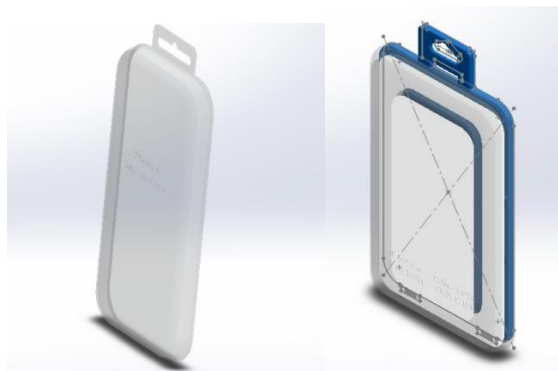


MSc in Project Management & Product Development

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη Διοίκηση Έργων & Ανάπτυξη Προϊόντων

Διπλωματική Εργασία

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΣΩ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΘΗΚΩΝ
ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ»**



Επιμέλεια:

Παπασπηλίου Χαράλαμπος (D1315)

Επιβλέπων Καθηγητής:

Καραλέκας Δημήτριος

Πειραιάς,
Νοέμβριος 2015

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΣΩ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ
ΘΗΚΩΝ ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς κ. Δημήτριο Καραλέκα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την άψογη συνεργασία, την αγόγγυστη καθοδήγηση, την πολύτιμη συμβουλή και καταλυτική συμβολή του, καθώς και τις εύστοχες παρατηρήσεις του στην ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για την ανάθεση ενός τόσο ελκυστικού θέματος που άπτεται του πεδίου ενδιαφερόντων μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τον αδερφό μου και τους φίλους μου, για την υπομονή τους, τη βοήθειά τους, τη συνεχή τους στήριξη και ενθάρρυνση σε αυτή μου την προσπάθεια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο σχεδιασμός συσκευασιών, προστατευτικών θηκών κινητού τηλεφώνου με τη χρήση λογισμικού CAD καθώς και η αξιολόγησή τους.

Η εργασία αναπτύσσεται σε τρεις ενότητες, τη θεωρητική, τη σχεδιαστική και την αξιολόγηση. Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζονται, πληροφορίες της θεωρητικής έρευνας, που αφορούν τη μεθοδολογία σχεδιασμού και ανάπτυξης προϊόντων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται βιβλιογραφικό υλικό για την τεχνολογία της σχεδιομελέτης με χρήση υπολογιστή που καλύπτει τόσο τη χρησιμοποίηση των συστημάτων τρισδιάστατης σχεδίασης, όσο και το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο για την καλύτερη κατανόηση των συστημάτων και την αποδοτική τους χρησιμοποίηση. Στη δεύτερη ενότητα γίνεται πλήρης περιγραφή και απεικόνιση του σχεδιασμού των συσκευασιών. Τέλος, στην τρίτη ενότητα παρουσιάζεται η αξιολόγηση των συσκευασιών και ιδέες βελτιστοποίησης τους.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the existing packaging design, of protective mobile phone cases using CAD software, and their evaluation.

The work is developed in three parts, the theoretical, the design and the evaluation. The first section presents information of theoretical research related to product design and development methodology. Subsequently, bibliography for the technology of the design using computer is presented, that includes both the use of three-dimensional design system, and the basic theoretical background for better understanding of the systems and their efficient use. The second section is a full description and illustration of the packaging design. Finally, the third section presents their evaluation and optimization ideas.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
i. Αντικείμενο μελέτης.....	7
ii. Στόχος	7
iii. Μεθοδολογία	8
iv. Περίγραμμα μελέτης.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	10
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	10
1.1 Διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων.....	10
1.1.1 Προγραμματισμός έργων ανάπτυξης προϊόντων	16
1.1.2 Ανάπτυξη ιδεών προϊόντος	19
1.1.3 Σχεδιασμός σε επίπεδο συστήματος	21
1.1.4 Λεπτομερής σχεδιασμός.....	22
1.1.5 Δοκιμές και βελτίωση.....	24
1.1.6 Προετοιμασία παραγωγής	25
1.2 Κύκλος ανάπτυξης προϊόντων.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	30
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM/CAE	30
2.1 Εισαγωγή στα συστήματα.....	30
2.2 Ιστορική αναδρομή συστημάτων	33
2.3 Ορισμός και περιγραφή του CAM	36
2.4 Ορισμός και περιγραφή του CAE	37
2.5 Ορισμός και περιγραφή του CAD	39
2.5.1 Κατηγορίες συστημάτων CAD.....	42
2.5.1.1 2D Συστήματα.....	42
2.5.1.2 3D Συστήματα.....	43
2.6 Στερεά μοντελοποίηση	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	52
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ	52
3.1 Η συσκευασία και η σημασία σχεδιασμού της	52
3.2 Η επιτυχία στη συσκευασία	55
3.3 Apple Inc. και συσκευασία	56
3.4 UnCommon LLC και συσκευασία	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	61
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥΣ.....	61
4.1 Περιγραφή λογισμικού και μεθοδολογία μοντελοποίησης.....	61
4.2 Σχεδιασμός συσκευασίας Apple	63
4.2.1 Πίσω τμήμα συσκευασίας (Back part).....	64
4.2.2 Πρόσοψη συσκευασίας (Front part).....	67
4.2.3 Συνδεσμολογία συσκευασίας (Packaging assembly).....	72
4.3 Σχεδιασμός συσκευασίας UnCommon	74
4.3.1 Πίσω τμήμα συσκευασίας (Back part).....	75
4.3.2 Εσωτερικό τμήμα συσκευασίας (Middle part 1)	83
4.3.3 Εσωτερικό τμήμα συσκευασίας (Middle part 2)	87
4.3.4 Εσωτερικό τμήμα συσκευασίας (Middle part 3)	90
4.3.5 Πρόσοψη συσκευασίας (Front part).....	92
4.3.6 Συνδεσμολογία συσκευασίας (Packaging assembly).....	100
4.4 Αξιολόγηση και σύγκριση συσκευασιών	105
4.5 Προτάσεις βελτιστοποίησης	107
Βιβλιογραφία	109

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ολοκληρώνοντας τον κύκλο σπουδών του Μεταπτυχιακού Προγράμματος στη Διοίκηση Έργων & Ανάπτυξη Προϊόντων του τμήματος της Βιομηχανικής Διοίκησης του Πανεπιστημίου Πειραιά οι φοιτητές καλούνται να συντάξουν την διπλωματική τους διατριβή. Μέσα από αυτό το πόνημα μας δίνεται η δυνατότητα να εμβαθύνουμε τις γνώσεις μας σχετικά με επίκαιρα ζητήματα που αφορούν το πεδίο της Διοίκησης Έργων (Project Management), του Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Προϊόντων (Design & Product Development) και του πεδίου της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Logistics). Η παρούσα μελέτη πραγματεύεται τη μεθοδολογία σχεδιασμού και ανάπτυξης προϊόντων, εμβαθύνει στο σχεδιασμό συσκευασιών προστατευτικών θηκών κινητού τηλεφώνου μέσω 3D μοντελοποίησης, αξιολογεί τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευασιών και προτείνει κάποιες τεχνικές και ιδέες βελτιστοποίησης.

i. Αντικείμενο μελέτης

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής διατριβής θα αποτελέσει ο σχεδιασμός συσκευασιών με τη βοήθεια λογισμικού CAD, η αξιολόγηση και σύγκριση των χαρακτηριστικών των δύο συσκευασιών καθώς και προτάσεις βελτιστοποίησης αυτών. Τα προϊόντα αυτά συσκευάζουν προστατευτικές θήκες για το smartphone iPhone 6 και πωλούνται η μία συσκευασία από την εταιρεία Apple Inc και η άλλη από την εταιρεία UnCommon LLC. Αμφότερες εδρεύουν στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και απευθύνονται στη παγκόσμια αγορά.

ii. Στόχος

Στόχος της εργασίας είναι η εξοικείωση με το λογισμικό CAD, η εμβάθυνση στις λειτουργίες και τις δυνατότητες του λογισμικού και η ενημέρωση της ιστορίας και των δυνατοτήτων των λογισμικών CAD/CAM/CAE. Επιπλέον στόχος είναι να συνδεθεί

το θεωρητικό υπόβαθρο στην αξιολόγηση των συσκευασιών και τις προτάσεις βελτιστοποίησης.

iii. Μεθοδολογία

Αναφερόμενος στη μεθοδολογία της παρούσας έρευνας, θα πρέπει να σημειωθεί πως σκοπός της είναι η διευκόλυνση της κατανόησης της σημασίας του σχεδιασμού και η σημαντικότητά του στη μείωση δαπανών των εταιρειών και στην αύξηση των κερδών. Σύμφωνα με τον Moully (1970), έρευνα είναι μια διαδικασία που οδηγεί μέσα από προγραμματισμένη συστηματική συλλογή, ανάλυση κι ερμηνεία δεδομένων, στην αξιόπιστη λύση προβλημάτων.

Έτσι, το γενικό πλαίσιο μιας έρευνας περιλαμβάνει τη συλλογή δευτερογενών δεδομένων, ήτοι δεδομένων που έχουν «δημιουργηθεί» από κάποιον άλλον πλην του ερευνητή, χαρακτηριστικό παράδειγμα των οποίων είναι η βιβλιογραφία, καθώς και από τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων, ήτοι δεδομένων που έχουν «δημιουργηθεί» από τον ερευνητή.

iv. Περίγραμμα Μελέτης

Η εργασία θα αναπτυχθεί σε τρεις ενότητες, τη θεωρητική, τη σχεδιαστική και την αξιολόγηση. Στην πρώτη ενότητα θα παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο που αφορά στη μεθοδολογία σχεδιασμού και ανάπτυξης προϊόντων, στα λογισμικά σχεδιομελέτης CAD/CAM/CAE και στη σημασία της συσκευασίας. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται ο κορμός ανάπτυξης της εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διατριβής παρουσιάζεται η μεθοδολογία που πρέπει να εφαρμόζεται στο σχεδιασμό και στην ανάπτυξη προϊόντων. Η ανάλυσή της είναι ιδιαίτερα σημαντική ώστε να αποσαφηνιστούν κάποιες έννοιες.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται βιβλιογραφικό υλικό που αφορά την ιστορική αναδρομή στα συστήματα λογισμικού CAD/CAM/CAE, σύντομη περιγραφή

των εννοιών και τρόποι λειτουργίας με έμφαση στο CAD που είναι και ένα αντικείμενο μελέτης της εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται πληροφορίες που χρήζουν σημασίας και αφορούν τη συσκευασία και τον τρόπο επιρροής της ανάπτυξής της, στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα σχέδια των τμημάτων των συσκευασιών, με πλήρη περιγραφή για τα βήματα του σχεδιασμού και τη συνδεσμολογία τους και στο τέλος γίνεται η αξιολόγηση των δύο συσκευασιών και προτείνονται ιδέες βελτιστοποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

1.1 Διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων

Η Ανάπτυξης Προϊόντων, πραγματεύεται τη μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθηθεί μέχρι να φτάσουμε στην παραγωγή τους. Η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων αποτελείται από μια αλληλουχία δραστηριοτήτων που εκτελούνται σε μια επιχείρηση ώστε η ιδέα να γίνει υλοποιήσιμη, να σχεδιασθεί και στην συνέχεια να παραχθεί, για την εισαγωγή του προϊόντος στην αγορά.

Όλα τα στάδια έχουν τη σημασία τους για το τελικό αποτέλεσμα το καθένα με τη δικιά του βαρύτητα, αλλά πρέπει να γίνονται με ιδιαίτερη ανάλυση και προσοχή καθώς οτιδήποτε προληφθεί πριν φτάσει στο στάδιο της παραγωγής, έχει σίγουρα λιγότερη οικονομική βαρύτητα από το να διαπιστωθεί μετά την παραγωγή του, ή κατά τη διάρκεια αυτής. Τα παραπάνω αναφέρονται καθώς ένας λόγος της οικονομικής επιτυχίας των βιομηχανικών εταιρειών είναι να αναπτύσσουν ένα προϊόν ακολουθώντας σωστά τη διαδικασία ανάπτυξής του όπως αναφέρεται βιβλιογραφικά προσαρμόζοντάς τα πάντα στις ανάγκες τους. Παρακάτω θα αναφερθώ στην ανάλυση των βημάτων του Σχεδιασμού και Ανάπτυξης των Προϊόντων. Τα έργα ανάπτυξης των προϊόντων κατατάσσονται στις νέες βελτιωμένες εκδόσεις υφιστάμενων προϊόντων, στα ριζικά νέα προϊόντα, στα προϊόντα νέας πλατφόρμας και στα προϊόντα υπάρχουσας πλατφόρμας.

- Ως Προϊόν ορίζεται οτιδήποτε πωλείται από μια επιχείρηση προς τους πελάτες της.
- Ως Ανάπτυξη Προϊόντος ορίζεται το σύνολο των δραστηριοτήτων που ξεκινάει από την αντίληψη της ύπαρξης μιας ευκαιρίας στην αγορά και τελειώνει με την παραγωγή, την πώληση και την παράδοση ενός προϊόντος.
- Ως Σχεδιασμός ορίζεται η δημιουργική διαδικασία διαχείρισης με δομημένη μέθοδο για να αποδώσει ένα αποτέλεσμα επένδυσης.

Άλλοι ορισμοί για το τι είναι Σχεδιασμός Προϊόντων φαίνονται παρακάτω:

- Ένας σκηνοθετημένος στόχος, η διαδικασία λύσης ενός προβλήματος.
- Σχετικά με ένα από αποτέλεσμα (π.χ. κτίριο), μια κατάσταση για να δώσει ικανοποίηση στον χρήστη / παρατηρητή.
- Το ευφάνταστο άλμα από τα παρόντα γεγονότα, στις μελλοντικές δυνατότητες.
- Κάνοντας κάτι εννοιολογικό, από.

“ Η γενική διαδικασία ανάπτυξης των προϊόντων αποτελείται από έξι φάσεις:

1. **Προγραμματισμός:** Η διαδικασία του προγραμματισμού περιλαμβάνει τη δήλωση αποστολής του έργου όπου προσδιορίζεται η στοχευόμενη αγορά του προϊόντος, τους στόχους της επιχείρησης, τους περιορισμούς και τις παροχές-κλειδιά. Η δραστηριότητα αυτή πρέπει να προηγείται της έγκρισης του έργου και της έναρξης της διαδικασίας ανάπτυξης.

2. **Ανάπτυξη ιδεών:** Κατά τη διαδικασία ανάπτυξης ιδεών, προσδιορίζονται οι ανάγκες της αγοράς που στοχεύει το προϊόν, οι εναλλακτικές ιδέες που προκύπτουν αξιολογούνται ενώ μία ή περισσότερες ιδέες προχωρούν προς ανάπτυξη και δοκιμές. Στο στάδιο αυτό περιγράφονται κάποια χαρακτηριστικά του προϊόντος όσον αφορά τις λειτουργίες και τη μορφή του, και συνήθως συνοδεύεται από ένα σύνολο προδιαγραφών, την ανάλυση των ανταγωνιστικών προϊόντων και την οικονομική δικαιολόγηση του έργου.

3. **Σχεδιασμός σε επίπεδο συστήματος:** Στη φάση σχεδιασμού σε επίπεδο συστημάτων καθορίζεται η αρχιτεκτονική του προϊόντος και αναλύεται το προϊόν σε υποσυστήματα και εξαρτήματα. Σε αυτή τη φάση συνήθως, ορίζεται και το τελικό σχήμα συναρμολόγησης για το σύστημα παραγωγής. Το αποτέλεσμα αυτής της φάσης είναι ένα γεωμετρικό σχέδιο του προϊόντος, μια περιγραφή λειτουργίας κάθε

υποσυστήματος του προϊόντος και ένα προκαταρκτικό διάγραμμα ροής της τελικής διαδικασίας συναρμολόγησης.

4. **Λεπτομερής σχεδιασμός:** Στη φάση του λεπτομερούς σχεδιασμού προσδιορίζεται πλήρως η γεωμετρία του προϊόντος, τα υλικά κατασκευής, οι αντοχές όλων των μοναδικών εξαρτημάτων του προϊόντος καθώς επίσης και τα μεμονωμένα κομμάτια που θα αγοραστούν από τους προμηθευτές. Συντάσσεται το πλάνο της διαδικασίας και σχεδιάζονται τα εργαλεία για κάθε ένα εξάρτημα που θα κατασκευαστεί εντός του συστήματος παραγωγής. Αποτέλεσμα αυτής της φάσης είναι η έγγραφη τεκμηρίωση ελέγχου (control documentation) του προϊόντος, δηλαδή όλα τα ηλεκτρονικά αρχεία-σχέδια, που περιγράφουν τη γεωμετρία του κάθε εξαρτήματος και τον λεπτομερή τρόπο παραγωγής τους, τις προδιαγραφές των εξαρτημάτων σύνθεσης του τελικού προϊόντος και τα σχέδια των διαδικασιών κατασκευής και συναρμολόγησης του προϊόντος. Το κόστος παραγωγής και η αξιόπιστη λειτουργία του προϊόντος είναι δύο κρίσιμα θέματα που αντιμετωπίζονται σε αυτή τη φάση. ” (Ulrich, Eppinger, 2008)

5. **Δοκιμές και βελτίωση:** Η φάση των δοκιμών και της βελτίωσης περιλαμβάνει την κατασκευή και αξιολόγηση πολλαπλών εκδοχών του προϊόντος πριν την παραγωγή του.

6. **Προετοιμασία παραγωγής (Production ramp-up):** Σε αυτή τη φάση το προϊόν κατασκευάζεται με το προβλεπόμενο σύστημα παραγωγής και εκπαιδεύεται το εργατικό δυναμικό για την επίλυση τυχόν υπολειπόμενων προβλημάτων στην παραγωγική διαδικασία.

0. Planning	1. Concept Development	2. System-Level Design	3. Detail Design	4. Testing and Refinement	5. Production Ramp-Up
Marketing					
Articulate the market opportunity. Define the market segments.	Collect customer needs. Identify lead users. Identify competitive products.	Develop plan for product options and extended product family.	Develop marketing plan.	Develop promotion and launch materials. Facilitate field testing.	Place early production with key customers.
Design					
Consider product platform and architecture. Assess new technologies.	Investigate feasibility of product concepts. Develop industrial design concepts. Build and test experimental prototypes	Generate alternative product architectures. Define major subsystems and interfaces. Refine industrial design.	Define part geometry. Choose materials. Assign tolerances. Complete <u>control documentation</u>	Reliability testing. Life testing. Performance testing. Obtain regulatory approvals. Assess environmental impact. Implement design changes.	Evaluate early production output.
Manufacturing					
Identify production constraints. Set supply chain strategy.	Estimate manufacturing costs. Assess production feasibility.	Identify suppliers for key components. Perform make vs. by analysis. Define final assembly scheme.	Define piece-part production processes. Design tooling. Define quality assurance processes. Begin procurement of long-lead tooling.	Facilitate supplier ramp-up. Refine fabrication and assembly processes. Train work force. Refine Quality assurance processes.	Begin operation of entire production system.

Πίνακας 1.1.1. Διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων. (Καραλέκας)

Μια προσέγγιση στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων και στην αποτελεσματικότητά της γίνεται στο βιβλίο του John Bieda με τίτλο “Practical Product Assurance Management”.

“Η αποτελεσματική διαδικασία ανάπτυξης των προϊόντων έχει γίνει μια αναγκαιότητα στο σχεδιασμό και την κατασκευή τους, ιδιαίτερα όταν οι ανταγωνιστικές δυνάμεις της αγοράς έχουν προκαλέσει ζήτηση για επίσπευση του χρόνου ανάπτυξης, μείωση του κόστους και αύξηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας. Η διαδικασία για να μειωθεί σημαντικά ο χρόνος που απαιτείται για την ανάπτυξη νέων ή τροποποιημένων προϊόντων, επιδιώκοντας δραστηριότητες που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των πελατών και ενισχύουν την ικανοποίησή τους, περιλαμβάνει μια προοδευτική και ταυτόχρονη σειρά μηχανικών δραστηριοτήτων. Η έννοια της ταυτόχρονης μηχανικής, με τον ταυτόχρονο σχεδιασμό του προϊόντος, την αναπτυξιακή διαδικασία και την επικύρωση των δραστηριοτήτων της, επιφέρουν αποτελεσματικότητα στη μείωση του χρόνου ανάπτυξης, τη βελτίωση της ομαδικής εργασίας και της επικοινωνίας στην οργάνωση. Επιπλέον, η χρήση και η σχέση των διαφόρων μηχανικών εργαλείων και διαδικασιών σε όλη την διαδικασία είναι

ζωτικής σημασίας, προκειμένου να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα και την αξιοπιστία του προϊόντος.

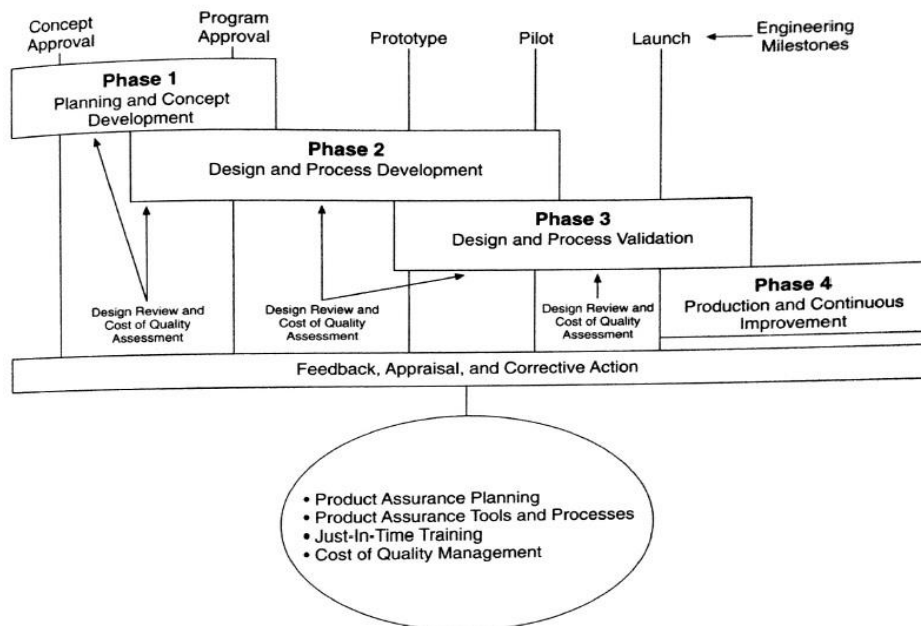
Η ταυτόχρονη μηχανική διαδικασία μπορεί επίσης να αναφέρεται ως η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων (Product Development Process - PDP). Μπορεί να οργανωθεί σε τέσσερις επικαλυπτόμενες φάσεις:

- Δημιουργία πλάνου και ανάπτυξη της ιδέας.
- Σχεδιασμός και διαδικασία ανάπτυξης.
- Σχεδιασμός και επικύρωσης της διαδικασίας.
- Παραγωγή και συνεχής βελτίωση.

Αυτές οι επικαλυπτόμενες φάσεις βοηθούν να αποδειχθεί ότι η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για τη μείωση του χρόνου ανάπτυξης του προϊόντος, την προώθηση της βελτίωσης της επικοινωνίας και της ομαδικής εργασίας. Επιπλέον, η επικάλυψη του σχεδιασμού και των φάσεων ανάπτυξης μειώνει το χρόνο ανάπτυξης, επιτρέποντας δραστηριότητες να συμβούν ταυτόχρονα σε αντίθεση με το να εκτελούνταν σε σειρά. Η επίτευξη της βελτίωσης της ποιότητας και της αξιοπιστίας έρχεται μέσα από την προσεκτική ενσωμάτωση και εφαρμογή των διαφόρων ποιοτικών και την αξιόπιστων μηχανικών εργαλείων και διαδικασιών. Η στρατηγική χρήση ειδικών εργαλείων και διαδικασιών και η ενσωμάτωσή τους στην βοήθεια της διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντων (PDP), χτίζουν ποιότητα και αξιοπιστία, ενώ μετατοπίζουν την πρόληψη της βλάβης κατά την πρώιμη φάση του σχεδιασμού και ανάπτυξης αυτών.

Η διασφάλιση της οργάνωσης του προϊόντος είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την κοινότητα εφαρμοσμένης μηχανικής, ειδικά όταν πρόκειται να εντοπίσουμε το πότε και τι είδους ποιότητας και αξιοπιστίας μηχανικό εργαλείο θα ενσωματώσουμε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης των προϊόντων. Η διοίκηση διασφάλισης του προϊόντος και η διοίκηση των μηχανικών πρέπει να λειτουργούν ως ένας οργανισμός ώστε να διαβεβαιωθεί ότι κάθε μία από τις δραστηριότητες των μηχανικών κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του προϊόντος, εφαρμόζονται και αναφέρονται. Ο στόχος του σχεδιασμού διασφάλισης του

προϊόντος (Product Assurance Planning - PAP) είναι να ενσωματώσει σωστά αυτή τη διαδικασία στην ανάπτυξη των προϊόντων (PDP).



Εικόνα 1.1.1. Διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων και σημαντικά ορόσημα. (Bieda, 1961)

Ο σχεδιασμός διασφάλισης του προϊόντος είναι μια ενιαία προσέγγιση για την ενσωμάτωση των περιοχών της ποιότητας, της αξιοπιστίας και της συντήρησης στη διαδικασία ανάπτυξης του προϊόντος. Μέσω του σχεδιασμού διασφάλισης του προϊόντος, οι απαιτήσεις για ποιότητα, αξιοπιστία και ικανοποίηση των πελατών, πραγματοποιούνται. Αποτελεί σημαντική δραστηριότητα, για να βοηθηθεί η ταυτότητα του "δομικού στοιχείου" της ποιότητας και της αξιοπιστίας και να βελτιώσει το σχεδιασμό και την κατασκευή του προϊόντος. Ο σχεδιασμός διασφάλισης του προϊόντος είναι μια στρατηγική πρόληψης προσανατολισμένη με συνέπεια σε όλη τη διαδικασία ανάπτυξης του, στη διευκόλυνση του σχεδιασμού και της κατασκευής του, που ανταποκρίνεται και υπερβαίνει τις προσδοκίες του πελάτη. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει άτομα από διάφορα μέρη της οργάνωσης της εταιρείας όπως, τους μηχανικούς σχεδίασης και παραγωγής, τον ποιοτικό έλεγχο, τις πωλήσεις, το μάρκετινγκ, τους προμηθευτές, και άλλα τμήματα.

Ο πετυχημένος σχεδιασμός διασφάλισης του προϊόντος εξαρτάται από τη δέσμευση των ανώτερων διευθυντικών στελεχών στη διαδικασία διασφάλισης του και την προσπάθεια που απαιτείται για να επιτευχθεί η ικανοποίηση του πελάτη. Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ανάπτυξης του προϊόντος, για να πετύχει την ικανοποίηση του πελάτη δεν μπορεί να επιτευχθεί μέχρι στελέχη της να έχουν προηγουμένως δεσμευτεί για τον σχεδιασμό διασφάλισης του προϊόντος. Αυτή η δέσμευση στη συνέχεια πρέπει να μεταφερθεί προς τα κάτω τμήματα της οργάνωσης, προκειμένου οποιαδήποτε επίπτωση στο προϊόν να είναι αποτελεσματική.

Υπάρχουν τρία επίπεδα στον σχεδιασμό διασφάλισης του προϊόντος. Το πρώτο σε επίπεδο συστήματος, που περιλαμβάνει τον κορυφαίο σχεδιασμό ενός συγκεκριμένου κατασκευαστή. Το δεύτερο, ένα επίπεδο υποσυστήματος που περιλαμβάνει μια κύρια μονάδα του συστήματος που πρόκειται να κατασκευαστεί. Το τρίτο είναι το συστατικό επίπεδο, που διαχειρίζεται τα βασικά στοιχεία που περιλαμβάνει ένα υποσύστημα του προϊόντος που πρόκειται να κατασκευαστεί. Και τα τρία επίπεδα προσδίδουν παρόμοια ποιότητα και αξιοπιστία των δραστηριοτήτων σε όλη τη διαδικασία ανάπτυξης του προϊόντος.” (Bieda, 1961)

Παρακάτω θα αναφερθώ πιο αναλυτικά στις έξι φάσεις της διαδικασίας ανάπτυξης των προϊόντων.

1.1.1 Προγραμματισμός έργων ανάπτυξης προϊόντων

Η διαδικασία προγραμματισμού προϊόντων προηγείται της έγκρισης του έργου και της διαδικασίας ανάπτυξης. Ο προγραμματισμός λαμβάνει χώρα πριν καταβληθούν οι πόροι και συγκροτηθεί απόλυτα η ομάδα ανάπτυξης του έργου. “Είναι μία δραστηριότητα που λαμβάνει υπόψιν το χαρτοφυλάκιο (portfolio) των εν δυνάμει επιδιωκόμενων έργων κάποιου οργανισμού και καθορίζει ποιο υποσύνολο αυτών των έργων πρόκειται να επιδιωχθεί και εντός ποιου χρονικού διαστήματος. Η δραστηριότητα προγραμματισμού προϊόντων εξασφαλίζει ότι τα έργα ανάπτυξης

προϊόντων θα στηρίξουν την ευρύτερη επιχειρηματική στρατηγική της εταιρίας και απαντά στα ακόλουθα ερωτήματα:

- Ποια έργα ανάπτυξης προϊόντων θα αναληφθούν;
- Ποιο μείγμα θεμελιωδών καινούργιων προϊόντων, πλατφόρμων, και παραγώγων προϊόντων θα πρέπει να επιδιωχθεί;
- Πως σχετίζονται τα διάφορα σχέδια μεταξύ τους ως χαρτοφυλάκιο; Ποιος θα είναι ο χρονισμός και η αλληλουχία των έργων;

Εν συνεχεία, κάθε επιλεγθέν έργο ολοκληρώνεται από κάποια ομάδα ανάπτυξης προϊόντος. Η ομάδα πρέπει να γνωρίζει την αποστολή της πριν να ξεκινήσει την ανάπτυξη. Οι απαντήσεις για αυτά τα κρίσιμα ερωτήματα συντάσσονται σε μια δήλωση αποστολής (mission statement) για την ομάδα ανάπτυξης:

- Ποια τμήματα της αγοράς θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τη σχεδίαση του προϊόντος και την ανάπτυξη των γνωρισμάτων του;
- Ποιες νέες τεχνολογίες (αν υπάρχουν) θα πρέπει να ενσωματωθούν στο νέο προϊόν;
- Ποιοι είναι οι στόχοι και οι περιορισμοί της παραγωγής και της εξυπηρέτησης πελατών;
- Ποιοι είναι οι χρηματοοικονομικοί στόχοι του έργου;
- Ποια είναι τα οικονομικά και χρονικά πλαίσια του έργου;

Ο προγραμματισμός προϊόντων εντοπίζει το χαρτοφυλάκιο των προϊόντων που πρόκειται να αναπτυχθούν από τον οργανισμό και τον χρονισμό της εισαγωγής τους στην αγορά. Η διαδικασία προγραμματισμού λαμβάνει υπόψιν ευκαιρίες ανάπτυξης που ανακαλύπτονται από πλειάδα πηγών, όπως προτάσεις από το μάρκετινγκ, την έρευνα, τους πελάτες, τις τρέχουσες ομάδες ανάπτυξης προϊόντων και την βαθμολόγηση επιδόσεων των ανταγωνιστικών προϊόντων. Από αυτές τις ευκαιρίες επιλέγεται ένα χαρτοφυλάκιο έργων, περιγράφεται λεπτομερώς η χρονική διάρκεια των έργων και καταμερίζονται οι πόροι.” (Ulrich, Eppinger, 2008)

Για να καταλήξουμε στη δήλωση αποστολής για την ομάδα του έργου, προτείνεται να ακολουθηθεί μια διαδικασία βημάτων. Αρχικά **αναγνωρίζουμε τις ευκαιρίες** για ένα νέο προϊόν στην αγορά που συνήθως συσχετίζεται με την αναγνώριση των αναγκών των πελατών. Στη συνέχεια **αξιολογούμε και ταξινομούμε τα έργα κατά προτεραιότητα**, επιλέγοντας τα πιο υποσχόμενα, βασιζόμενοι σε τέσσερις προοπτικές. Στην ανταγωνιστική στρατηγική, την κατάτμηση της αγοράς, τις τεχνολογικές τροχιές και τις πλατφόρμες προϊόντων. Μέσα από αυτές τις προοπτικές αξιολογούμε τα έργα και τα ταξινομούμε. Τρίτο βήμα στον προγραμματισμό είναι ο **καταμερισμός των πόρων και ο υπολογισμός της χρονικής διάρκειας των έργων**. Επιλέγεται σε ποια έργα θα επενδυθούν οι οικονομικοί πόροι και υπολογίζεται ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου μέχρι να λανσαριστεί το προϊόν στην αγορά. Επόμενο βήμα, είναι η **ολοκλήρωση του προ του έργου προγραμματισμού** που γίνεται πριν την έναρξη του έργου, όπου συνήθως το αναλαμβάνει μια διαλειτουργική ομάδα ατόμων της εταιρείας. Έτσι καταλήγουμε στη δήλωση αποστολής η οποία περιλαμβάνει τη σύντομη περιγραφή του προϊόντος, τους κύριους επιχειρηματικούς στόχους του έργου, τη στοχευόμενη αγορά, τις παραδοχές και τους περιορισμούς που οδηγούν στην προσπάθεια ανάπτυξης και τα εμπλεκόμενα μέρη στο έργο δηλαδή όσους επηρεάζονται από την επιτυχία ή αποτυχία του προϊόντος (stakeholders). Τελευταίο βήμα είναι **να επανεξετασθούν τα αποτελέσματα της διαδικασίας** ώστε να προσδιοριστεί η ποιότητα τόσο της διαδικασίας, όσο και των αποτελεσμάτων της.

MISSION STATEMENT

Safety playground for urban use

Product Description	▪ Interlocking playground flooring
Key Business	▪ Child care market
Primary Market	▪ Children of all ages focusing on preschool aged
Secondary Market	▪ Adults of all ages focusing on indoor / outdoor activities
Assumptions	▪ Recycled raw material ▪ Local production ▪ Low-tech manufacturing
Stakeholders	▪ Users (Parents, Senior adults) ▪ Retailers (Toys stores, Athletic stores) ▪ Raw material (Feedstock) ▪ Production line
Avenues For Creative Design	▪ Long life ▪ Eco-Friendly ▪ Antishock technology
Scope Limitations	▪ Materials

Πίνακας 1.1.2. Παράδειγμα δήλωσης αποστολής παιδικού δαπέδου ασφαλείας.

