπολογίζεται συνδυαστικά. Υπό την έννοια αυτή, το κόστος άμεσης εργασίας μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την πολυπλοκότητα της διαδικασίας συναρμολόγησης και το επίπεδο δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού. Σε γενικές γραμμές, το κόστος άμεσης εργασίας είναι υψηλότερο για προϊόντα που απαιτούν περισσότερες χειροκίνητες διαδικασίες συναρμολόγησης, ενώ όσο πιο αυτοματοποιημένα λειτουργεί μια διαδικασία τόσο σημαντικότερες είναι οι μειώσεις στα κόστη.
- **Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας:** Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας συναρμολόγησης είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει το κόστος συναρμολόγησης με βάση τον απαιτούμενο χρόνο. Όπως γίνεται αντιληπτό, τα προϊόντα που απαιτούν πιο σύνθετες διαδικασίες συναρμολόγησης ενδέχεται να απαιτούν περισσότερη άμεση εργασία, γεγονός που μπορεί να αυξήσει το συνολικό κόστος συναρμολόγησης. Επιπλέον, τα πιο σύνθετα προϊόντα μπορεί να απαιτούν εξειδικευμένα μηχανήματα ή εργαλεία, τα οποία μπορεί να αυξήσουν το κόστος υλικών και γενικών εξόδων, ενώ σε εξαιρετικά

ιδιόμορφες κατασκευές είναι πιθανό να χρειάζεται η ανάπτυξη εξειδικευμένων πλάνων συναρμολόγησης, με συγκεκριμένες οδηγίες, τα οποία σαφώς απαιτούν την ανάμειξη εξειδικευμένου προσωπικού ή ειδικών συμβούλων, που αυτόματα οδηγεί στην αύξηση του κόστους λόγω χρόνου αλλά και σε επιπλέον έξοδα για την πληρωμή των ατόμων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, επιλέγεται ο σχεδιασμός να γίνεται αρκετά λεπτομερής και το τελικό προϊόν να καταμερίζεται σε αρκετά επιμέρους τμήματα, έτσι ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία συναρμολόγησης.

- **Το επίπεδο τεχνικής κατάρτισης:** Η κατάρτιση και το επίπεδο δεξιοτήτων των εργαζομένων, αποτελούν αναμφίβολα σημαντικούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το κόστος συναρμολόγησης με βάση τον απαιτούμενο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, οι εργαζόμενοι με υψηλό επίπεδο εξειδίκευσης μπορεί να είναι σε θέση να ολοκληρώνουν τις εργασίες συναρμολόγησης πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από ό,τι οι λιγότερο εξειδικευμένοι εργαζόμενοι, γεγονός που μπορεί να μειώσει τους χρόνους συναρμολόγησης και κατ' επέκταση το κόστος συναρμολόγησης. Επιπλέον, η τακτική εκπαίδευση μπορεί να συμβάλει στη διασφάλιση ότι οι εργαζόμενοι είναι εξοικειωμένοι με τις πιο πρόσφατες τεχνικές και τον εξοπλισμό συναρμολόγησης, γεγονός που μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση των χρόνων συναρμολόγησης και στη βελτίωση της αποδοτικότητας. Επομένως, αποτελεί στρατηγική επιλογή για τους οργανισμούς, η επένδυση στο ανθρώπινο δυναμικό, έτσι ώστε να μειώνονται τα ανά μονάδα προϊόντος κοστολόγια.

### 3.3 Γενικά παραγωγικά κόστη

Ως γενικά παραγωγικά έξοδα, νοούνται όλα τα έξοδα τα οποία απαιτούνται για την ανάπτυξη και την παραγωγή ενός προϊόντος, ενώ παράλληλα δεν μπορούν άμεσα να συσχετιστούν με κάποια από τις δύο παραπάνω κατηγορίες κόστους, δηλαδή τα κόστη παραγωγής των μηχανολογικών και λοιπών στοιχείων καθώς και τα κόστη συναρμολόγησης, για την δημιουργία λειτουργικών ενοτήτων του προϊόντος.

Στην πραγματικότητα, τα κόστη αυτά είναι πάρα πολύ δύσκολο να μετρηθούν, να καταγραφούν ή να ποσοτικοποιηθούν με κάποιο ξεκάθαρο και σαφή τρόπο σε μία παραγωγική διαδικασία. Για τον λόγο αυτό, σε αρκετές βιομηχανίες, η συγκεκριμένη κατηγορία κόστους δεν λαμβάνεται καν υπόψιν ως προς το κοστολόγιο του τελικού προϊόντος ή λαμβάνεται υπόψιν μέσω προσεγγίσεων και εμπειρικών υποθέσεων. Με πιο απλά λόγια, οι υπεύθυνοι για

τις αποφάσεις κοστολόγησης, γνωρίζουν ότι υπάρχουν ορισμένες δομές κόστους οι οποίες δεν έχουν αποτυπωθεί και αναχθεί στην κάθε μονάδα παραγόμενου προϊόντος, και προκειμένου να αποφύγουν τις αντίστοιχες απώλειες στην κερδοφορία, αποφασίζουν με εμπειρικούς κανόνες συγκεκριμένες ποσοτώσεις προσαυξήσεων στις ήδη υπολογισμένες δομές κόστους. Η προσέγγιση αυτή, είναι γνωστή και ως cost overheads.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, γίνεται αντιληπτό ότι η ανάπτυξη συστημάτων για την υποστήριξη της λεπτομερούς καταγραφής των γενικών εξόδων, δύναται να έχει πολλαπλά οφέλη για μια παραγωγό εταιρεία. Πρωτίστως, θα υποστηρίζει την ορθολογική λήψη αποφάσεων τιμολόγησης, υπό την έννοια ότι οι δομές κόστους θα είναι πλήρως κατανοητές και ως εκ τούτου θα προκύπτει αναλυτικά το κόστος παραγωγής κάθε στοιχείου ή ολόκληρου προϊόντος. Με τον τρόπο αυτό, δυνητικά θα προκύψουν αναδιαμορφώσεις μεταξύ των υφιστάμενων επιπέδων τιμών και της αντίστοιχου βέλτιστου επιπέδου τιμών. Σε περίπτωση, που τα πραγματικά κόστη προκύψουν χαμηλότερα από τα υπολογισθέντα, αυτό πιθανότατα να σημαίνει την απώλεια μεριδίου αγοράς και πελατών λόγω υπερ – τιμολογήσεων, ενώ σε περίπτωση που τα πραγματικά κόστη προκύψουν μεγαλύτερα από τα υπολογισθέντα με εμπειρικούς κανόνες, αυτό θα σημαίνει ότι ο οργανισμός πρέπει να αναδιαμορφώσει την στρατηγική πωλήσεων του, για να βελτιώσει το επίπεδο κερδοφορίας του και να ενισχύσει την βιωσιμότητά του.

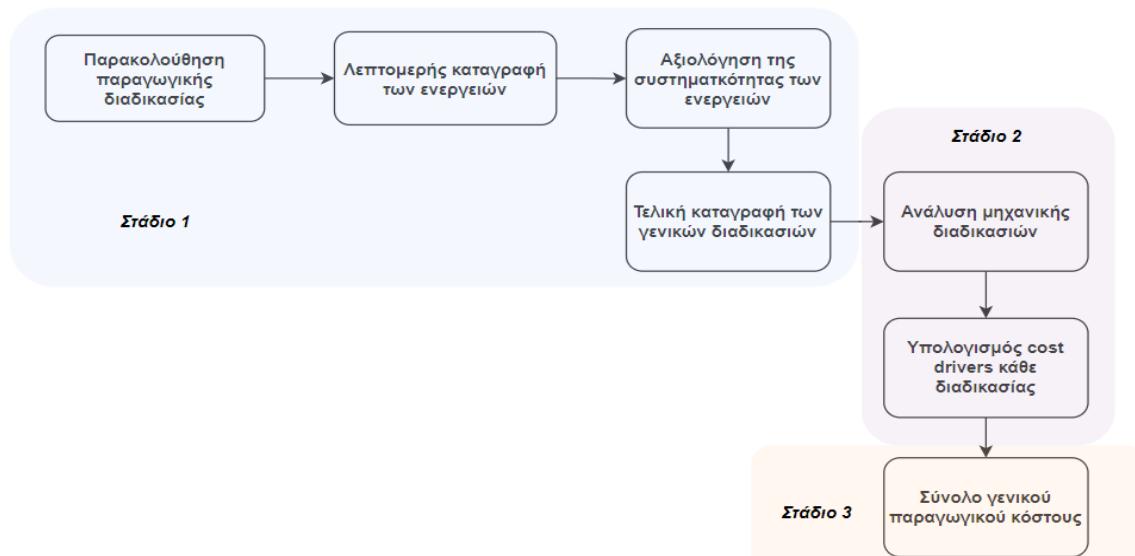
Ενώ σε ένα δεύτερο επίπεδο, η λεπτομερής γνώση σχετικά με τις δομές των γενικών εξόδων, δύναται να υποβοηθήσει την λήψη αποφάσεων για την βελτιστοποίηση των διαδικασιών εντός του οργανισμού. Δηλαδή, η καταγραφή των δομών πιθανότατα θα καταδείξει διαδικασίες οι οποίες είναι περισσότερο κοστοβόρες συγκριτικά με αυτό που είχε υπολογιστεί, και με γνώμονα ότι δεν αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες για την παραγωγή, θα πρέπει να αναθεωρηθούν και να βελτιστοποιηθούν.

Ένα σύστημα λεπτομερούς υπολογισμού του γενικού κόστους παραγωγής, μπορεί να αναπτυχθεί με διάφορες μεθόδους. Μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους εύρεσης και αναγωγής του κόστους των διαδικασιών είναι η μέθοδος Activity – Based Costing (ABC), όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, η ανάπτυξη μιας ABC μεθόδου, δομείται σε τρία επιμέρους στάδια.

Στο πρώτο στάδιο, θα πρέπει να γίνει συνεχής παρακολούθηση και καταγραφή όλων των γενικών και υποστηρικτικών διαδικασιών για την ομαλή λειτουργία της παραγωγής. Τέτοιες διαδικασίες μπορεί να είναι η προμήθεια και η μεταφορά των πρώτων υλών, οι ρυθμίσεις των

μηχανών ή των κοπτικών εργαλείων, η συσκευασία και η αποθήκευση του τελικού προϊόντος και άλλες τέτοιου τύπου διαδικασίες.

Στο δεύτερο στάδιο, προσδιορίζονται και υπολογίζονται αναλυτικά οι οδηγοί κόστους ή αλλιώς cost drivers. Ως οδηγός κόστους, λαμβάνεται υπόψιν οποιοδήποτε στοιχείο συμβάλλει σε μια διαδικασία και επιφέρει άμεσα ή έμμεσα μετρήσιμο κόστος, σε αυτή. Η χρήση των cost drivers, αποτελεί το συγκριτικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου έναντι των πιο παραδοσιακών, οι οποίες βασίζονται κυρίως στην ανάλυση της χρονικής διάρκειας (Kaplan and Anderson, 2004). Για μια τυπική παραγωγική διαδικασία, οι οδηγοί κόστους μπορεί να είναι η απαιτούμενη ενέργεια για την ολοκλήρωση κάθε διαδικασίας, ο χρόνος χειρισμού, οι χρόνοι υστέρησης από την μια διαδικασία στην επόμενη, η χρήση υποστηρικτικών μέσων για την ολοκλήρωση της διαδικασίας και άλλοι.



Εικόνα 7 Στάδια ανάπτυξης μιας ολοκληρωμένης ABC μεθόδου για τον υπολογισμό του γενικού παραγωγικού κόστους

Όσο πιο ενδελεχής ανάλυση των οδηγών κόστους γίνεται, τόσο πιο λεπτομερές το επίπεδο κοστολόγησης των προϊόντων, που θα προκύψει. Βέβαια, η ενδελεχής ανάλυση στηρίζεται σε ανάλυση της μηχανικής των διαδικασιών και ως εκ τούτου αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, η οποία σαφώς θα πρέπει να κοστολογηθεί. Μόλις ολοκληρωθεί ο προσδιορισμός των οδηγών κόστους για όλες τις γενικές διαδικασίες της παραγωγής που έχουν καταγραφεί, στο τελευταίο στάδιο αθροίζονται τα επιμέρους κόστη και προκύπτει το συνολικό παραγωγικό κόστος των εν λόγω διαδικασιών, το οποίο σαφώς προσαυξάνεται στα κόστη παραγωγής και συναρμολόγησης των στοιχείων. Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί το κόστος ανά μονάδα προϊόντος, διαιρώντας το συνολικό κόστος με τον αριθμό των στοιχείων ή προϊόντων που παρήχθησαν (βλ. Εικόνα 7).



## Κεφάλαιο 4: Ανάπτυξη υβριδικού συστήματος αυτόματης κοστολόγησης

Στα προηγούμενα τρία κεφάλαια έγινε λεπτομερής ανάλυση σχετικά με τον βιομηχανικό σχεδιασμό και την χρησιμότητά του κατά την διαδικασία ανάπτυξης νέων προϊόντων, ενώ τονίστηκε η σημασία των πρωτοτύπων κατά τον σχεδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας των προϊόντων. Παράλληλα, καταγράφηκαν οι βασικές δομές κόστους, που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη νέων προϊόντων, μέσω εφαρμογής της μεθόδου ABC ή εναλλακτικών προσεγγίσεων αναγωγής κόστους.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, οι τεχνικές βιομηχανικού σχεδιασμού και ανάπτυξης πρωτοτύπων συνδυάζονται με την τεχνική κοστολόγησης ABC, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτόματης κοστολόγησης. Ειδικότερα, το σύστημα υλοποιείται συνδυαστικά σε δύο περιβάλλοντα, ένα σχεδιαστικό περιβάλλον (SolidWorks) και ένα περιβάλλον υλοποίησης αναλυτικών μαθηματικών μοντέλων (MS Excel), το οποίο εξυπηρετεί τους σκοπούς υλοποίησης αναλυτικών μεθοδολογιών αναγωγής κόστους ανά μονάδα προϊόντος (τύπου ABC). Το σχεδιαστικό περιβάλλον, χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάπτυξη και την αποθήκευση του πρωτοτύπου με παραμετρική δομή, έτσι ώστε η οποιαδήποτε αλλαγή σε συγκεκριμένες διαστάσεις του, να δημιουργεί αυτόματα αλλαγές και στις υπόλοιπες διαστάσεις, που επηρεάζονται, έτσι ώστε να διατηρείται σταθερή η γενική μορφολογία και η δομή της κατασκευής.

### 4.1 Στόχος και προστιθέμενη αξία υβριδικού μοντέλου κοστολόγησης

Βασικός στόχος του προτεινόμενου μοντέλου, είναι η ανάπτυξη μιας αλγοριθμικής διαδικασίας, η οποία υλοποιείται σε ένα παραμετρικά δομημένο υπολογιστικό περιβάλλον (MS Excel), κατά την οποία θα λαμβάνονται, ως είσοδοι (inputs), οι τρεις διαστάσεις που ορίζουν τον όγκο της τελικής κατασκευής (μήκος, πλάτος και ύψος). Μετά την υλοποίηση της διαδικασίας, θα προκύπτει ως τελική έξοδος το πραγματικό κόστος ανάπτυξης της κατασκευής στο σύνολο της, ενώ θα παρέχεται και δυνατότητα επισκόπησης του κόστους κατασκευής κάθε ενός από τα στοιχεία που την απαρτίζουν. Όπως γίνεται αντιληπτό, σε ένα πρώτο στάδιο οι δοθείσες διαστάσεις θα εφαρμόζονται σε ένα παραμετρικό πρωτότυπο (αρχείο CAD – ανάπτυξη σε περιβάλλον SolidWorks), μέσω του οποίου θα εξάγονται όλες οι διαστάσεις και οι απαιτήσεις για τα επιμέρους στοιχεία που θα πρέπει να αναπτυχθούν και να συναρμολογηθούν μεταξύ τους, ώστε να προκύψει η τελική κατασκευή – προϊόν. Αναλυτική περιγραφή σχετικά με τις τεχνικές υλοποίησης καθώς και σχετικά με τις παραδοχές που

γίνονται για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης αλγοριθμικής διαδικασίας, γίνεται σε επόμενη ενότητα.

Η ανάπτυξη υβριδικών μοντέλων κοστολόγησης, αποτελεί μια όλο ένα και περισσότερο εμφανιζόμενη προσέγγιση, σε διαφορετικές βιομηχανίες ή παραγωγικές μονάδες. Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί λόγω της προστιθέμενης αξίας που προσδίδει, ως προς την αποδοτικότητα και την ακρίβεια κατά τον υπολογισμό του κοστολογίου (Jayaraman et al., 2012). Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέγεται η ανάπτυξη και η εφαρμογή του συστήματος, σε μια βιομηχανία παραγωγής ψυκτικών συστημάτων, η οποία αναλαμβάνει εξ' ολοκλήρου τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη τόσο ψυκτικών διατάξεων όσο και λοιπού υποστηρικτικού εξοπλισμού (π.χ. ερμάρια για αποθηκευτική χρήση), για καταστήματα που δραστηριοποιούνται στον χώρο της εστίασης (π.χ. καφετέριες, καταστήματα πώλησης παγωτού κ.λπ.) καθώς και στον χώρο του λιανικού εμπορίου τροφίμων (π.χ. supermarkets και αλυσίδες πώλησης συσκευασμένου τρόφιμου).

Η υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος, στην συγκεκριμένη βιομηχανία, αναμένεται να αποδώσει προστιθέμενη αξία, σε δύο βασικές διαστάσεις που σχετίζονται με την κοστολόγηση των εργασιών και κατ' επέκταση με την τελική τιμή πώλησης των προϊόντων. Ειδικότερα, η προστιθέμενη αξία του υβριδικού συστήματος, σχετίζεται με:

- **Τον τρόπο λήψης αποφάσεων τιμολόγησης** τελικού προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα, ο υφιστάμενος τρόπος τιμολόγησης στην εταιρεία, βασίζεται κυρίως σε εμπειρικές ενδείξεις, χωρίς να υπάρχει κάποιο σύστημα υποστήριξης των αποφάσεων αυτών. Η ανάπτυξη του προτεινόμενου συστήματος, αναμένεται να παρέχει λεπτομερή πληροφόρηση σχετικά με τα απαιτούμενα κόστη παραγωγής. Κατά συνέπεια, η τιμή πώλησης των προϊόντων θα μπορεί να προκύψει με ορθολογικό τρόπο, θεωρώντας ένα ποσοστό προσαύξησης επί του συνολικού κόστους παραγωγής.
- **Την πλήρη γνώση σχετικά με το κοστολόγιο των ειδικών στοιχείων καθώς και των μαζικά παραγόμενων στοιχείων**, που πρέπει να συντεθούν για την ανάπτυξη μιας τροποποιημένης κατασκευής. Σύμφωνα με τον στρατηγικό σχεδιασμό της εταιρείας, μια γκάμα στοιχείων παράγεται με μαζικό ρυθμό, ανεξαρτήτως του αριθμού των παραγγελιών που λαμβάνεται, έτσι ώστε να υπάρχει άμεση διαθεσιμότητα για την παραγωγή μελλοντικών κατασκευών και παράλληλα να ληφθούν τα οφέλη από τις οικονομίες κλίμακας. Τα στοιχεία που παράγονται με μαζικό ρυθμό, θεωρείται ότι αναμφίβολα θα χρησιμεύσουν για την ανάπτυξη μιας

μελλοντικής κατασκευής και βάσει των θεωρήσεων παράγονται σε προκαθορισμένες – τυποποιημένες διαστάσεις. Στην αντίπερα όχθη, ένα σύνολο από στοιχεία που απαιτούνται για την ολοκλήρωση των κατασκευών, δεν παράγονται με μαζικό ρυθμό, καθώς θεωρείται ότι υπάρχει έντονη διαφοροποίηση στις διαστάσεις τους, ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη σχετικά με την μορφολογία του τελικού προϊόντος. Η ανάπτυξη του συστήματος θα παρέχει την πλήρη γνώση για τα κόστη των δύο κατηγοριών των παραγόμενων στοιχείων, και ως εκ τούτου θα μπορεί να καταδείξει τις κυριότερες δομές συνεισφοράς κόστους, και κατ' επέκταση θα μπορεί να υποστηρίξει αποφάσεις βελτιστοποίησης κατά την παραγωγική διαδικασία.

Τα δυνητικά οικονομικά οφέλη από την ανάπτυξη και την εισαγωγή του συστήματος κοστολόγησης στην εταιρεία, παρουσιάζονται στην τελευταία ενότητα του παρόντος κεφαλαίου, μέσω συγκριτικής θεώρησης της υφιστάμενης κατάστασης και της δυνητικής κατάστασης λόγω εφαρμογής του υβριδικού μοντέλου κοστολόγησης.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα ενότητα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη ενός συστήματος κοστολόγησης, με βάση τις προδιαγραφές που έχουν οριστεί, θα ήταν εφικτό να αναπτυχθεί εξ' ολοκλήρου σε ένα σχεδιαστικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας συνδυαστικά τις δυνατότητες των συστημάτων CAD και CAM, που παρέχονται στα σύγχρονα λογισμικά. Ωστόσο, στην προκειμένη περίπτωση, επιλέγεται μια υβριδική μορφή συστήματος, λόγω των τεχνικών και λειτουργικών περιορισμών που επιβάλλονται από τα σχεδιαστικά περιβάλλοντα. Στον Πίνακα 3, παρατίθενται ορισμένοι βασικοί περιορισμοί των συγκεκριμένων λογισμικών, οι οποίοι βελτιώνονται σημαντικά με την χρήση υβριδικών προσεγγίσεων. Οι περιορισμοί σχετίζονται με: την απαραίτητη τεχνογνωσία, τον χρόνο και το κόστος υλοποίησης της διαδικασίας (αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα).

Με βάση τον Πίνακα 3, συμπεραίνουμε ότι το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα υπερέρχει και στις τρεις διαστάσεις που εξετάστηκαν, ενώ παράλληλα μειώνει σημαντικά το χρόνο απασχόλησης των σχεδιαστών κατά τον υπολογισμό του κοστολογίου, γεγονός που οδηγεί στην συνολική μείωση του κόστους ανάπτυξης. Αυτό αιτιολογείται, καθώς το κόστος χρήσης ενός σχεδιαστή είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος χρήσης προσωπικού με μικρότερο βαθμό κατάρτισης, όπως οι υπάλληλοι της παραγωγής. Επομένως, οι σχεδιαστές, για να χρησιμοποιούνται ουσιαστικά, θα πρέπει να παρεμβαίνουν μόνο σε ορισμένα στάδια υπολογισμών, κατά τα οποία είναι απαραίτητοι. Σύμφωνα με την παραπάνω επιχειρηματολογία, επιλέχθηκε η ανάπτυξη ενός υβριδικού συστήματος αυτόματης κοστολόγησης.