1.1.2 Ανάπτυξη ιδεών προϊόντος

Αυτό το βήμα αποτελείται από τη δημιουργία της ιδέας, την επιλογή της και μετέπειτα τη δοκιμή της.

Η ιδέα προϊόντος αποτελεί την περιγραφή της τεχνολογίας, τη μορφή κάποιου προϊόντος και των αρχών λειτουργίας του, κατά προσέγγιση. Είναι η συνοπτική περιγραφή της εκπλήρωσης των αναγκών των πελατών. Μπορεί να συνοδεύεται από κάποιο σχέδιο ή από ένα κείμενο περιγραφής. Είναι σημαντικό στάδιο καθώς μια αρχική ποιοτική σύλληψη μπορεί να επιτύχει εμπορική επιτυχία.

Και σε αυτή τη διαδικασία προτείνεται να ακολουθηθούν κάποια συγκεκριμένα βήματα ώστε το περίπλοκο πρόβλημα, να απλουστευτεί σε επί μέρους προβλήματα. Αρχικά **αποσαφηνίζουμε το πρόβλημα**, δηλαδή την αρχική αντίληψη και αποσυνθέτουμε τα σύνθετα ζητήματα σε πιο απλά μέρη. Η αποσαφήνιση γίνεται κατά αλληλουχία των ενεργειών του χρήστη και κατά των κύριων αναγκών των πελατών. Στο τέλος της αποσύνθεσης του προβλήματος η ομάδα έργου επιλέγει αυτά που είναι πιο κρίσιμα για την επιτυχία του προϊόντος. Στη συνέχεια πραγματοποιούμε μια **εξωτερική αναζήτηση** δηλαδή συνεντεύξεις με κορυφαίους

χρήστες του προϊόντος, συμβουλευόμαστε ειδικούς, αναζητούμε ευρεσιτεχνίες και ερευνούμε τη βιβλιογραφία για πιθανές υπαρκτές λύσεις. Τρίτο βήμα είναι η **εσωτερική αναζήτηση** όπου αφορά στην αξιοποίηση της ομαδικής γνώσης και της δημιουργικότητας για τη δημιουργία καινοτόμων ιδεών. Τέλος, διερευνούμε συστηματικά τα προηγούμενα αποτελέσματα και στοχεύουμε στη σωστή οργάνωση και σύνθεση των επιμέρους λύσεων.

Κατά την επιλογή μιας ιδέας αρχικά ετοιμάζουμε τον **πίνακα επιλογής** εισάγοντας τις ιδέες και κάποια κριτήρια. Στην πορεία **αξιολογούμε τις ιδέες** χρησιμοποιώντας τα σύμβολα (+), (-), (0), στα κελιά του πίνακα, θέλοντας να κρίνουμε αν κάποια ιδέα είναι καλύτερη ή χειρότερη. Μετά **κατατάσσουμε τις ιδέες** ανάλογα με τα αποτελέσματα που είχαμε από την αξιολόγηση των ιδεών σε καλύτερα, χειρότερα ή ίδιας αξιολόγησης. Έχοντας αξιολογήσει και κατατάξει τις ιδέες επιβεβαιώνουμε αν τα αποτελέσματα έχουν νόημα και αν υπάρχουν **τρόποι συνδυασμού και βελτίωσης των ιδεών**. Από τις βελτιωμένες ιδέες επιλέγονται οι καλύτερες και ετοιμάζεται ένας νέος πίνακας επιλογής όπου πάλι θα βαθμολογηθούν μεταξύ τους με έναν άλλο τρόπο βαθμολόγησης π.χ. με αριθμούς. Πριν συμβεί αυτό πρέπει να **επανεξετασθούν τα αποτελέσματα της προηγούμενης διαδικασίας**. Ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία με την παραπάνω και για τον δεύτερο πίνακα επιλογής και στο τέλος καταλήγουμε σε μια ιδέα όπου επιλέγεται για να προχωρήσει η διαδικασία ανάπτυξης.

Κατά τη δοκιμή της επιλεγμένης ιδέας, προσδιορίζεται ο **σκοπός της δοκιμής της ιδέας** που προσεγγίζεται μέσα από κάποια ερωτήματα όπως το ποιες εναλλακτικές ιδέες υπάρχουν, πόσο θα μπορούσε να βελτιωθεί κάποια ιδέα, πόσες μονάδες του προϊόντος μπορεί να πουληθούν και αν πρέπει να συνεχιστεί η προσπάθεια ανάπτυξης. Στη συνέχεια εξετάζεται αν **η επιλογή του δείγματος του πληθυσμού έρευνας** που θα δοκιμαστεί, αντιπροσωπεύει τη στοχευόμενη αγορά του προϊόντος. Μετέπειτα γίνεται η **επιλογή μεθόδου της έρευνας** που μπορεί να είναι η προσωπική επαφή, η τηλεφωνική συνέντευξη, η ταχυδρομική αλληλογραφία, η ηλεκτρονική αλληλογραφία ή το διαδίκτυο.

Ένα σημαντικό κομμάτι είναι η **μετάδοση της ιδέας** στην έρευνα που θα πραγματοποιηθεί. Οι πιθανοί τρόποι μετάδοσης είναι η λεκτική περιγραφή, τα σκίτσα, οι φωτογραφίες και οι ρεαλιστικές απεικονίσεις (renderings), η εξιστόρηση

σε εικόνες (storyboard), τα βίντεο, η προσομοίωση, τα πολυμέσα αλληλεπίδρασης (interactive), τα φυσικά μοντέλα και τα λειτουργικά πρωτότυπα. Ένα σημαντικό ζήτημα σε αυτό το βήμα είναι το κατά πόσο είναι σωστό να συμπεριληφθεί στην έρευνα, η τιμή του προϊόντος καθώς αυτή επηρεάζει σημαντικά την ανταπόκριση του κοινού. Η **μέτρηση ανταπόκρισης του πελάτη** μέσω της έρευνας είναι το επόμενο βήμα και ακολουθεί η **ερμηνεία των αποτελεσμάτων**. Τέλος, επανεξετάζονται τα αποτελέσματα και οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν και αξιολογείται αν μεταφέρθηκε σωστά η ιδέα και ποιες ήταν οι αντιδράσεις των πελατών, κάτι που βοηθάει τη μελλοντική ανάπτυξη ιδεών παρόμοιων προϊόντων.

1.1.3 Σχεδιασμός σε επίπεδο συστήματος

Ως αρχιτεκτονική προϊόντων ορίζεται η ανάθεση των λειτουργικών στοιχείων του προϊόντος σε φυσικές δομικές ενότητες. “Ο προσδιορισμός των φυσικών δομικών ενότητων του προϊόντος βάσει του τι κάνουν και πως αλληλοεπιδρούν με τα άλλα τμήματα της συσκευής είναι ο σκοπός της αρχιτεκτονικής σύνθεσης.

Τα λειτουργικά στοιχεία (functional elements) κάποιου προϊόντος είναι οι μεμονωμένες λειτουργίες και μετασχηματισμοί που συμβάλλουν στη συνολική επίδοσή του. Τα υλικά στοιχεία (physical elements) των προϊόντων είναι τα εξαρτήματα, τα ανταλλακτικά και οι υπό-συναρμολογήσεις που τελικώς επιτελούν τις λειτουργίες τους. Τα φυσικά στοιχεία των προϊόντων κατά κανόνα οργανώνονται σε πολυάριθμα μείζονα φυσικά δομικά στοιχεία, τις λεγόμενες λειτουργικές ενότητες (clusters). Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι αρχιτεκτονικών που αναφέρονται παρακάτω:

Η modular αρχιτεκτονική έχει τις ιδιότητες, ότι οι λειτουργικές ενότητες εκτελούν μία ή δύο το πολύ λειτουργίες και ότι οι μεταξύ τους αλληλοεπιδράσεις είναι καθορισμένες και εν γένει θεμελιώδεις για τις πρωτεύουσες λειτουργίες του προϊόντος. Σε αυτή την αρχιτεκτονική η ομάδα στην οποία έχει ανατεθεί ο σχεδιασμός ενός τμήματος, ασχολείται με γνωστές και σχετικά ολιγάριθμες, αλληλεξαρτώμενες λειτουργίες μεταξύ άλλων λειτουργικών ενότητων. Σε αυτή την

περίπτωση οι προσεγγίσεις χρειάζονται πολύ προσεχτικό σχεδιασμό κατά τη διάρκεια της φάσης του σχεδιασμού σε επίπεδο συστημάτων.

Στην integral αρχιτεκτονική τα λειτουργικά στοιχεία του προϊόντος συνδέονται με περισσότερες λειτουργικές ενότητες και μια μεμονωμένη λειτουργική ενότητα χρησιμοποιεί πληθώρα λειτουργικών στοιχείων. Ο λεπτομερής σχεδιασμός θα χρειαστεί στενό συντονισμό μεταξύ πολλών ομάδων. Μπορεί να χρειάζεται λιγότερο προγραμματισμό και προδιαγραφές κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού σε επίπεδο συστημάτων, αλλά μια τέτοια αρχιτεκτονική απαιτεί επίλυση αντιθέσεων και συντονισμό κατά τη διάρκεια της φάσης του λεπτομερούς σχεδιασμού.” (Ulrich, Eppinger, 2008)

Κλείνοντας τον σχεδιασμό σε επίπεδο συστήματος, έχουμε σαν αποτέλεσμα την περιγραφή όλων των υποσυστημάτων του προϊόντος και τη γεωμετρική του μορφή.

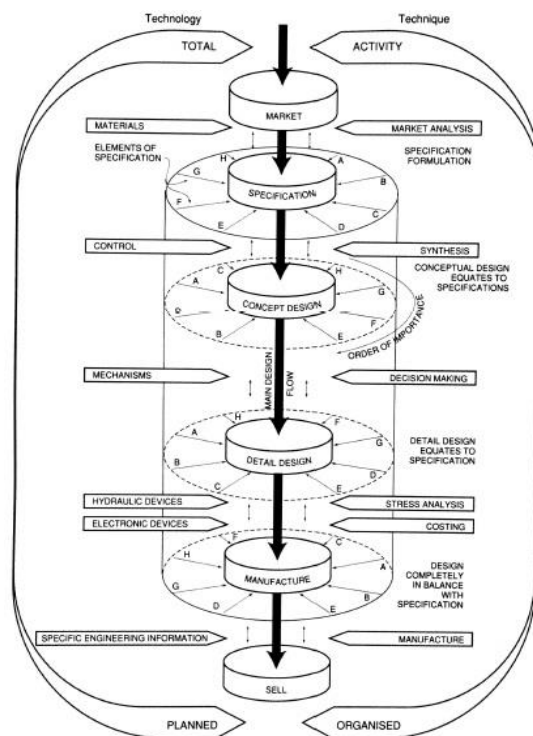
1.1.4 Λεπτομερής σχεδιασμός

Στο στάδιο του λεπτομερούς σχεδιασμού, δημιουργούνται τα κατασκευαστικά σχέδια όλων των υποσυνόλων και εξαρτημάτων που αποτελούν το αντικείμενο σχεδιασμού. Κάθε στοιχείο πρέπει να καθοριστεί με όρους μορφής, τρόπου κατασκευής, υλικού, τρόπου και ακρίβεια κατεργασίας. “Η σχεδιομελέτη, περιλαμβάνει τον ακριβή προσδιορισμό της μορφής του προϊόντος, τη μελέτη, την ανάπτυξη και την τεκμηρίωσή του. Ολοκληρώνεται σε δύο κύκλους, οι οποίοι όμως δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους και οι οποίοι είναι και η σύνθεση και η ανάλυση. Στη σύνθεση γίνεται η μοντελοποίηση και προσομοίωση του προϊόντος. Γίνεται η πλήρης γεωμετρική αναπαράσταση, δημιουργείται στον υπολογιστή η μορφή του κάθε εξαρτήματος, και όλης της συναρμολόγησης και γίνεται προσομοίωση των συνθηκών λειτουργίας. Αυτό γίνεται κυρίως με τα συστήματα CAD.

Στην ανάλυση υλοποιείται η προσομοίωση της συμπεριφοράς του προϊόντος, όπου χρησιμοποιούνται μοντέλα προσομοίωσης, τόσο υπολογιστικά όσο και πρωτότυπα. Αυτό γίνεται κυρίως με τα συστήματα CAE. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της μελέτης και στην τροποποίηση της

μορφής του προϊόντος. Τέλος γίνεται η τεκμηρίωση της μελέτης με σχέδια, έντυπα και μοντέλα και η διαδικασία καταμερισμού του στα αρμόδια άτομα.” (Μπιλάλης, Μαραβελάκης, 2009). Αυτό το στάδιο είναι αρκετά σημαντικό γιατί κατά ένα μεγάλο μέρος, το κόστος του προϊόντος, διαμορφώνεται σε αυτή τη διαδικασία όταν γνωρίζουμε με απόλυτη λεπτομέρεια όλα τα μεμονωμένα κομμάτια και τις απαραίτητες συνδεσμολογίες του προϊόντος. Άρα μπορεί να γίνει πιο λεπτομερής υπολογισμός στα κόστη υλικών και εξαρτημάτων.

Μια εκτίμηση που αναφέρεται στο βιβλίο του Stuart Pugh “Creating innovative products using total design, είναι ότι δεν υπάρχουν σαφή όρια μεταξύ του πρωταρχικού σχεδιασμού και της λεπτομερούς σχεδίασης. Τα δύο στάδια υπεισέρχονται το ένα στο άλλο καθώς η αρχική ιδέα μορφοποιείται προσθέτοντας τεχνικές λεπτομέρειες. Πρόκειται για μια εργασία απαιτητική και χρονοβόρα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι ενώ μια ατελής ιδέα δεν μπορεί να βελτιωθεί από τη σωστή σχεδίαση, αντιθέτως μια πολύ καλή ιδέα μπορεί να καταστραφεί από ένα ελλιπές σχέδιο.



Εικόνα 1.1.2. Μοντέλο διαδικασίας ολικού σχεδιασμού. (Pugh, 1996)

1.1.5 Δοκιμές και βελτίωση

Στο στάδιο των δοκιμών και της βελτίωσης περιλαμβάνεται η κατασκευή και η αξιολόγηση πολλαπλών εκδοχών του προϊόντος πριν την παραγωγή του. Υπάρχουν πολλές διαδικασίες που μπορούν να μετατρέψουν την τελική ιδέα σε πρωτότυπο. Τα υλικά είναι συνήθως πλαστικά ή άλλα που είναι χρήσιμα για να δοκιμαστούν συνδεσμολογίες, η αισθητική και η αίσθηση της αφής. “Κατασκευάζονται αρχικά πρωτότυπα (τύπου «άλφα»), που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των διάφορων λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, μαζί συνήθως με εξαρτήματα προβλεπόμενα για την παραγωγή (production-intent parts). Τα εξαρτήματα αυτά έχουν την ίδια γεωμετρία και ιδιότητες υλικών με εκείνα που προβλέπονται να κατασκευαστούν αλλά δεν κατασκευάζονται απαραίτητα με τις πραγματικές διεργασίες της παραγωγικής διαδικασίας που θα χρησιμοποιηθεί. Τα πρωτότυπα τύπου «άλφα» δοκιμάζονται προκειμένου να προσδιοριστούν κατά πόσο το προϊόν θα λειτουργεί σύμφωνα με την σχεδιάσή του και θα ικανοποιεί τις κρίσιμες ανάγκες των πελατών. Μεταγενέστερα πρωτότυπα (τύπου «βήτα») κατασκευάζονται συνήθως από εξαρτήματα προερχόμενα από τις προβλεπόμενες διαδικασίες παραγωγής χωρίς, ενδεχομένως, να συναρμολογούνται με την προβλεπόμενη τελική διαδικασία συναρμολόγησης. Τα πρωτότυπα βήτα αξιολογούν τη λειτουργική αξιοπιστία του προϊόντος, αξιολογούνται, σε έκταση, εσωτερικά (του οργανισμού) και δοκιμάζονται επίσης, κατά κανόνα, από τους πελάτες στο δικό τους περιβάλλον χρήσης. Ο στόχος χρήσης των πρωτοτύπων βήτα αποτελεί συνήθως η άντληση απαντήσεων σε ερωτήματα που αφορούν θέματα απόδοσης και αξιοπιστίας, προκειμένου να προσδιοριστούν οι απαραίτητες αλλαγές στη μηχανική του τελικού προϊόντος.” (Ulrich, Eppinger, 2008)

Στη φάση των δοκιμών και της βελτίωσης, ενσωματώνοντας τα περισσότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά, γίνεται η πλήρης αξιολόγηση των λειτουργιών του προϊόντος με αποτέλεσμα να αξιολογείται απόλυτα αν επετεύχθη η αρχική σύλληψη της ιδέας και να βελτιώνεται σε σημείο που μπορεί να μην είχε αρχικά υπολογιστεί. Είναι το τελευταίο στάδιο πριν προχωρήσουμε στην παραγωγή και τα συμπεράσματα

που θα βγουν και οι αλλαγές που θα γίνουν, είναι προς όφελος του οικονομικού προγραμματισμού του όλου έργου.

1.1.6 Προετοιμασία παραγωγής

“Στη φάση της προετοιμασίας για την παραγωγή, το προϊόν κατασκευάζεται με το προβλεπόμενο σύστημα παραγωγής. Ο στόχος της προετοιμασίας είναι η εκπαίδευση του εργατικού δυναμικού και η επίλυση τυχόν υπολειπόμενων προβλημάτων στην παραγωγική διαδικασία. Τα προϊόντα που κατασκευάζονται κατά τη φάση αυτή διατίθενται, μερικές φορές, σε ειδικούς πελάτες όπου και αξιολογούνται προσεκτικά για τον εντοπισμό τυχόν παραμενουσών ατελειών. Η μετάβαση από την προετοιμασία στην συνεχή παραγωγή γίνεται συνήθως σταδιακά. Σε κάποιο σημείο της μετάβασης αυτής, το προϊόν λανσάρεται (launch) και είναι διαθέσιμο για την ευρύτερη διανομή του.” (Ulrich, Eppinger, 2008)

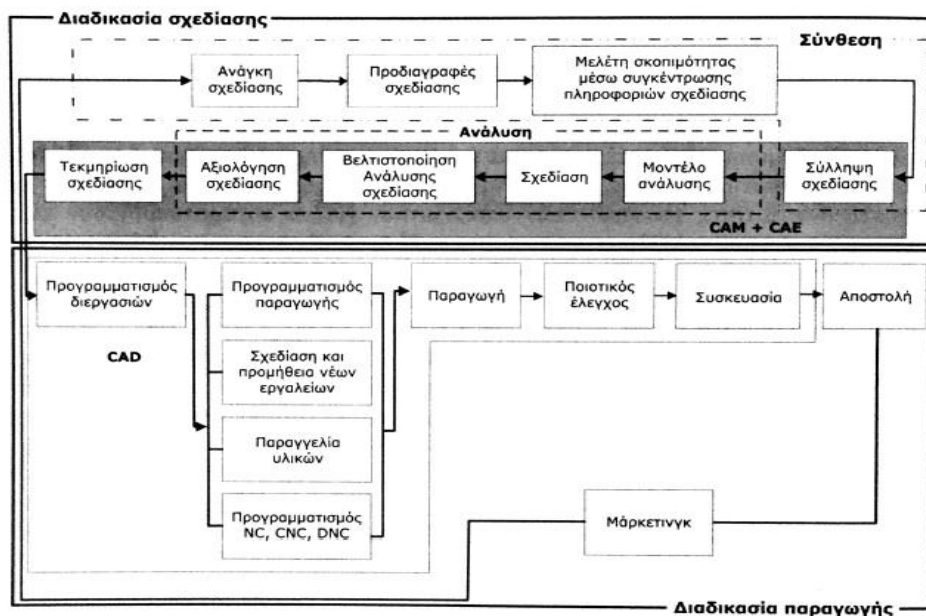
1.2 Κύκλος ανάπτυξης προϊόντων

Παρακάτω αναλύεται ο κύκλος ανάπτυξης των προϊόντων, όπως παρουσιάζεται στο βιβλίο του Kunwoo Lee για τις βασικές αρχές των συστημάτων CAD/CAM/CAE. Τα βήματα που περιγράφονται, έρχονται σε πλήρη αντιστοιχία με αυτά που αναλύθηκαν στο παραπάνω κεφάλαιο, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στο κομμάτι του σχεδιασμού και τη βοήθεια που προσφέρουν τα υπολογιστικά συστήματα.

“Οι σύγχρονες βιομηχανίες δεν μπορούν να επιβιώσουν μέσα στις συνθήκες του διεθνούς ανταγωνισμού, παρά μόνον εισάγοντας στην αγορά νέα προϊόντα καλύτερης ποιότητας (quality, Q), χαμηλότερου κόστους (cost, C), και με μικρότερο χρόνο παράδοσης (delivery, D). Σύμφωνα με αυτές τις απαιτήσεις, προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν την τεράστια χωρητικότητα μνήμης, τη μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας, και τις φιλικές προς το χρήστη δυνατότητες γραφικών των υπολογιστών για να αυτοματοποιήσουν και να συνδυάσουν τις, κατά τα άλλα,

κοπιαστικές και ξεχωριστές εργασίες μελέτης και παραγωγής, μειώνοντας έτσι το χρόνο και το κόστος της ανάπτυξης και της παραγωγής των προϊόντων. Η σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (computer-aided design – CAD), η βιομηχανική παραγωγή με τη βοήθεια υπολογιστή (computer-aided manufacturing – CAM) και η τεχνική μελέτη με τη βοήθεια υπολογιστή (computer-aided engineering – CAE) είναι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτόν κατά τον κύκλο του προϊόντος. Επομένως, για να καταλάβουμε το ρόλο των τεχνολογιών CAD, CAM, και CAE, πρέπει να εξετάσουμε τις διάφορες δραστηριότητες και λειτουργίες που πρέπει να ολοκληρωθούν κατά τη σχεδίαση και την παραγωγή ενός προϊόντος. Αυτές οι δραστηριότητες και λειτουργίες είναι γνωστές με το όνομα **κύκλος προϊόντος (product cycle)**. Ο κύκλος προϊόντος που περιέγραψε ο Zeid το 1991 παρουσιάζεται με μικρές τροποποιήσεις στην εικόνα 1.2.1.

Ο κύκλος προϊόντος απαρτίζεται από δύο κύριες διαδικασίες: τη **διαδικασία σχεδίασης (design process)** και τη **διαδικασία (βιομηχανικής) παραγωγής (manufacturing process)**. Η διαδικασία σχεδίασης ξεκινάει από τις απαιτήσεις του πελάτη οι οποίες καταγράφονται από το προσωπικό του τμήματος μάρκετινγκ, και καταλήγει σε μια πλήρη περιγραφή του προϊόντος, συνήθως σε μορφή σχεδίου. Η διαδικασία παραγωγής ξεκινάει από τις προδιαγραφές σχεδίασης και καταλήγει στην αποστολή των πραγματικών προϊόντων.



Εικόνα 1.2.1. Κύκλος Προϊόντος (Lee, 1999)

Οι δραστηριότητες που περιλαμβάνονται στη διαδικασία σχεδίασης μπορούν να ταξινομηθούν χονδρικά σε δύο τύπους: σύνθεση και ανάλυση. Όπως δείχνει η εικόνα 1.2.1, οι πρώτες δραστηριότητες της **σχεδίασης** (όπως ο προσδιορισμός της ανάγκης της σχεδίασης, η δημιουργία των προδιαγραφών της σχεδίασης, η μελέτη σκοπιμότητας – feasibility study – μέσω της συγκέντρωσης πληροφοριών συναφών σχεδίων και η σύλληψη του σχεδίου) αποτελούν τμήμα της υποδιαδικασίας σύνθεσης. Δηλαδή, το αποτέλεσμα της υποδιαδικασίας σύνθεσης είναι ένα σχέδιο που δείχνει πώς έχει «συλλάβει» το προϊόν η ομάδα σχεδίασης, σε μια μορφή που παρουσιάζει τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων συστατικών του. Σε αυτή τη φάση του κύκλου, αναλαμβάνονται οι βασικές οικονομικές δεσμεύσεις για την υλοποίηση του προϊόντος και προσδιορίζεται η λειτουργικότητά του. Οι περισσότερες από τις πληροφορίες που παράγονται και υφίστανται χειρισμό κατά την υποδιαδικασία της σύνθεσης είναι ποιοτικές, οπότε είναι δύσκολο να αποτυπωθούν σε ένα σύστημα υπολογιστή.

Όταν ολοκληρωθεί η σύλληψη της σχεδίασης, ξεκινάει η αναλυτική υποδιαδικασία με την **ανάλυση** και τη **βελτιστοποίηση της σχεδίασης**. Πρώτα αποφασίζεται ένα **μοντέλο ανάλυσης**, επειδή η υποδιαδικασία της ανάλυσης εφαρμόζεται στο μοντέλο και όχι στο πραγματικό σχέδιο. Το μοντέλο ανάλυσης προκύπτει μέσω της εξάλειψης των περιττών λεπτομερειών από το σχέδιο, της μείωσης των διαστάσεων, και της αναγνώρισης και αξιοποίησης της συμμετρίας. Η μείωση των διαστάσεων, για παράδειγμα, σημαίνει ότι ένα λεπτό φύλλο υλικού αναπαρίσταται από μια ισοδύναμη επιφάνεια με ένα χαρακτηριστικό πάχους, ή ότι μια επιμήκης λεπτή περιοχή αναπαρίσταται με μια γραμμή η οποία διαθέτει ιδιότητες διατομής. Σώματα που παρουσιάζουν συμμετρική γεωμετρία και φόρτιση συνήθως τα αναλύουμε εξετάζοντας ένα τμήμα του μοντέλου. Για την ακρίβεια, η αφαιρετική διαδικασία κατά την ανάλυση μιας κατασκευής έχει εφαρμοστεί στα πρώτα μαθήματα μηχανικής. Πάντα σχεδιάζεται ένα σκαρίφημα της κατασκευής με απλή μορφή, πριν προχωρήσουμε στην πραγματική ανάλυση. Τυπικές αναλύσεις είναι η ανάλυση τάσεων για να εξακριβωθεί η αντοχή της σχεδίασης, ο έλεγχος της διεπιφάνειας για να εντοπιστούν συγκρούσεις μεταξύ των εξαρτημάτων καθώς αυτά

κινούνται μέσα στην κατασκευή, και η κινηματική ανάλυση για να ελεγχθεί κατά πόσο η μηχανή που θα χρησιμοποιηθεί θα παρέχει τις απαιτούμενες δυνατότητες κίνησης. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις δραστηριότητες αυτές είναι ευθέως ανάλογη και περιορίζεται απολύτως από το αναλυτικό μοντέλο που επιλέχθηκε.

Μετά από την ολοκλήρωση μιας σχεδίασης και τη βελτιστοποίηση ή τη λήψη κάποιων συμβιβαστικών αποφάσεων, ξεκινάει η **φάση αξιολόγησης της σχεδίασης** (design evaluation phase). Για το σκοπό αυτόν, μπορεί να κατασκευαστούν πρωτότυπα. Στην κατασκευή πρωτοτύπων είναι δημοφιλής η νέα τεχνολογία με το όνομα **ταχεία κατασκευή πρωτοτύπου (rapid prototyping)**. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την κατασκευή ενός πρωτοτύπου με την απόθεση στρώσεων από τη βάση προς την κορυφή. Έτσι, είναι δυνατή η κατασκευή του πρωτοτύπου απευθείας από το σχέδιο, επειδή το μόνο που χρειάζεται είναι τα δεδομένα των διαφόρων διατομών του προϊόντος. Αν η αξιολόγηση της σχεδίασης για το πρωτότυπο δείξει ότι το σχέδιο δεν είναι ικανοποιητικό, η περιγραφόμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται με ένα νέο σχέδιο.

Όταν το αποτέλεσμα της αξιολόγησης σχεδίασης είναι ικανοποιητικό, προετοιμάζεται η **τεκμηρίωση της σχεδίασης (design documentation)**. Αυτή περιλαμβάνει την ετοιμασία σχεδίων, αναφορών, και υπολογισμών κόστους υλικών. Συμβατικά, δημιουργούνται σχέδια σε χαρτί και διαβιβάζονται στο τμήμα παραγωγής.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2.1. η **διαδικασία παραγωγής** ξεκινάει με τον προγραμματισμό διεργασιών (process planning), με τη βοήθεια των σχεδίων της διαδικασίας σχεδίασης, και τελειώνει με το πραγματικό προϊόν. Ο προγραμματισμός διεργασιών είναι μια δραστηριότητα κατά την οποία καθορίζονται οι διεργασίες – και οι κατάλληλες παράμετροι των διεργασιών – που θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης, επιλέγονται οι μηχανές που θα πραγματοποιήσουν τις διάφορες διεργασίες, όπως μια διεργασία που θα μετατρέψει μια ακατέργαστη ράβδο μετάλλου, στην τελική μορφή που καθορίζει το σχέδιο. **Το αποτέλεσμα του προγραμματισμού διεργασιών είναι το πρόγραμμα παραγωγής, η παραγγελία υλικών και ο προγραμματισμός των μηχανών.** Άλλες ειδικές απαιτήσεις, όπως η σχεδίαση των ιδιοσυσκευών οδήγησης και συγκράτησης, αντιμετωπίζονται επίσης σε αυτό το στάδιο. Η σχέση του

προγραμματισμού διεργασιών με τη διαδικασία παραγωγής είναι ανάλογη με αυτή της σύνθεσης με τη διαδικασία σχεδίασης: περιλαμβάνει σημαντικό τμήμα ανθρώπινης πείρας και ποιοτικές αποφάσεις. Η περιγραφή αυτή σημαίνει ότι θα ήταν δύσκολο να ανατεθεί σε υπολογιστή ο προγραμματισμός διεργασιών. **Μετά από την ολοκλήρωση του προγραμματισμού διεργασιών, παράγεται το τελικό προϊόν και ελέγχεται αν πληροί τις απαιτήσεις ποιότητας.** Τα εξαρτήματα που περνούν τον έλεγχο ποιότητας με επιτυχία συναρμολογούνται, ελέγχεται η λειτουργικότητά τους, συσκευάζονται, δέχονται ετικέτες, και παραδίδονται στους πελάτες.” (Lee, 1999)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM/CAE

2.1 Εισαγωγή στα συστήματα

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράψαμε τον κύκλο ανάπτυξης των προϊόντων καθώς και τη σημασία του σχεδιασμού στην εν λόγω διαδικασία. Παρακάτω θα αναλυθεί τι ρόλο έχει στον κύκλο αυτόν ο υπολογιστής και θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές των τεχνολογιών CAD, CAM, και CAE. Θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στα συστήματα CAD, καθώς θα χρησιμοποιήσουμε τις λειτουργίες μόνο του CAD στο επιλεγμένο λογισμικό, για να σχεδιάσουμε τις συσκευασίες. “Ο υπολογιστής δε χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στη συνθετική φάση της διαδικασίας σχεδίασης, επειδή δεν μπορεί να χειριστεί ικανοποιητικά τις ποιοτικές πληροφορίες. Πάντως, στην υποδιαδικασία σύνθεσης, για παράδειγμα, μπορεί να συγκεντρώσει θαυμάσια τις πληροφορίες συναφών σχεδίων για τη μελέτη σκοπιμότητας, μέσω μιας εμπορικής βάσης δεδομένων, καθώς και πληροφορίες καταλόγων με τον ίδιο τρόπο.

Επίσης, δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εύκολα ένας υπολογιστής στη φάση σύλληψης του σχεδίου, επειδή ο υπολογιστής δεν είναι ακόμη ένα τόσο ισχυρό εργαλείο για διανοητικές δημιουργικές διαδικασίες. Το μηχάνημα μπορεί να συμβάλει στη φάση αυτή παράγοντας με φυσικό και αποδοτικό τρόπο διάφορες συλλήψεις του σχεδίου. Για την εργασία αυτή, μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη η δυνατότητα παραμετρικής μοντελοποίησης (parametric modelling) ή μακροπρογραμματισμού (macro programming) της παραγωγής σχεδίων με τη βοήθεια υπολογιστή (computer-aided drafting) ή της γεωμετρικής μοντελοποίησης (geometric modelling). Τα πακέτα αυτά αποτελούν τυπικά παραδείγματα λογισμικού CAD. Μπορούμε να θεωρήσουμε ένα σύστημα γεωμετρικής μοντελοποίησης ως ένα τρισδιάστατο ισοδύναμο ενός συστήματος σχεδίασης δηλαδή, είναι ένα πακέτο λογισμικού στο οποίο χειριζόμαστε ένα σχήμα σε τρεις διαστάσεις αντί για μια δισδιάστατη (επίπεδη) εικόνα.

Η υποδιαδικασία ανάλυσης της διαδικασίας σχεδίασης είναι η περιοχή όπου ο

υπολογιστής αποδεικνύει την αξία του. Για την ακρίβεια, υπάρχουν πολλά διαθέσιμα πακέτα λογισμικού για την ανάλυση τάσεων, τον έλεγχο παρεμβολών (interference control) και την κινηματική ανάλυση, μεταξύ άλλων. Αυτά τα πακέτα λογισμικού ταξινομούνται στην κατηγορία CAE. Ένα πρόβλημα με τη χρήση τους είναι η παροχή ενός μοντέλου ανάλυσης.

Δε θα ήταν καθόλου πρόβλημα αν το αναλυτικό μοντέλο προέκυπτε απευθείας από τη σύλληψη του σχεδίου. Όπως όμως εξηγήσαμε προηγουμένως, το αναλυτικό μοντέλο δεν ταυτίζεται με τη σύλληψη του σχεδίου αλλά προκύπτει μέσω της απαλοιφής των περιττών λεπτομερειών από το σχέδιο, ή μέσω της μείωσης των διαστάσεών του. Ο κατάλληλος βαθμός αφαίρεσης διαφέρει, ανάλογα με τον τύπο της ανάλυσης και την επιθυμητή ακρίβεια της λύσης. Επομένως, είναι δύσκολο να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία της αφαίρεσης, εξάλλου συχνά το αναλυτικό μοντέλο δημιουργείται ξεχωριστά. Συνήθης πρακτική είναι η δημιουργία του αφηρημένου σχήματος του σχεδίου με πλεονασμό, με τη χρήση ενός συστήματος παραγωγής σχεδίων με τη βοήθεια υπολογιστή ή ενός συστήματος γεωμετρικής μοντελοποίησης, ή κάποιες φορές με τη βοήθεια των ενσωματωμένων λειτουργιών των πακέτων ανάλυσης. Τα πακέτα ανάλυσης συνήθως απαιτούν την αναπαράσταση της εξεταζόμενης κατασκευής ως συνόλου συνδεδεμένων πλεγμάτων (δικτυωμάτων) που διαιρούν το πρόβλημα σε διαχειρίσιμα από τον υπολογιστή τμήματα. Αν το χρησιμοποιούμενο πακέτο ανάλυσης έχει τη δυνατότητα αυτόματης παραγωγής τέτοιων πλεγμάτων, το μόνο που θα χρειαστεί είναι η δημιουργία του αφηρημένου σχήματος των ορίων. Διαφορετικά, πρέπει να παραχθούν και τα πλέγματα είτε αλληλεπιδραστικά από το χρήστη είτε αυτόματα με το κατάλληλο λογισμικό. **Αυτή η δραστηριότητα της παραγωγής των πλεγμάτων ονομάζεται μοντελοποίηση πεπερασμένων στοιχείων (finite-element modelling).** Η μοντελοποίηση πεπερασμένων στοιχείων περιλαμβάνει επίσης τη δραστηριότητα καθορισμού των οριακών συνθηκών και των εξωτερικών φορτίων.

Η υποδιαδικασία της ανάλυσης μπορεί να ενσωματωθεί στο βρόχο βελτιστοποίησης ώστε να δώσει τη βέλτιστη σχεδίαση. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι για την εύρεση της βέλτιστης λύσης, και είναι διαθέσιμες πολλές διαδικασίες βελτιστοποίησης στο εμπόριο. Μπορούμε να θεωρήσουμε τις διαδικασίες βελτιστοποίησης ως ένα συστατικό του λογισμικού CAD, αλλά είναι πιο

φυσικό να χειριζόμαστε ξεχωριστά της διαδικασίες βελτιστοποίησης.

Η φάση αξιολόγησης της σχεδίασης μπορεί επίσης να διευκολυνθεί από τη χρήση του υπολογιστή. Αν θέλουμε ένα πρωτότυπο του σχεδίου για την αξιολόγηση μιας συγκεκριμένης σχεδίασης, μπορούμε να το κατασκευάσουμε με τη βοήθεια πακέτων λογισμικού τα οποία δημιουργούν αυτόματα το πρόγραμμα που καθοδηγεί τη μηχανή ταχείας κατασκευής πρωτοτύπου. Τα πακέτα αυτά κατατάσσονται στο λογισμικό CAM, το οποίο θα ορίσουμε στη συνέχεια του κεφαλαίου. Φυσικά, το σχήμα του πρωτοτύπου που θα κατασκευαστεί πρέπει να υπάρχει εκ των προτέρων σε έναν τύπο δεδομένων. Τα δεδομένα που αντιστοιχούν στο σχήμα δημιουργούνται μέσω γεωμετρικής μοντελοποίησης. Αν και το πρωτότυπο μπορεί να κατασκευαστεί πολύ εύκολα με μια μέθοδο ταχείας κατασκευής πρωτοτύπου, θα ήταν ακόμη καλύτερα αν μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα εικονικό (virtual) πρωτότυπο, που συχνά ονομάζεται **ψηφιακή μακέτα (digital mock-up)**, το οποίο παρέχει τις ίδιες πολύτιμες πληροφορίες.

Καθώς τα εργαλεία ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ψηφιακής μακέτας γίνονται αρκετά ισχυρά ώστε να δίνουν ένα αποτέλεσμα τόσο ακριβές όσο το αντίστοιχο πείραμα σε ένα πραγματικό πρωτότυπο, οι ψηφιακές μακέτες θα τείνουν να αντικαταστήσουν τα πραγματικά πρωτότυπα. Αυτή η τάση θα αυξάνεται όσο η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας (η τεχνολογία που έχει σχέση με τη δημιουργία μιας εικόνας η οποία μοιάζει με φυσικό αντικείμενο. Δίνει τη δυνατότητα στον χειριστή να αισθάνεται και να χειρίζεται την εικόνα με τον ίδιο τρόπο που θα το έκανε και με ένα φυσικό αντικείμενο.) θα μας επιτρέπει να έχουμε την ίδια αίσθηση από την ψηφιακή μακέτα όπως και από το πραγματικό πρωτότυπο. Η δραστηριότητα της κατασκευής ψηφιακών μακετών ονομάζεται **κατασκευή εικονικού πρωτοτύπου (virtual prototyping)**. Το εικονικό πρωτότυπο μπορεί να δημιουργηθεί και με ένα είδος γεωμετρικής μοντελοποίησης που είναι εξειδικευμένη για το σκοπό αυτόν.

Η τελευταία φάση της διαδικασίας σχεδίασης είναι η **τεκμηρίωση της σχεδίασης (design documentation)**. Στη φάση αυτή, η παραγωγή σχεδίων με τη βοήθεια υπολογιστή είναι ένα ισχυρό εργαλείο. Οι δυνατότητες διαχείρισης αρχείων των υπολογιστών των συστημάτων παραγωγής σχεδίων επιτρέπουν επίσης τη συστηματική αποθήκευση και ανάκτηση εγγράφων. Οι τεχνολογίες των υπολογιστών

χρησιμοποιούνται επίσης και στη διαδικασία παραγωγής. ” (Lee, 1999)

2.2 Ιστορική αναδρομή συστημάτων

“Η ανάπτυξη των συστημάτων σχεδιομελέτης και παραγωγής με χρήση Η/Υ, CAD/CAM, ξεκίνησε τη δεκαετία του '60, κυρίως από τους μεγάλους χρήστες στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροπορική βιομηχανία. Κύριος στόχος αυτών των συστημάτων ήταν η μοντελοποίηση επιφανειών ελεύθερης μορφής και στη συνέχεια η κατεργασία τους σε εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης. Οι εταιρείες εκείνη την περίοδο κρατούσαν την ανάπτυξη μυστική και η καθεμιά δούλευε ανεξάρτητα από τις άλλες. Η πιο σημαντική ανάπτυξη αυτή την περίοδο ήταν από τους Pierre Bezier (Renault), Paul de Casteljaou (Citroen), Steven Anson Coons (MIT, Ford), James Ferguson (Boeing), Carl de Boor (GM), Birkhoff (GM), Garibedian (GM), W. Gordon (GM) και R. Riesenfeld.

Το 1963, ο Ivan Sutherland στο MIT αναπτύσσει το σύστημα SKETCHPAD που αποτελεί και την πρώτη εφαρμογή CAD. Στο SKETCHPAD χρησιμοποιείται για πρώτη φορά η γραφική επικοινωνία του χρήστη με το σύστημα με πένα φωτός και οθόνη καθοδικών ακτίνων. Ήταν ένα πρωτότυπο σύστημα γραφικής επικοινωνίας του χρήστη με το σύστημα, που αποτελεί και το πιο απαραίτητο συστατικό ενός συστήματος CAD.

Όπως αναμενόταν και οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές CAD υλοποιήθηκαν στις μεγάλες εταιρείες της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροπορικής βιομηχανίας και των ηλεκτρονικών, επειδή μόνο αυτές μπορούσαν να τα υποστηρίξουν, λόγω της απαιτούμενης υπολογιστικής ισχύος. Τα πιο σημαντικά συστήματα ήταν από GM (Dr. Patrick J. Hanratty) με το DAC-1 (Design Augmented by Computer) 1964 από την Lockheed Bell GRAPHIC-1 και από τη Renault (Bezier) – UNISURF 1971 για τη σχεδίαση του αμαξώματος και των εργαλείων.

Μια από τις πρώτες εταιρείες CAD/CAM ήταν η MCS (Manufacturing and Consulting Services Inc.) το 1971 από τον Dr. P. J. Hanratty, ο οποίος δημιούργησε το σύστημα ADAM (Automated Drafting and Machining). Η εταιρεία αυτή έδωσε τον

κώδικά της και σε πολλές άλλες εταιρείες, όπως McDonnell Douglas (Unigraphics), Computervision (CADDs), Calma, Gerber, Autotrol και Control Data.

Η επέκταση των εφαρμογών συμβαδίζει με την ανάπτυξη των υπολογιστών. Η ανάπτυξη συστημάτων σχεδίασης για επιτραπέζιους υπολογιστές έδωσε την ώθηση για την πλήρη εφαρμογή τους σε όλες τις εφαρμογές. Ένας σημαντικός σταθμός ήταν η ίδρυση των αυτόνομων εταιρειών διάθεσης συστημάτων CAD, όπως είναι η IBM, Intergraph IGDS στη δεκαετία 1960 και του 1970. (Μπιλάλης, Μαραβελάκης 2009)

Οι πρώτες εφαρμογές ήταν για σχεδίαση στις 2 διαστάσεις και μετά το 1980 επεκτάθηκε και στην τρισδιάστατη απεικόνιση με την ανάπτυξη της μοντελοποίησης με επιφάνειες και στερεά που επέκτειναν πολύ το πεδίο των εφαρμογών. Κυρίως προϊόντα ήταν το 1981 το προϊόν Romulus (ShapeData) και UniSolid (Unigraphics), που βασιζόταν στο PADL-2, και η έκδοση του συστήματος μοντελοποίησης με επιφάνειες του CATIA (DASSAULT Systemes). Η Autodesk δημιουργήθηκε το 1982 από τον John Walker και εισήγαγε το σύστημα AutoCAD, που ήταν 2 διαστάσεων. Η επόμενη σημαντική εξέλιξη ήταν η έκδοση του συστήματος Pro/Engineer το 1988, που εισήγαγε και τη χρήση των μορφολογικών χαρακτηριστικών για τη μοντελοποίηση (feature based modelling methods) και την παραμετρική σχεδίαση. Σημαντικό στάδιο ήταν και η εισαγωγή των πυρήνων στερεάς μοντελοποίησης, που είναι ένα περιβάλλον διαχείρισης της γεωμετρίας και της τοπολογίας των τρισδιάστατων αντικειμένων, όπως είναι ο Parasolid (ShapeData) και ο ACIS (Spatial Technology Inc.) στο τέλος του 1980 και τις αρχές του 1990, συστήματα που προήλθαν από την εργασία του Ian Braid στο Πανεπιστήμιο του Cambridge. Η εισαγωγή τους είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη και διάθεση στην αγορά συστημάτων μεσαίας εμβέλειας (mid-range) από νέες εταιρείες, όπως το SolidWorks το 1995, το SolidEdge (Intergraph) το 1996, και IronCAD το 1998. Σήμερα, το CAD είναι κατεξοχήν κύριο εργαλείο που χρησιμοποιείται στη σχεδιομελέτη των προϊόντων.

Η μεγάλη πλειοψηφία συστημάτων CAD στηρίζεται σε σταθμούς εργασίας με λειτουργικό Windows και είναι τύπου PCs λίγα συστήματα στηρίζονται σε λειτουργικό Unix και Linux. Γενικά δεν απαιτείται ειδικός εξοπλισμός, με εξαίρεση ίσως τις κάρτες γραφικών για την OpenGL εντούτοις, για πολύπλοκα προϊόντα απαιτούνται ισχυροί σταθμοί εργασίας με πολύ μνήμη RAM. Η διεπαφή με το χρήστη στηρίζεται στον πίνακα ψηφιοποίησης και στο ποντίκι, ενώ η διαχείριση του χώρου

απαιτεί το ποντίκι του χώρου (spacemouse/SpaceBall). Η εισαγωγή των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας απαιτεί και αντίστοιχα περιφερειακά, όπως στερεοσκοπικά γυαλιά, ειδικές οθόνες, χώρο προβολής κλπ.

Με βάση την τεχνολογία των γραφικών όπως αναπτύχθηκε για τα συστήματα σχεδίασης, αναπτύχθηκαν και μια σειρά από κάθετες εφαρμογές που αυτοματοποιούν και επιταχύνουν τη διαδικασία ανάπτυξης των νέων προϊόντων, και οι οποίες καλούνται Computer Aided εργαλεία. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές είναι:

Η παραγωγή με χρήση υπολογιστή (Computer-aided manufacturing-CAM) βοηθάει τους μηχανικούς στην παραγωγή των προϊόντων ή των πρωτοτύπων. Η τεχνολογία αυτή, όπως και τα υπόλοιπα εργαλεία τύπου “Computer-Aided”, δεν απαλείφει τις ειδικευμένες γνώσεις παραγωγής και προγραμματισμού ψηφιακών εργαλειομηχανών, αλλά αντίθετα συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας και την αύξηση της ποιότητας, εισάγοντας τεχνικές επισκόπησης, προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Η ανάλυση με χρήση υπολογιστή (Computer-aided Engineering-CAE) υποστηρίζει τις εργασίες του μηχανικού, όπως ανάλυση, προσομοίωση, μελέτη κ.α. Βασίζεται σε ειδικευμένα εργαλεία λογισμικού που αντιστοιχούν σε κάθε εφαρμογή. Και αυτά δεν υποβαθμίζουν το ρόλο του μηχανικού αλλά συμβάλλουν στην αύξηση της απόδοσης του και στην ανάπτυξη της παράλληλης επεξεργασίας του προϊόντος. Η Διαχείριση Κύκλου Ζωής Προϊόντος (Product lifecycle management-PLM) αποτελεί μια ομπρέλα κάτω από την οποία ενοποιούνται όλες οι παραπάνω τεχνολογίες και ορίζεται η διαδικασία διαχείρισης όλης της ζωής του προϊόντος από τη σύλληψη, το σχεδιασμό, την παραγωγή, τη συντήρηση και την απόσυρσή του. Τα συστήματα αυτά συνεργάζονται με τα συστήματα διαχείρισης πελατών, (CRM-Customer Relationship Management), των προμηθευτών (SCM-Supply Chain Management) και το σύστημα διαχείρισης πόρων (ERP-Enterprise Resource Planning).” (Μπιλάλης, Μαραβελάκης 2009)

2.3 Ορισμός και περιγραφή του CAM

Τα συστήματα CAM είναι μια ομάδα εφαρμογών που επικοινωνούν άμεσα με τα συστήματα CAD χωρίς κάποιου είδους μετάφραση ή επεξεργασία και μαζί και τα δύο αποτελούν τα συστήματα CAD/CAM. “Η (βιομηχανική) παραγωγή με τη βοήθεια υπολογιστή (**computer-aided manufacturing CAM**) είναι η τεχνολογία που αφορά τη χρήση συστημάτων υπολογιστών για τον προγραμματισμό, τη διαχείριση, και τον έλεγχο των λειτουργιών της παραγωγής μέσω άμεσης ή έμμεσης διασύνδεσης του υπολογιστή με τους πόρους παραγωγής του εργοστασίου. Ένας από τους πιο ώριμους τομείς του CAM είναι ο αριθμητικός έλεγχος (numerical control), γνωστός με τα αρχικά NC. Πρόκειται για την τεχνική χρήσης εντολών προγράμματος για τον έλεγχο μιας εργαλειομηχανής η οποία τροχίζει, κόβει, φρεζάρει, τρυπάει, κάμπει, ή μετατρέπει ακατέργαστα υλικά σε ένα ολοκληρωμένο εξάρτημα. Ο υπολογιστής μπορεί πλέον να παραγάγει μια σημαντική ποσότητα εντολών NC, με βάση τα γεωμετρικά δεδομένα της βάσης δεδομένων του CAD και τις πρόσθετες πληροφορίες που του παρέχει ο χειριστής. Γενικότερα οι διαλογικές μονάδες ελέγχου έχουν δύο πλευρές, την προγραμματιστική πλευρά και την κατασκευαστική πλευρά. Όταν ολοκληρωθεί το διαλογικό πρόγραμμα θα μεταφερθεί αυτόματα σε κώδικες EIA/ISO που μπορεί να καταλάβει κατασκευαστική πλευρά CNC. Η εργαλειομηχανή αρχίζει την παραγωγή με το μεταφρασμένο πρόγραμμα CNC. Γίνονται ερευνητικές προσπάθειες που εστιάζονται στην ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης με το χειριστή.

Μια άλλη σημαντική λειτουργία του CAM, είναι ο προγραμματισμός ρομπότ, τα οποία μπορεί να λειτουργούν σε μια διάταξη κυψελών εργασίας (workcell), επιλέγοντας και τοποθετώντας στις κατάλληλες θέσεις εργαλεία και προς κατεργασία κομμάτια για μηχανές NC. Τα ρομπότ αυτά μπορεί να εκτελούν μεμονωμένες εργασίες όπως η συγκόλληση, η συναρμολόγηση, η μεταφορά εξοπλισμού ή εξαρτημάτων στο χώρο του εργοστασίου.

Ο προγραμματισμός των διεργασιών είναι ένας ακόμη στόχος της αυτοματοποίησης μέσω υπολογιστή, το πρόγραμμα διεργασιών (process plan) μπορεί να προσδιορίζει την αναλυτική ακολουθία των βημάτων της παραγωγής που

απαιτούνται για τη συναρμολόγηση ενός εξαρτήματος από την αρχή μέχρι το τέλος καθώς αυτό μετακινείται από σταθμό εργασίας σε σταθμό εργασίας στο χώρο του εργοστασίου. Παρόλο που ο πλήρως αυτόματος προγραμματισμός διεργασιών είναι αδύνατος, όπως είπαμε και προηγουμένως, μπορεί να παραχθεί ένα πρόγραμμα διεργασιών για ένα εξάρτημα αν υπάρχουν ήδη προγράμματα διεργασιών για παρόμοια εξαρτήματα. Για το σκοπό αυτόν, έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία ομάδων (group technology) για την οργάνωση παρόμοιων εξαρτημάτων σε μια οικογένεια. Τα εξαρτήματα ταξινομούνται ως παρόμοια αν έχουν κοινά χαρακτηριστικά παραγωγής όπως σχισμές, κοιλώματα, λοξοτομές, οπές, κ.λπ. Επομένως, για τον αυτόματο εντοπισμό της ομοιότητας μεταξύ εξαρτημάτων, η βάση δεδομένων του CAD πρέπει να περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά αυτά. Αυτή η εργασία γίνεται με τη χρήση μοντελοποίησης με βάση γνωρίσματα (feature-based modelling) ή αναγνώρισης γνωρισμάτων (feature recognition).

Επίσης, ο υπολογιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του χρόνου παραγγελίας πρώτων υλών και αγοράς εξαρτημάτων, καθώς και της ποσότητας που πρέπει να παραγγελθεί για να τηρηθεί το χρονοδιάγραμμα της παραγωγής. Η δραστηριότητα αυτή ονομάζεται **προγραμματισμός απαιτήσεων σε υλικά (material requirements planning – MRP)**. Μια άλλη πιθανή χρήση του υπολογιστή είναι η παρακολούθηση της κατάστασης των μηχανών στο χώρο του εργοστασίου και η αποστολή των κατάλληλων εντολών σε αυτές.

2.4 Ορισμός και περιγραφή του CAE

Η τεχνική μελέτη με τη βοήθεια υπολογιστή (**computer-aided engineering – CAE**) είναι μια τεχνολογία που αφορά τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την ανάλυση της γεωμετρίας του CAD, δίνοντας στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να προσομοιώσει και να μελετήσει τη συμπεριφορά του προϊόντος με στόχο την τελειοποίηση και τη βελτιστοποίηση του σχεδίου. Τα εργαλεία CAE είναι διαθέσιμα για μια μεγάλη ποικιλία τύπων ανάλυσης. Για παράδειγμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προγράμματα κινηματικής για να προσδιορίσουμε τροχιές

κινήσεων και ταχύτητες συνδέσεων με μηχανισμούς. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προγράμματα δυναμικής ανάλυσης μεγάλων μετατοπίσεων για να προσδιορίσουμε φορτία και μετατοπίσεις σε πολύπλοκους μηχανισμούς όπως τα αυτοκίνητα. Το λογισμικό λογικού χρονισμού και επαλήθευσης (logic-timing and verification) προσομοιώνει τη λειτουργία πολύπλοκων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Πιθανόν η πιο διαδεδομένη μέθοδος στην ανάλυση μέσω υπολογιστή στις τεχνικές επιστήμες είναι η **μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (finite-element method – FEM)**. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων τάσεων, παραμορφώσεων, μεταφοράς θερμότητας, κατανομής μαγνητικών πεδίων, ροής ρευστών, και άλλων προβλημάτων συνεχούς πεδίου των οποίων η λύση με άλλες μεθόδους δε θα ήταν πρακτική. Στην ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων, η κατασκευή αναπαρίσταται με ένα αναλυτικό μοντέλο που αποτελείται από αλληλοσυνδεδεμένα στοιχεία τα οποία διαιρούν το πρόβλημα σε τεμάχια που μπορεί να χειριστεί ο υπολογιστής.

Για τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων απαιτείται ένα κατάλληλο αφηρημένο μοντέλο και όχι το ίδιο το γεωμετρικό μοντέλο της σχεδίασης. Το αφηρημένο μοντέλο διαφέρει από το γεωμετρικό μοντέλο στο ότι προκύπτει με την απαλοιφή των περιττών λεπτομερειών από τη γεωμετρία της σχεδίασης, ή με τη μείωση των διαστάσεων της γεωμετρίας της σχεδίασης. Για παράδειγμα, ένα τρισδιάστατο αντικείμενο με μικρό πάχος μπορεί σε ένα αναλυτικό μοντέλο να μετατραπεί σε ένα διςδιάστατο (επίπεδο) μοντέλο κελύφους [Armstrong 1994]. Επομένως, για να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων, πρέπει να δημιουργήσουμε ένα αφηρημένο μοντέλο είτε αλληλεπιδραστικά είτε αυτόματα. Όταν αναπτυχθεί το αφηρημένο μοντέλο, παράγονται τα πεπερασμένα στοιχεία για να δώσουν το αναλυτικό μοντέλο. Τα εργαλεία λογισμικού που επιτρέπουν την κατασκευή του αφηρημένου μοντέλου και την παραγωγή των πεπερασμένων στοιχείων ονομάζονται **προεπεξεργαστές (pre-processors)**. Μετά από την ανάλυση κάθε στοιχείου, ο υπολογιστής συγκεντρώνει τα αποτελέσματα και τα εμφανίζει με οπτικό τρόπο. Για παράδειγμα, περιοχές υψηλής τάσης μπορεί να απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα. Τα εργαλεία λογισμικού που είναι υπεύθυνα για την απεικόνιση αυτή ονομάζονται **μετεπεξεργαστές (post-processors)**.

Υπάρχουν επίσης διαθέσιμα πολλά εργαλεία λογισμικού για τη

βελτιστοποίηση της σχεδίασης. Αν και τα εργαλεία βελτιστοποίησης της σχεδίασης μπορούν να θεωρηθούν εργαλεία CAE, συνήθως δεν ταξινομούνται στην κατηγορία αυτή αλλά σε δική τους. Στις προσεγγίσεις αυτές, το σχήμα της αρχικής σχεδίασης υποτίθεται ότι είναι απλό, όπως ένα ορθογωνικό σχήμα για ένα δισδιάστατο αντικείμενο το οποίο αποτελείται από μικρά στοιχεία διαφορετικών πυκνοτήτων. Στη συνέχεια, εκτελείται η διαδικασία βελτιστοποίησης για τον υπολογισμό των βέλτιστων τιμών αυτών των πυκνοτήτων ώστε να επιτυγχάνεται ένας συγκεκριμένος στόχος με παράλληλη κάλυψη των απαιτήσεων της τάσης. Ο στόχος αυτός θα έχει ως αποτέλεσμα το ελάχιστο βάρος. Με βάση τις βέλτιστες τιμές των πυκνοτήτων, το βέλτιστο σχήμα της σχεδίασης προκύπτει με την απαλοιφή των στοιχείων χαμηλής πυκνότητας.

Το καλό με την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης είναι ότι επιτρέπει στο μηχανικό να διαπιστώσει πώς θα συμπεριφερθεί το προϊόν, και του δίνει τη δυνατότητα να εντοπίζει τυχόν λάθη πριν αφιερώσει τον κόπο και το χρόνο να κατασκευάσει, και να δοκιμάσει, πραγματικά πρωτότυπα. Επειδή το κόστος των τεχνικών μελετών ανεβαίνει κατακόρυφα στα τελευταία στάδια της ανάπτυξης και της παραγωγής των προϊόντων, η σε πρώιμο στάδιο βελτιστοποίηση και τελειοποίηση που παρέχει η ανάλυση CAE αποδίδει επειδή μειώνει σε μεγάλο βαθμό το χρόνο και το κόστος ανάπτυξης των προϊόντων.

2.5 Ορισμός και περιγραφή του CAD

Η σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (**computer-aided design – CAD**) είναι η τεχνολογία που αφορά τη χρήση συστημάτων υπολογιστών για την υποβοήθηση της δημιουργίας, της τροποποίησης, και της βελτιστοποίησης της σχεδίασης [Groover και Zimmers 1984], Επομένως, οποιοδήποτε πρόγραμμα υπολογιστή το οποίο ενσωματώνει γραφικά και ένα πρόγραμμα εφαρμογής που διευκολύνει τις τεχνικές λειτουργίες στη διαδικασία σχεδίασης ταξινομείται ως λογισμικό CAD. Με άλλα λόγια, τα εργαλεία CAD μπορεί να ποικίλουν από γεωμετρικά εργαλεία χειρισμού σχημάτων στο ένα άκρο, μέχρι προσαρμοσμένα προγράμματα εφαρμογών, όπως

αυτά της ανάλυσης και της βελτιστοποίησης, στο άλλο άκρο [Zeid 1991]. Μεταξύ αυτών των δύο άκρων, στα τυπικά εργαλεία που είναι διαθέσιμα σήμερα περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, εργαλεία ανάλυσης ανοχών (tolerance analysis), υπολογισμών ιδιοτήτων μάζας (mass property calculations), και μοντελοποίησης πεπερασμένων στοιχείων και οπτικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Ο βασικότερος ρόλος ενός εργαλείου CAD είναι ο ορισμός της γεωμετρίας ενός σχεδίου – μηχανικού εξαρτήματος, αρχιτεκτονικής κατασκευής, ηλεκτρονικού κυκλώματος, διάταξης κτηρίου, κ.ο.κ. – επειδή η γεωμετρία του σχεδίου είναι ουσιώδης για όλες τις μετέπειτα δραστηριότητες στον κύκλο του προϊόντος. Για το σκοπό αυτόν, χρησιμοποιούνται τυπικά η παραγωγή σχεδίων με τη βοήθεια υπολογιστή (computer-aided drafting) και η γεωμετρική μοντελοποίηση. Αυτός είναι ο λόγος που τα συστήματα αυτά θεωρούνται λογισμικό CAD. Εκτός από αυτό, η γεωμετρία που παράγουν τα συστήματα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την εκτέλεση άλλων λειτουργιών CAE και CAM. Αυτό είναι ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του CAD επειδή μπορεί να επιφέρει μεγάλη οικονομία χρόνου και να μειώσει τα σφάλματα που προκαλούνται από την ανάγκη επαν-ορισμού της γεωμετρίας από την αρχή κάθε φορά που χρειάζεται. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα παραγωγής σχεδίων με τη βοήθεια υπολογιστή και τα συστήματα γεωμετρικής μοντελοποίησης είναι τα πιο σημαντικά συστατικά του CAD.” (Lee, 1999)

“Η γεωμετρική μοντελοποίηση που εισήχθη ως έννοια στις αρχές της δεκαετίας του '70, είναι σήμερα στενά συνδεδεμένη με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας CAD/CAM και Computergraphics.

Κάτω από τον όρο γεωμετρική μοντελοποίηση (geometric modeling ή συχνά στην αγγλοσαξονική βιβλιογραφία και computer geometry) συγκαταλέγονται εκείνες οι μέθοδοι που περιγράφουν με απόλυτη μαθηματική ακρίβεια τη μορφή και το σχήμα αντικειμένων και σωμάτων, καθώς και την προσομοίωση (simulation) δυναμικών διεργασιών. Συνήθως υπό τον όρο γεωμετρική μοντελοποίηση περιλαμβάνονται οι υπολογιστικές λειτουργίες με τις οποίες αναπαρίσταται, αποθηκεύεται και αναλύεται ένα μοντέλο, όπου ως μοντέλο νοείται η αναπαράσταση στον υπολογιστή ενός πραγματικού αντικειμένου ή μιας διεργασίας. Η ισχύς των σημερινών συστημάτων γεωμετρικής μοντελοποίησης οφείλεται στην τεχνική της σύνθεσης, η οποία επιτρέπει με απλό τρόπο την περιγραφή πολύπλοκης

γεωμετρίας μέσω του συνδυασμού απλούστερων στοιχειωδών γεωμετρικών τμημάτων.

Βασικό στοιχείο που χαρακτηρίζει και διαφοροποιεί τα συστήματα CAD μεταξύ τους είναι ο τρόπος δημιουργίας, αποθήκευσης και απεικόνισης των γεωμετρικών δεδομένων. Σημαντικό στοιχείο για το σκοπό αυτό αποτελεί ο τρόπος απεικόνισης του πραγματικού αντικειμένου στο υπολογιστικό μοντέλο του συστήματος CAD.

Η απεικόνιση του πραγματικού αντικειμένου σε ένα υπολογιστικό μοντέλο είναι μια σύνθεση μεταξύ δεδομένων, της δομής τους στο σύστημα και των χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων:

Μοντέλο = δεδομένα (data) + δομή (structure) + αλγόριθμοι

Ο σχεδιαστής κατά τη διάρκεια της κατασκευής του αντικειμένου δεν βλέπει τον τρόπο μοντελοποίησης, απλά χρησιμοποιεί τα εργαλεία του συστήματος.

Παρόλα αυτά η γνώση της θεωρίας της μοντελοποίησης είναι απαραίτητη γιατί παρέχει στο σχεδιαστή

- δυνατότητα να αποφασίσει ορθότερα ως προς το είδος των χρησιμοποιούμενων στοιχείων για την παραγωγή του μοντέλου του αντικειμένου
- δυνατότητα να ερμηνεύσει απρόσμενα αποτελέσματα
- διευκολύνει τη χρήση άλλων εφαρμογών (π.χ. CAD-FEM) που στηρίζονται στα γεωμετρικά δεδομένα του συστήματος CAD.

2.5.1 Κατηγορίες συστημάτων CAD

2.5.1.1 2D συστήματα

Η μοντελοποίηση ενός πραγματικού αντικειμένου στον υπολογιστή μπορεί να είναι δισδιάστατη ή τρισδιάστατη, ανάλογα με το είδος των απαιτήσεων που πρέπει να πληροί για το σκοπό που θα χρησιμοποιηθεί.

Εάν πρόκειται λοιπόν για απλή εκπόνηση κατασκευαστικών σχεδίων, τότε χρησιμοποιείται δισδιάστατη μοντελοποίηση, η οποία και παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για το πραγματικό αντικείμενο υπό τη μορφή όψεων και τομών.

Στην περίπτωση όμως 2-D CAD συστημάτων, δεν υπάρχει ένα ολοκληρωμένο μοντέλο που να συγκεντρώνει όλα τα δεδομένα και γενικότερα τις πληροφορίες του πραγματικού αντικειμένου. Ο σχεδιαστής πρέπει να παράγει τις απαραίτητες όψεις και τομές ανεξάρτητα, τη μία μετά την άλλη, ενώ μεταβολές σε μια όψη δεν λαμβάνονται υπόψη αυτόματα στις υπόλοιπες. Ο λόγος είναι ότι μεταξύ των όψεων και τομών δεν υπάρχει κανενός είδους συσχέτιση.

Μια πιο εξελιγμένη μορφή στην κατηγορία των δισδιάστατων συστημάτων CAD αποτελούν τα 2 ½-D συστήματα. Αυτά στηρίζονται στη βάση των 2-D συστημάτων, αλλά είναι εξοπλισμένα με μια επιπρόσθετη "ευφυΐα". Με τα συστήματα αυτά μπορούν να περιγραφούν αντικείμενα στο χώρο, των οποίων η χαρακτηριστική μορφή εκτείνεται μόνο σε ένα επίπεδο. Η Τρίτη διάσταση τους παρέχεται μέσω απλής έκτασης της επιφάνειας-οδηγού γραμμικά είτε περιστροφικά.

Στο υπολογιστικό μοντέλο του συστήματος CAD, το πραγματικό αντικείμενο περιγράφεται από επίπεδα επιφανειακά στοιχεία, όπου το κάθε επίπεδο δισδιάστατο στοιχείο έχει διευρυνθεί από ένα αρχικό ως ένα τελικό βάθος (συντεταγμένη-z). Το είδος των αντικειμένων που μπορούν να περιγραφούν με τον τρόπο αυτό είναι εκείνα που έχουν βαθμιδωτές εναλλαγές πάχους (z-άξονας), όπως πλάκες, ελάσματα κλπ.

Παρόμοιος είναι και ο τρόπος περιγραφής αξονοσυμμετρικών τεμαχίων. Στην περίπτωση αυτή η δισδιάστατη οδηγός-επιφάνεια επεκτείνεται με περιστροφή.

Τα 2 ½-D συστήματα δεν μπορούν να θεωρηθούν ότι ανήκουν στην κατηγορία των καθαρά σχεδιαστικών συστημάτων. Το σχεδιαζόμενο τεμάχιο υπάρχει στον υπολογιστή σαν μοντέλο, έστω και για το μικρό φάσμα αντικειμένων που μπορούν να κατασκευαστούν κατ' αυτό τον τρόπο.

Οι πρόσθετες πληροφορίες που εξάγονται από το μοντέλο του αντικειμένου είναι απαραίτητες για παράδειγμα για τη δημιουργία NC-προγραμμάτων για τριαξονική κατεργασία σε φρέζα. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής οποιονδήποτε όψεων και τομών από τη κύρια όψη. Οι όψεις και οι τομές προκύπτουν από την κύρια όψη, από την οποία και δημιουργείται το μοντέλο του πραγματικού αντικειμένου στο σύστημα CAD. Μια αλλαγή όμως στην κύρια όψη δεν συνεπάγεται αυτόματη αλλαγή στις υπάρχουσες όψεις και τομές, οι οποίες για το λόγο αυτό θα πρέπει να εξαχθούν εκ νέου.