Πίνακας 3 Περιορισμοί υλοποίησης συστήματος κοστολόγησης σε σχεδιαστικό περιβάλλον

	Υλοποίηση σε σχεδιαστικό περιβάλλον	Υβριδικό σύστημα κοστολόγησης
Τεχνογνωσία και εμπειρία χρήσης	Απαιτούμενο σχεδιαστικό υπόβαθρο	Χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις
Αποδοτικότητα (χρόνος υλοποίησης)	Αρκετά λεπτά (ανάλογα με τον υλικοτεχνικό εξοπλισμό και την εμπειρία)	Ελάχιστα δευτερόλεπτα
Κόστος υλοποίησης	Υψηλές απαιτήσεις υλικοτεχνικού εξοπλισμού (hardware)	Ελάχιστες απαιτήσεις εξοπλισμού

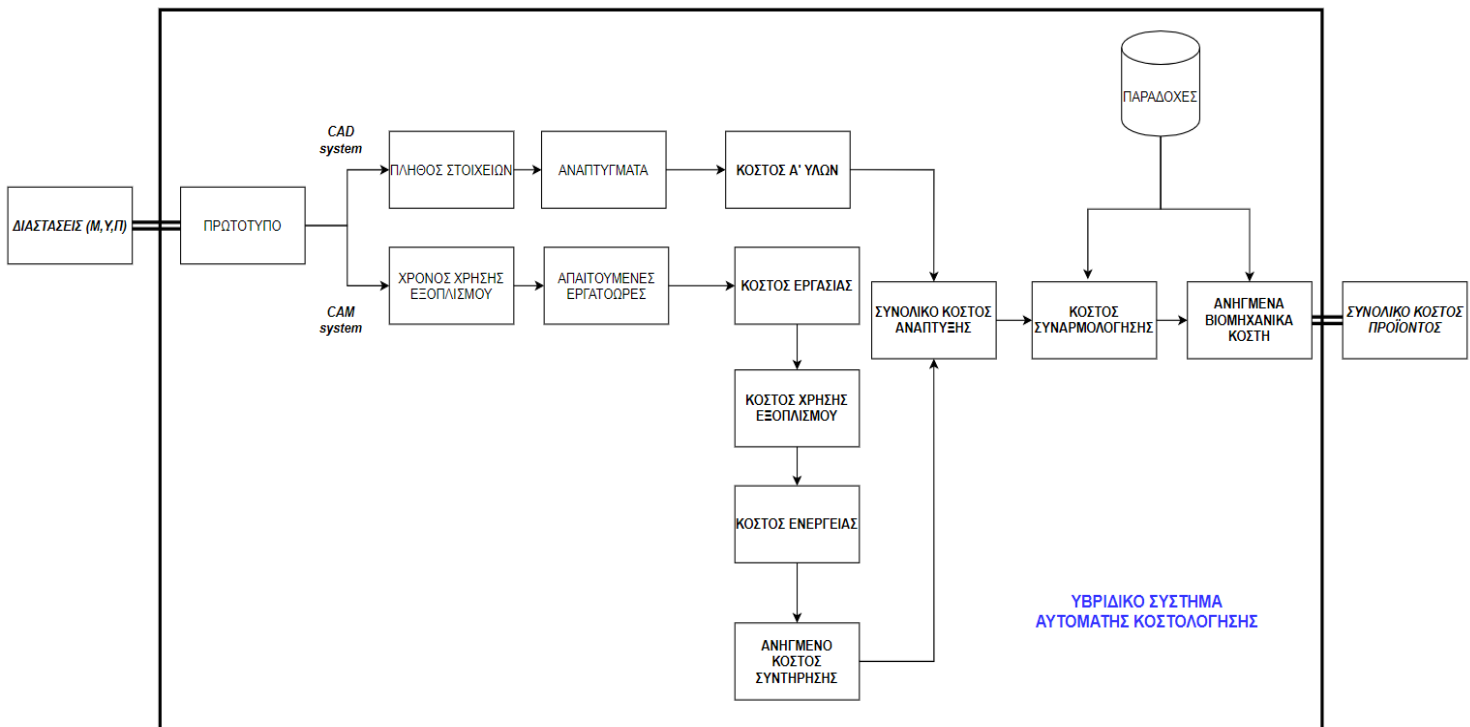
#### 4.2 Δομή και τρόπος υλοποίησης υβριδικού συστήματος κοστολόγησης

Η παρούσα ενότητα, αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά μέρη της διπλωματικής εργασίας, υπό την έννοια ότι στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος ανάπτυξης του υβριδικού συστήματος κοστολόγησης, για την αποκόμιση των ωφελειών, που αναλύθηκαν παραπάνω. Όπως έχει ήδη σημειωθεί, η προδιαγραφή ανάπτυξης του συστήματος είναι η πρόσληψη τριών διαστάσεων σχετικά με την τελική μορφολογία του προϊόντος (μήκος, πλάτος και ύψος), ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του πελάτη, και η απόδοση του τελικού κόστους του προϊόντος καθώς επίσης και των επιμέρους δομών κόστους που το συνθέτουν, δηλαδή του κόστους ανάπτυξης, του κόστους συναρμολόγησης καθώς και των ανηγμένων βιομηχανικών κοστών και των overheads.

Στην πραγματικότητα, ο χρήστης του συστήματος, δεν θα πρέπει να έχει κανένα άλλο δικαίωμα παρέμβασης στο σύστημα, πέραν της συμπλήρωσης των βασικών διαστάσεων, που αναφέρθηκαν. Για να γίνει εφικτός ο υπολογισμός των δομών κόστους, θα πρέπει μια πλήρως παραμετροποιημένη αλγοριθμική διαδικασία να υλοποιείται στο υπόβαθρο του συστήματος, μέσω της οποίας όλα τα κόστη να ανάγονται σε κάθε παραγόμενη μονάδα (τεμάχιο), που είναι απαραίτητη για την σύνθεση του τελικού προϊόντος και την κάλυψη των προδιαγραφών του. Η εν λόγω αλγοριθμική διαδικασία υλοποιείται σε περιβάλλον MS Excel, στο οποίο αποτυπώνονται με μαθηματικό τρόπο όλοι οι περιορισμοί και οι εμπειρικές θεωρήσεις, κατά

την ανάπτυξη ενός προϊόντος, γίνεται ταυτόχρονη χρήση πληροφοριών, που προκύπτουν από το σχεδιαστικό λογισμικό (SolidWorks) και συγκεκριμένα τα συστήματα CAD και CAM, που βρίσκονται ενσωματωμένα σε αυτό.

Το σύνολο των υπολογισμών που λαμβάνουν χώρα στο πλαίσιο της αλγοριθμικής διαδικασίας, παρουσιάζεται στην Εικόνα 8. Στην συγκεκριμένη εικόνα όλα τα στάδια των υπολογισμών, βρίσκονται τοποθετημένα εντός ενός κουτιού (black box), ενώ οι διεπαφές του χρήστη με το σύστημα περιορίζονται μόνο ως προς την τοποθέτηση των διαστάσεων (inputs) και την λήψη της πληροφορίας σχετικά με τα κόστη (outputs). Ο συμβολισμός αυτός σχετίζεται με την βασική προδιαγραφή ανάπτυξης του συστήματος, που αναλύθηκε παραπάνω. Η αλγοριθμική διαδικασία της Εικόνας 8, εφαρμόζεται επαναληπτικά έως ότου υπολογιστούν τα κόστη όλων των εξαρτημάτων που απαρτίζουν την κατασκευή.



Εικόνα 8 Συστημική αναπαράσταση (inputs - process - outputs) του υβριδικού συστήματος αυτόματης κοστολόγησης

#### 4.2.1 Υπολογισμός κόστους πρώτων υλών

Αναφορικά με τους υπολογισμούς που υλοποιούνται σε κάθε επιμέρους στάδιο της Εικόνας 8, μπορούμε να σημειώσουμε τα κάτωθι. Όλη η διαδικασία ξεκινά με την πρόσδοση των επιθυμητών διαστάσεων του τελικού προϊόντος, στο σύστημα. Οι διαστάσεις αυτές εφαρμόζονται σε ένα πλήρως παραμετρικό ψηφιακό πρωτότυπο, το οποίο έχει την ιδιότητα εναλλαγής όλων των διαστάσεων των στοιχείων και εξαρτημάτων που απαρτίζουν την

κατασκευή, με βάση τις τελικές διαστάσεις. Το παραμετρικό πρωτότυπο έχει ήδη υλοποιηθεί, με χρήση CAD συστήματος, πριν την εκκίνηση του συστήματος, για το σύνολο των κατασκευών με τις οποίες ασχολείται η συγκεκριμένη βιομηχανική μονάδα. Μέσω του πρωτοτύπου προκύπτει ένας αναλυτικός πίνακας με όλα τα απαιτούμενα προς ανάπτυξη στοιχεία καθώς και τις διαστάσεις αυτών. Οι διαστάσεις των στοιχείων δίνονται με βάση τα αναπτύγματα τους, δηλαδή προτού περάσουν την διαδικασία στραντζαρίσματος για να λάβουν την τελική μορφή προς συναρμολόγηση. Η επιλογή των αναπτυγμένων διαστάσεων, γίνεται καθώς μέσω αυτών υπολογίζεται η πραγματική απαιτούμενη μάζα της πρώτης ύλης.

Έχοντας υπολογίσει την μάζα και γνωρίζοντας την χονδρική τιμή πώλησης του υλικού ανάπτυξης ανά κιλό, για κάθε εξάρτημα, μπορεί να γίνει ένα λεπτομερές υπολογισμός για το κόστος των πρώτων υλών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε, ότι για ακόμη καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας, θα πρέπει η απαιτούμενη μάζα ανάπτυξης, να προσ αυξηθεί κατά ένα ποσοστό, λόγω της αποδεδειγμένης ύπαρξης φύρας. Η φύρα, προκύπτει από την διαφορά της συνολικά αγορασμένης ποσότητας πρώτων υλών μείον την ποσότητα που πωλείται από τον οργανισμό, ως scrap, σε ετήσια βάση. Είναι σαφές ότι για κάθε διαφορετικό εξάρτημα υπάρχει και διαφορετικό ποσοστό φύρας, ωστόσο για απλούστευση των υπολογισμών, το ποσοστό προσαύξησης λόγω φύρας, θεωρείται σταθερό για όλα τα παραγόμενα εξαρτήματα εκτός από εξαρτήματα που αναπτύσσονται παραγωγικά, για τα οποία η φύρα είναι γνωστή μέσω των λογισμικών CAM, όπως οι χειρολαβές και οι μεντεσέδες άνω και κάτω. Στον Πίνακα 4, παρουσιάζονται τα βήματα υπολογισμού του κόστους πρώτων υλών.

Πίνακας 4 Βήματα υπολογισμού κόστους πρώτων υλών

ΚΟΣΤΟΣ Α' ΥΛΩΝ	XX,YY €
<b>ΥΨΟΣ (mm)</b>	Από απαιτήσεις
<b>ΠΛΑΤΟΣ (mm)</b>	Από απαιτήσεις
<b>ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΗ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ ΠΛΑΤΟΥΣ (mm)</b>	Πλάτος + τυποποίηση αναπτύγματος σε πλάτος
<b>ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΗ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ ΥΨΟΥΣ (mm)</b>	Ύψος + τυποποίηση αναπτύγματος σε ύψος
<b>ΟΓΚΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ (mm<sup>3</sup>)</b>	Αν. πλάτους * Αν. ύψους * πάχος
<b>ΜΑΖΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ (g)</b>	Όγκος * Ειδικό βάρος
<b>ΤΕΛΙΚΗ ΜΑΖΑ ΠΛΑΙΝΟΥ ΕΡΜΑΡΙΟΥ (g)</b>	1,X * Μάζα
<b>ΤΕΛΙΚΗ ΜΑΖΑ ΠΛΑΙΝΟΥ ΕΡΜΑΡΙΟΥ (kg)</b>	Τελική μάζα / 1000
<b>ΠΡΟΣΑΥΞΗΣ ΜΑΖΑΣ ΛΟΓΩ ΦΥΡΑΣ</b>	1,15 * Τελική μάζα (kg)

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4, για τον υπολογισμό ορισμένων μεγεθών, είναι απαραίτητη η γνώση των τυποποιήσεων κατά μήκος, κατά πλάτος και κατά ύψος, καθώς επίσης η τιμή του πάχους, του ειδικού βάρους και του συντελεστή διόρθωσης – προσαύξησης της μάζας (X). Όλες αυτές οι τιμές αποτελούν σταθερές και γνωστές ποσότητες, οι οποίες προκύπτουν από τις μηχανικές ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων υλικών και δίνονται απευθείας, ως πληροφορία, από το σύστημα CAD, για τον λόγο αυτό έχουν συμβολιστεί με μπλε χρώμα στον πίνακα, υποδηλώνοντας ότι είναι σταθερές και γνωστές ποσότητες. Για την πληρότητα αποτύπωσης του αλγορίθμου υπολογισμού του κόστους πρώτων υλών, οι σταθερές ποσότητες και οι αντίστοιχες τιμές τους, δίνονται στον Πίνακα 5. Οι συγκεκριμένες τιμές του πίνακα, αφορούν την ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου στοιχείου της κατασκευής (πλαϊνά μέρη ερμαρίου), και ενδέχεται να αλλάζουν κατά την ανάλυση διαφορετικών στοιχείων ή εξαρτημάτων. Σε κάθε περίπτωση η συγκεκριμένη πληροφορία είναι γνωστή και δίνεται από τα συστήματα CAD.