Η μοντελοποίηση κατ' αυτόν τον τρόπο δεν καθιστά δυνατή την αυτόματη εκπόνηση προοπτικών σχεδίων μια και όπως αναφέρθηκε η μοντελοποίηση του αντικειμένου στο σύστημα CAD είναι δισδιάστατη. Επίσης δεν υπάρχει δυνατότητα επέμβασης για αλλαγές στις επιφάνειες που προκύπτουν από τη μεταφορά ή περιστροφή της επιφάνειας-οδηγού.

2.5.1.2 3D συστήματα

Τα συστήματα CAD που χρησιμοποιούν τρισδιάστατη μοντελοποίηση για το πραγματικό αντικείμενο που απεικονίζουν, δεν υπόκεινται στους περιορισμούς που αναφέρθηκαν για τα δισδιάστατα συστήματα. Οι σημαντικότερες ιδιότητες τους είναι:

- Το απεικονιζόμενο αντικείμενο περιγράφεται ολοκληρωμένα και η γεωμετρία του είναι ανά πάσα στιγμή επεξεργάσιμη, συνεπώς μπορούν να γίνουν οπουδήποτε προσθήκες και μεταβολές.
- Μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες για τον όγκο και γενικότερα τα μεγέθη που εξαρτώνται από αυτόν, όπως βάρος, μάζα και κέντρα βάρους.
- Από το τρισδιάστατο μοντέλο είναι δυνατό να εξαχθούν αυτόματα όλες οι επιθυμητές όψεις, τομές και φωτορεαλιστικά σχέδια.

- Οποιαδήποτε μεταβολή του σχεδιαστή στη γεωμετρία του αντικειμένου, συνεπάγεται μεταβολή του τρισδιάστατου γεωμετρικού μοντέλου και συνεπώς όλων των ιδιοτήτων (βάρος, όγκος κλπ.) καθώς και των όψεων και τομών που εξαρτώνται από αυτό.

Γενικά τα 3D CAD συστήματα χωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο μοντελοποίησης του πραγματικού αντικειμένου και του είδους των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτό σε τρία είδη:

- τα μοντέλα σύρματος
- τα μοντέλα επιφανειών και
- τα στερεά μοντέλα.

Τα **μοντέλα σύρματος (wireframe modeler)** αποτελούν την πιο απλή και αρκετά συχνή μορφή μοντελοποίησης. Τα μοντέλα αυτά αποτελούνται από σημεία, γραμμές, τόξα, κύκλους, κωνικές τομές και καμπύλες. Το είδος των δεδομένων για τον ορισμό διαφόρων τρισδιάστατων γεωμετρικών στοιχείων μπορεί να είναι μια λίστα κορυφών, ακμών και επιφανειών. Τα πλεονεκτήματα των μοντέλων σύρματος είναι ότι είναι εύκολα στη χρήση και εκμάθηση, έχουν μικρές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, χρειάζονται μικρό χρόνος εκπαίδευσης και απαιτούν τρόπο σκέψης παρόμοιο με αυτόν του σχεδιασμού με το χέρι. Τα μειονεκτήματα των μοντέλων σύρματος είναι ο μεγάλος χρόνος μοντελοποίησης και ότι επιτρέπουν την κατασκευή μοντέλων, τα οποία δεν απεικονίζουν μονοσήμαντα το πραγματικό αντικείμενο, λόγω έλλειψης της πληροφορίας για το που υπάρχει υλικό. Επιπλέον είναι αδύνατος ο υπολογισμός ιδιοτήτων για επιφάνειες και όγκους καθώς και η αυτόματη παραγωγή τομών, είναι αδύνατη η εκτέλεση τοπικών επεμβάσεων, όπως η στρογγύλευση μιας ακμής, είναι αδύνατη η δημιουργία φωτορεαλιστικών σχεδίων και επίπονη η απόκρυψη των καλυμμένων ακμών και δεν μπορεί να γίνει η αυτόματη παραγωγή πλέγματος για ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία (FEM) και η αυτόματη δημιουργία NC-προγραμμάτων για πολυαξονική κατεργασία.

Τα **μοντέλα επιφανειών (surface modeler)**, χρησιμοποιούνται γενικά για το σχεδιασμό αντικειμένων των οποίων οι εξωτερικές επιφάνειες εκτείνονται στο χώρο έχοντας μορφή που δεν είναι δυνατό να περιγραφεί αναλυτικά και περιέχουν καμπύλα τμήματα προς πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις. Τέτοιες περιπτώσεις είναι

η μοντελοποίηση των εξωτερικών τμημάτων του αμαξώματος ενός αυτοκινήτου, των πτερύγων ενός αεροπλάνου, συσκευασιών (φιάλες κλπ.), χυτών, κ.ά. Κύριος φορέας της πληροφορίας για την εσωτερική δομή της βάσης δεδομένων, σε τέτοιου είδους συστήματα CAD, είναι οι επιφάνειες του μοντέλου. Αυτές αναπαρίστανται γεωμετρικά μέσω της μαθηματικής συνάρτησης στην οποία βασίζονται. Γενικά πρόκειται για επιφάνειες, οι οποίες δεν μπορούν να περιγραφούν με τις μεθόδους της αναλυτικής γεωμετρίας, μέσω συστήματος εξισώσεων με συντελεστές, όπως στις επιφάνειες πρώτου και δεύτερου βαθμού. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μέθοδοι παρεμβολής και προσέγγισης, οι οποίες και προσεγγίζουν την καμπύλη ή επιφάνεια που περνάει από συγκεκριμένα σημεία, μέχρι την επιθυμητή ακρίβεια που έχει οριστεί. Σκοπός της προσέγγισης είναι να προσδιορίσει για μια δεδομένη καμπύλη ή επιφάνεια, μια εύχρηστη αριθμητική μέθοδο αναπαράστασης, η οποία να προσεγγίζει την πραγματική καμπύλη ή επιφάνεια με ακρίβεια που προκύπτει από τις ανάγκες σχεδιασμού. Κατά την παρεμβολή απαιτείται επιπρόσθετα η καμπύλη ή επιφάνεια προσέγγισης να διέρχεται από συγκεκριμένα σημεία, τα οποία και αποτελούν και σημεία διέλευσης της πραγματικής καμπύλης ή επιφάνειας.

Οι μέθοδοι για την προσέγγιση και παρεμβολή των καμπύλων επιφανειών ελεύθερης μορφής χρησιμοποιούν την **παραμετρική αναπαράστασή** τους, όπου οι x-y-z συντεταγμένες των επιφανειών είναι συνάρτηση των καμπυλόγραμμων συντεταγμένων u-v. Η σημαντική διαφορά μεταξύ της **αναλυτικής μαθηματικής** περιγραφής μιας επιφάνειας και των παραπάνω παραμετρικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα επιφανειών είναι ότι οι πρώτες δίνουν μια ακριβή μαθηματική περιγραφή μιας απέραντης επιφάνειας στο χώρο. Αντίθετα οι δεύτερες περιγράφονται από τις δύο καμπυλόγραμμες παραμέτρους u-v στο χώρο και είναι από τη φύση τους πεπερασμένες. Οι οριακές καμπύλες των επιφανειών ορίζονται ανάλογα με τη μαθηματική μέθοδο (Bezier, Spline, Coons κλπ.) και αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της γεωμετρικής μορφής της επιφάνειας. Έτσι μια αλλαγή σε ένα σημείο μιας οριακής καμπύλης, επιφέρει αλλαγές στη μορφή της επιφάνειας κοντά στο σημείο αυτό.

Η γεωμετρία των παραμετρικών επιφανειών ορίζεται συνήθως μέσω των σημείων-βάσης από τα οποία θα περνάει η επιφάνεια και των οριακών συνθηκών. Η ποιότητα και η ακρίβεια της επιφάνειας εξαρτάται από το πλέγμα των σημείων-

βάσης που επιλέγεται και τον αριθμό τους. Βεβαίως είναι κουραστικό και θα απαιτούσε πολύ χρόνο να δοθούν τα σημεία, βάσει των οποίων θα κατασκευαστεί η επιφάνεια ένα-ένα. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί τεχνικές αυτοματοποίησης της διαδικασίας κατασκευής των επιφανειών. Μια γενική αλλά σημαντική μέθοδος είναι η περιγραφή μιας επιφάνειας κατά μήκος μιας καμπύλης-οδηγού (spine). Η καμπύλη-οδηγός μπορεί να είναι οποιασδήποτε μορφής στο χώρο, ανοικτή ή κλειστή, στο σύστημα συντεταγμένων x-y-z. Κατά μήκος της καμπύλης αυτής, σε συγκεκριμένες αποστάσεις, ορίζονται κάθετα σε αυτήν καμπύλες Q, οι οποίες και ορίζουν τη διαμόρφωση της επιφάνειας στο χώρο. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να περιγραφούν πολύ διαφορετικές μεταξύ τους γεωμετρικές επιφανειών, μια και οι κάθετες καμπύλες Q δεν είναι απαραίτητο να παραμένουν σταθερές, ενώ μπορούν και αυτές (όπως και οι καμπύλη-οδηγός) να είναι ανοικτές ή κλειστές. Έτσι είναι δυνατό να περιγραφούν επιφάνειες εκ περιστροφής, επιφάνειες σταθερού προφίλ, επιφάνειες μετάβασης από μια μικρότερη προς μια μεγαλύτερη διατομή κλπ.

Ο τρόπος εργασίας με συστήματα CAD που βασίζονται σε μοντέλα επιφανειών, έγκειται στον τρόπο ορισμού και χειρισμού των επιφανειών ελεύθερης μορφής. Με τη βοήθεια καμπυλών στο χώρο είναι δυνατό να σχηματιστούν σύνθετες επιφάνειες. Τα πλεονεκτήματα των μοντέλων επιφανειών σε σχέση με τα μοντέλα σύρματος είναι ότι παρέχουν πιο ακριβή αναπαράσταση του πραγματικού αντικειμένου, παρέχουν τη δυνατότητα απόκρυψης κρυφών γραμμών και επιφανειών κατά την απεικόνιση, δίνουν τη δυνατότητα σκίασης των μοντέλων, παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού όγκου, φυσικών ιδιοτήτων, μπορούν να δημιουργήσουν πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων και πορείας κοπτικού εργαλείου και μπορούν να πραγματοποιηθούν τομές αντικειμένων καθώς και έλεγχος παρεμβολής άλλων αντικειμένων. Μειονεκτήματα τους είναι ότι η δημιουργία του μοντέλου είναι επίπονη και απαιτεί τη δημιουργία και διαχείριση κάποιου μοντέλου σύρματος, τα μοντέλα είναι πολύπλοκα και απαιτείται μεγάλη ισχύς επεξεργασίας, δεν ενδείκνυνται για την παραγωγή σχεδίων και απαιτούν γνώσεις μαθηματικών.

Τα **στερεά μοντέλα (solid modeler)** αποτελούν τα συστήματα με την πληρέστερη αποθηκευμένη πληροφορία για το αντικείμενο που αναπαριστούν και τους πιο πολύπλοκους εσωτερικούς αλγορίθμους. Χαρακτηριστικό των συστημάτων στερεάς μοντελοποίησης είναι η δυνατότητα αναπαράστασης τρισδιάστατων

αντικειμένων μέσω της ακριβούς περιγραφής όγκου και υλικού κατά τη μοντελοποίηση που γίνεται στον υπολογιστή. Σε τέτοιου είδους συστήματα ο κατασκευαστής έχει τη δυνατότητα δημιουργίας, αποθήκευσης, υπολογισμού και μεταβολής πλήρων και αναμφίβολα ορισμένων τρισδιάστατων μοντέλων στερεών σωμάτων.

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των συστημάτων στερεάς μοντελοποίησης είναι τρεις. Πρώτο είναι η **πληρότητα** που στην προκειμένη περίπτωση σημαίνει ότι δεν είναι δυνατό να οριστούν και να αναπαρασταθούν αντικείμενα στα οποία λείπουν επιφάνειες ή ακμές. Αντίστοιχα δεν είναι δυνατό να προστεθούν ακμές και επιφάνειες στο μοντέλο, αν δεν ανήκουν σε κάποιον όγκο. Το μοντέλο στον υπολογιστή είναι μια γνήσια απεικόνιση του πραγματικού αντικειμένου. Δεύτερο είναι η **εγκυρότητα περιγραφής**, δηλαδή είναι δυνατή η περιγραφή μόνο αντικειμένων που υπάρχουν στην πραγματικότητα, σε αντίθεση με τα μοντέλα σύρματος και επιφανειών. Ακόμα και μετά την εφαρμογή πολύπλοκων αλγορίθμων στο αντικείμενο, το αποτέλεσμα θα είναι με σιγουριά έγκυρο. Τελευταίο χαρακτηριστικό, είναι ο **αναμφίβολου τρόπος αναπαράστασης** όπου εξαιτίας της αποθήκευσης της πλήρους γεωμετρίας του αντικειμένου, είναι δυνατή η αναμφίβουλη αναπαράσταση του αντικειμένου και μέσω αλγορίθμων ο υπολογισμός οποιασδήποτε ιδιότητας αυτού.

Στα τρισδιάστατα συστήματα στερεάς μοντελοποίησης υπάρχει μια σειρά διαφορετικών μεθόδων για τη σχεδίαση αντικειμένων. Σκοπός των μεθόδων αυτών είναι η κατά το δυνατό πιο αποτελεσματική δημιουργία του πολύπλοκου μοντέλου του πραγματικού αντικειμένου στον υπολογιστή με τη μικρότερη δυνατή ανάγκη εισαγωγής στοιχείων από το σχεδιαστή. Στα 3D συστήματα στερεάς μοντελοποίησης οι πληροφορίες της βάσης δεδομένων για το αντικείμενο είναι τόσο πολλές που δεν είναι δυνατό να απαιτηθούν από τον κατασκευαστή. Για το λόγο αυτό δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας πολύπλοκων μοντέλων βήμα-βήμα με βάση τις παρακάτω μεθόδους:

- *Σχεδιασμός με στοιχειώδη σώματα*: Τα στοιχειώδη σώματα είναι σώματα προκαθορισμένης μορφής στο σύστημα CAD, με απλή γεωμετρία που μπορούν να περιγραφούν ακριβώς μέσω του καθορισμού των χαρακτηριστικών παραμέτρων τους που θα δώσουν τις διαστάσεις στη μορφή τους. Στα στοιχειώδη

στερεά αντιστοιχίζεται ένα “προσωρινό” τοπικό σύστημα συντεταγμένων και με βάση αναφοράς αυτό τοποθετούνται αρχικά συνήθως στην αφετηρία των συντεταγμένων του χώρου μοντελοποίησης του συστήματος. Κατόπιν με μεταφορά και περιστροφή μεταφέρονται στην τελική επιθυμητή θέση.

- *Σχεδιασμός με γραμμική σάρωση (sweeping) επίπεδων επιφανειών:* Κατά τη μέθοδο αυτή σχεδιάζεται αρχικά το περίγραμμα μιας δισδιάστατης διατομής με τα κλασσικά εργαλεία δισδιάστατου σχεδιασμού του συστήματος CAD. Κατόπιν προσδιορίζεται το βάθος και η κατεύθυνση της σάρωσης για να δημιουργηθεί το τελικό τρισδιάστατο αντικείμενο. Προϋπόθεση για τη δημιουργία στερεού μέσω γραμμικής σάρωσης είναι η διατομή να είναι κλειστή. Τυχόν κύκλοι εντός της διατομής μετατρέπονται σε οπές στο τελικό τρισδιάστατο αντικείμενο.
- *Σχεδιασμός με περιστροφική σάρωση επίπεδων επιφανειών:* Στην περιστροφική σάρωση προσδιορίζονται με παρόμοιο τρόπο οι διατομές που θα περιστραφούν, ο άξονας περιστροφής, καθώς και η αρχική και η τελική γωνία περιστροφής (ή η ολική γωνία περιστροφής). Το τελικό αποτέλεσμα είναι πάντοτε ένα στερεό εκ περιστροφής και ανάλογα με τη σχετική θέση της διατομής και του άξονα περιστροφής μπορεί να δημιουργηθεί ένας κύλινδρος, ένας κώνος, μια σφαίρα, ένας δακτύλιος, ένας κύκλος.
- *Σχεδιασμός με σάρωση ολόκληρων σωμάτων:* Το αποτέλεσμα της λειτουργίας αυτής είναι ο όγκος σάρωσης που καλύπτει ένα σώμα στη διαδρομή του κατά μήκος μιας καμπύλης οδηγού ή της περιστροφής ενός σώματος γύρω από έναν άξονα περιστροφής. Η μέθοδος αυτή δε χρησιμοποιείται τόσο για interactive σχεδιασμό στην οθόνη, όσο για κινηματική ανάλυση, ελέγχους πρόσκρουσης και έλεγχο διαδρομής κοπτικού εργαλείου.
- *Σχεδιασμός με σύνθεση από περισσότερες όψεις:* Σε μερικά συστήματα CAD συστήματα, είναι δυνατή η σύνθεση περισσότερων ανεξάρτητων δισδιάστατων όψεων (ή τομών) σε ένα τρισδιάστατο στερεό. Μια από τις μεθόδους που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι η διαδοχική αντιστοίχιση όλων των γεωμετρικών στοιχείων της κύριας όψης σε αυτά των άλλων όψεων. Σε άλλα συστήματα υπάρχουν αλγόριθμοι οι οποίοι δημιουργούν αυτόματα από τις δισδιάστατες όψεις ένα μοντέλο σώματος. Ο σχεδιαστής ελέγχει την πληρότητά του και κατόπιν δημιουργείται σε δεύτερο στάδιο αυτόματα το στερεό σώμα. Ο

αλγόριθμος του συστήματος επιδιώκει κατά το δυνατό να συλλέξει τις απαραίτητες πληροφορίες για όλες τις επιφάνειες του στερεού, ενώ υπάρχει δυνατότητα ελέγχου και διορθωτικών επεμβάσεων.

2.6 Στερεά μοντελοποίηση (solid modelling)

Τα συστήματα στερεάς μοντελοποίησης είναι τα σημαντικότερα και η διεξόδυσή τους στο σχεδιασμό κατασκευών ακολουθεί τα τελευταία χρόνια επιταχυνόμενο ρυθμό, βοηθούμενη και από την ραγδαία αύξηση της υπολογιστικής ισχύος και της πτώσης των τιμών στους υπολογιστές. Αυτά διακρίνονται μεταξύ τους κατά κύριο λόγο από τη διαφορά στον τρόπο αποθήκευσης των πληροφοριών του υπό κατασκευή αντικειμένου. Δύο είναι τα κύρια είδη των συστημάτων αυτών, τα CSG (Constructive Solid Geometry) και τα B-Rep (Boundary Representation), ενώ υπάρχουν και οι υβριδικές δομές μοντελοποίησης οι οποίες προσπαθούν να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των παραπάνω δύο βασικών ειδών μοντελοποίησης.

- *Constructive Solid Geometry (Εποικοδομητική στερεά γεωμετρία – CSG):* Έχει τις ρίζες του στα πρώτα συστήματα CAD αμερικανικής προέλευσης και αποτελούσε παλαιότερα την πιο διαδεδομένη μορφή μοντελοποίησης. Παρέχει ευκολία στη δημιουργία μοντέλων, στην καταχώρησή τους και στον έλεγχο της εγκυρότητας αυτών. Το μοντέλο στη βάση δεδομένων δημιουργείται με τη βοήθεια λειτουργιών συνόλων από το συνδυασμό στοιχειωδών στερεών σωμάτων. Το κατώτερο επίπεδο περιγραφής γεωμετρικών στοιχείων στη δομή της βάσης δεδομένων του συστήματος είναι συνεπώς τα βασικά στερεά όπως ορθογώνιο μπλοκ, κύλινδρος, κώνος, σφαίρα, σφήνα, σαμπρέλα κλπ. Χωρίς περαιτέρω ανάλυση σε επιφάνειες, ακμές και σημεία που τα αποτελούν. Η CSG μοντελοποίηση είναι πολύ αποδοτική, με εύκολη κατασκευή μοντέλων από τα στοιχειώδη στερεά, μικρές απαιτήσεις μνήμης και αξιόπιστους αλγόριθμους εφαρμογής. Μειονέκτημα είναι η σχετικά αργή ανάδραση και το περιορισμένο πεδίο εφαρμογών. Ο αλγόριθμος εξαγωγής γεωμετρικών στοιχείων του τελικού στερεού σώματος, εφαρμόζεται στα γεωμετρικά δεδομένα του μοντέλου-CSG, δηλαδή στα στοιχειώδη στερεά (μπλοκ, κύλινδρος, κώνος, σφαίρα κλπ.) που το

αποτελούν καθώς και στις καταγεγραμμένες λειτουργίες συνόλων (ένωση, αφαίρεση, τομή) που τα συνθέτουν βήμα προς βήμα. Ο αλγόριθμος αναλύει τη δυαδική δενδρική μορφή (tree-structure) της CSG-βάσης δεδομένων και δημιουργεί βάσει προκαθορισμένης μεθόδου μια απεικόνιση οριακής αναπαράστασης του μοντέλου.

- *Boundary Representation (Οριακή αναπαράσταση B-Rep)*: Η οριακή αναπαράσταση ως είδος μοντελοποίησης σε συστήματα CAD ξεκίνησε ιστορικά στον ευρωπαϊκό χώρο και αποτελεί σήμερα το πιο διαδεδομένο σύστημα αναπαράστασης στερεών. Βασική ιδέα είναι ο ορισμός του στερεού από ένα σύνολο επιφανειών, οι οποίες ορίζονται από ένα σύνολο ακμών, οι ακμές ορίζονται μεταξύ δύο σημείων και κάθε σημείο ορίζεται από τις τρεις συντεταγμένες του στο χώρο. Για την πλήρη περιγραφή αντικειμένων ως αναφορά τη μορφή και τις διαστάσεις τους, σε ένα μοντέλο οριακής αναπαράστασης, είναι απαραίτητη η αλληλεπίδραση της γεωμετρίας με την τοπολογία. Μέσω της τοπολογίας οριοθετείται ένα γεωμετρικό στοιχείο στο πεδίο ορισμού του. Η γεωμετρική του μορφή προσδιορίζεται εντός των παραπάνω ορίων μέσω της αναλυτικής-γεωμετρικής πληροφορίας (συντελεστές παρεμβολής, διανύσματα, συντεταγμένες), δηλαδή της αναλυτικής περιγραφής των περιβαλλουσών επιφανειών. Τα τοπολογικά στοιχεία που οριοθετούν την επιφάνεια είναι τα ίδια με τη σειρά τους γραμμικά γεωμετρικά στοιχεία (π.χ. τμήματα ευθειών, τόξα κύκλων κλπ.) και οριοθετούνται με τη σειρά τους από τοπολογικά στοιχεία που ανήκουν ιεραρχικά στο αμέσως κατώτερο επίπεδο, δηλαδή από σημεία. Οι εξαρτήσεις και συσχετισμοί που προαναφέρθηκαν δίνουν για τα επιφανειακά στοιχεία μια πολύπλοκη ιεραρχική δομή. Ο ορισμός του στερεού σώματος είναι ιεραρχικά το αμέσως ανώτερο επίπεδο και περιγράφεται από τις επιφάνειες που το αποτελούν. Σε πολλές δομές δεδομένων οριακής απεικόνισης υπάρχουν ιεραρχικά και ανώτερα επίπεδα όπως κατασκευαστικά γκρουπ που αποτελούνται από περισσότερα σώματα. Η βάση δεδομένων των συστημάτων οριακής απεικόνισης είναι δομημένη αυστηρά ιεραρχικά και στηρίζεται στην αλληλεπίδραση γεωμετρίας και τοπολογίας. Μέσω του ορισμού οδών πρόσβασης στα διάφορα στοιχεία της βάσης δεδομένων προκύπτει μια πολύπλοκη δίκτυο αλληλεξάρτησης. Αυτή η δικτυακή και ιεραρχική

αλληλεξάρτηση επιδρά και στους χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους των συστημάτων οριακής απεικόνισης. Στα συστήματα αυτά δεν παίζει ρόλο εάν πρόκειται για λειτουργίες συνόλων ή για τοπικές μεταβολές της μορφής. Οι αλγόριθμοι δρουν απευθείας πάνω στα διάφορα γεωμετρικά στοιχεία της βάσης δεδομένων στο αντίστοιχο κάθε φορά ιεραρχικό επίπεδο, και είναι κοινοί, είτε πρόκειται για αλγορίθμους μεταβολής της μορφής είτε για αλγορίθμους αναπαράστασης. Γενικά μπορούμε να μιλήσουμε για δύο κατηγορίες αλγορίθμων, πρώτον για αλγορίθμους για την εκτέλεση λειτουργιών συνόλων επί των γεωμετρικών στοιχείων του σώματος και δεύτερον για αλγορίθμους ελέγχου για τον προσδιορισμό θέσης στοιχείων σε σχέση με το πεδίο ορισμού τους. Τα δύο είδη αλγορίθμων είναι στενά συνδεδεμένοι στενά μεταξύ τους και η αλληλεπίδραση της γεωμετρίας και της τοπολογίας είναι σημαντική και για αυτούς.

- *Υβριδικά συστήματα (Hybrid systems):* Για να γίνει δυνατός ο συνδυασμός των πλεονεκτημάτων των δύο διαφορετικών τρόπων μοντελοποίησης, CSG και οριακής απεικόνισης, αναπτύχθηκαν τα λεγόμενα υβριδικά συστήματα. Στα συστήματα αυτά το μοντέλο περιγράφεται στον υπολογιστή μέσω δύο διαφορετικών απεικονίσεων του στερεού σώματος (dual data-structure). Οι απεικονίσεις αυτές είναι συμβατές μεταξύ τους εφόσον οι μετασχηματισμοί από το ένα σύστημα στο άλλο είναι εφικτοί. Έτσι στα υβριδικά συστήματα υπάρχει συνήθως μια κύρια απεικόνιση και οι υπόλοιπες είναι δευτερεύουσες. Γενικά, έχουν μια πρωτεύουσα δομή δεδομένων (primary data-structure), η οποία είναι και εκείνη που βρίσκεται σε συνεχή χρήση κατά το σχεδιασμό και είναι εκείνη στην οποία εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι μοντελοποίησης. Η δευτερεύουσα βοηθητική δομή (secondary data-structure), χρησιμοποιείται για συγκεκριμένους σκοπούς, όπως για την ταχεία αναπαράσταση του μοντέλου στην οθόνη.” (Στεργίου, 2008)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ

3.1. Η συσκευασία και η σημασία σχεδιασμού της

Ως συσκευασία ορίζεται κάθε προϊόν κατασκευασμένο από οποιοδήποτε είδος υλικού από πρώτες ύλες μέχρι επεξεργασμένα υλικά και προοριζόμενο να χρησιμοποιείται για να περιέχει αγαθά με σκοπό την προστασία, τη διακίνηση, τη διάθεση και την παρουσίαση τους από τον παραγωγό μέχρι τον χρήστη ή τον καταναλωτή. Μπορεί να περιγραφεί ως ένα συντονισμένο σύστημα της προετοιμασίας των εμπορευμάτων που προορίζονται για μεταφορά, αποθήκευση και πώληση. Ο σκοπός της είναι να διακινήσει από την παραγωγή προς τον πελάτη τα προϊόντα παρέχοντάς του την αξία χρήση τους. Ο στόχος της είναι η φυσική προστασία των αντικειμένων που περικλείονται σε αυτή από δονήσεις, συμπίεση, θερμοκρασία, κλπ.

Η διαδικασία σχεδιασμού της συσκευασίας θα πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα για να έχει θεωρήσουμε ότι μπορεί να πιάσει τη μέγιστη απόδοσή της.

Αρχικά πρέπει να **προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος**. Ο σχεδιαστής θα πρέπει πέρα από τις διαστάσεις και το βάρος να γνωρίζει τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της συσκευασίας, την επιρροή της στο προϊόν, και άλλα στοιχεία όπως η διάβρωση και η ευθραυστότητα του προϊόντος.

Στη συνέχεια θα πρέπει να καθοριστούν **οι απαιτήσεις του μάρκετινγκ και του σχεδίου διανομής**. Θα πρέπει να είναι γνωστός ο αριθμός των μονάδων που θα σταλούν σε ένα εμπορευματοκιβώτιο, η σύνθεση και οι ιδιότητες της αρχικής συσκευασίας, η ταυτότητα των πελατών και οι απαιτήσεις, ο κύκλος ζωής του προϊόντος και τα κανάλια διανομής.

Θα πρέπει να είναι γνωστές **οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες θα εκτεθούν τα προϊόντα και να αποσαφηνίζονται οι κίνδυνοι** που μπορεί να προκύψουν. Κίνδυνοι όπως η δόνηση και ο κλονισμός κατά τη μεταφορά, η συμπίεση

στην αποθήκευση, η μετάβαση υψηλής υγρασίας και νερού και οι ακραίες θερμοκρασίες σίγουρα επηρεάζουν το προϊόν. Μέσω της παρατήρησης, των ερευνητικών αποτελεσμάτων και των μετρήσεων μπορεί να γίνει η αποφυγή τους.

Διαθέσιμες εναλλακτικές λύσεις συσκευασίας και τυποποίησης θα πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη. Πρέπει να εξετάζονται όλες οι εναλλακτικές λύσεις, από την επιλογή υλικού μέχρι την επιλογή του τελικού τύπου που θα βασιστεί ο περαιτέρω σχεδιασμός και ανάπτυξη της συσκευασίας.

Πρέπει να εξετάζεται **ο σχεδιασμός όλης της μονάδας διανομής** (εμπορευματοκιβώτιο, εσωτερική συσκευασία και βασικά υλικά). Η πρωτογενής συσκευασία είναι ότι έρχεται σε άμεση επαφή με το περιεχόμενο, δευτερογενής είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί για να αποθηκευτεί η πρωτογενής και η τριτογενής χρησιμοποιείται για τη διακίνηση και την αποθήκευση που συνήθως είναι παλέτες. Κάθε συστατικό της μονάδας διανομής πρέπει να αναλύεται για τον προσδιορισμό της δύναμης που αντέχει και για τις άλλες απαραίτητες ιδιότητές του, και να συγκρίνεται με τα τεχνικά στοιχεία τα οποία θα πρέπει να είναι διαθέσιμα από τους προμηθευτές.

Στη συνέχεια, να καθορίζεται **η ποιότητα της προστασίας μέσω των δοκιμών απόδοσης**. Μετά την κατασκευή της η συσκευασία θα πρέπει να υποβάλλεται σε μια σειρά προσδοκώμενων κινδύνων μέσα από δοκιμές στο εργαστήριο με σκοπό την τελική έγκριση. Αυτές οι διαδικασίες βασίζονται σε συγκεκριμένα βιομηχανικά πρότυπα όπου κρύβουν από πίσω, την εμπειρία και την ιστορία της ανάπτυξης και της χρήσης τους. Παραδείγματα προτύπων είναι το D-4169 και το ASTM.

Πρέπει να γίνεται **συνεχής επανασχεδιασμός της συσκευασίας διακίνησης έως ότου να περάσει επιτυχώς όλες τις δοκιμές**. Είναι απαραίτητο να επαναληφθεί ο κύκλος του επανασχεδιασμού και να επανελεγχθεί τόσες πολλές φορές όσες χρειάζεται για να επιβεβαιωθεί η καταλληλότητά του.

Επιπλέον θα **επανασχεδιάζεται το προϊόν όπου ενδείκνυται και είναι δυνατόν**. Υπάρχουν περιπτώσεις που στις δοκιμές αποκαλύφθηκαν αδυναμίες των προϊόντων. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι κοστίζει περισσότερο ο επανασχεδιασμός της συσκευασίας παρά του προϊόντος. Άρα θα πρέπει να υπάρχει ενημέρωση των σχεδιαστών για τους κινδύνους σε τέτοια θέματα και να γίνεται πρόληψη για να μην βρεθεί η εταιρεία στην παραπάνω κατάσταση.

Θα πρέπει να **αναπτύσσονται μέθοδοι συσκευασίας**, δηλαδή να επιτευχθεί η μεγαλύτερη οικονομία του συστήματος από τη συσκευασία του προϊόντος, στο κιβώτιο μεταφοράς και την τυποποίηση των τελικών εμπορευματοκιβωτίων.

Τέλος θα πρέπει να **τεκμηριώνεται όλη η εργασία**, όπου περιλαμβάνονται τα στάδια αποτελεσμάτων της δοκιμής, των προδιαγραφών, των σχεδίων και των μεθόδων συσκευασίας. Μετά από αυτά τα βήματα, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος της εργασίας με έναν πίνακα σημείων ελέγχου.

Η συσκευασία μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη μείωση των κινδύνων για την ασφάλεια της αποστολής. Μπορεί να γίνει με βελτιωμένη αντοχή, για την αποτροπή παραβιάσεων του φορτίου και επίσης μπορεί να έχει χαρακτηριστικά που θα σφραγίζονται και θα δείχνουν όποια αλλοίωση. Κάποιες μπορούν να κατασκευαστούν για να βοηθήσουν στη μείωση των κινδύνων υπεξαίρεσης συσκευασίας όντας πιο ανθεκτικές στην κλοπή και έχοντας σφραγίδες. Άλλες έχουν σφραγίδες ταυτότητας και τη χρήση εκτύπωσης ασφαλείας τα οποία δείχνουν ότι η συσκευασία και τα περιεχόμενα δεν είναι πλαστά και αντικλεπτικές συσκευές, όπως οι βαφές συσκευασίες και οι ετικέτες RFID.

Η εργονομία της συσκευασίας, το κόστος κατασκευής της και διακίνησής της είναι κάποιοι βασικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψιν. Όλες οι συσκευασίες που κυκλοφορούν στην αγορά φέρουν ορισμένα διακριτικά σχήματα και αριθμούς που εξυπηρετούν συγκεκριμένους σκοπούς και έχουν άμεση σχέση με τις νομοθετικές ρυθμίσεις κάθε χώρας. Από τα σχέδια περιβαλλοντολογικής ευαισθησίας μέχρι τους γραμμωτούς κώδικες (bar-codes) όλες οι συσκευασίες πρέπει να φέρουν διακριτικά.

Τις τελευταίες δεκαετίες η παγκόσμια αγορά συνειδητοποίησε πως η ανεξέλεγκτη παραγωγή συσκευασιών από διάφορα μη βιοδιασπόμενα υλικά προκαλεί οξύτατο οικολογικό πρόβλημα. Έπρεπε, λοιπόν, να επιβληθούν κυρώσεις και νόμοι, για να περιορισθεί η ρύπανση και να ενισχυθεί η ανακύκλωση. Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με τη Γερμανία να πρωτοστατεί σε αυστηρότητα, καθιερώθηκαν διατάξεις οι οποίες επιβαρύνουν τους κατασκευαστές με δασμούς για τις μη επιστρεφόμενες συσκευασίες. Έχουν γίνει ολικές απαγορεύσεις για συγκεκριμένους τύπους υλικών συσκευασίας και έχουν εφαρμοστεί αντιρρυπαντικοί νόμοι για τη διάθεση των συσκευασιών. Παράλληλα την εμφάνισή τους έκαναν

διάφορα διακριτικά στις συσκευασίες, με στόχο να ενημερώσουν τους καταναλωτές ότι το προϊόν που αγοράζουν δεν μολύνει το περιβάλλον. Το πιο γνωστό από αυτά τα σύμβολα που έκανε την εμφάνισή του στις αρχές της δεκαετίας του 90, είναι η πράσινη βούλα.

3.2. Η επιτυχία στη συσκευασία

Η συσκευασία παίζει σημαντικό ρόλο στην προώθηση του προϊόντος και στην γενικότερη εικόνα του. Ένα ωραίο σχέδιο ή η χρήση ποιοτικών υλικών θα τραβήξει την προσοχή του καταναλωτή ώστε να αφιερώσει περισσότερο χρόνο για το προϊόν. Ο μέσος χρόνος μέσα στον οποίο η συσκευασία πρέπει να κερδίσει τον καταναλωτή είναι τα 2,6 δευτερόλεπτα, προκειμένου να ξεχωρίσει ένα προϊόν. Μέσα σε αυτό τον χρόνο η συσκευασία πρέπει να ξεχωρίσει ανάμεσα σε μια πληθώρα ανταγωνιστών, να κάνει αντιληπτό το είδος του προϊόντος και να τραβήξει το ενδιαφέρον του καταναλωτή ώστε να ζητήσει περισσότερες πληροφορίες. Όταν ο καταναλωτής στοχεύσει το προϊόν ο τρόπος κατασκευής της πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να διευκολύνει τον καταναλωτή να βρει τις οδηγίες χρήσης, να δώσει στοιχεία γιατί ο καταναλωτής χρειάζεται το προϊόν και να πείσει τον καταναλωτή να το αγοράσει.

Ένα από τα βασικά στοιχεία μιας επιτυχημένης συσκευασίας είναι αρχικά **οι διαστάσεις**. Αυτές πρέπει να εξυπηρετούν μια σειρά από ανάγκες όπως η προστασία του προϊόντος κατά τη μεταφορά, η εύκολη απομάκρυνση της συσκευασίας και η αποθήκευση μεγάλου αριθμού συσκευασιών σε χαρτοκιβώτια. Θα πρέπει να εξετάζονται δύο ζητήματα, της αισθητικής και της λειτουργικότητας.

Η απλότητα σε μια συσκευασία την κάνει πιο κομψή και πιο ελκυστική. Η υπερβολική χρήση περιττών στοιχείων δεν βοηθάει. Πρέπει να περιορίζεται στις απολύτως απαραίτητες πληροφορίες γιατί στους περισσότερους ανθρώπους δεν αρέσει να διαβάζουν πολύ μικρά γράμματα. Γι' αυτό πρέπει να έχει σύντομες και περιεκτικές προτάσεις.

Οι εικόνες και τα γραφικά που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να υποστηρίζουν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και θα πρέπει να υπάρχει ένας συνδυασμός χρωμάτων και σχημάτων ώστε να επικρατεί **μια ισορροπία** στην ενιαία εικόνα.

Η συσκευασία πρέπει να είναι χημικά ουδέτερη από το προϊόν, να είναι απλή και πρακτική ίσως και μετά την κατανάλωση του προϊόντος, να είναι φιλική προς το περιβάλλον και να αναγράφει χρήσιμες πληροφορίες. (ημερομηνία λήξης, τρόπο χρήσης κλπ.)

3.3 Apple Inc. και συσκευασία

Η Apple Inc. είναι μια αμερικάνικη πολυεθνική εταιρεία τεχνολογίας, με έδρα στο Κουπερτίνο της Καλιφόρνια που σχεδιάζει, αναπτύσσει και πουλάει καταναλωτικά ηλεκτρονικά είδη, λογισμικό, online υπηρεσίες και υπολογιστές. Τα πιο γνωστά από τα προϊόντα της είναι οι υπολογιστές της σειράς Macintosh, το λειτουργικό σύστημα Mac OS X, η φορητή συσκευή αναπαραγωγής πολυμέσων iPod, το έξυπνο τηλέφωνο iPhone, ο υπολογιστής ταμπλέτα iPad και το έξυπνο ρολόι Apple Watch.

Είναι γνωστό τα τελευταία χρόνια που τα προϊόντα της Apple γνωρίζουν πολύ μεγάλη επιτυχία παγκοσμίως, ότι η εταιρεία δίνει ιδιαίτερη προσοχή και σημασία στις λεπτομέρειες των συσκευασιών των προϊόντων της, ενώ άλλες εταιρίες θεωρούν αυτή τη διαδικασία δευτερεύουσα. Εκτός από πληθώρα τεχνικού σχεδιασμού και ευρεσιτεχνιών η Apple έχει και μια σειρά από πατέντες που σχετίζονται με το σχεδιασμό συσκευασίας. Συνεργάζεται με 3rd party εταιρείες κατασκευής των κομματιών των συσκευασιών, επιδιώκοντας πάντα την ομοιομορφία τους. Η φήμη ότι υπάρχει μυστικό δωμάτιο ανάπτυξης συσκευασίας στις κτιριακές εγκαταστάσεις που εδρεύει η Apple, επιβεβαιώνεται στο βιβλίο του Adam Lashinsky “Inside Apple”. Για την Apple η συσκευασία είναι κάτι περισσότερο από το πώς ένα προϊόν βρίσκεται άνετα μέσα σε ένα κουτί. Κατά συνέπεια η εμπειρία των χρηστών δεν συνδέεται μόνο με τη συσκευή ξεχωριστά αλλά από τη στιγμή που ο καταναλωτής αγοράζει το προϊόν και προχωράει στη διαδικασία “unboxing” του προϊόντος. Σε ένα παράδειγμα που δείχνει την εξαντλητική προσοχή της Apple στη λεπτομέρεια, είναι στο βιβλίο του Lashinsky, όπου αναφέρεται ότι το δωμάτιο συσκευασίας ήταν γεμάτο με

εκατοντάδες πρωτότυπα συσκευασίας του iPod, ώστε να διαπιστωθεί ποιο κουτί θα προκαλέσει την τέλεια συναισθηματική αντίδραση, με την πρώτη χρήση του. Επιπλέον αναφέρεται ότι στα καθήκοντα που ανατίθενται σε σχεδιαστές συσκευασιών είναι να ανοίγουν κουτιά για μήνες.

Όλες οι συσκευασίες που περιέχουν την τεχνολογία της έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να αποπνέουν έναν αέρα απλότητας και ομορφιάς, προσεγγμένα ως την παραμικρή λεπτομέρεια χωρίς να χάνουν την διαισθητικότητα τους. Οι συσκευασίες των προϊόντων της είναι απλές και σε λευκό χρώμα, απλή γραμματοσειρά, με τα διακριτικά χαρακτηριστικά πάντα του εκάστοτε προϊόντος και το λογότυπο της Apple. Η εταιρεία χρησιμοποιεί λιγότερα υλικά υψηλής ποιότητας, δεν χρησιμοποιεί τοξικά στη κατασκευή τους, και προσπαθεί να είναι όσο πιο αποδοτικά και ανακυκλώσιμα γίνεται σε συνδυασμό πάντα με την ασφάλεια του περιεχομένου. Επίσης οι συσκευασίες κατασκευάζονται με σκοπό να πιάνουν τον απαραίτητο χώρο που χρειάζεται το προϊόν και όχι να τον χρησιμοποιούν άσκοπα. Έχει ενδιαφέρον η άποψη πως η Apple μέσω των περιφερειακών προϊόντων της όπως θήκες ή ακουστικά, θέλει να συνδέσει τη μορφή των εφαρμογών της και το πώς απεικονίζονται, με την όψη των συσκευασιών των περιφερειακών προϊόντων. Γι' αυτό, όπως στην περίπτωση του παρακάτω σχεδιασμού παρατηρούμε τις στρογγυλεμένες γωνίες. Παρακάτω παρουσιάζεται πως η Apple χρησιμοποιεί τις συσκευασίες των προϊόντων της για να υποστηρίξει το brand name της και την έξυπνη στρατηγική μάρκετινγκ που ακολουθεί.

Η απλότητα είναι το πρώτο της στοιχείο. Η εμφάνιση των συσκευασιών είναι πάντα κομψή, απλή και καθαρή, σε λευκό χρώμα, με τη διακριτική περιγραφή του ονόματος του προϊόντος της και το λογότυπο της εταιρείας και αντανακλά στη σοβαρότητα της διαδικασίας ανάπτυξης συσκευασίας. Αναγράφονται επιπλέον οι προδιαγραφές του προϊόντος και τα πνευματικά δικαιώματα στο πίσω μέρος της συσκευασίας.

Η συνέπεια είναι το επόμενο στοιχείο της εταιρείας που είναι και κάτι που περιμένουν οι αγοραστές των προϊόντων της, από αυτή. Η εύκολη πρόσβαση στο προϊόν είναι κάτι που μελετάται από την εταιρεία και εφαρμόζεται με παρόμοιο τρόπο σε όλα τα νέα προϊόντα της Apple, για να υπάρχει εξοικείωση του καταναλωτή, χωρίς συμβιβασμούς στη διαίσθηση.

Η **ευκολία στη χρήση**, είναι και κάτι που διαφημίζει η εταιρεία με τη φράση “ήδη ξέρετε πώς να το χρησιμοποιήσετε” και είναι κάτι που ισχύει για όποιον είναι εξοικειωμένος με άλλα προϊόντα της εταιρείας. Η πρώτη επαφή με το προϊόν είναι τόσο γρήγορη που μπορεί αμέσως ο καταναλωτής να χρησιμοποιήσει το προϊόν. Υπάρχει ένα απλό εγχειρίδιο, μια κάρτα δύο όψεων, που σε κατευθύνει στις οδηγίες του προϊόντος στο διαδίκτυο και στο ίδιο το προϊόν.

Η **ποιότητα** που έχει συνδεθεί με το brand name της. Το μεταξωτό χαρτί στην κάρτα “how to use”, είναι εξαιρετικής ποιότητας με ένα μαλακό, πλούσιο τελείωμα, με θαμπό βερνίκι, ένα ελαφρώς κρεμώδες χρώμα και τη σφραγίδα από μεταλλικό ασήμι στο λογότυπο της Apple. Η αίσθηση της αφής που προκαλεί στον χρήστη είναι επίσης εξαιρετική. Έτσι φαίνεται πως αντί η εταιρεία να αναζητάει τρόπους για να μειώσει τα κόστη με μια φθηνή συσκευασία, η Apple έκανε τη συσκευασία επέκταση του προϊόντος της.

Άλλο ένα στοιχείο που συνδέεται με τη συσκευασία είναι ο τρόπος που η Apple θέλει να πουλάει τα περιφερειακά αξεσουάρ της. Η εταιρεία θέλει να συσχεδιάζει τις συσκευασίες για τα περιφερειακά αξεσουάρ ώστε να αντανακλούν ότι είναι δικά της, να μοιάζουν και να ταιριάζουν απόλυτα με τα προϊόντα της, στις εκθέσεις ή στα καταστήματα πώλησης.

Η Apple έχει αναλάβει εδώ και καιρό ηγετικό ρόλο στον περιορισμό των βλαβερών ουσιών από τα προϊόντα και τις συσκευασίες της. Στο πλαίσιο της στρατηγικής της όλα τα προϊόντα της συμμορφώνονται με την αυστηρή Ευρωπαϊκή οδηγία για τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε ειδή ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, γνωστό ως οδηγία RoHS και τον ευρωπαϊκό κανονισμό για την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς των χημικών προϊόντων, γνωστό ως REACH. Έχει αναπτύξει περιορισμούς από κορυφαία πρότυπα και συστάσεις από τοξικολόγους, διεθνείς νόμους και οδηγίες, και τις δικές της πολιτικές. Ως μέρος της διαδικασίας δοκιμών και αξιολόγησης της, τόσο η Apple όσο και τα ανεξάρτητα εργαστήρια δοκίμασαν υλικά από τη συγκέντρωση κλειστών χημικών ουσιών. Οι τοξικολόγοι εξέτασαν τα αποτελέσματα για να αξιολογήσουν την ασφάλεια. Μετά από τον εξαιρετικά αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη χρήση των άκρως ανακυκλώσιμων υλικών η Apple έχει ελαχιστοποιήσει τα απόβλητα υλικά στο τέλος ζωής κάθε προϊόντος. Επιπλέον

προσφέρει και συμμετέχει σε προγράμματα απόσυρσης και ανακύκλωσης διάφορων προϊόντων στο 95% των περιοχών όπου πωλούνται τα προϊόντα της.

3.4 UnCommon LLC και συσκευασία

Η εταιρεία UnCommon LLC εισήλθε στην αγορά το 2009 ως η πρώτη εταιρεία εξατομικευμένων περιφερειακών αξεσουάρ της Apple και έχει έδρα το Σικάγο. Προσφέρει μεγάλη ποικιλία εξατομικευμένων ή έτοιμων προστατευτικών θηκών κυρίως για τα προϊόντα της Apple, αλλά και κάποια της Samsung. Άλλα προϊόντα της είναι πανιά καθαρισμού οθόνης. Η μέθοδος εξατομίκευσης που ακολουθεί είναι, να ανεβάζει ο κάθε πελάτης την εικόνα που θέλει να τυπώσει στη θήκη μέσω του διαδικτύου και μετά από δύο έως τέσσερις εργάσιμες μέρες, αυτή παραδίδεται παγκοσμίως μέσω μεταφορικών εταιρειών.

Ο τρόπος που παράγει το τελικό προϊόν της, λέγεται TATT® (Thermo-Active Transdermal Technology), δηλαδή θερμική ενεργή δια-δερμική τεχνολογία και είναι ιδιοκτησία της εταιρείας. Η παραπάνω διαδικασία μεταφέρει το μελάνι βαθιά στη θήκη όπως ένα τατουάζ και εξασφαλίζει ανθεκτικές, μακράς διάρκειας, υψηλής ποιότητας και καλά σχεδιασμένες εικόνες σε κάθε αποτύπωση επάνω στην προστατευτική θήκη. Οι προστατευτικές θήκες της UnCommon πωλούνται παγκοσμίως στα καταστήματα Apple, προωθώντας τη φήμη του brand name, καθώς και την αξιοπιστία και την ποιότητα της προστατευτικής θήκης της συσκευής. Η εταιρεία έχει διαφημιστεί στις σελίδες της NY Times, του Glamour, των περιοδικών Teen Vogue και οι προστατευτικές θήκες της χρησιμοποιούνται από πολλές διασημότητες.

Μέσω της ιστοσελίδας της στο διαδίκτυο ο καταναλωτής αρχικά επιλέγει τη συσκευή για την οποία θέλει να κατασκευάσει τη θήκη του και είτε ανεβάζει τη δικιά του εικόνα, είτε επιλέγει μία από αυτές που υπάρχουν στην ιστοσελίδα. Στη συνέχεια μπορεί να διαμορφώσει online τη θέση, το σχήμα, να περιστρέψει την εικόνα, με αποτέλεσμα να προσδώσει μια αντανάκλαση της προσωπικότητας του καθένα. Τέλος υπάρχει η δυνατότητα να μονογράψει το σχέδιο και να προσθέσει ημερομηνία ή

κάποια φράση. Τα προϊόντα της έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί για να έχουν εντυπωσιακή όψη οι συσκευές. Οι θήκες είναι κατασκευασμένες από ανθεκτικά πολυμερή και έχουν σχεδιαστεί για να εμφανίζονται με απόλυτη λεπτομέρεια οι εικόνες, ενώ ταυτόχρονα να προστατεύουν τις συσκευές.

Σχετικά με τη συσκευασία των προϊόντων της η UnCommon δίνει αρκετή έμφαση στον σχεδιασμό. Στόχος της εταιρείας είναι να έχει συσκευασίες που να καταδεικνύουν το περιεχόμενό τους, δηλαδή να τονίζονται οι έντονες εικόνες και τα έντονα χρώματα που είναι εκτυπωμένες οι θήκες. Επικεντρώνεται στην ομοιομορφία των συσκευασιών, ανάλογα με το προϊόν για το οποίο προορίζονται οι προστατευτικές θήκες και μέσω των καμπυλοτήτων της διαφανούς πρόσοψης και του λευκού περιγράμματος στο εσωτερικό της συσκευασίας τονίζει τα χρώματα της θήκης. Οι συσκευασίες είναι σχεδιασμένες για την προστασία της θήκης από πτώσεις και κραδασμούς. Στο πίσω μέρος των συσκευασιών υπάρχει η ένδειξη “patents pending”, το οποίο δηλώνει ότι έχει κατατεθεί η αίτηση για την πατέντα του προϊόντος που πουλάει η εταιρεία, στο γραφείο εμπορικών σημάτων και ευρεσιτεχνιών των ΗΠΑ (United States Patent and Trademark Office - USPTO) και εκκρεμεί η άδεια ευρεσιτεχνίας, άρα μέχρι στιγμής η εταιρεία δεν έχει κάποια νομική προστασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΚΕΥΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥΣ

4.1 Περιγραφή λογισμικού και μεθοδολογία μοντελοποίησης

Το **SolidWorks** είναι ένα λογισμικό μοντελοποίησης (Computer-aided Design, CAD) και μηχανικής ανάλυσης (Computer-aided Engineering CAE), με τη βοήθεια υπολογιστή και λειτουργεί σε σύστημα Microsoft Windows. Είναι **λογισμικό στερεάς μοντελοποίησης**, και χρησιμοποιεί μιας παραμετρικού τύπου προσέγγιση για τη δημιουργία μοντέλων και συνδεσμολογιών. Μαζί, οι αρχές της γεωμετρικής και της στέρεας μοντελοποίησης αποτελούν τα θεμέλια για το σχεδιασμό με υπολογιστή και γενικά υποστηρίζουν τη δημιουργία, την ανταλλαγή, την οπτικοποίηση, τα κινούμενα σχέδια, την ανάκριση, και το σχολιασμό των ψηφιακών μοντέλων των φυσικών αντικειμένων. Το λογισμικό είναι γραμμένο σε Parasolid-πυρήνα μοντελοποίησης.

Οι παράμετροι αναφέρονται στους περιορισμούς των οποίων οι τιμές καθορίζουν το σχήμα ή τη γεωμετρία του μοντέλου ή της συνδεσμολογίας. Οι παράμετροι μπορεί να είναι είτε αριθμητικές, όπως το μήκος μιας γραμμής ή η διάμετρος ενός κύκλου, ή γεωμετρικές, όπως εφαπτομένη, παράλληλη, ομόκεντρη, οριζόντια ή κατακόρυφη επιλογή από το ribbon του λογισμικού. Οι αριθμητικές παράμετροι μπορούν να συνδέονται η μια με την άλλη μέσω της χρήσης των σχέσεων, η οποία τους επιτρέπει να συλλάβουν την πρόθεση του σχεδιασμού.

Η πρόθεση του σχεδιασμού είναι το πώς ο δημιουργός του τμήματος θέλει να ανταποκριθεί στις αλλαγές και ενημερώσεις. Για παράδειγμα αν ο χρήστης θέλει την οπή στην κορυφή του κουτιού ενός αναψυκτικού στην άνω επιφάνεια, αυτή παραμένει εκεί ανεξάρτητα από το ύψος ή το μέγεθος του κουτιού. Το SolidWorks επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει ότι η τρύπα είναι ένα χαρακτηριστικό στην επάνω επιφάνεια, αυτό αντιλαμβάνεται τις προθέσεις του σχεδιασμού και δεν έχει σημασία τι ύψος μπορεί αργότερα να δώσει στο δοχείο.

Τα χαρακτηριστικά αναφέρονται στα δομικά στοιχεία του κάθε τμήματος. Είναι τα σχήματα και οι λειτουργίες που κατασκευάζουν το κάθε τμήμα. Τα

χαρακτηριστικά των σχημάτων συνήθως αρχίζουν με ένα δισδιάστατο ή τρισδιάστατο σκίτσο σχημάτων, όπως όγκοι, τρύπες, σχισμές, κτλ. Αυτό το σχήμα στη συνέχεια παίρνει όγκο (φουσκώνει) ή κόβεται για να προστεθεί ή να αφαιρεθεί υλικό. Χαρακτηριστικά με βάση τη λειτουργία δεν βασίζονται σε κάποιο σκίτσο, και περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως στρογγυλοποίηση γωνιών, λοξοτομήσεις, αφαίρεση υλικού, εφαρμόζοντας το σχέδιο για τις όψεις ενός τμήματος, κ.λπ.

Το χτίσιμο ενός μοντέλου συνήθως ξεκινά με 2D δισδιάστατο σκίτσο (αν και 3D τρισδιάστατα σχέδια είναι διαθέσιμα για δυνατούς χρήστες). Το σκίτσο αποτελείται από γεωμετρία, όπως σημεία, γραμμές, τόξα, κώνους (εκτός της υπερβολής). Οι διαστάσεις προστίθενται στο σκίτσο για να καθορίσουν το μέγεθος και τη θέση της γεωμετρίας. Οι σχέσεις χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα χαρακτηριστικά όπως επαφή, παραλληλισμό, καθετότητα και ομοκεντρότητα. Η παραμετρική φύση του λογισμικού σημαίνει ότι οι διαστάσεις και οι σχέσεις των τμημάτων οδηγούν τη γεωμετρία, και όχι το ανάποδο. Οι διαστάσεις στο σχεδιάγραμμα μπορούν να ελεγχθούν ανεξάρτητα, ή από τις σχέσεις των τμημάτων με άλλες παραμέτρους εντός ή εκτός του σκίτσου.

Σε μια συνδεσμολογία, υπάρχει αναλογία στις σχεδιαστικές σχέσεις. Όταν αυτές καθορίζουν συνθήκες, όπως επαφής, παραλληλισμού, και ομοκεντρότητας, σεβόμενες τη γεωμετρία του σχεδίου, η αναλογία που υπάρχει καθορίζει ισοδύναμες σχέσεις για τα μεμονωμένα μέρη ή εξαρτήματα, επιτρέποντας την εύκολη κατασκευή συνδεσμολογιών. Το SolidWorks περιλαμβάνει επίσης πρόσθετα προηγμένα χαρακτηριστικά όπως οδοντωτοί τροχοί και κάμερες, τα οποία επιτρέπουν μοντελοποιήσεις μηχανικών συνδεσμολογιών για να αναπαράγουν με ακρίβεια την περιστροφική κίνηση ενός πραγματικού συστήματος οδοντωτών τροχών.

Τέλος, σχέδια μπορούν να δημιουργηθούν είτε από ξεχωριστά τμήματα ή από κάποια συνδεσμολογία. Οι όψεις δημιουργούνται αυτόματα από το στερεό μοντέλο και σημειώσεις, διαστάσεις και ανοχές μπορούν εύκολα να προστεθούν στο σχέδιο όταν αυτό χρειαστεί. Το λογισμικό εκτυπώνει στα περισσότερα μεγέθη χαρτιού και τηρεί όλες τις προδιαγραφές (ANSI, ISO, DIN, GOST, JIS, BSI και SAC).

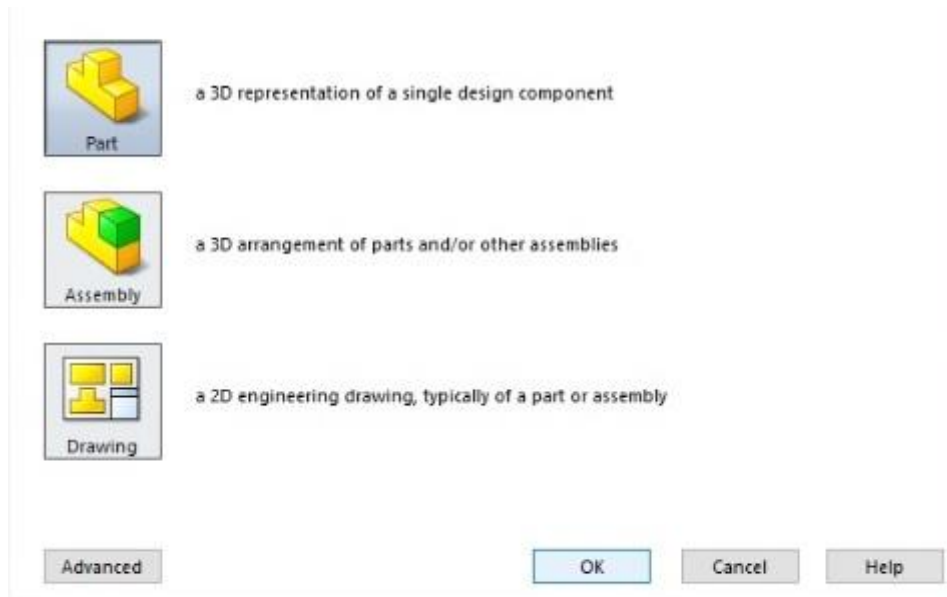
Οι συσκευασίες που θα σχεδιαστούν, συσκευάζουν προστατευτική θήκη του iPhone 6. Η πρώτη συσκευασία είναι της εταιρείας Apple και η δεύτερη της εταιρείας UnCommon.

Αναφέρονται οι εντολές σχεδίασης που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό όλων των τμημάτων των συσκευασιών.

- *Line*: Εντολή σχεδίασης ευθύγραμμων τμημάτων καθορίζοντας τα άκρα τους.
- *Corner Rectangle*: Εντολή σχεδίασης ορθογώνιων παραλληλογράμμων.
- *Straight Slot*: Εντολή σχεδίασης ορθογώνιων παραλληλογράμμων με εξομάλυνση των γωνιών με τόξα.
- *Fillet*: Εντολή για εξομάλυνση των γωνιών με τόξα. Απαιτείται καθορισμός της ακτίνας των τόξων εξομάλυνσης.
- *Circle*: Εντολή σχεδίασης κύκλων. Έγινε σχεδίαση κύκλων καθορίζοντας το κέντρο τους και το μήκος της ακτίνας τους.
- *Smart Dimension*: Εντολή ορισμού των διαστάσεων.
- *Extruded Boss/Base*: Εντολή δημιουργίας όγκου στο αρχικό σχέδιο.
- *Extruded Cut*: Εντολή αφαίρεσης όγκου από επιλεγμένο σχέδιο.

4.2 Σχεδιασμός συσκευασίας Apple

Παραθέτω παρακάτω με σειρά, τα βήματα του σχεδιασμού της συσκευασίας περιγράφοντας κάθε ένα από αυτά. Για να δημιουργηθεί ένα νέο αρχείο πρέπει να επιλέξω τι είδους αρχείο είναι αυτό δηλαδή μεμονωμένο τμήμα, συνδεσμολογία ή σχέδιο δύο διαστάσεων. Αρχικά επιλέγω και σχεδιάζω, σε παρουσίαση τριών διαστάσεων, κάθε τμήμα της συσκευασίας ξεχωριστά και μετά την ολοκλήρωση αυτών προχωράω στη συνδεσμολογία τους.



Εικόνα 4.2.1. Επιλογή δημιουργίας του πίσω τμήματος της συσκευασίας.

4.2.1 Πίσω τμήμα συσκευασίας (Back part)

Διαστάσεις

Ύψος: 150 mm

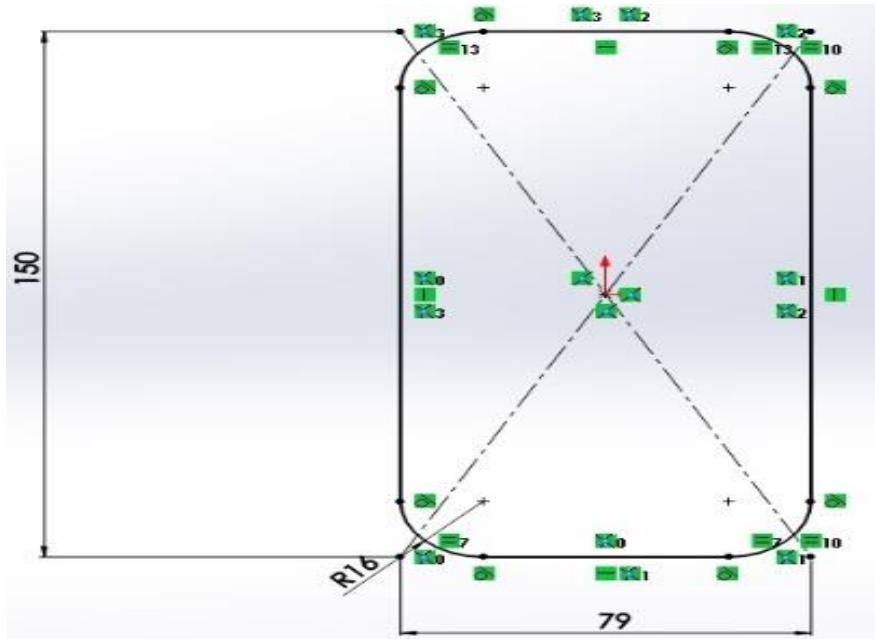
Πλάτος: 79 mm

Πάχος υλικού: 0.5 mm

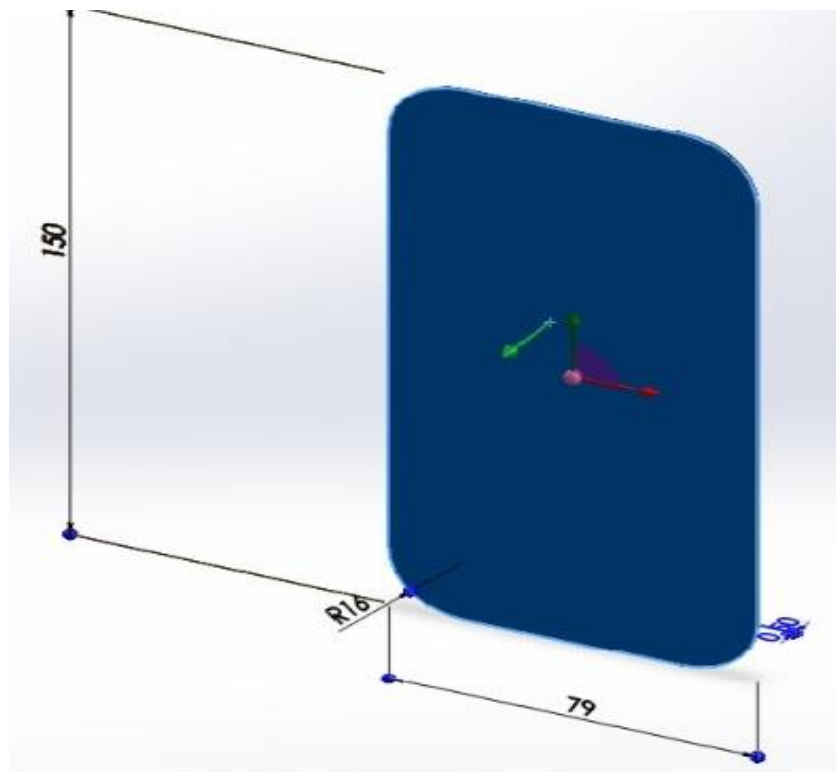
Στρογγυλοποίηση γωνιών: R=16 mm

Βάρος: 4,50 g

Υλικό κατασκευής: Χαρτί



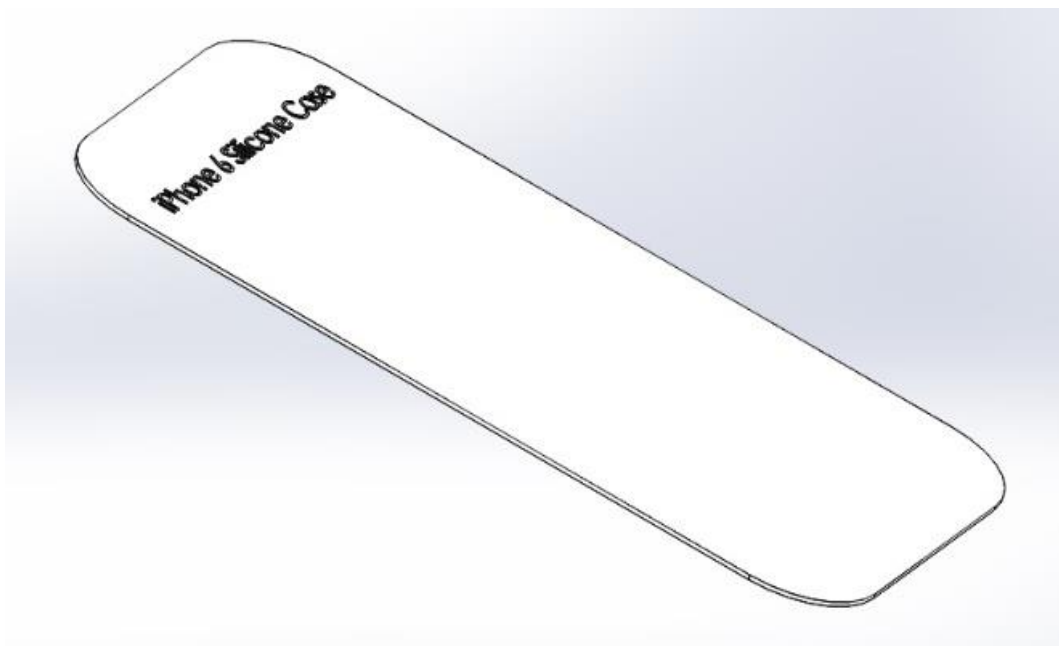
Εικόνα 4.2.2. Μορφοποίηση σχεδίου και εισαγωγή διαστάσεων.



Εικόνα 4.2.3. Εισαγωγή όγκου στο αρχικό σχέδιο.



Εικόνα 4.2.4 Εφαρμογή υλικού (πλαστικό), λευκού χρώματος.