Πίνακας 5 Σταθερές ποσότητες κατά τον υπολογισμό του κόστους πρώτων υλών

<b>ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ (mm)</b>	<b>XX,YY</b>
<b>ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΥΨΟΣ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ (mm)</b>	<b>XX,YY</b>
<b>ΠΑΧΟΣ ΛΑΜΑΡΙΝΑΣ (mm)</b>	<b>XX,YY</b>
<b>ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ St.304 (ASME) (g/mm<sup>3</sup>)</b>	<b>XX,YY</b>
<b>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ (X)</b>	<b>XX,YY</b>

#### 4.2.2 Υπολογισμός κόστους εργασίας, εξοπλισμού και καταναλισκόμενης ενέργειας

Τα κόστη εργασίας, χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού, καταναλισκόμενης ενέργειας καθώς και το ανηγμένο κόστος συντήρησης του εξοπλισμού, αποτελούν ποσότητες άμεσα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Οι υπολογισμοί για τα συγκεκριμένα μεγέθη στηρίζονται κυρίως σε πληροφορίες σχετικά με την απαραίτητη κατεργασία ανάπτυξης των στοιχείων, οι οποίες δίνονται μέσω των CAM συστημάτων, αφού έχουν εφαρμοστεί οι επιθυμητές διαστάσεις πάνω στο αρχικό πλήρως παραμετροποιημένο πρωτότυπο.

Στην πραγματικότητα, μέσα από τα CAM συστήματα, δίνεται ο προβλεπόμενος χρόνος χρήσης εξοπλισμού για την ανάπτυξη κάθε στοιχείου. Μέσω του συγκεκριμένου χρόνου χρήσης, και εφαρμόζοντας συνδυαστικά ορισμένες εμπειρικές θεωρήσεις σχετικά με τις απαιτούμενες μονάδες χειριστών του εξοπλισμού καθώς και τον αντίστοιχο χρόνο απασχόλησης των σχεδιαστών, ο οποίος επαφίεται στον βαθμό ανομοιότητας του στοιχείου σχετικά με το αντίστοιχο πρωτότυπο, προκύπτει τελικά το συνολικό κόστος εργασίας. Το σύνολο των εξαρτημάτων που παρασκευάζονται στην επιλεγθείσα βιομηχανία, μπορεί με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια, να παραχθεί με την χρήση δύο μηχανών. Κατά κύριο λόγο, χρησιμοποιείται η μηχανή του λείζερ για την αρχική κοπή και διαμόρφωση των τμημάτων, και σε δεύτερο στάδιο χρησιμοποιείται η στράντζα για την τελική διαμόρφωση των στοιχείων, έτσι ώστε αυτά να έρθουν στην κατάλληλη μορφή για συναρμολόγηση.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, γίνεται αντιληπτό ότι το κόστος των χειριστών του εξοπλισμού είναι εύκολα υπολογίσιμο, καθώς ο χρόνο απασχόλησής τους είναι ίσος με το άθροισμα του χρόνου που διαρκεί η κατεργασία, όπως αυτός δίνεται από το σύστημα CAM, καθώς επίσης και των χρόνων προετοιμασίας της μηχανής για κοπή και την φόρτωση – εκφόρτωση των φύλλων κοπής. Ωστόσο, ο χρόνος απασχόλησης των σχεδιαστών σε κάθε στοιχείο, είναι πιο δύσκολα υπολογίσιμος, καθώς έχει ήδη αναπτυχθεί το παραμετρικό πρωτότυπο και ως εκ τούτου η εναλλαγή των διαστάσεων της κατασκευής οδηγεί αυτόματα στην εναλλαγή των διαστάσεων όλων των επιμέρους στοιχείων. Υπό την έννοια αυτή, και θεωρώντας ότι ο χρόνος ανάπτυξης του πρωτοτύπου δεν συμπεριλαμβάνεται στην κοστολόγηση, καθώς προϋπήρχε του προτεινόμενου συστήματος, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε σχεδόν μηδενική απασχόληση και κόστος. Ωστόσο, μια τέτοια θεώρηση είναι ανακριβής, καθώς οι σχεδιαστές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό ειδικών διαμορφώσεων για την διευκόλυνση της ανάπτυξης κάθε στοιχείου, ιδίως όταν το προς ανάπτυξη στοιχείο παρεκκλίνει σημαντικά από την συνήθη διαστασιολόγησή του. Κατά συνέπεια, ο υπολογισμός του χρόνου απασχόλησης των σχεδιαστών θεωρείται μηδενικός στις περιπτώσεις τυποποιημένων κατασκευών, ενώ στην περίπτωση των «ειδικών» κατασκευών ο χρόνος σχεδίασης ανά τεμάχιο θεωρείται μόλις 1 λεπτό και αντίστοιχα ο χρόνος προγραμματισμού υπολογίζεται περίπου στα 15 λεπτά, για τα συνολικά τεμάχια της κατασκευής, ήτοι ο ανηγμένος χρόνος ανά τεμάχιο ισούται με τον λόγο του συνολικού χρόνου προς τον αριθμό των τεμαχίων.

Γνωρίζοντας τα κόστη χρήσης εξοπλισμού και εργασίας, απομένει ο υπολογισμός του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και του ανηγμένου κόστους συντήρησης του



εξοπλισμού. Αναφορικά με το κόστος της ενέργειας, ο υπολογισμός είναι αρκετά απλός, καθώς μέσω των προδιαγραφών του εξοπλισμού είναι γνωστή η απαιτούμενη ισχύς λειτουργίας, και μέσω των συστημάτων CAM, είναι γνωστός ο χρόνος απασχόλησης του εξοπλισμού. Έτσι, για κάθε εξάρτημα το κόστος ενέργειας υπολογίζεται ως το γινόμενο των δύο αυτών μεγεθών.

Αναφορικά με τα ανηγμένα κόστη συντήρησης, αυτά βασίζονται στην εξής επαγωγική λογική: τα δύο κύρια μηχανήματα, συντηρούνται μία φορά τον χρόνο και το κόστος συντήρησης τους είναι γνωστό και σταθερό. Κάθε χρόνο τα μηχανήματα χρησιμοποιούνται για 300 περίπου ημέρες και για 8 ώρες ανά ημέρα. Με βάση τον συλλογισμό αυτόν προκύπτει το ανηγμένο κόστος συντήρησης σε κάθε ώρα χρήσης. Το κόστος αυτό πολλαπλασιάζεται με τον απαιτούμενο χρόνο ανάπτυξης του κάθε εξαρτήματος ή στοιχείου, και έτσι προκύπτει το ανηγμένο κόστος συντήρησης στο εκάστοτε στοιχείο.

Στον Πίνακα 6, παρουσιάζονται τα βήματα υπολογισμού όλων των δομών κόστους που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 6 Βήματα υπολογισμού κόστους χρήσης εξοπλισμού, εργασίας, ενέργειας και συντήρησης

<b>ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>XX,YY €</b>
<b><i>ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΤΗ (min.)</i></b>	Ανάλογα με την ιδιομορφία προϊόντος
<b><i>ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΤΗ (hrs)</i></b>	Χρόνος (min.) / 60
<b><i>ΚΟΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ</i></b>	Χρόνος (hrs.) * Κόστος εργατοώρας
<b><i>ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΣΤΡΑΝΤΖΑ (min.)</i></b>	Προκύπτει από επιτόπια καταμέτρηση δεδομένων χρήσης
<b><i>ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΣΤΡΑΝΤΖΑ (hrs.)</i></b>	Χρόνος χειρ. (min.) / 60
<b><i>ΜΟΝΑΔΕΣ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ ΣΤΡΑΝΤΖΑ</i></b>	Από εμπειρικά δεδομένα - παρατηρήσεις
<b><i>ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗ LASER (min.)</i></b>	= Χρόνος χρήσης laser (CAM)
<b><i>ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗ LASER (hrs.)</i></b>	Χρόνος χειρ. (min.) / 60

<b>ΜΟΝΑΔΕΣ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ</b>	Από εμπειρικά δεδομένα - παρατηρήσεις
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ</b>	(Χρόνος χειρ. Laser + χρόνος χειρ. Στράντζας) (hrs.) * Κόστος εργατοώρας
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΧΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ</b>	<b>XX,YY €</b>
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	<b>XX,YY €</b>
<b>ΧΡΟΝΟΣ ΧΡΗΣΗΣ LASER (min.)</b>	Από σύστημα CAM
<b>ΧΡΟΝΟΣ ΧΡΗΣΗΣ LASER (hrs.)</b>	Χρόνος (min.) / 60
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ KWH</b>	Από τεχνικές προδιαγραφές εξοπλισμού
<b>ΤΙΜΗ KWH</b>	Κοστολόγιο παρόχου (σταθερά)
<b>ΧΡΟΝΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΡΑΝΤΖΑΣ (min.)</b>	Προκύπτει από επιτόπια καταμέτρηση δεδομένων χρήσης
<b>ΧΡΟΝΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΡΑΝΤΖΑΣ (hrs.)</b>	Χρόνος (min.) / 60
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ KWH</b>	Από τεχνικές προδιαγραφές εξοπλισμού
<b>ΤΙΜΗ KWH</b>	Από κοστολόγιο παρόχου (σταθερά)
<b>ΑΝΗΓΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ</b>	<b>300 (d/y) * (8 hrs / d) * χρόνος χρήσης (hrs)</b>

#### 4.2.3 Υπολογισμός κόστους συναρμολόγησης και γενικών βιομηχανικών κοστών

Ολοκληρώνοντας την παρούσα ενότητα, σημειώνεται ότι για να προκύψει μια συνολική εικόνα σχετικά με τις δομές κόστους, θα πρέπει σε αυτές να ληφθούν υπόψιν τόσο τα κόστη συναρμολόγησης των έτοιμων εξαρτημάτων όσο και τα γενικά βιομηχανικά κόστη. Τα κόστη συναρμολόγησης είναι άμεσα εξαρτημένα με τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της συναρμολόγησης. Μέσω του χρόνου συναρμολόγησης (σε ανθρωποώρες) καθώς και του κόστους κάθε ανθρωποώρας, καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός της συγκεκριμένης δομής κόστους.

Ο προσδιορισμός του χρόνου συναρμολόγησης, γίνεται μέσω δειγματοληπτικής αυτοψίας, επιλέγοντας κατά κύριο λόγο τις κατασκευές με τις συνήθεις διαστάσεις. Σαφώς, για κατασκευές με εντελώς διαφορετική διαστασιολόγηση, ο απαιτούμενος χρόνος συναρμολόγησης αυξάνεται. Ο υπολογισμός της προσαύξησης για τις σύνθετες κατασκευές, γίνεται αυτόματα στην αλγοριθμική διαδικασία, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο ποσοστό προσαύξησης ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη ως προς το τελικό προϊόν. Επιπλέον, σημειώνεται ότι για την υλοποίηση των εργασιών συναρμολόγησης, απαιτείται εξοπλισμός του οποίου το κόστος είναι σημαντικά μικρότερο έναντι του βαρύ μηχανολογικού εξοπλισμού, και ως εκ τούτου δεν λαμβάνεται υπόψιν κάποια αναγωγή του κόστους ανά μονάδα χρόνου. Αντιστοίχως, τα ενεργειακά κόστη και τα κόστη συντήρησης του εν λόγω εξοπλισμού δεν υπολογίζονται, χάριν απλότητας.