Εικόνα 4.2.5. Τελική μορφή του πίσω μέρους της συσκευασίας. Πίσω, πλάγια λήψη.

4.2.2 Πρόσοψη συσκευασίας (Front part)

Διαστάσεις

Ύψος: 150 mm

Πλάτος: 79 mm

Πάχος υλικού: 0,80 mm

Μήκος πρόσοψης: 9 mm

Στρογγυλοποίηση γωνιών: R=16 mm

Βάρος: 12,10 gr

Ύψος οπής: 7,50 mm

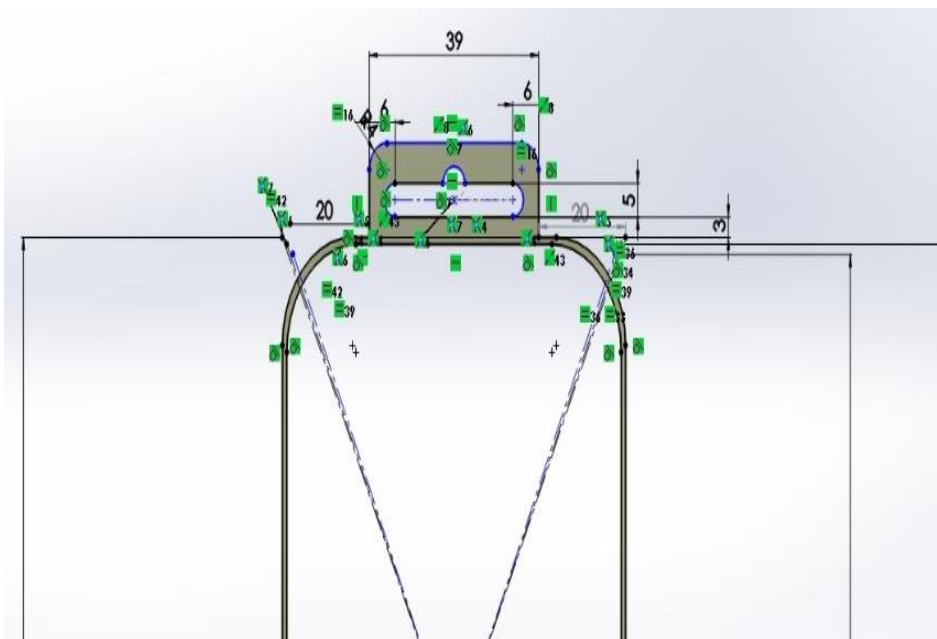
Πλάτος οπής: 27 mm

Στρογγυλοποίηση άνω γωνιών: R=4 mm

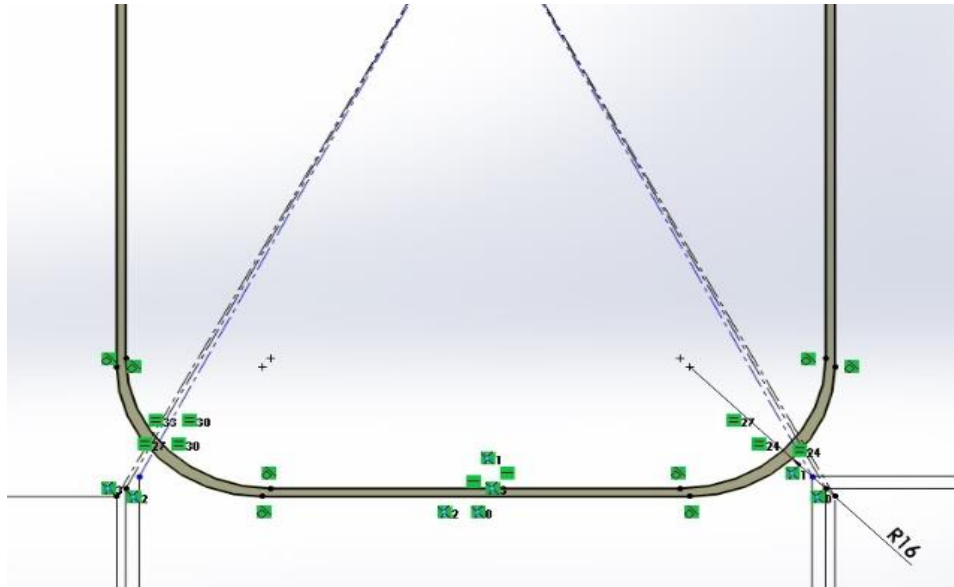
Πλάτος άνω τμήματος: 39 mm

Ύψος άνω τμήματος: 16 mm

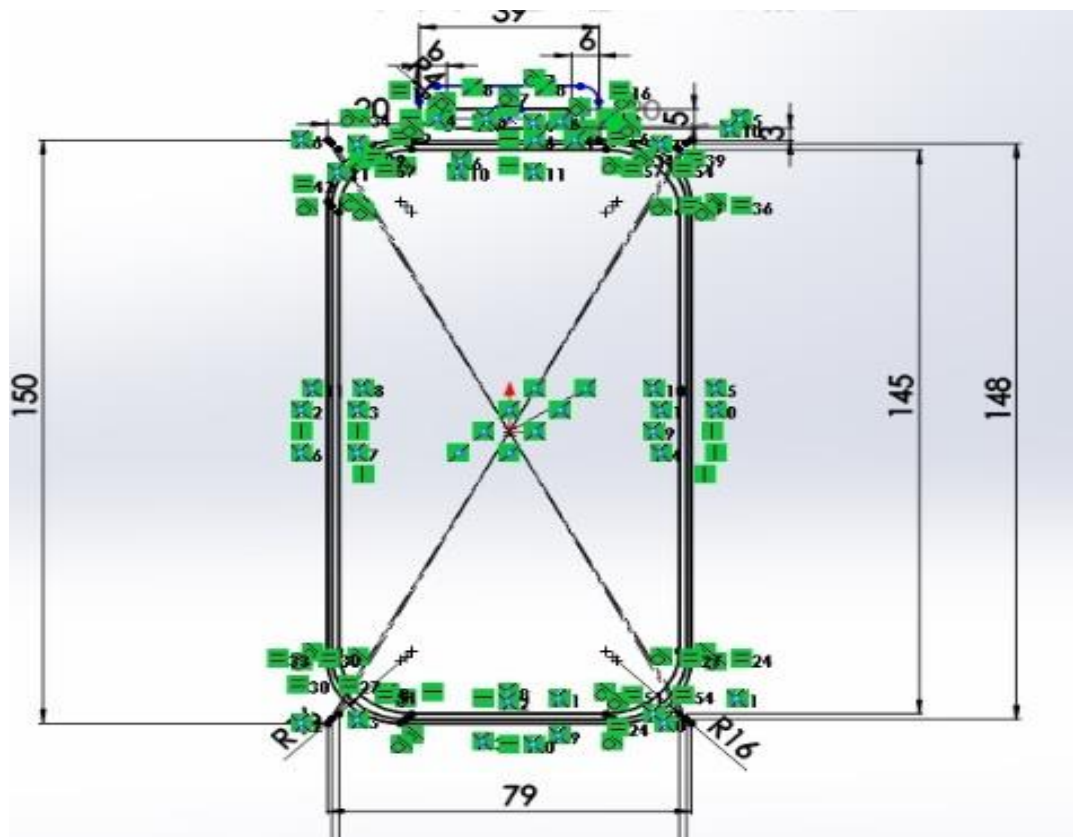
Υλικό κατασκευής: Πλαστικό



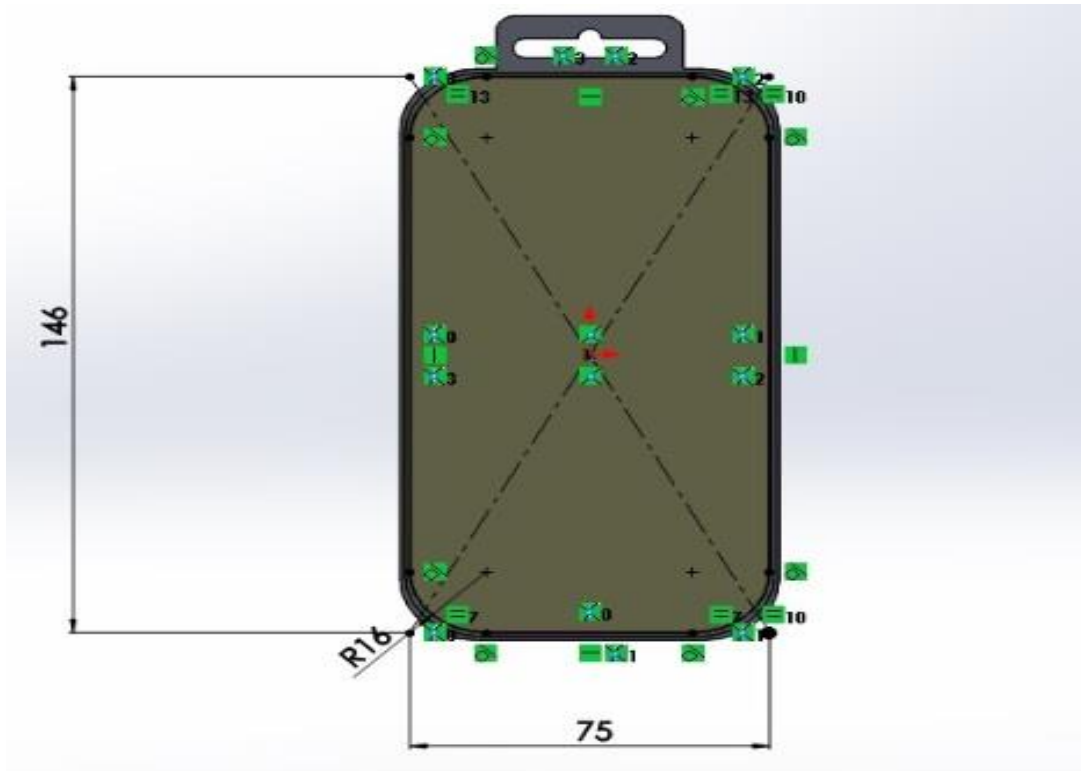
Εικόνα 4.2.6. Μορφοποίηση σχεδίου και εισαγωγή διαστάσεων.



Εικόνα 4.2.7. Εξομάλυνση γωνιών με τόξα.



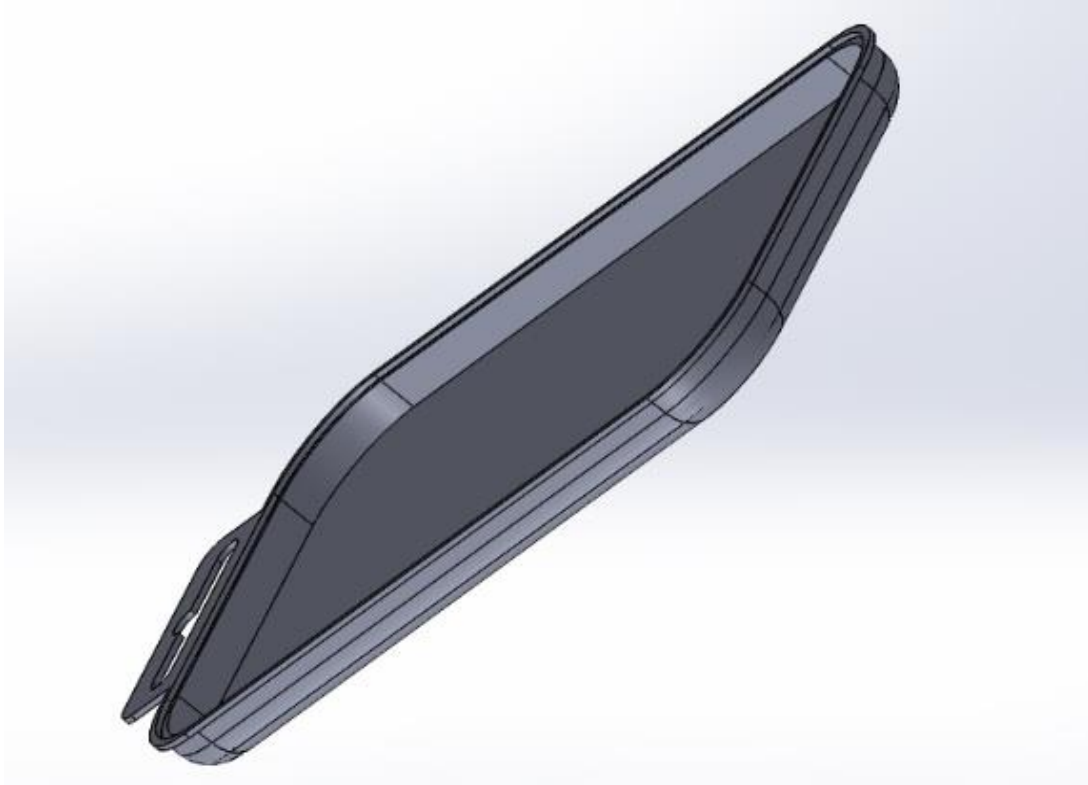
Εικόνα 4.2.8. Διαστασιολόγηση όλου του τμήματος.



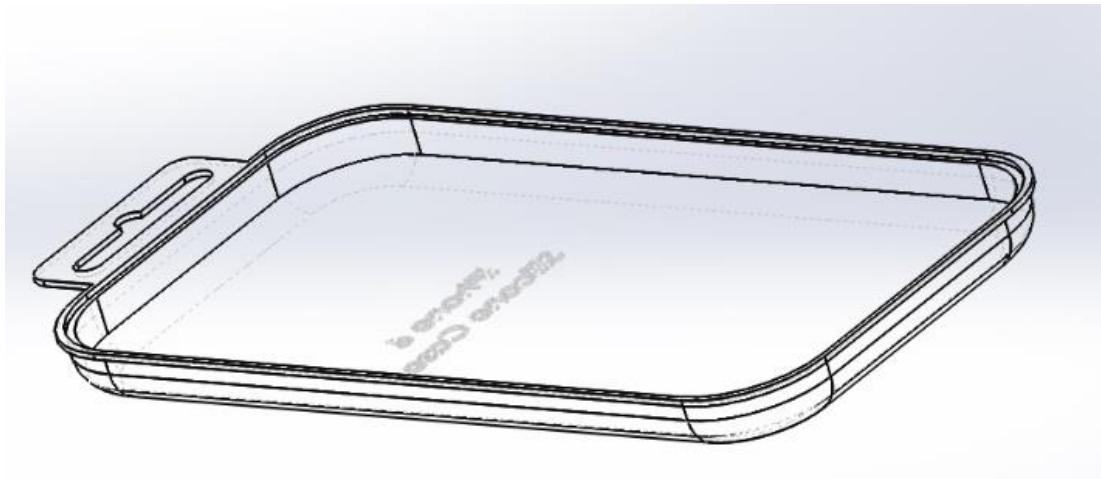
Εικόνα 4.2.9. Εισαγωγή όγκου στο αρχικό σχέδιο. Πίσω λήψη.



Εικόνα 4.2.10. Τελική μορφή της πρόσοψης της συσκευασίας. Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.2.11. Τελική μορφή της πρόσοψης,. Αφαίρεση όγκου, εξομάλυνση γωνιών με τόξα και αυλακώσεις. Πίσω, πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.2.12. Τελική μορφή της πρόσοψης της συσκευασίας. Πίσω, πλάγια λήψη. Εφαρμογή υλικού (διαφανές πλαστικό).

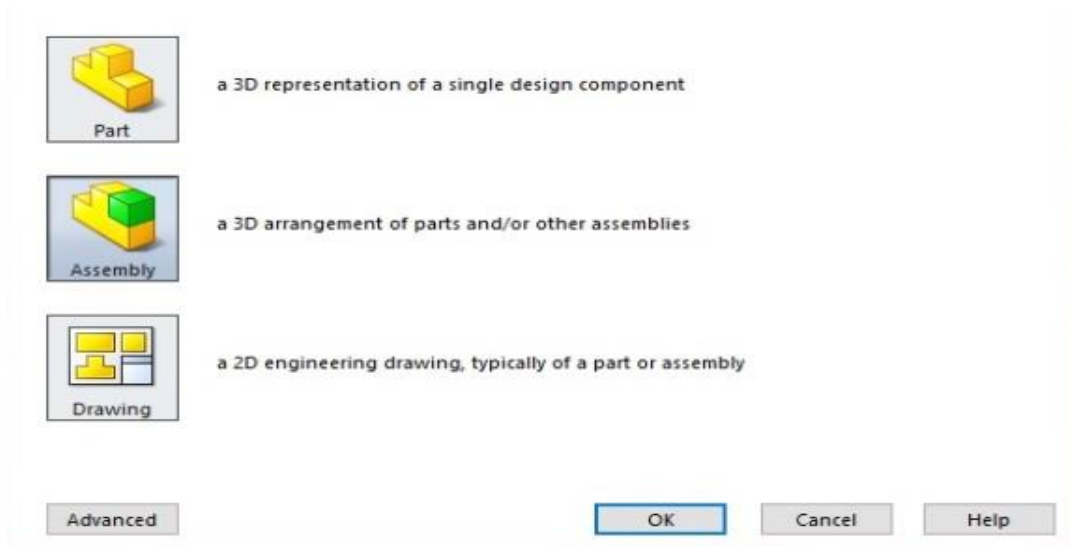


Εικόνα 4.2.13. Τελική μορφή της πρόσοψης της συσκευασίας.



Εικόνα 4.2.14. Η πρόσοψη της συσκευασίας. Πλάγια λήψη χωρίς τις ακμές.

4.2.3 Συνδεσμολογία συσκευασίας (Packaging assembly)



Εικόνα 4.2.15. Επιλογή συνδεσμολογίας των τμημάτων της συσκευασίας.



Εικόνα 4.2.16. Τελική μορφή της συσκευασίας. Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.2.17. Τελική μορφή της συσκευασίας.



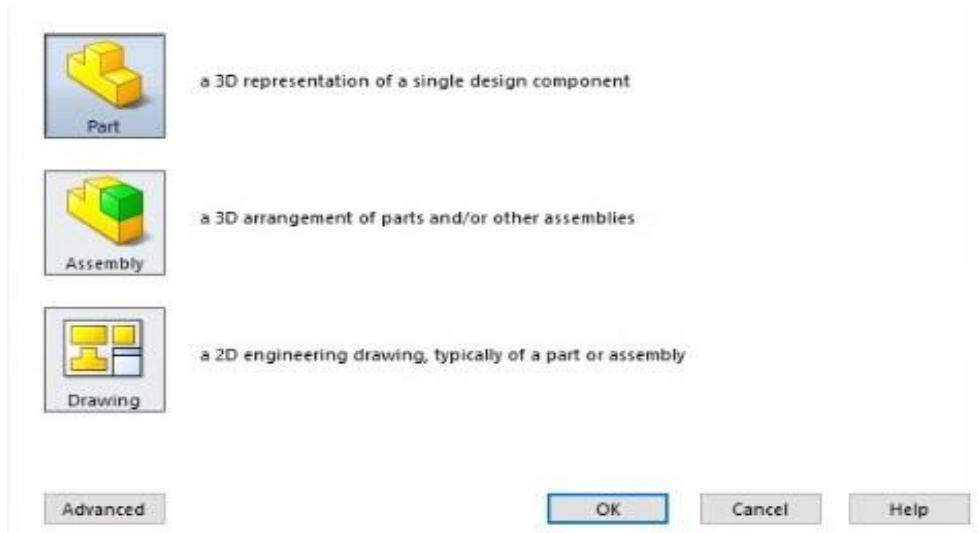
Εικόνα 4.2.18. Τελική μορφή της συσκευασίας. Πίσω λήψη.



Εικόνα 4.2.19. Τελική μορφή της συσκευασίας χωρίς τις ακμές. Πλάγια λήψη.

4.3 Σχεδιασμός συσκευασίας UnCommon

Παραθέτω παρακάτω με σειρά, τα βήματα του σχεδιασμού της συσκευασίας περιγράφοντας κάθε ένα από αυτά. Ο σχεδιασμός έγινε στο λογισμικό CAD, SolidWorks. Για να δημιουργηθεί ένα νέο αρχείο πρέπει να επιλέξω τι είδους αρχείο είναι αυτό δηλαδή μεμονωμένο τμήμα, συνδεσμολογία ή σχέδιο δύο διαστάσεων. Αρχικά επιλέγω και σχεδιάζω, σε παρουσίαση τριών διαστάσεων, κάθε τμήμα της συσκευασίας ξεχωριστά και μετά την ολοκλήρωση αυτών προχωρώ στη συνδεσμολογία τους.



Εικόνα 4.3.1. Επιλογή δημιουργίας του πίσω τμήματος της συσκευασίας.

4.3.1 Πίσω τμήμα συσκευασίας (Back part)

Διαστάσεις

Ύψος: 172 mm

Πλάτος: 104 mm

Πάχος υλικού: 4 mm

Βάρος: 33 g

Στρογγυλοποίηση γωνιών: R=12,50 mm

Ύψος άνω οπής: 10,5 mm

Πλάτος άνω οπής: 22 mm

Στρογγυλοποίηση άνω γωνιών: R=4 mm

Ύψος μεσαίας οπής: 5 mm

Πλάτος μεσαίας οπής: 22 mm

Ύψος εσωτερικών αυλακώσεων: 43 mm

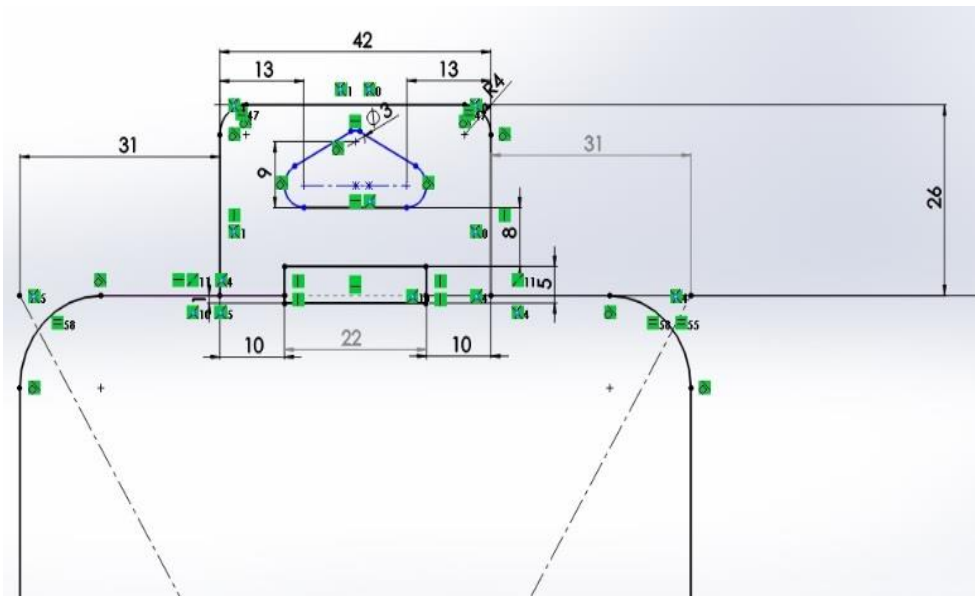
Πλάτος εσωτερικών αυλακώσεων: 5 mm

Πάχος εσωτερικών αυλακώσεων: 2 mm

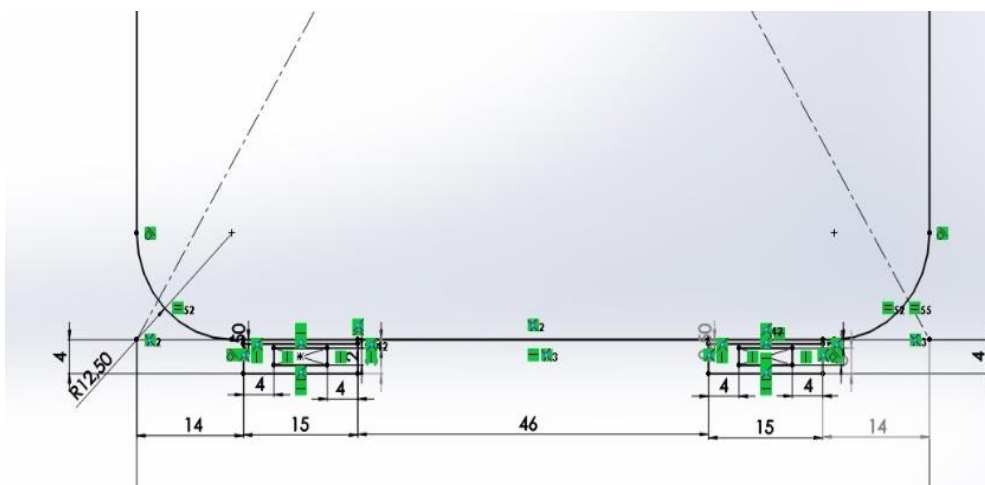
Ύψος κάτω οπών: 4 mm

Πλάτος κάτω οπών: 15 mm

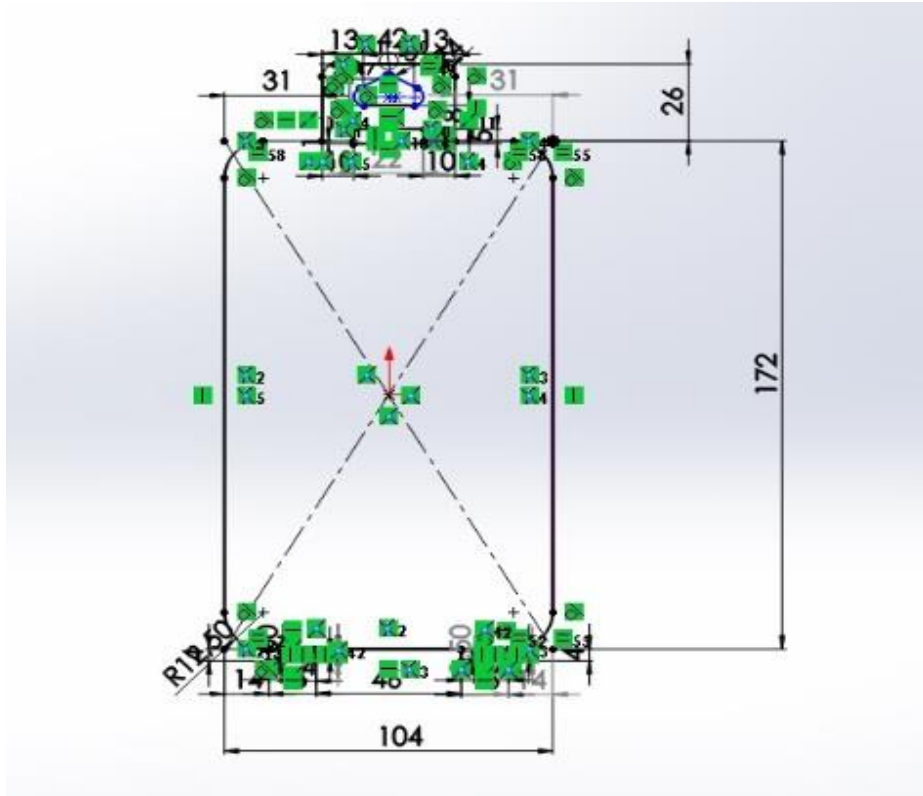
Υλικό κατασκευής: Πλαστικό



Εικόνα 4.3.2. Μορφοποίηση σχεδίου και εισαγωγή διαστάσεων.



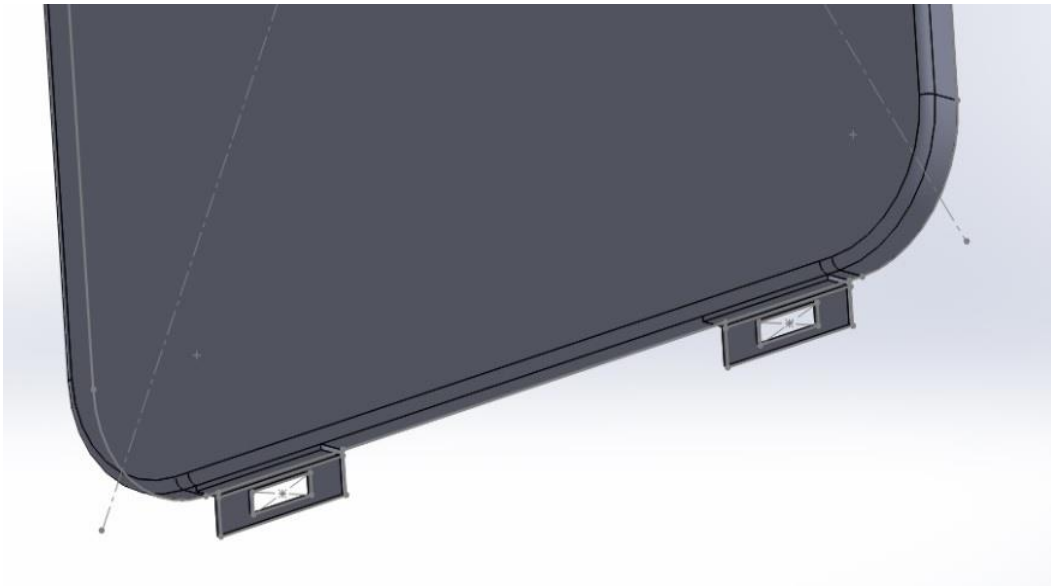
Εικόνα 4.3.3. Εξομάλυνση γωνιών με τόξα.



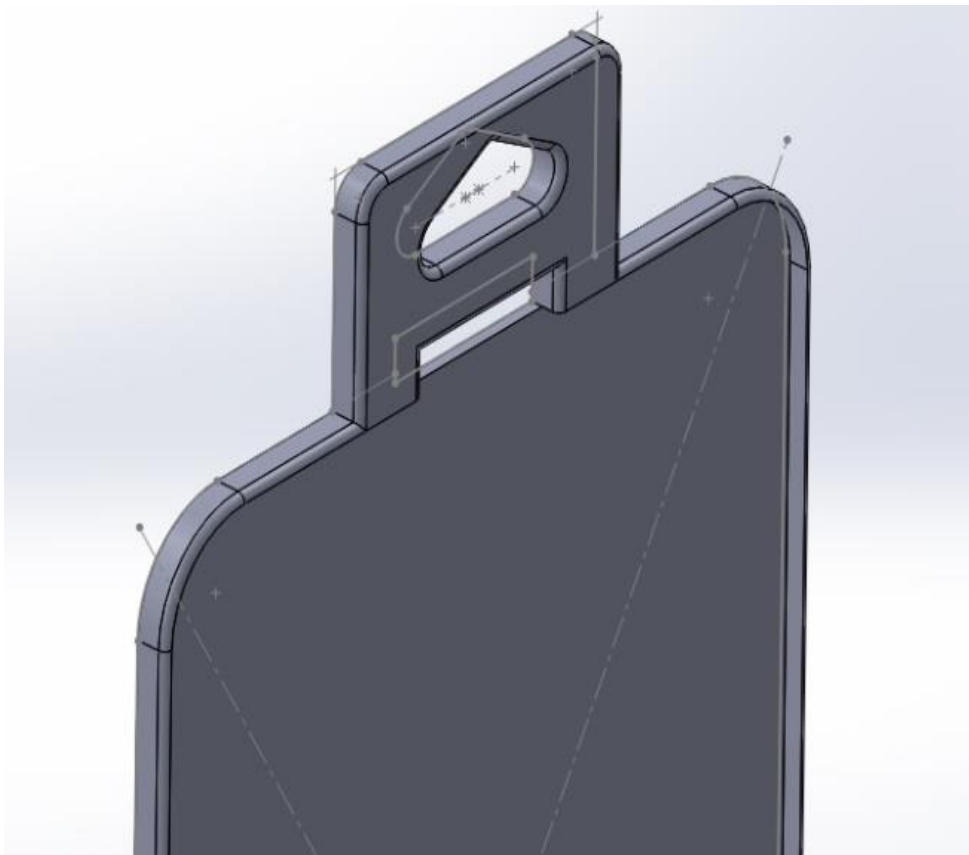
Εικόνα 4.3.4. Διαστασιολόγηση όλου του τμήματος.



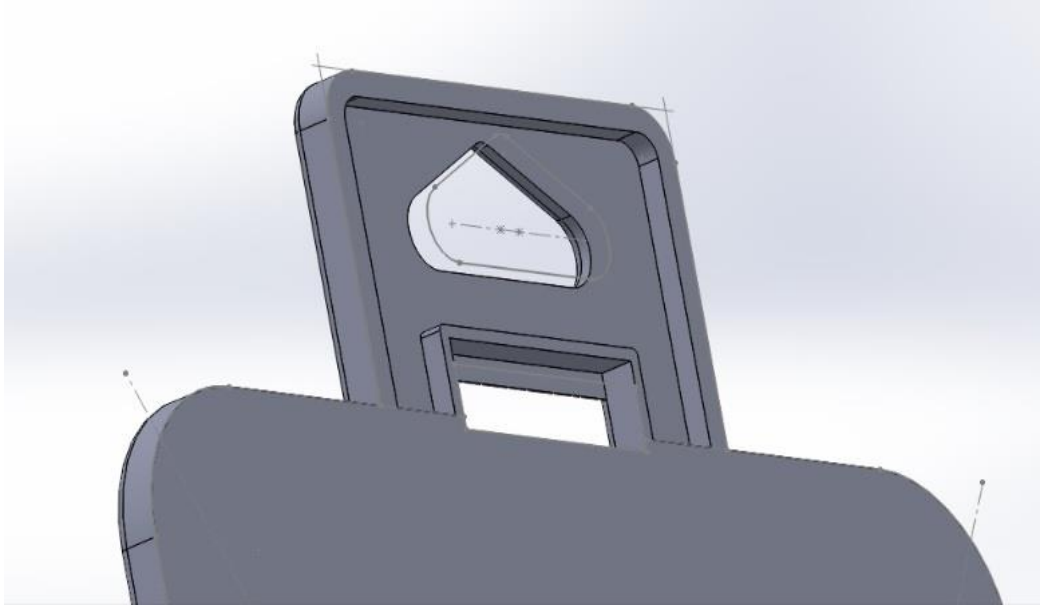
Εικόνα 4.3.5. Εισαγωγή όγκου στο αρχικό σχέδιο.