Από την άλλη πλευρά, τα γενικά βιομηχανικά κόστη προκύπτουν από δύο επιμέρους δομές κόστους. Η πρώτη δομή σχετίζεται με τα απαραίτητα εξαρτήματα για την ανάπτυξη του προϊόντος, τα οποία όμως δεν παράγονται από τον οργανισμό αλλά προμηθεύονται από εξωτερικό συνεργάτη. Τα κόστη αυτά, απλά προστίθενται στο τελικό κοστολόγιο του προϊόντος ως overheads. Η δεύτερη δομή σχετίζεται με τα λειτουργικά κόστη, που προκύπτουν κατά την υλοποίηση της διαδικασίας ανάπτυξης. Σε αυτή την δομή κόστους, συνεισφέρουν κατά κύριο λόγο, τα κόστη logistics και ενέργειας, για την αποθήκευση και την μεταφορά στους σταθμούς εργασίας, των έτοιμων ή ημι – έτοιμων τεμαχίων. Αμφότερα, τα παραπάνω κόστη, υπολογίζονται μέσω αναγωγής του συνολικού κοστολογίου, στην μονάδα του χρόνου. Ο χρόνος παραμονής ενός στοιχείου της κατασκευής στις δομές των logistics, σχετίζεται από την ταχύτητα κίνησης του προϊόντος, η οποία είναι άμεσα συνυφασμένη με τις διαστάσεις του τελικού προϊόντος άρα και των στοιχείων του. Όσο πιο «εμπορικός» θεωρείται ένας κωδικός, τόσο λιγότερος είναι ο χρόνος διαμονής του εντός των αποθηκευτικών χώρων.

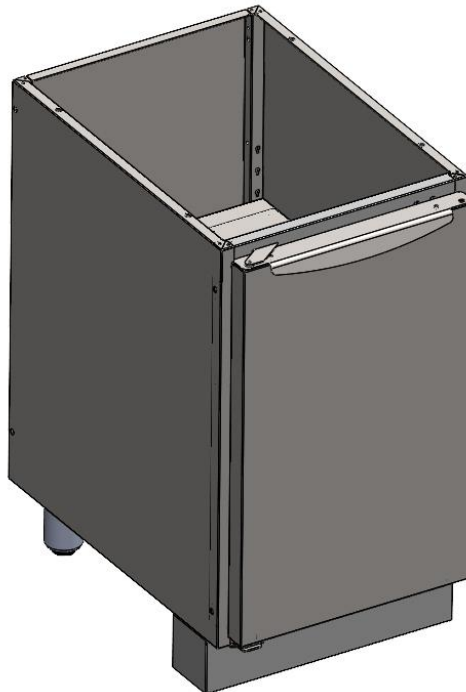
Βάσει προδιαγραφών του συστήματος κοστολόγησης, δεν επιτρέπεται η παρέμβαση κατά την υλοποίηση του. Κατά συνέπεια, ο υπολογισμός του μέσου χρόνου διαμονής ενός τεμαχίου για αποθήκευση, ενσωματώνεται στην αλγοριθμική διαδικασία, και βασίζεται κυρίως σε εμπειρικούς κανόνες συσχέτισης της ταχύτητας κίνησης των κωδικών με τον μέσο χρόνο διαμονής. Έχοντας γνωστό τον χρόνο διαμονής προκύπτουν τα κόστη logistics και ενέργειας, μέσω του γινομένου του χρόνου με το ανά λεπτό κόστος ενέργειας και logistics.

Καταλήγοντας, σημειώνεται ότι τα κόστη μεταφοράς των ακατέργαστων τεμαχίων πρώτων υλών και των ημι – έτοιμων εξαρτημάτων από τον χώρο αποθήκευσης προς τους σταθμούς κατεργασίας τους ή συναρμολόγησής τους αντίστοιχα, μελετήθηκαν και αποδείχθηκαν

αμελητέα ως προς την συνεισφορά του συνολικού κόστους (χιλιοστά ή λίγα εκατοστά του ευρώ) και ως εκ τούτου απαλείφθηκαν, με στόχο την απλούστευση της διαδικασίας. Η διαπίστωση αυτή κρίθηκε ως λογική, υπό την έννοια ότι οι αποθηκευτικοί χώροι βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από τις εγκαταστάσεις της βιομηχανίας.

### 4.3 Εφαρμογή συστήματος αυτόματης κοστολόγησης

Με στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος αυτόματης κοστολόγησης, καθώς και την συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αποδίδει εν αντιθέσει με τον υφιστάμενο τρόπο κοστολόγησης, επιλέγεται η χρήση μιας πραγματικής κατασκευής. Συγκεκριμένα, επιλέγεται ο έλεγχος του συστήματος για την κοστολόγηση ενός ανοξείδωτου ερμαρίου. Το τρισδιάστατο ψηφιακό πρωτότυπο της κατασκευής, παρουσιάζεται στην Εικόνα 9. Το συγκεκριμένο πρωτότυπο έχει αναπτυχθεί με βάση την παραμετρική λογική, σε περιβάλλον CAD. Κατά συνέπεια, η οποιαδήποτε αλλαγή διαστάσεων στην τελική κατασκευή, επηρεάζει άμεσα όλες τις διαστάσεις των παραγόμενων τμημάτων που την συνθέτουν.

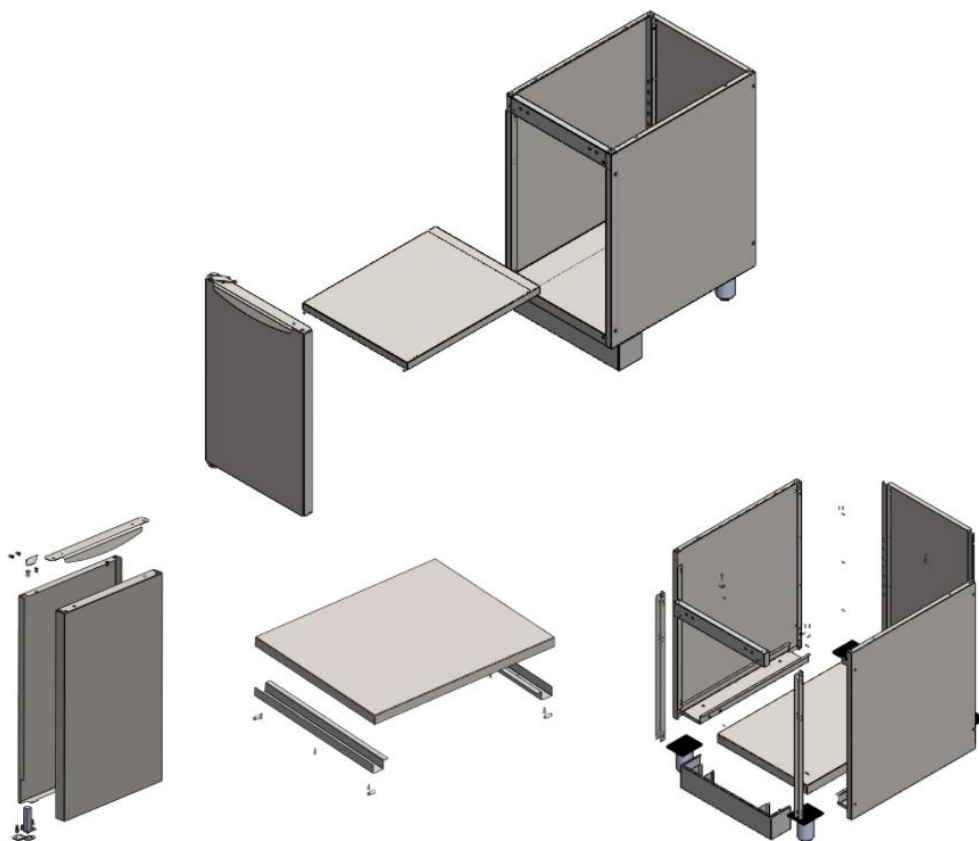


Εικόνα 9 Τρισδιάστατη όψη επιλεγθέντος προϊόντος (Ανοξείδωτο ερμάριο - St. 304)

Η επιλογή του ανοξείδωτου ερμαρίου δεν έγινε με τυχαίο τρόπο, αλλά βασίστηκε στις κάτωθι βασικές αιτίες. Αρχικά, η συγκεκριμένη κατασκευή θεωρείται από τους πλέον

βασικούς κωδικούς πώλησης του οργανισμού, υπό την έννοια ότι συμπεριλαμβάνεται στην ισχυρή πλειοψηφία των εγκαταστάσεων. Επίσης, οι διαστάσεις της κατασκευής ποικίλλουν, ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις, υγειονομικού χαρακτήρα, καθώς και με τις ανάγκες για αποθηκευτικό χώρο. Βέβαια, οι σημαντικότερες πωλήσεις των εν λόγω κωδικών προέρχονται από κατασκευές με τυποποιημένες προδιαγραφές και διαστάσεις, ωστόσο δεν είναι ασήμαντο και το ποσοστό πωλήσεων, το οποίο προέρχεται από κωδικούς με τροποποιημένες διαστάσεις. Όπως γίνεται αντιληπτό, το κοστολόγιο των κατασκευών με τυποποιημένες διαστάσεις και προδιαγραφές, είναι διαφοροποιημένο από το αντίστοιχο κοστολόγιο των ειδικών κατασκευών. Κατά συνέπεια, ο έλεγχος του συστήματος θα μπορεί να εφαρμοστεί και σε επίπεδο ακρίβειας ανάλογα με την ειδική μορφολογία της κατασκευής.

Ένας ακόμη λόγος επιλογής της εν λόγω κατασκευής, σχετίζεται με την ποσότητα των εξαρτημάτων που την απαρτίζουν. Στην Εικόνα 10, παρουσιάζεται μια αποσυντετημένη απεικόνιση της κατασκευής. Όπως προκύπτει από την παρακάτω εικόνα, η κατασκευή αποτελείται από πολλά επιμέρους τμήματα, τα οποία όμως δεν επηρεάζονται από όλες τις διαστάσεις ταυτόχρονα. Αυτό, από πλευράς κοστολόγησης, ερμηνεύεται ως εξής: μια ειδική κατασκευή επιφέρει επιπρόσθετα κόστη για τα εξαρτήματα και την συναρμολόγησή τους, όχι όμως για το σύνολο των στοιχείων παρά για μια συγκεκριμένη μερίδα αυτών. Η γνώση για τα ποια ακριβώς εξαρτήματα, επηρεάζονται από τις πιθανές εναλλαγές των τυποποιημένων διαστάσεων, αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για την λεπτομερή κοστολόγηση και έρχεται σε πλήρη αντίθεση με γενικευμένες ή εμπειρικές θεωρήσεις κόστους, με καθολική προσαύξηση του κόστους όλων των παραγόμενων εξαρτημάτων.



Εικόνα 10 Αποσυντεθειμένη όψη ανοξείδωτου ερμαρίου

Ολοκληρώνοντας την παρούσα ενότητα, στον Πίνακα 7, δίνεται ο κατάλογος των απαιτούμενων εξαρτημάτων για την ανάπτυξη της κατασκευής. Τα συγκεκριμένα δεδομένα, δίνονται μέσω του χρησιμοποιούμενου προγράμματος CAD, και τροφοδοτούνται απευθείας στο υβριδικό σύστημα κοστολόγησης. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι πέραν των συγκεκριμένων εξαρτημάτων, στην κατασκευή χρησιμοποιούνται και άλλα στοιχεία, κυρίως αναλώσιμα, τα οποία εξυπηρετούν την τελική συναρμολόγηση (π.χ. ήλοι και λοιπά στοιχεία). Ωστόσο τα αναλώσιμα δεν παράγονται από την ίδια την εταιρεία και ως εκ τούτου λαμβάνονται υπόψη ως εξωτερικές δομές συνεισφοράς στο κοστολόγιο (heads on costs).

Πίνακας 7 Κατάλογος βασικών παραγόμενων εξαρτημάτων προϊόντος

PART NUMBER	Material	Thickness	Length	Width	Mass	QTY.
ΠΛΑΙΝΑ	AISI 304	0,8	769,68	715,84	3497	2
ΠΑΤΟΣ	AISI 304	0,8	791,1	533,77	2629,8	1
ΠΟΔΙΑ	AISI 430	1,5	563,37	192,07	1300,1	1-3
ΤΡΑΒΕΡΣΑ	AISI 304	1	503,29	135,4	65,59	1
ΜΠΑΖΑ	AISI 304	0,8	656,17	112,17	59,44	1
ΠΛΑΤΗ	AISI 304	0,8	779,68	509,5	2497,2	1
Π_ΡΥΘΜΙΣΗ ΡΑΦΙΟΥ	AISI 304	0,8	642,6	68,97	278,3	2
ΠΟΡΤΑ ΕΞΩΤ	AISI 304	0,8	779,19	517,19	2543,9	1-4
ΠΟΡΤΑ ΕΣΩΤ	AISI 304	0,8	741,57	472,57	2191,3	1-4
ΧΕΙΡΟΛΑΒΗ	AISI 304	2	428	77,08	437,02	1-4
ΜΕΝΤΕΣΕΣ ΑΝΩ	AISI 304	2	89,27	39,33	36,4	1-4
ΜΕΝΤΕΣΕΣ ΚΑΤΩ	AISI 304	3	74,41	35	57,26	1-4
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΡΑΦΙΟΥ	AISI 304	0,8	450	96,25	35,24	2-4
ΡΑΦΙ	AISI 304	0,8	650,68	526	2167,5	1-2
ΚΑΠΑΚΙ	Επιλογή πελάτη	Επιλογή πελάτη	-	-	-	1

#### 4.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων συστήματος αυτόματης κοστολόγησης

Έχοντας ολοκληρώσει την διαδικασία ανάπτυξης του υβριδικού συστήματος κοστολόγησης, για την κατασκευή που αναλύθηκε παραπάνω, στην παρούσα ενότητα αξιολογείται η αποτελεσματικότητα του συστήματος ως προς την αποτύπωση του συνολικού κόστους κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το σύστημα θα συγκριθούν με τα κόστη που λαμβάνονται υπόψιν από την εταιρεία, ανάλογα με τις απαιτήσεις των πελατών ως προς τις διαστάσεις και ως προς τα επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει το τελικό προϊόν.

Βάσει των προδιαγραφών του συστήματος, ο υπεύθυνος για την διαμόρφωση του κοστολογίου, δεν θα πρέπει να έχει καμία διεπαφή με τον αλγόριθμο του συστήματος. Ο υπεύθυνος θα πρέπει να μπορεί να τοποθετεί στο σύστημα τις απαιτήσεις του πελάτη, μέσω μιας κατάλληλα διαμορφωμένης οθόνης εισαγωγής δεδομένων, και εν συνεχεία θα πρέπει να λαμβάνει μέσω μιας άλλης οθόνης, τα τελικά αποτελέσματα σχετικά με το κόστος της κατασκευής βάσει των προδιαγραφών των πρωτοτύπων της εταιρείας, καθώς και τυχόν επιπρόσθετα κόστη σε περίπτωση που ο ένας πελάτης επιθυμεί διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, αν πρόκειται για την ανάπτυξη ενός ερμαρίου, το οποίο βάσει των προδιαγραφών του παράγεται με ένα (1) ενσωματωμένο ράφι καθ' ύψος, αλλά ο πελάτης επιθυμεί δύο (2) ή τρία (3) ράφια στην ίδια διεύθυνση, τότε το σύστημα θα πρέπει να εμφανίζει τόσο το κόστος βάσει των αρχικών προδιαγραφών όσο και το κόστος της τελικής κατασκευής βάσει των επιπρόσθετων απαιτήσεων.

Στο πρώτο τμήμα του Πίνακα 8, δίνονται τα στοιχεία που πρέπει να συμπληρώσει ο υπεύθυνος κοστολόγησης στο σύστημα και στο δεύτερο τμήμα, δίνονται τα αποτελέσματα που λαμβάνονται κατόπιν της υλοποίησης του συστήματος.



Πίνακας 8 Στιγμιότυπα οθόνης συμπλήρωσης δεδομένων και ανάλυσης κόστους

Στιγμιότυπο οθόνης συμπλήρωσης δεδομένων	<b>ΜΗΚΟΣ (mm)</b>	<i>Γράψτε το μήκος κατασκευής</i>
	ΥΨΟΣ (mm)	<i>Γράψτε το ύψος κατασκευής</i>
	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	<i>Γράψτε το πλάτος κατασκευής</i>
	ΠΟΡΤΕΣ	<i>Χρειάζονται πόρτες;</i>
	ΚΑΠΑΚΙ	<i>Επιλέξτε καπάκι</i>
	ΡΑΦΙ	<i>Χρειάζονται ράφια;</i>
	Στιγμιότυπο οθόνης ανάλυσης κόστους	ΤΙΜΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΤΙΜΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ		7,82 €
ΑΝΗΓΜΕΝΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΚΑΙ OVERHEADS		26,04 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΠΡΟ ΦΠΑ</b>		<b>236,25 €</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΜΕ ΦΠΑ</b>		<b>292,95 €</b>
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ</b>		
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟ ΦΠΑ</b>		
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕ ΦΠΑ</b>		

Όπως προκύπτει από τους δύο παραπάνω πίνακες οι προδιαγραφές περί διεπαφής των χρηστών με το σύστημα καθώς και περί της απαραίτητης πληροφόρησης, πληρούνται και ως εκ τούτου το σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ότι ικανοποιεί τον αρχικό στόχο υλοποίησής του, μειώνοντας σημαντικά τους απαιτούμενους χρόνους για τον αναλυτικό προσδιορισμό του κόστους κάθε κατασκευής.

Πέραν του ελέγχου πλήρωσης των προδιαγραφών, είναι σημαντικό να αξιολογηθούν και τα οικονομικά αποτελέσματα από την ανάπτυξη και την υιοθέτηση του προτεινόμενου συστήματος αυτόματης κοστολόγησης. Για τον λόγο αυτό, τα αποτελέσματα του συστήματος ελέγχονται για εννέα (9) διαφορετικές διαστάσεις ερμαρίων και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές κόστους, που υπολογίζονται από την εταιρεία εμπειρικά, για τα συγκεκριμένα ερμάρια. Στον Πίνακα 9, οι διαστάσεις των πιο συνηθών ερμαρίων, οι προτεινόμενες τιμές του συστήματος, οι αντίστοιχες εμπειρικές τιμές που υπολογίζονται από την εταιρεία στην υφιστάμενη κατάσταση καθώς και η ποσοστιαία απόκλιση μεταξύ των δύο

τιμών. Επίσης, σημειώνεται ότι οι τιμές του παρακάτω πίνακα προκύπτουν, με βάση την υπόθεση ότι δεν υπάρχουν επιπρόσθετες απαιτήσεις για εξαρτήματα στις κατασκευές, πέραν των τυπικών εξαρτημάτων.

Πίνακας 9 Συγκριτική θεώρηση κόστους βάσει εμπειρικών θεωρήσεων και αναλυτικών υπολογισμών μέσω του συστήματος

Διαστάσεις ερμαρίου (Μ*Π*Υ)	Κόστος βάσει συστήματος	Κόστος βάσει εμπειρικών υπολογισμών (υφιστάμενη συνθήκη)	Απόκλιση
460*530*733	148,60 €	200 €	25,7%
460*630*733	156,25 €	200 €	21,87%
525*530*733	155,98 €	250 €	37,61%
525*630*733	163,93 €	250 €	34,43%
895*630*733	218,55 €	300 €	27,15%
1025*630*733	249,96 €	325 €	23,09%
1330*630*733	280,99 €	375 €	25,07%
1530*630*733	327,59 €	400 €	18,1%
1765*630*733	460,94 €	550 €	16,19%

### Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 10, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το προτεινόμενο σύστημα κοστολόγησης οδηγεί σε πιο λεπτομερή και ακριβή αποτελέσματα συγκριτικά με τον υφιστάμενο τρόπο κοστολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές στην στήλη με τα εμπειρικά κόστη είναι ακέραιες και στρογγυλοποιημένες σε επίπεδο εκατοντάδας ή μισής εκατοντάδας, σε κάθε περίπτωση. Αντίθετα, οι τιμές που προκύπτουν από το σύστημα είναι πιο λεπτομερές και ως εκ τούτου δεν είναι στρογγυλοποιημένες. Οι διαφορές που προκύπτουν λόγω στρογγυλοποιήσεων και παρεμφερών προσεγγίσεων, ως προς τον υπολογισμό του κόστους, φαίνεται να είναι αρκετά σημαντικές στις περισσότερες περιπτώσεις. Ειδικότερα, οι εμπειρικές θεωρήσεις για τον υπολογισμό κόστους οδηγούν σε λανθασμένη προσαύξηση του πραγματικού κόστους ανάπτυξης, η οποία αγγίζει ή ξεπερνά το 20%.

Οι αποκλίσεις μεταξύ του πραγματικού κόστους και του κόστους που λαμβάνεται υπόψη από την εταιρεία, φαίνεται να είναι ακόμα μεγαλύτερες στην περίπτωση των «ειδικών»

κατασκευών. Στον Πίνακα 10, έχουν συμπεριληφθεί μόνο κατασκευές, οι οποίες θεωρούνται παραγωγικές για τον οργανισμό. Κατόπιν ελέγχου που έγινε για ένα ικανό αριθμό «ειδικών» κατασκευών, παρατηρήθηκε ότι οι αποκλίσεις ως προς τα κόστη, ξεπερνούν το 30% ή ακόμα και το 35%. Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί σε μεγάλο βαθμό, λόγω της διαδικασίας προσδιορισμού του κόστους σε αυτές τις περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, για τις «ειδικές» κατασκευές, η εταιρεία δεν εφαρμόζει αναλυτικά μοντέλα υπολογισμού του κόστους, αλλά υπολογίζει τα κόστη θεωρώντας μια προκαθορισμένη ποσοστιαία αύξηση επί του κόστους μιας αντίστοιχης κατασκευής που παράγεται με συνεχή ρυθμό και απαρτίζεται από έτοιμα και ημι – έτοιμα προϊόντα που παράγονται συνεχώς και αποθηκεύονται.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις είναι πάρα πολύ σημαντικές για την βιωσιμότητα και το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα του οργανισμού, καθώς δείχνουν ότι υπάρχει περιθώριο για αναθεώρηση των στρατηγικών τιμολόγησης των προϊόντων και κατ' επέκταση για αύξηση του μεριδίου της αγοράς που καταλαμβάνεται από την εταιρεία, μέσω προσέλκυσης νέων πελατών. Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία διαμορφώνει την τιμή πώλησης των εξεταζόμενων κωδικών, θεωρώντας ένα ποσοστό προσαύξησης επί των εμπειρικά προσδιορισμένων δομών κόστους. Έτσι, η θεώρηση ενός ποσοστού κερδοφορίας (overhead) σε μια ήδη προσαυξημένη δομή κόστους, οδηγεί στην δημιουργία επιπρόσθετης κερδοφορίας από την αναμενόμενη, μέσω πώλησης σε αρκετά υψηλότερες τιμές έναντι της τιμής που θα μπορούσε να προσφέρει η εταιρεία στους πελάτες της.