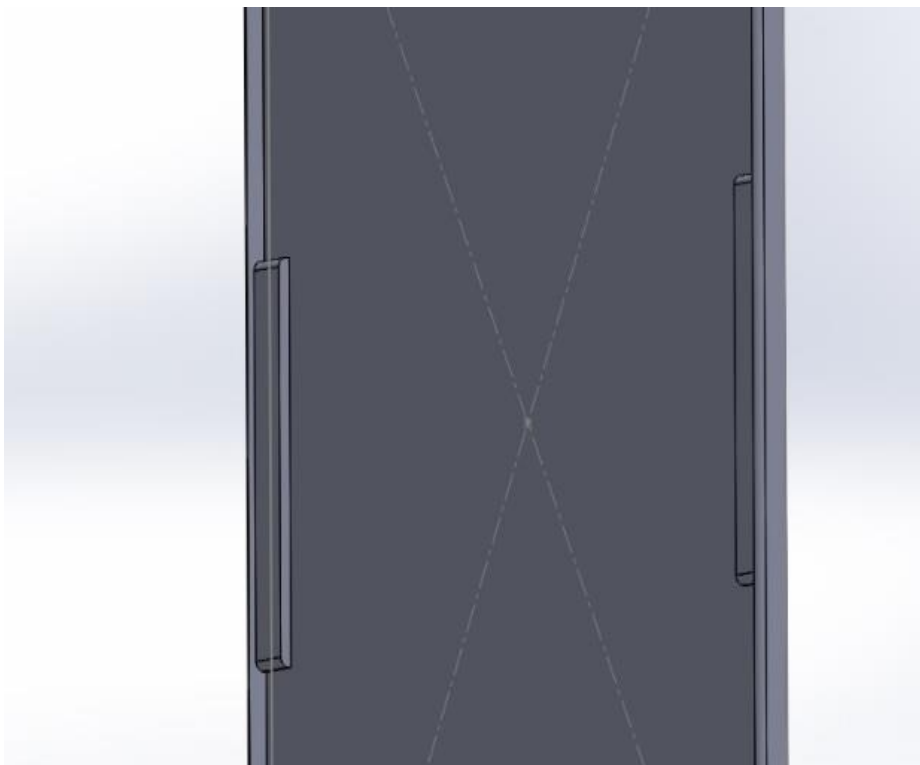
Εικόνα 4.3.6. Αφαίρεση όγκου και μορφοποίηση οπών συνδεσμολογίας.



Εικόνα 4.3.7. Αφαίρεση όγκου, εξομάλυνση γωνιών με τόξα και αυλακώσεις.



Εικόνα 4.3.8. Αφαίρεση όγκου, εξομάλυνση γωνιών με τόξα και αυλακώσεις. Πίσω λήψη.



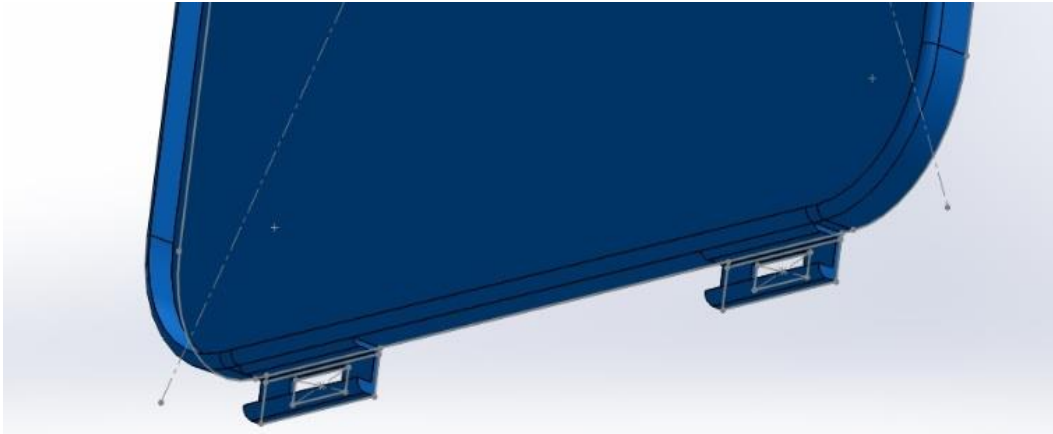
Εικόνα 4.3.9. Αφαίρεση όγκου, εξομάλυνση γωνιών με τόξα και αυλακώσεις. Δημιουργία εσωτερικών αυλακώσεων.



Εικόνα 4.3.10. Εφαρμογή υλικού (πλαστικό), μπλε χρώματος.



Εικόνα 4.3.11. Τελική μορφή του πίσω μέρους της συσκευασίας.



Εικόνα 4.3.12. Τελική μορφή των οπών συνδεσμολογίας.



Εικόνα 4.3.13. Τελική μορφή οπών συνδεσμολογίας. Εισαγωγή brand name εταιρείας. Πίσω λήψη.



Εικόνα 4.3.14. Τελική μορφή του πίσω μέρους της συσκευασίας. Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.3.15. Τελική μορφή του πίσω μέρους της συσκευασίας. Πίσω πλάγια λήψη.

4.3.2 Εσωτερικό τμήμα συσκευασίας (Middle part 1)

Διαστάσεις

Ύψος: 170 mm

Πλάτος: 98 mm

Πάχος υλικού: 0,80 mm

Βάρος: 5,02 g

Μήκος : 8 mm

Στρογγυλοποίηση γωνιών: R=16 mm

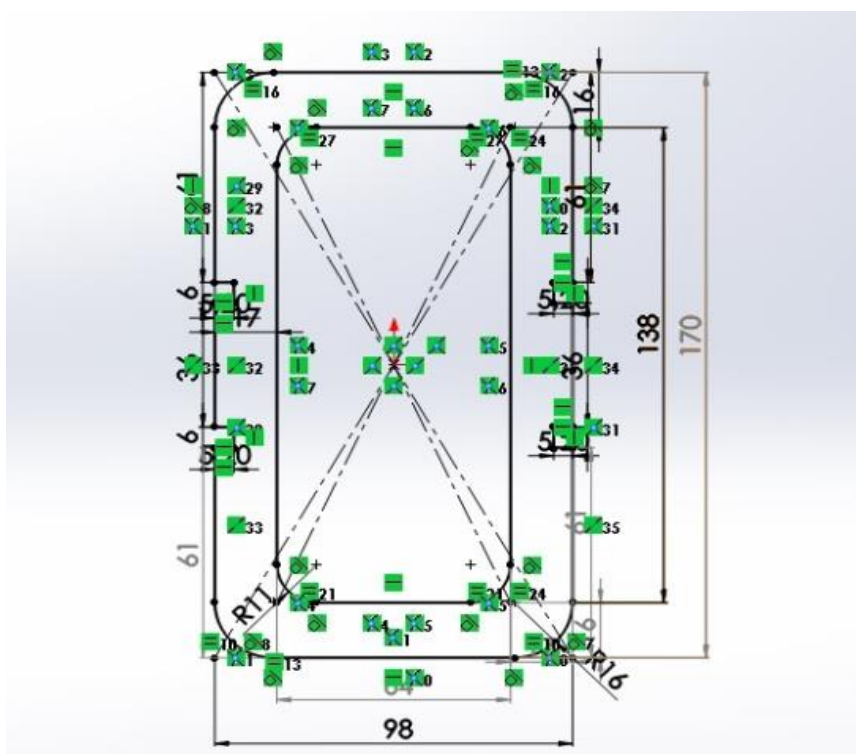
Εσωτερική στρογγυλοποίηση γωνιών: R=11 mm

Εσωτερικό πλάτος: 64 mm

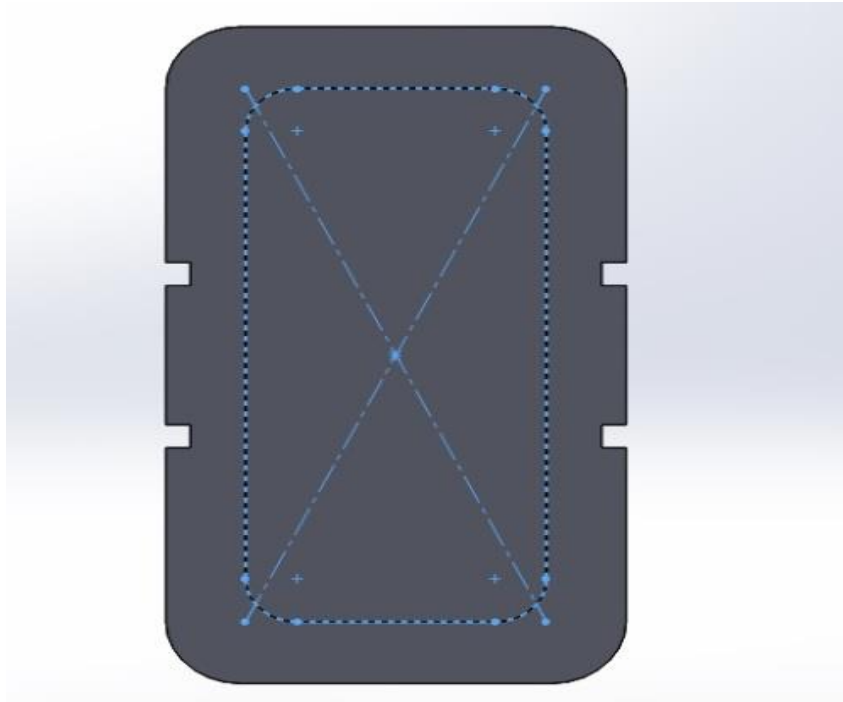
Ύψος οπών: 6 mm

Πλάτος οπών: 5,20 mm

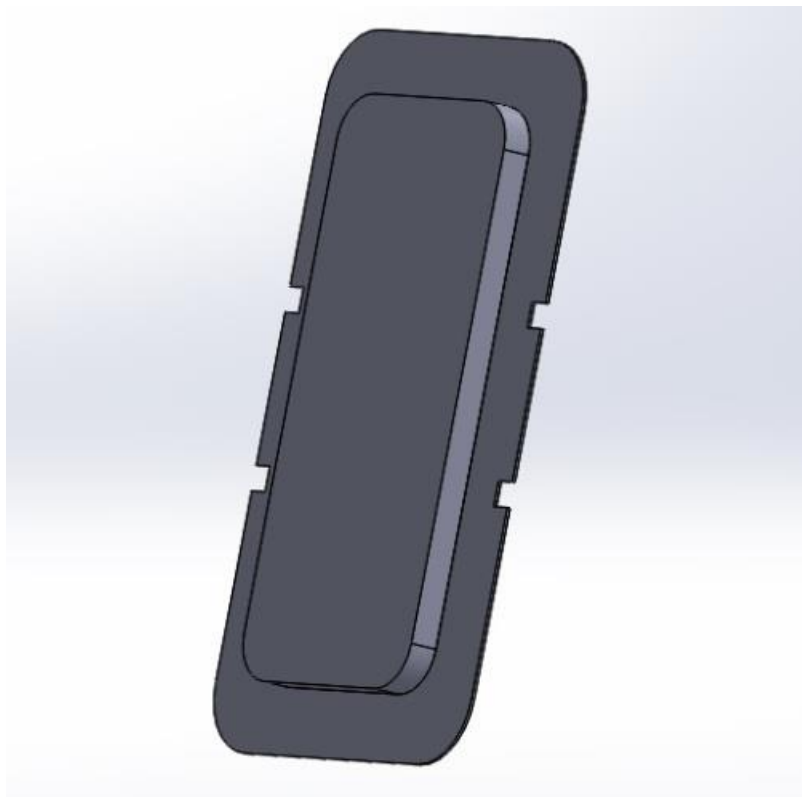
Υλικό κατασκευής: Πλαστικό



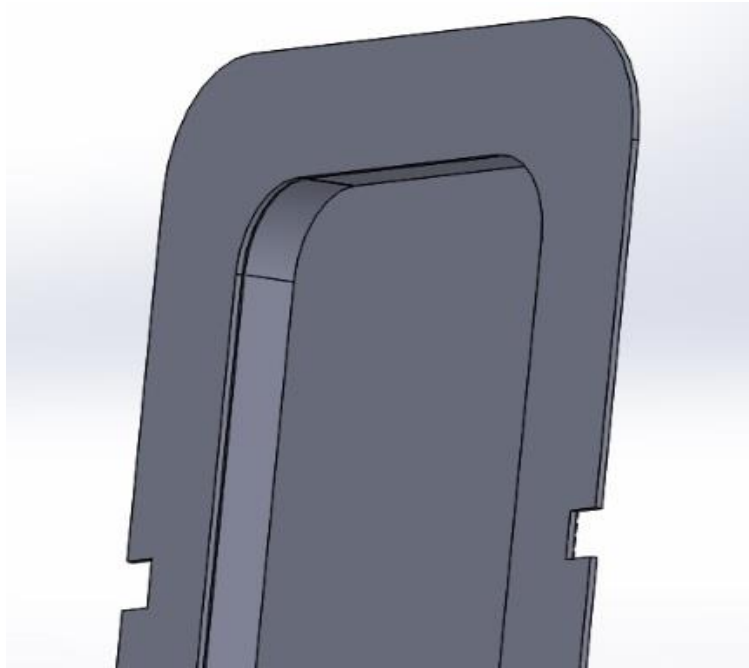
Εικόνα 4.3.16. Μορφοποίηση σχεδίου, διαστασιολόγηση όλου του τμήματος. Εξομάλυνση γωνιών με τόξα και δημιουργία οπών.



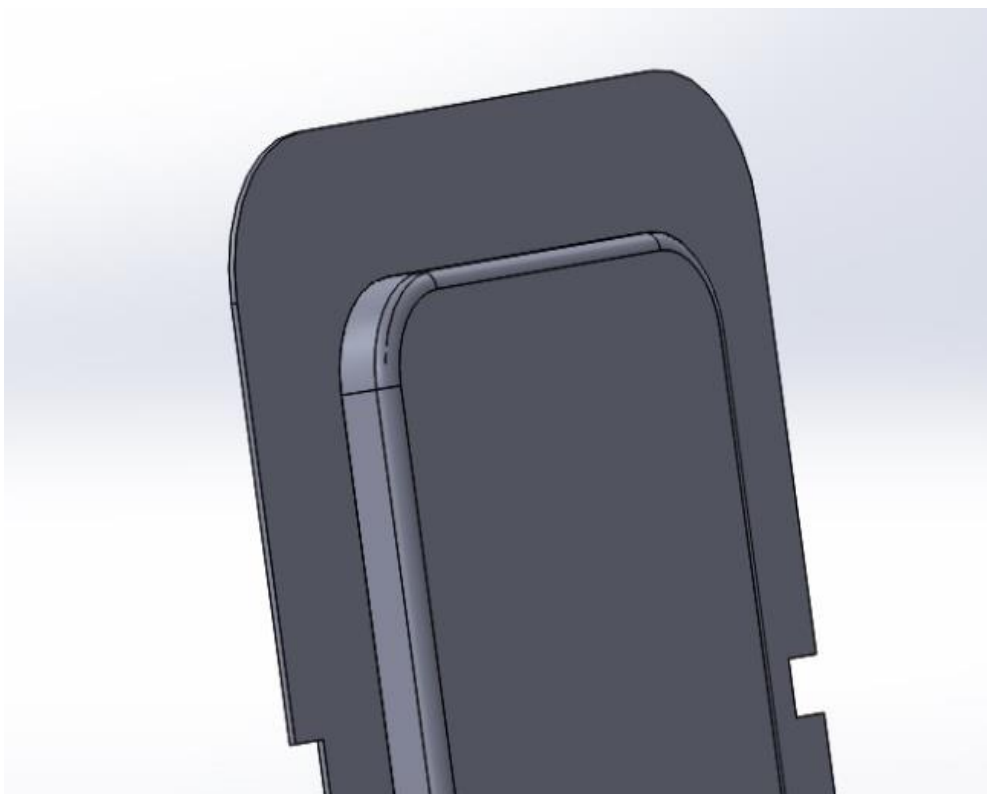
Εικόνα 4.3.17. Εισαγωγή όγκου στο αρχικό σχέδιο.



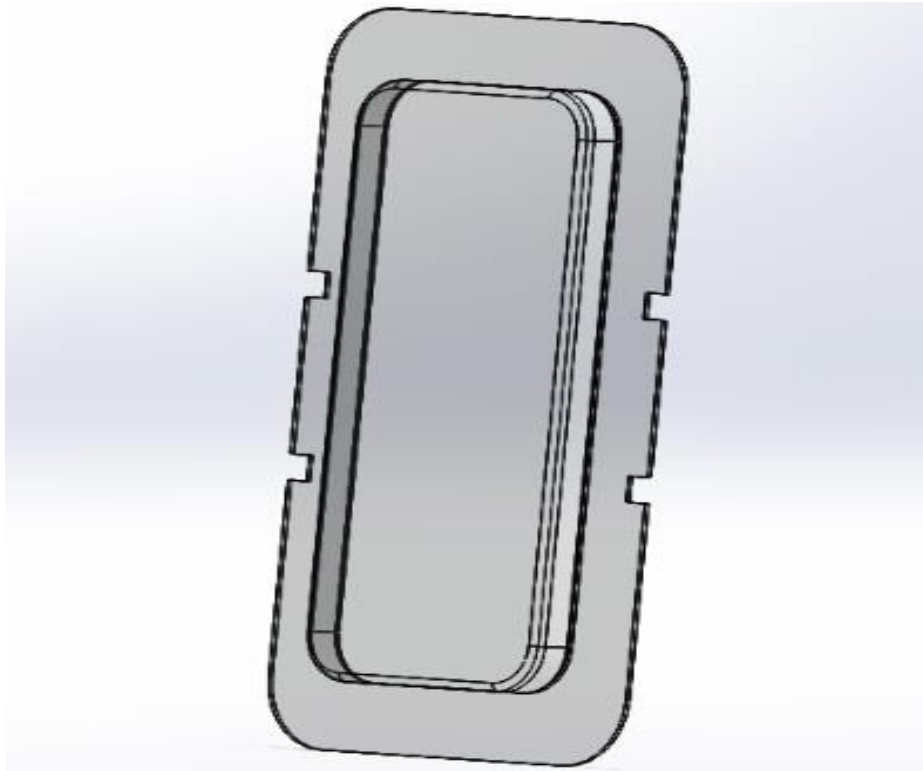
Εικόνα 4.3.18. Αφαίρεση όγκου. Πλάγια λήψη.



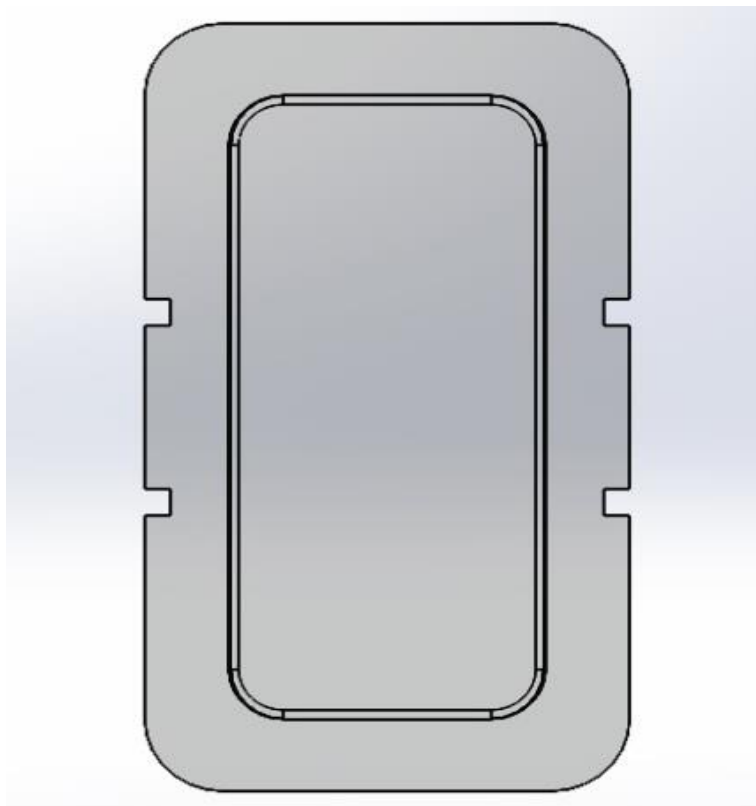
Εικόνα 4.3.19. Αφαίρεση όγκου, εξομάλυνση γωνιών με τόξα και αυλακώσεις. Πίσω λήψη.



Εικόνα 4.3.20. Εξομάλυνση γωνιών με τόξα και τελική μορφοποίηση.



Εικόνα 4.3.21. Εφαρμογή υλικού (διαφανές πλαστικό). Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.3.22. Τελική μορφή πρώτου εσωτερικού τμήματος της συσκευασίας.



Εικόνα 4.3.23. Τελική μορφή πρώτου εσωτερικού τμήματος της συσκευασίας, χωρίς τις ακμές.

4.3.3 Εσωτερικό τμήμα συσκευασίας (Middle part 2)

Διαστάσεις

Ύψος: 168 mm

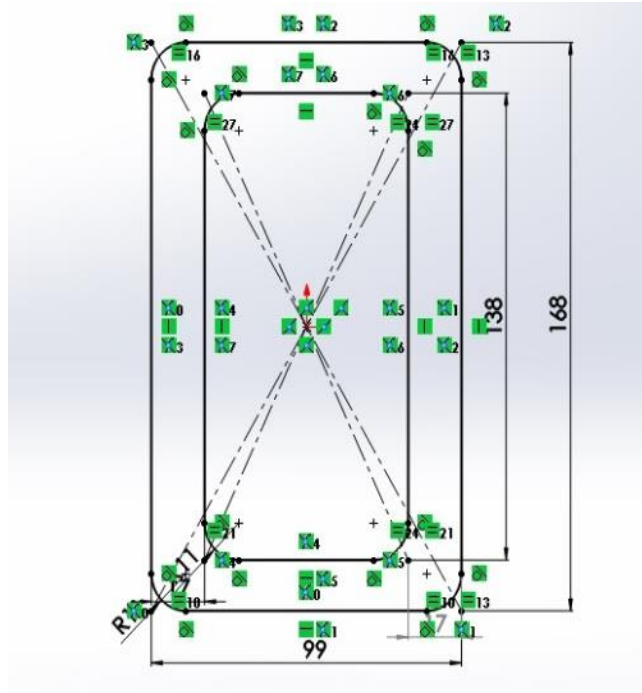
Πλάτος: 99 mm

Πάχος υλικού: 0,40 mm

Βάρος: 1,60 g

Στρογγυλοποίηση γωνιών: R=11 mm

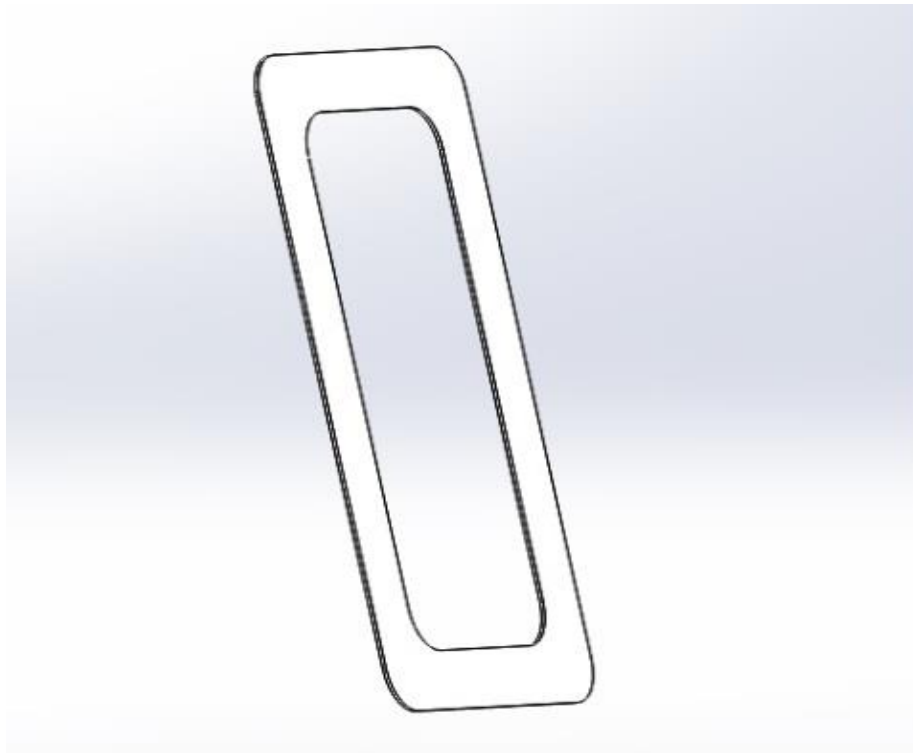
Υλικό κατασκευής: Μεταξωτό χαρτί



Εικόνα 4.3.24. Μορφοποίηση σχεδίου, διαστασιολόγηση όλου του τμήματος.



Εικόνα 4.3.25. Εισαγωγή όγκου στο αρχικό σχέδιο.



Εικόνα 4.3.26. Εφαρμογή υλικού (χαρτί), λευκού χρώματος.



Εικόνα 4.3.27. Τελική μορφή δεύτερου εσωτερικού τμήματος της συσκευασίας.

4.3.4 Εσωτερικό τμήμα συσκευασίας (Middle part 3)

Διαστάσεις

Ύψος: 138 mm

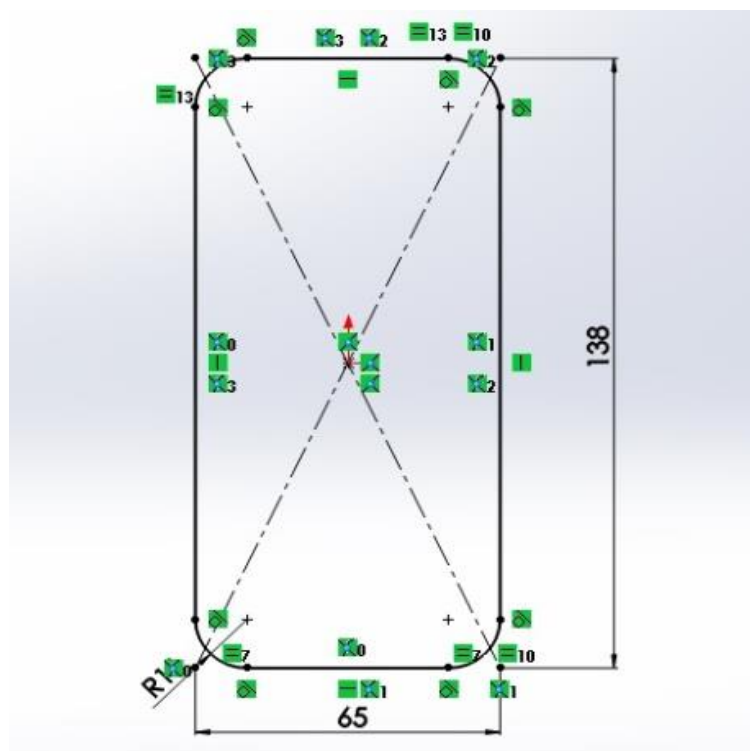
Πλάτος: 65 mm

Πάχος υλικού: 0,40 mm

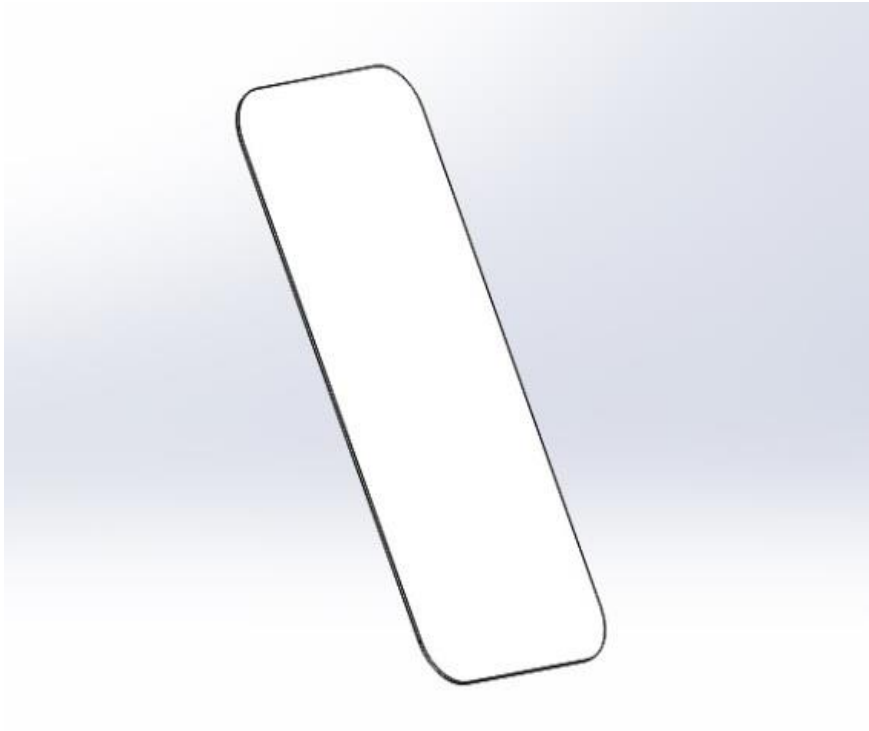
Βάρος: 2,06 g

Στρογγυλοποίηση γωνιών: R=11 mm

Υλικό κατασκευής: Χαρτί



Εικόνα 4.3.28. Μορφοποίηση σχεδίου, διαστασιολόγηση όλου του τμήματος.



Εικόνα 4.3.29. Εισαγωγή όγκου στο αρχικό σχέδιο.



Εικόνα 4.3.30. Εφαρμογή υλικού (χαρτί), λευκού χρώματος.



Εικόνα 4.3.31. Τελική μορφή τρίτου εσωτερικού τμήματος της συσκευασίας.

4.3.5 Πρόσοψη συσκευασίας (Front part)

Διαστάσεις

Ύψος: 177 mm

Πλάτος: 107 mm

Πάχος υλικού: 2 mm

Βάρος: 52,10 g

Στρογγυλοποίηση γωνιών: R=14 mm

Μήκος πρόσοψης: 15 mm

Στρογγυλοποίηση γωνιών του προσώπου: R=15 mm

Ύψος άνω οπών: 4 mm

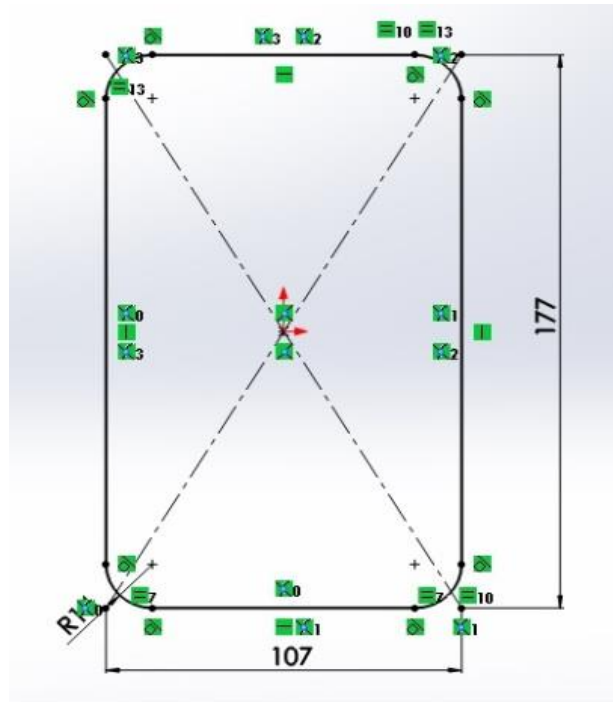
Πλάτος άνω οπών: 12 mm

Ύψος κάτω οπών: 4 mm

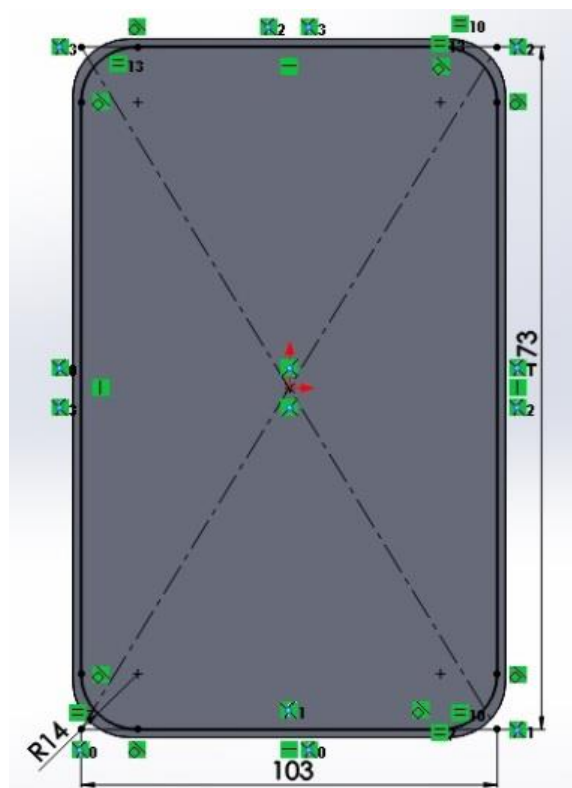
Πλάτος κάτω οπών: 15 mm

Στρογγυλοποίηση κάτω γωνιών: R=0,50 mm

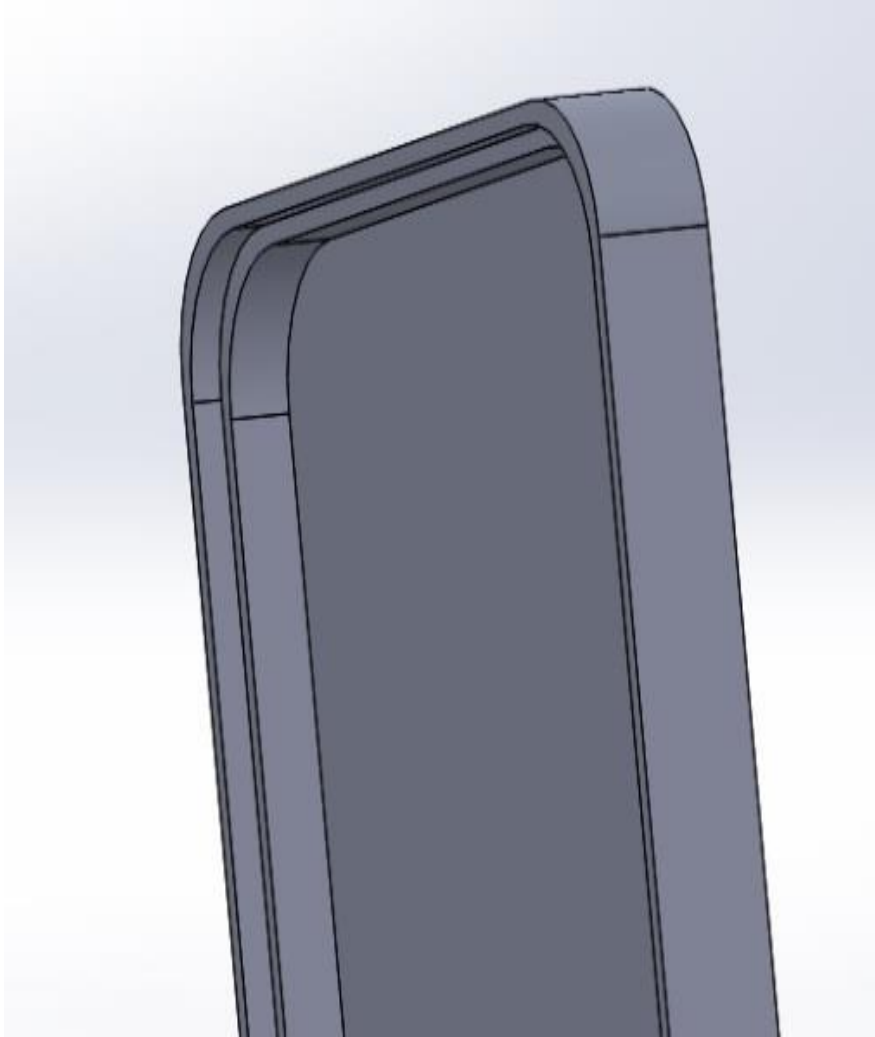
Υλικό κατασκευής: Πολυσυνθετικό πλαστικό



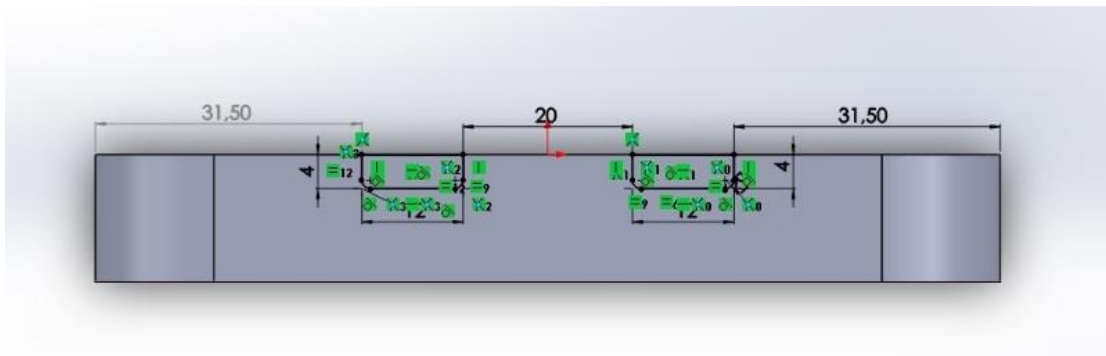
Εικόνα 4.3.32. Μορφοποίηση σχεδίου, διαστασιολόγηση όλου του τμήματος.