Η πώληση σε υψηλότερες τιμές δημιουργούν μεσοπρόθεσμα υψηλότερη κερδοφορία, όμως μακροπρόθεσμα μειώνουν την ζήτηση των κωδικών και την αξιοπιστία ενός οργανισμού έναντι των ανταγωνιστών του (κανόνας προσφοράς – ζήτησης). Η υιοθέτηση του προτεινόμενου συστήματος, μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο, ως προς την αναθεώρηση και την μείωση των τιμών πώλησης. Παράλληλα, το σύστημα αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στην δημιουργία ολοκληρωμένων και οριζόντιων στρατηγικών τιμολόγησης ανά κωδικό. Με τον τρόπο αυτό, θα αντικατασταθεί η παρούσα εμπειρική μέθοδος τιμολόγησης, με συγκεκριμένους καταλόγους προϊόντων οι οποίες θα καταδεικνύουν εξ' αρχής στους πελάτες, το αντίτιμο που θα πρέπει να καταβάλλουν για να αποκτήσουν ένα τυποποιημένο ερμάριο καθώς και το ποσό στο οποίο αντιστοιχεί η οποιαδήποτε παραλλαγή ή κάποιο επιπρόσθετο εξάρτημα που επιθυμούν να συμπεριλάβουν στην κατασκευή. Με πιο απλά λόγια, η υιοθέτηση του συστήματος κοστολόγησης, αναμένεται να υποστηρίξει τον σχεδιασμό και την υλοποίηση οριζόντιων στρατηγικών τιμολόγησης για τους κωδικούς πώλησης.

#### 4.5 Η συμβολή του συστήματος στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων πλάνων παραγωγής

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, η υιοθέτηση του προτεινόμενου συστήματος κοστολόγησης αναμένεται να υποστηρίξει σημαντικά τις αποφάσεις τιμολόγησης του οργανισμού, οδηγώντας σε αναδιαμόρφωση και εξ ορθολογισμό του υφιστάμενου τρόπου τιμολόγησης. Ωστόσο, μια αναδιαμόρφωση στις τιμές πώλησης, είναι συνυφασμένη και με μια μείωση των επιπέδων κερδοφορίας, που υφίστανται στην παρούσα συνθήκη λειτουργίας του οργανισμού.

Με στόχο την βελτίωση των επιπέδων κερδοφορίας, που θα προκύψουν κατόπιν της αναθεώρησης των τιμών, ο οργανισμός μπορεί να ακολουθήσει ένα ολοκληρωμένο πλάνο παραγωγής. Στην παρούσα ενότητα δίνεται μια πρόταση για την ανάπτυξη ενός τέτοιου πλάνου. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η προμήθεια των πρώτων υλών και η παραγωγή μιας ικανής ποσότητας ερμαρίων με τυποποιημένες διαστάσεις, σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα εντός του έτους.

Η συγκεκριμένη λογική ανάπτυξης του πλάνου παραγωγής, έχει τις βάσεις της, στην θεώρηση ότι η τιμή αγορά του ανοξειδωτού χάλυβα (St. 304), που αποτελεί την κύρια πρώτη ύλη, έχει έντονες διακυμάνσεις εντός συγκεκριμένων περιόδων και παρουσιάζει τα τυπικά χαρακτηριστικά της εποχικότητας. Στον Πίνακα 10, παρουσιάζονται ορισμένα ιστορικά στοιχεία της εταιρείας, σχετικά με την τιμή αγοράς κάθε κιλού από την συγκεκριμένη πρώτη ύλη.

**Πίνακας 10** Ιστορικά δεδομένα αγορών ανοξειδωτού χάλυβα (St. 304)

Έτος	Τριμ.4	Τριμ.3	Τριμ.2	Τριμ.1	Μέσος όρος
2017	2,78 €	2,68 €	2,73 €	2,84 €	2,74 €
2018	2,82 €	2,87 €	2,82 €	2,82 €	2,83 €
2019	2,75 €	2,81 €	2,79 €	2,77 €	2,78 €
2020	2,69 €	2,70 €	2,68 €	2,61 €	2,67 €
2021	4,81 €	4,01 €	3,27 €	3,18 €	3,69 €
2022	3,66 €	3,97 €	4,83 €	5,26 €	4,58 €
2023				3,95 €	3,95 €

Αυτό που μπορούμε να παρατηρήσουμε με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 11, είναι ότι στο δεύτερο μισό κάθε έτους, παρατηρούνται μεσοσταθμικά χαμηλότερες τιμές πώλησης του ανοξειδωτού χάλυβα. Ειδικότερα, οι τιμές φαίνεται να είναι χαμηλότερες στο τελευταίο

τρίμηνο κάθε έτους. Ενώ αυτό το μοτίβο δεν φαίνεται να ισχύει, κατά την χρονική περίοδο της πανδημίας του κορονοϊού (2020 – 2021). Εκμεταλλεύομενη αυτή την πληροφορία και έχοντας αναπτύξει κατάλληλα συστήματα πρόβλεψης των πωλήσεων για τις κατασκευές τυποποιημένων διαστάσεων, οι οποίες πωλούνται μαζικά, η εταιρεία μπορεί να αναπτύξει ολοκληρωμένα πλάνα παραγωγής και αποθήκευσης των προβλεπόμενων ποσοτήτων, σε ορισμένα χρονικά διαστήματα.

Καθώς, συστήματα προβλέψεων για τις μελλοντικές πωλήσεις, δεν υπάρχουν διαθέσιμα στην εταιρεία, για να ελέγξουμε την συνεισφορά ενός προγράμματος μαζικής παραγωγής σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα, χρησιμοποιούμε τα δεδομένα του προηγούμενου έτους χρήσης, ήτοι του έτους 2022. Ειδικότερα, θα ελέγξουμε την διαφοροποίηση στο περιθώριο κερδοφορίας, υπό το υποθετικό σενάριο ότι η παραγωγή και η προμήθεια των πρώτων υλών για τα τυποποιημένα προϊόντα που πουλήθηκαν, έχει γίνει εντός του τελευταίου τριμήνου του ίδιου έτους. Αυτό σαφώς, θα σήμαινε ότι η εξυπηρέτηση της ζήτησης θα καθυστερούσε, λόγω του ότι όλες οι παραγγελίες θα έπρεπε να εξυπηρετηθούν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, το υποθετικό σενάριο βασίζεται σε μια ευρέως διαδεδομένη στρατηγική εξυπηρέτησης, η οποία ονομάζεται στρατηγική μετάθεσης εξυπηρέτησης ζήτησης (postponement strategy).

Για να μπορέσουμε να εξάγουμε οικονομικά αποτελέσματα για το συγκεκριμένο σενάριο, θα πρέπει να αναγάγουμε τις ποσότητες που πουλήθηκαν από το εκάστοτε τυποποιημένο ερμάριο σε κιλά ανοξειδωτου χάλυβα. Για τις υπόλοιπες δομές κόστους, που έχουν συμπεριληφθεί στο μοντέλο αυτόματης κοστολόγησης, όπως για παράδειγμα το κόστος εργατοώρας ή το κόστος συναρμολόγησης, γίνεται η θεώρηση ότι δεν επηρεάζονται από την χρονική περίοδο υλοποίησης, κάτι που σαφώς ισχύει. Συνεπώς, η αξιοπιστία των υπολογισμών δεν επηρεάζεται από την συγκεκριμένη θεώρηση.

Μια ακόμη ορθολογική θεώρηση που γίνεται, αφορά στο γεγονός ότι η εξυπηρέτηση της ζήτησης θα γίνεται άμεσα μετά την παραγωγή των προϊόντων, χωρίς να χρειάζεται να δεσμεύονται αποθηκευτικοί χώροι για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτή η θεώρηση βασίζεται στο γεγονός ότι το σενάριο προσομοιώνει μια παραγωγή εξ' αναβολής (postponement strategy), και ως εκ τούτου οι πελάτες είναι διαθέσιμοι να λάβουν το προϊόν στον χώρο τους, το συντομότερο δυνατό, καθώς η παράδοση έχει ήδη καθυστερήσει κατόπιν της παραγγελίας τους.

Στον Πίνακα 11, παρουσιάζονται οι συνολικές δομές κόστους που προκύπτουν με βάση τους υπολογισμούς του συστήματος κοστολόγησης αναφορικά με τις πωλήσεις του έτους 2022, για δύο περιπτώσεις: παραγωγή σε τυχαία χρονικά διαστήματα ανάλογα με την ζήτηση και παραγωγή σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα κατόπιν εκδήλωσης της ζήτησης.

**Πίνακας 11** Συγκριτική θεώρηση κόστους παραγωγής βάσει ζήτησης και postponement στρατηγικής

<b>Διαστάσεις ερμαρίου (Μ*Υ*Π)</b>	<b>Ποσότητα</b>	<b>Κόστος βάσει συστήματος – παραγωγή ανάλογα με την ζήτηση</b>	<b>Κόστος συστήματος postponement strategy</b>	<b>βάσει –</b>
<b>460*733*630</b>	180	236,25 €	221,17 €	
<b>525*733*630</b>	18	246,56 €	237,24 €	
<b>690*733*630</b>	16	281,51 €	261,07 €	
<b>895*733*630</b>	83	295,68 €	275,68 €	
<b>1025*733*630</b>	18	330,91 €	306,17 €	
<b>1330*733*630</b>	61	355,14 €	331,09 €	
<b>1530*733*630</b>	5	403,65 €	388,52 €	
<b>2030*733*630</b>	2	535,84 €	471,27 €	

Σύμφωνα με τα ευρήματα του Πίνακα 12, διαπιστώνουμε ότι η υποτιθέμενη εφαρμογή ενός εξ' αναβολής πλάνου παραγωγής, θα επέφερε μια δυνητική μείωση του κόστους μεγαλύτερη του 15%, για όλα τα τυποποιημένα ερμάρια. Ενώ, τα περιθώρια κερδοφορίας μέσω μείωσης του κόστους, φαίνεται να είναι ακόμη μεγαλύτερα για τα μεγαλύτερα ερμάρια. Κάτι τέτοιο είναι σαφώς λογικό, διότι στα μεγαλύτερα ερμάρια τα απαιτούμενα κιλά πρώτων υλών είναι αρκετά περισσότερα από ότι σε μικρότερων διαστάσεων ερμάρια, οπότε και η επιρροή της τιμής αγοράς του χάλυβα είναι περισσότερο εμφανής, στο τελικό κόστος των συγκεκριμένων ερμαρίων.

Συνοψίζοντας, τα όσα αναφέρθηκαν κατά το υποθετικό σενάριο προγραμματισμού της παραγωγής, θα μπορούσαμε να σημειώσουμε ότι η υιοθέτηση οριζόντιων στρατηγικών τιμολόγησης βάσει των αποτελεσμάτων κόστους που προκύπτουν από το προτεινόμενο υβριδικό μοντέλο, μπορεί δυνητικά να μειώσει το ποσοστό της κερδοφορίας μεσοπρόθεσμα, ωστόσο αυξάνει το συνολικό κέρδος και την ικανοποίηση των πελατών μακροπρόθεσμα. Ενώ,

τα επίπεδα κερδοφορίας μπορούν να αυξηθούν ακόμη περισσότερο, υπό την συνθήκη προγραμματισμού της παραγωγής σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Εν κατακλείδι, ο συνδυασμός όλων των πλάνων της εταιρείας, με το προτεινόμενο σύστημα αυτόματης κοστολόγησης αναμένεται να συμβάλει στην τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και στην δημιουργία μακροπρόθεσμου ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

## Κεφάλαιο 5: Επίλογος

### 5.1 Σύνοψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ήταν η ανάπτυξη ενός υβριδικού συστήματος αυτόματης κοστολόγησης. Το σύστημα σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε, με κύριο γνώμονα την πλήρωση της βασικής του προδιαγραφής, η οποία ήταν η μη παροχή δικαιωμάτων παρέμβασης στην λειτουργικότητα του συστήματος, σε κάθε απλό χρήστη. Η προδιαγραφή αυτή τέθηκε, κατόπιν της εμπειρικής διαπίστωσης, ότι κατά την διάρκεια ανάπτυξης και κοστολόγησης ενός νέου προϊόντος, ένα σύνολο από διαφορετικούς χρήστες αναμένεται να έχει έντονη αλληλεπίδραση με το εν λόγω σύστημα, οι οποίοι στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν διακατέχονται από το απαραίτητο τεχνικό υπόβαθρο, για την ουσιαστική παρέμβαση στις παραμέτρους του συστήματος και ως εκ τούτου η εμπλοκή τους, θα μπορούσε πιθανότατα να δημιουργήσει θόρυβο και να μειώσει την αποτελεσματικότητά του. Με βάση την παραπάνω θεώρηση, η μοναδική διεπαφή μεταξύ συστήματος και χρήστη, γίνεται κατά το στάδιο εισαγωγής των δεδομένων σχετικά με τις απαιτούμενες τελικές διαστάσεις του προϊόντος. Δίνοντας τις διαστάσεις αυτές, ο χρήστης μπορεί αυτόματα να λάβει το αναμενόμενο κόστος παραγωγής συνολικά, καθώς και τις επιμέρους τιμές των δομών κόστους, αναλυτικά.

Το εν λόγω σύστημα, καλείται υβριδικό, καθώς για την ανάπτυξή του έχουν χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά αναλυτικές μέθοδοι, μέσω του λογισμικού MS Excel, και τεχνικές ανάλυσης κατασκευών, μέσω πρωτοτύπων, χρησιμοποιώντας κατάλληλα τις δυνατότητες που παρέχονται από τα CAM συστήματα. Το κύριο συστατικό ανάπτυξης του συστήματος, είναι ένα κατάλληλα δομημένο παραμετρικό πρωτότυπο της κατασκευής, το οποίο έχει την ιδιότητα εναλλαγής των διαστάσεων όλων των επιμέρους τμημάτων που απαρτίζουν μια κατασκευή, ανάλογα με τις απαιτήσεις των τελικών διαστάσεων. Έτσι, δίνοντας ο χρήστης τις απαιτήσεις περί τελικών διαστάσεων, εκκινείτε αυτόματα η διαδικασία διαμόρφωσης του παραμετρικού πρωτοτύπου ως προς τις διαστάσεις αυτές. Στην συνέχεια, βάσει του πρωτοτύπου, αντλούνται όλα τα απαραίτητα δεδομένα προκειμένου να υλοποιηθεί η αλγοριθμική διαδικασία, που τρέχει σε περιβάλλον MS Excel. Μετά την ολοκλήρωση όλης της παραπάνω διαδικασίας, δίνεται τελικά στον χρήστη το αναμενόμενο κόστος.

Σχετικά με την αλγοριθμική διαδικασία υπολογισμού του κόστους, αυτή δομείται με βάση τις τρεις βασικές δομές κόστους, οι οποίες εντάσσονται σε κάθε διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων. Συγκεκριμένα, οι δομές κόστους που συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα είναι: τα κόστη ανάπτυξης, τα κόστη συναρμολόγησης, καθώς και τα γενικά βιομηχανικά κόστη, τα



οποία προκύπτουν από τις απαραίτητες εξωγενείς διαδικασίες που πρέπει να υλοποιηθούν προκειμένου να αναπτυχθεί ένα προϊόν.

## 5.2 Σχόλια και συμπεράσματα

Ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος, έγινε για έναν από τους κυριότερους κωδικούς που αναπτύσσει και εμπορεύεται μια εταιρεία παραγωγής ψυκτικών μονάδων μεσαίας κλίμακας. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος γίνεται για ανοξείδωτα ερμάρια, με προδιαγραφές χρήσης σε τρόφιμα. Για τον συγκεκριμένο κωδικό, παρότι θεωρείται ταχυκίνητος και υψηλής εμπορικής αξίας, δεν έχει αναπτυχθεί ολοκληρωμένη μέθοδος κοστολόγησης κατά την ανάπτυξη, από την εταιρεία. Με πιο απλά λόγια, οι υφιστάμενες μέθοδοι κοστολόγησής του, βασίζονται κυρίως σε εμπειρικές ενδείξεις. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το προτεινόμενο σύστημα, καταδεικνύουν ότι οι εμπειρικές μέθοδοι κοστολόγησης, οδηγούν περίπου σε υπέρ – κοστολόγηση του συγκεκριμένου κωδικού, η οποία αγγίζει ή ξεπερνά το 20% του πραγματικού κόστους, ανάλογα με τις απαιτήσεις των διαστάσεων της κατασκευής.

Όπως γίνεται σαφές, η παραπάνω διαπίστωση δύναται να δημιουργήσει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για την εταιρεία. Αυτό αιτιολογείται, καθώς μέσω προσαρμογής των επιπέδων των τιμών πώλησης, σύμφωνα με τις προτεινόμενες τιμές του συστήματος, η εταιρεία θα μπορέσει να αυξήσει την ικανοποίηση των υφιστάμενων πελατών της καθώς και να προσελκύσει και νέους πελάτες, βάσει των προτύπων της προσφοράς και ζήτησης. Η συμβολή του συστήματος, ως προς την εταιρική στρατηγική πωλήσεων, εξετάστηκε και σε ένα ακόμα επίπεδο. Ειδικότερα, εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίον η εταιρεία μπορεί να αποκτήσει μεγαλύτερα επίπεδα κερδοφορίας από τους εξεταζόμενους κωδικούς, μέσω του βέλτιστου χρονικού προγραμματισμού της παραγωγής.

Στο πλαίσιο αυτό, ελέγχθηκαν διάφορα πιθανά εναλλακτικά σενάρια παραγωγής, με το πιο κερδοφόρο από αυτά να αποδεικνύεται το πλάνο της εξ' αναβολής παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, η στρατηγική επιλογή παραγωγής όλων των ποσοτήτων ζήτησης για τους συγκεκριμένους κωδικούς, στο τελευταίο τρίμηνο κάθε έτους φαίνεται να αποδίδει υψηλότερη κερδοφορία έναντι των εναλλακτικών σεναρίων. Με τον τρόπο αυτό, μπορούμε να διαπιστώσουμε ένα ακόμα όφελος από την υιοθέτηση του προτεινόμενου συστήματος, δηλαδή την διατήρηση των επιπέδων τιμών σε χαμηλά επίπεδα με την ταυτόχρονη αύξηση του ποσοστού κερδοφορίας.

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν στην παρούσα ενότητα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η συνεισφορά του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος, είναι σημαντική τόσο ως προς τον εξ ορθολογισμό του υφιστάμενου τρόπου τιμολόγησης, λόγω των επιπέδων λεπτομέρειας που παρέχει, όσο και στην γενικότερη στρατηγική πωλήσεων του οργανισμού, λόγω των δυνατοτήτων προσομοίωσης εναλλακτικών σεναρίων χρήσης που παρέχει.

Ολοκληρώνοντας, σημειώνεται ότι ως βασική επέκταση της παρούσας μελέτης, προτείνεται ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας του συστήματος και για τους υπόλοιπους ταχυκίνητους κωδικούς της εταιρείας ενδιαφέροντος, καθώς με τον τρόπο αυτό, θα επιτευχθούν δύο βασικά πλεονεκτήματα. Αρχικά, θα υπολογιστεί με λεπτομέρεια το κόστος και των υπόλοιπων προϊόντων, και ως εκ τούτου θα γίνει εφικτή μια συγκριτική θεώρηση μεταξύ των εμπειρικών μεθόδων προσδιορισμού κόστους και των πραγματικών κοστολογίων ανάπτυξης. Μέσω της συγκριτικής θεώρησης, θα αποτυπωθούν δυνητικά διαφυγόντα κέρδη που υφίστανται στην εταιρεία, είτε λόγω πλεονάζουσας κοστολόγησης, η οποία οδηγεί σε συρρίκνωση των πωλήσεων, είτε λόγω υπό – κοστολόγησης, η οποία οδηγεί σε συρρίκνωση των επιπέδων κερδοφορίας. Αποτυπώνοντας όλη αυτή την πληροφορία μέσω των αντίστοιχων συστημάτων, ο οργανισμός θα είναι σε θέση να αναδιαμορφώσει με συστηματικό τρόπο την στρατηγική κοστολόγησης και πωλήσεων, εν γένει. Ταυτόχρονα, η εφαρμογή του συστήματος για το σύνολο των ταχυκίνητων κωδικών, δύναται να αποκαλύψει τα βέλτιστα μοτίβα προγραμματισμού της παραγωγής, δηλαδή τους τρόπους εκείνους με τους οποίους μπορεί να εξυπηρετηθεί πιο αποτελεσματικά η ζήτηση, δεσμεύοντας τους αποθηκευτικούς χώρους για τα μικρότερα δυνατά διαστήματα και αγοράζοντας τις πρώτες ύλες σε κατάλληλες περιόδους.

**Βιβλιογραφία**

1. Abduo, J., 2014. Fit of CAD/CAM Implant Frameworks: A Comprehensive Review. *Journal of Oral Implantology* 40, 758–766. <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-12-00117>
2. Bhashyam, S., Hoon Shin, K., Dutta, D., 2000. An integrated CAD system for design of heterogeneous objects. *Rapid Prototyping Journal* 6, 119–135. <https://doi.org/10.1108/13552540010323547>
3. Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B., 2010. Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing, *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9>
4. Kaplan, R.S., Anderson, S.R., 2004. Time-driven activity-based costing. *Harvard Business Review* 82, 131–138.
5. Kumar, N., 2013. Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application. *Global Journals of Research in Engineering* 13, 29–50.
6. Schmitz, T., Davies, M., Dutterer, B., Ziegert, J., 2001. The application of high-speed CNC machining to prototype production. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 41, 1209–1228. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(01\)00005-0](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(01)00005-0)
7. Spelic, I., 2019. The current status on 3D scanning and CAD/CAM applications in textile research. *International Journal of Clothing Science and Technology ahead-of-print*. <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2018-0094>
8. Todorov, G., Kamberov, K., Semkov, M., 2017. Thermal CFD study and improvement of table top fridge evaporator by virtual prototyping. *Case Studies in Thermal Engineering* 10, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.09.006>
9. Ulrich, K.T., Eppinger, S.D., 2015. *Product Design and Development*, Fifth edition. ed. McGraw-Hill Education.
10. Vyas, V., Afonso, P., Silva, S., Boris, B., 2022. A Stochastic Costing Model for Manufacturing Management and Control, in: Bernard A., S.F., Dolgui A., Benderbal H.H., Ivanov D., Lemoine D. (Ed.), *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., pp. 1116–1121. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.539>
11. Zorriassatine, F., Wykes, C., Parkin, R., Gindy, N., 2003. A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development. *Proceedings of the Institution*

of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 217, 513–530.  
<https://doi.org/10.1243/095440503321628189>

12. Μπούρας, Σ., 2022. Η προσέγγιση εφαρμογής της σήμανσης/σημειολογίας στα προϊόντα βιομηχανικού σχεδιασμού (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.

13. Παπασπηλίου, Χ., 2015. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΣΩ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΘΗΚΩΝ ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς.

14. Χειρχαντέρη, Γ., 2017. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ: Ο επικοινωνιακός ρόλος της γραφιστικής μέσα από την “τυποποίηση.”

15. Kuen, Chang, and Simon King. 2016. Understanding Industrial Design. O’Reilly Media.

16. “Simplification, Optimization And Management Of The Computer Park [Tender Documents: T454150870].” MENA Report, Albawaba (London) Ltd., June 2020.

17. Jayaraman, S., Srivastava, R., & Klassen, R. D., 2012. A hybrid costing system for inventory management in a manufacturing environment. International Journal of Production Research, 50(6), 1516-1526. doi: 10.1080/00207543.2011.574394

### *Ιστοτοπογραφία*

<https://wdo.org/> [πρόσβαση 20/02/2023]

<https://www.comsol.com/multiphysics/mesh-refinement> [πρόσβαση 24/02/2023]

<https://www.ansys.com/blog/fluid-dynamics-simulations-advance-appliance-designs>

[πρόσβαση 24/02/2023]