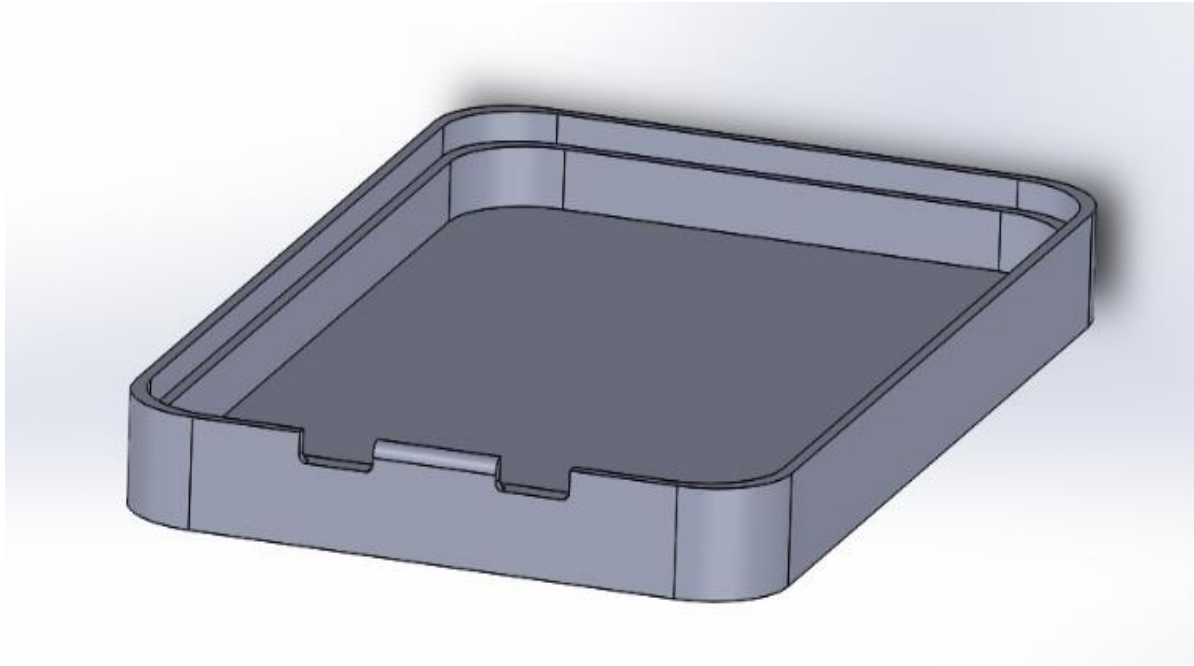
Εικόνα 4.3.33. Εισαγωγή όγκου στο αρχικό σχέδιο.



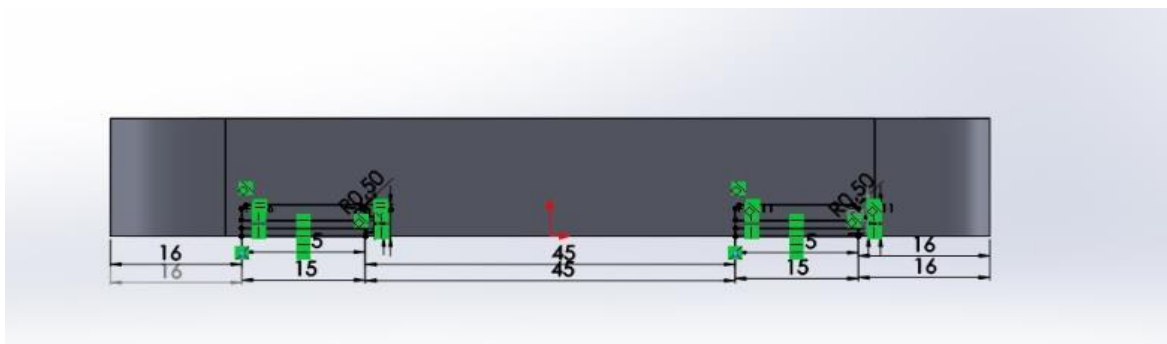
Εικόνα 4.3.34. Αφαίρεση όγκου, εξομάλυνση γωνιών με τόξα και αυλακώσεις. Πίσω λήψη.



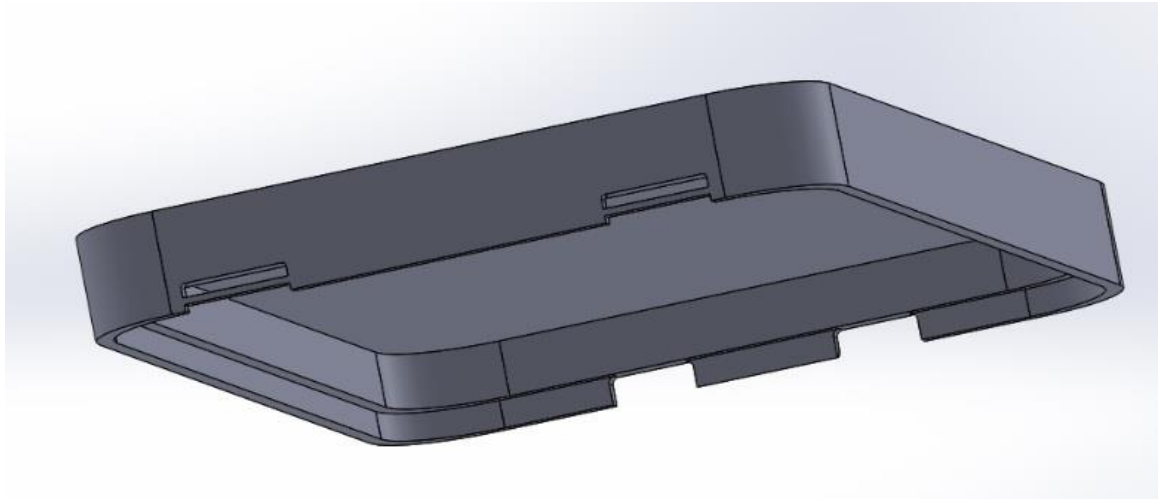
Εικόνα 4.3.35. Διαστασιολόγηση για αφαίρεση όγκου και μορφοποίηση συνδεσμολογίας.
Κάτοψη.



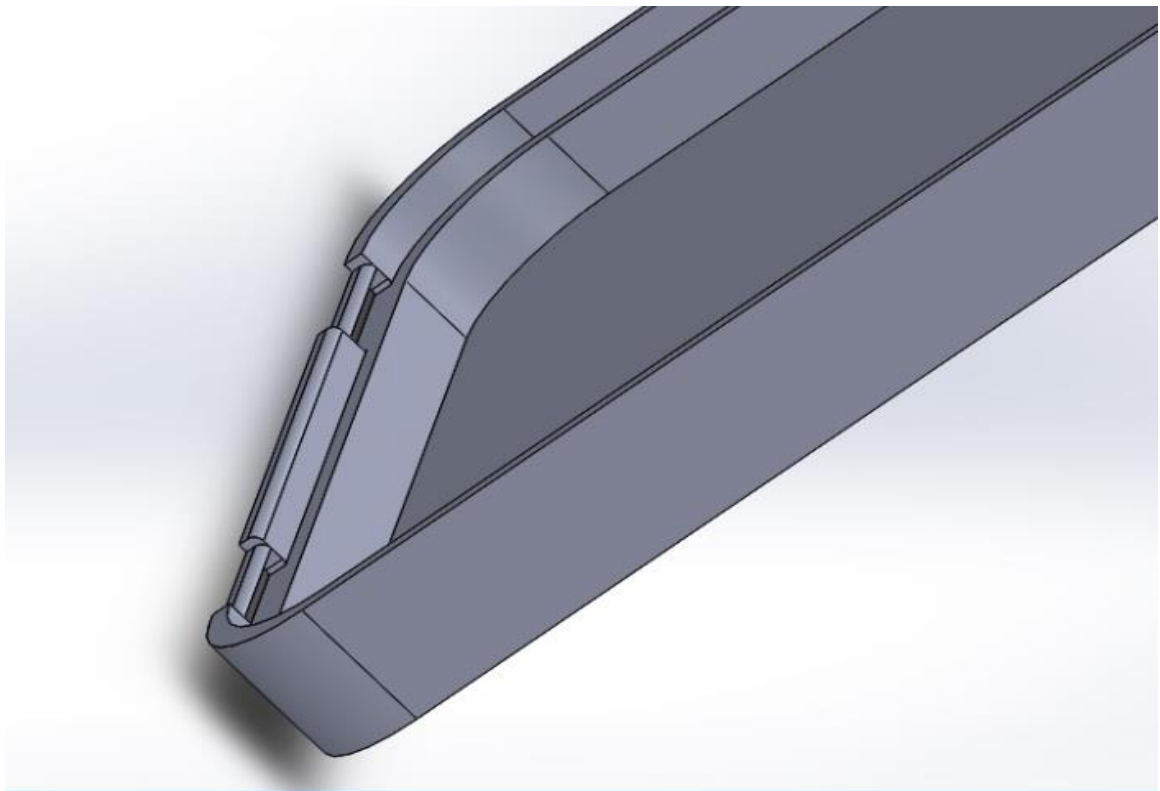
Εικόνα 4.3.36. Αφαίρεση όγκου για μορφοποίηση πρόσοψης. Πάνω και πλάγια πίσω λήψη.



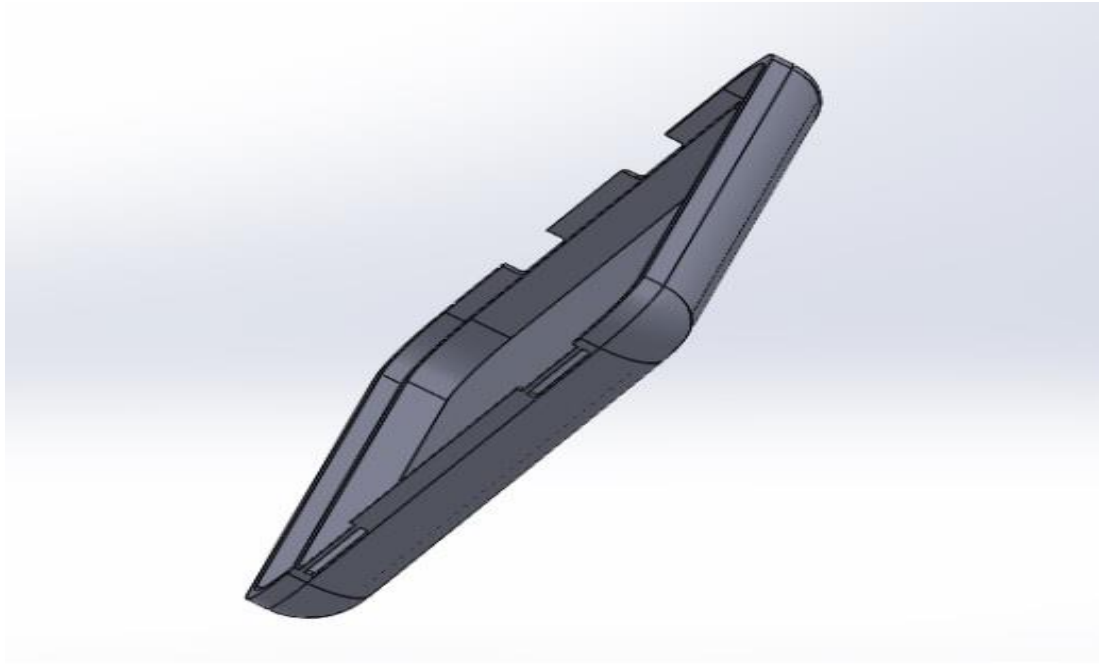
Εικόνα 4.3.37. Διαστασιολόγηση για αφαίρεση όγκου και μορφοποίηση συνδεσμολογίας.
Κάτω λήψη.



Εικόνα 4.3.38. Αφαίρεση όγκου για μορφοποίηση πρόσοψης. Κάτω και πλάγια πίσω λήψη.



Εικόνα 4.3.39. Εξομάλυνση γωνιών με τόξα για μορφοποίηση πρόσοψης. Πλάγια πίσω λήψη.



Εικόνα 4.3.40. Εξομάλυνση γωνιών με τόξα για μορφοποίηση πρόσοψης. Πλάγια πίσω λήψη.



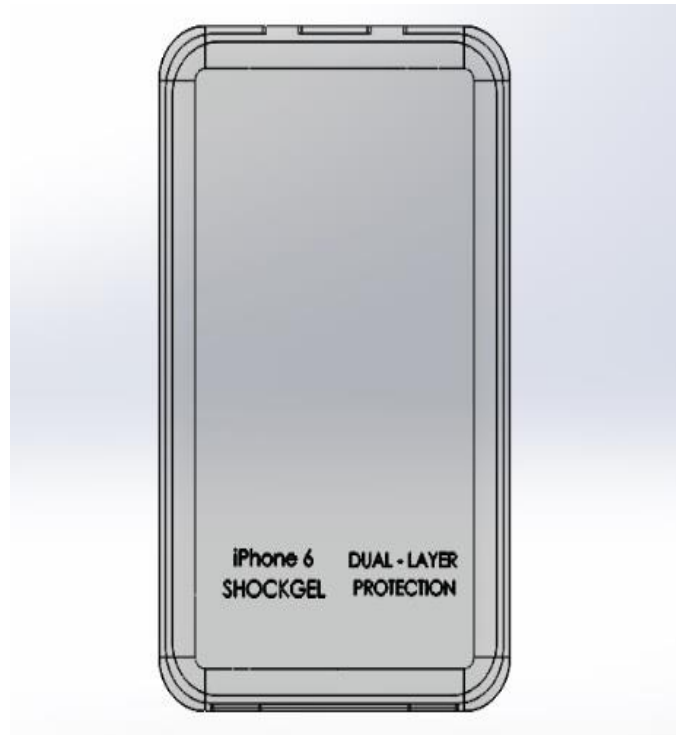
Εικόνα 4.3.41. Εξομάλυνση γωνιών με τόξα της πρόσοψης της συσκευασίας. Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.3.42. Τελική μορφή της πρόσοψης της συσκευασίας χωρίς την εφαρμογή υλικού.
Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.3.43. Εφαρμογή υλικού (διαφανές πλαστικό). Πλάγια λήψη.

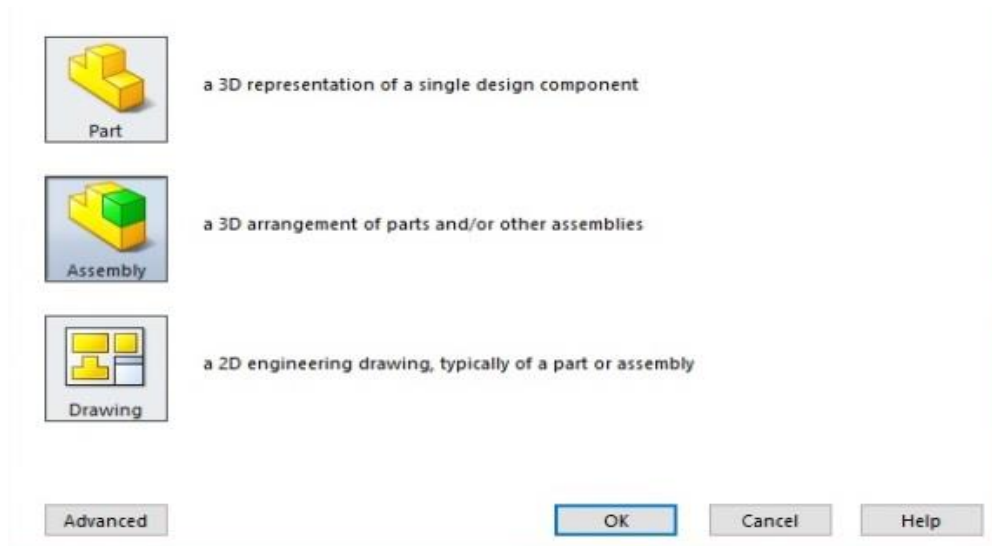


Εικόνα 4.3.44. Τελική μορφή της πρόσοψης της συσκευασίας.



Εικόνα 4.3.45. Τελική μορφή της πρόσοψης της συσκευασίας, χωρίς τις ακμές.

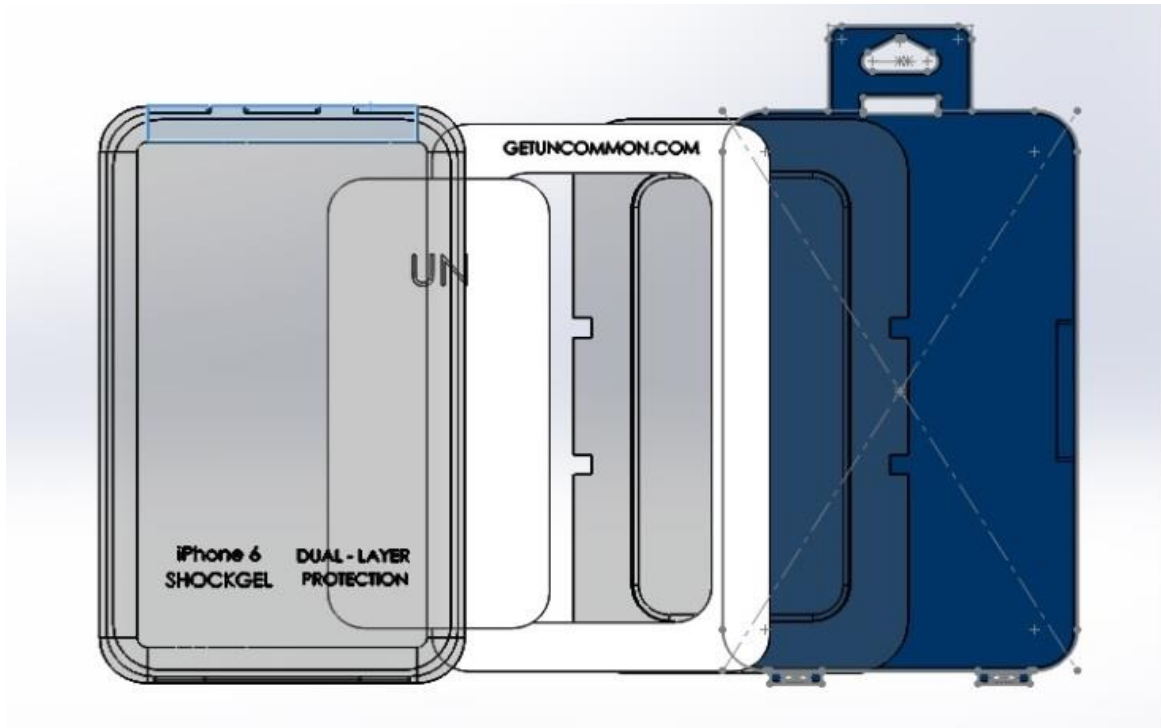
4.3.6 Συνδεσμολογία συσκευασίας (Packaging assembly)



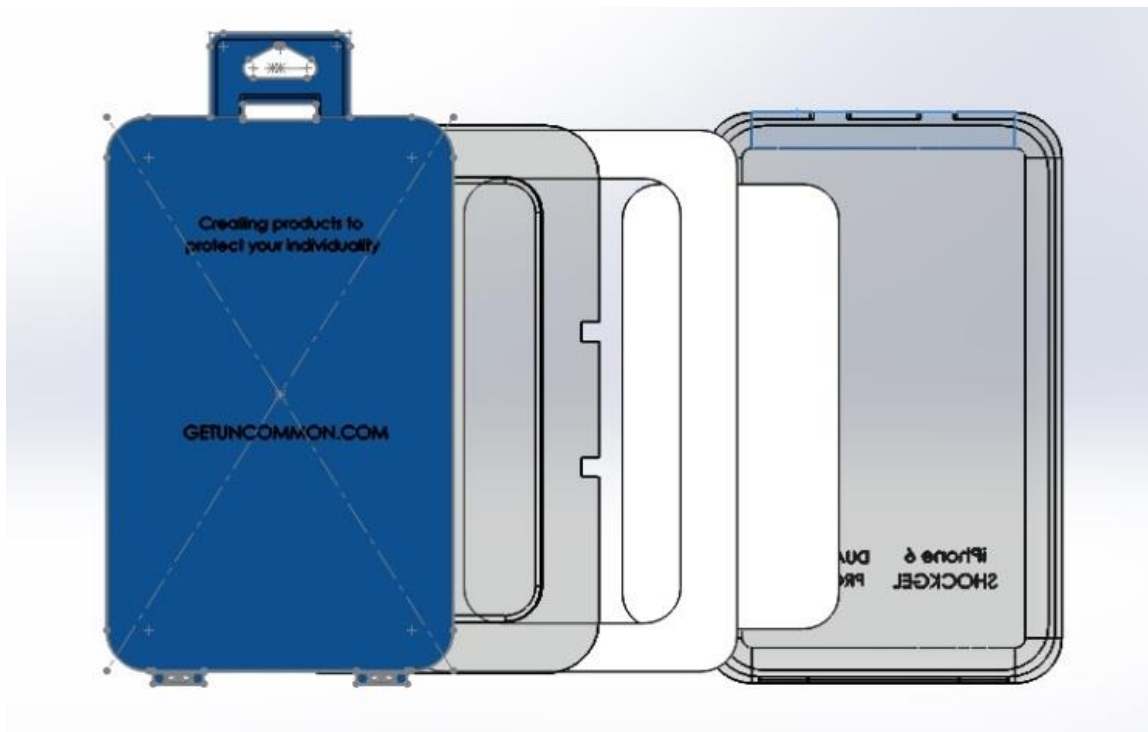
Εικόνα 4.3.46. Επιλογή συνδεσμολογίας των τμημάτων της συσκευασίας.



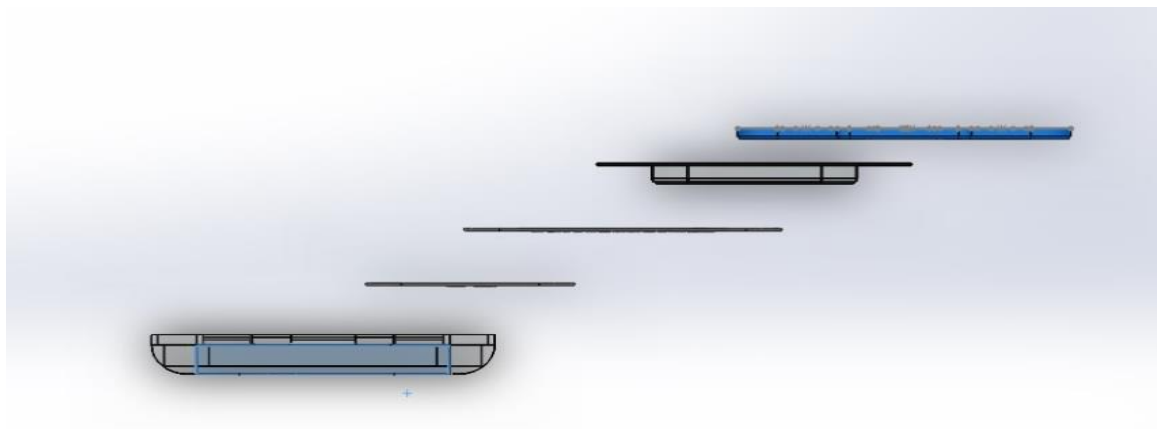
Εικόνα 4.3.47. Συνδεσμολογία των τμημάτων της συσκευασίας. Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.3.48. Συνδεσμολογία των τμημάτων της συσκευασίας.



Εικόνα 4.3.49. Συνδεσμολογία των τμημάτων της συσκευασίας. Πίσω λήψη.



Εικόνα 4.3.50. Συνδεσμολογία των τμημάτων της συσκευασίας. Κάτοψη.



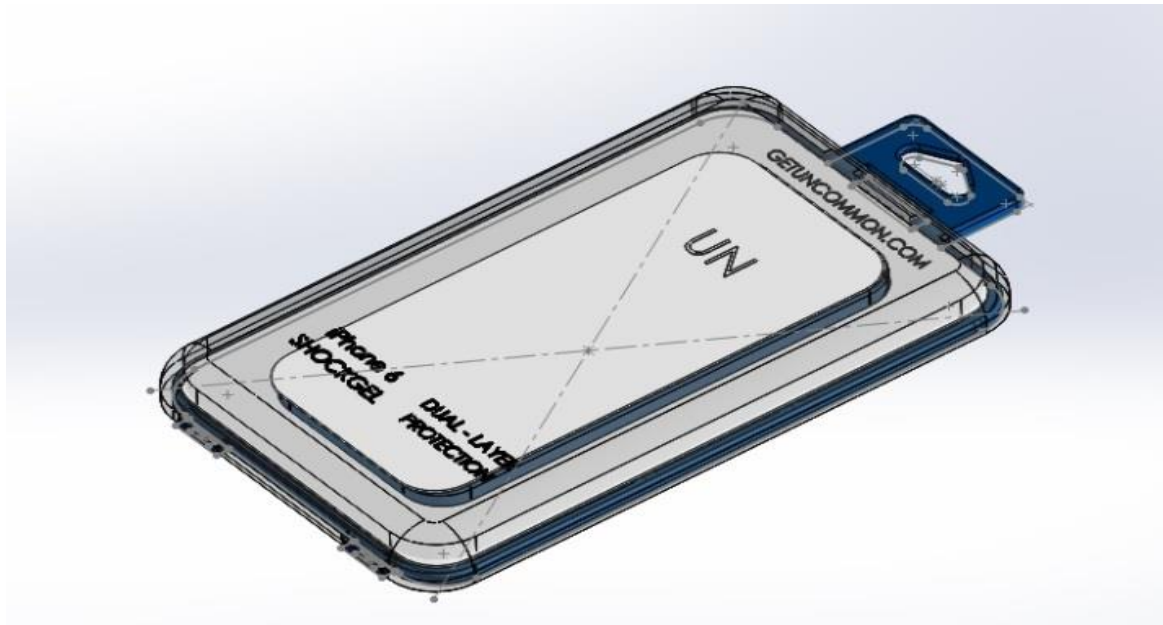
Εικόνα 4.3.51. Τελική μορφή της συσκευασίας.



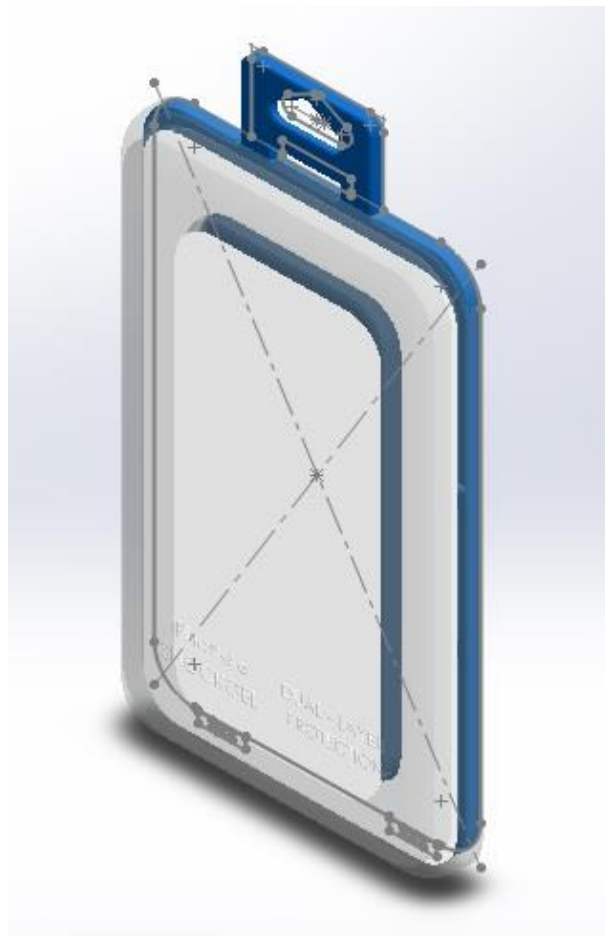
Εικόνα 4.3.52. Τελική μορφή της συσκευασίας. Πίσω λήψη.



Εικόνα 4.3.53. Τελική μορφή της συσκευασίας. Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.3.54. Τελική μορφή της συσκευασίας. Πλάγια λήψη.



Εικόνα 4.3.55. Τελική μορφή της συσκευασίας χωρίς τις ακμές. Πλάγια λήψη.

4.4 Αξιολόγηση και σύγκριση συσκευασιών

Η συσκευασία της Apple αποτελείται από πρόσοψη διαφανούς πλαστικού και λευκού μεταξωτού χαρτιού στο πίσω μέρος. Ο σκοπός προώθησης του προϊόντος μέσω της συσκευασίας είναι να γίνεται περισσότερο αναγνωρίσιμο το υλικό κατασκευής της θήκης καθώς πωλούνται στην αγορά θήκες σιλικόνης και δερμάτινες θήκες. Η συσκευασία που σχεδιάστηκε προορίζεται για προστατευτική θήκη σιλικόνης. Παρατηρούμε ότι είναι αρκετά απλή συσκευασία με τα χαρακτηριστικά και διακριτικά της Apple και είναι κατασκευασμένη σχεδόν στις διαστάσεις της προστατευτικής θήκης χωρίς να αφήνει εσωτερικά κενά. Οι οδηγίες χρήσης είναι τυπωμένες στο εσωτερικό της συσκευασίας στο πίσω τμήμα της. Η συνδεσμολογία της έχει γίνει με κόλλα και μετά το άνοιγμά της δεν ξανακλείνει.

Η συσκευασία της UnCommon αποτελείται από περισσότερα τμήματα και έχει μεγαλύτερες διαστάσεις αν και προορίζεται για προϊόν ιδίων διαστάσεων με τη συσκευασία της Apple. Τα εσωτερικά τμήματα είναι τρία, δύο χάρτινα και ένα πλαστικό και αφορούν κυρίως το design της συσκευασίας. Επάνω αναγράφονται τα χαρακτηριστικά της εταιρείας και στο ένα, οδηγίες χρήσης. Το εσωτερικό πλαστικό μέσα στη συσκευασία, υπάρχει για να κουμπώνει η πολύχρωμη διαμορφωμένη προστατευτική θήκη για το iPhone 6. Το λευκό χρώμα τονίζει τα έντονα χρώματα των προστατευτικών θηκών που συσκευάζει. Η συνδεσμολογία της γίνεται με κουμπώματα στο πάνω και στο κάτω μέρος των εξωτερικών τοιχωμάτων της συσκευασίας.

Η συσκευασία της Apple είναι μικρότερων διαστάσεων και χρησιμοποιεί λιγότερα υλικά από αυτά που χρησιμοποιεί η UnCommon. Αυτό έρχεται σε πλήρη αντιστοιχία με τις παραπάνω πληροφορίες ότι δηλαδή η φιλοσοφία της εταιρείας είναι να έχει κατασκευαστεί για να μην χρησιμοποιεί χώρο, άσκοπα. Επειδή συσκευάζει μια προστατευτική θήκη σιλικόνης, χωρίς εκτυπωμένα σχέδια, και το υλικό της θήκης και το design της, δεν προαπαιτούν δύσκολες προδιαγραφές για την κατασκευή της συσκευασίας. Η σιλικόνη είναι ένα υλικό που σε περίπτωση πτώσης, δεν σπάει ή αλλοιώνεται και η επιφάνεια της θήκης δεν κινδυνεύει από φθορά στα χρώματά της καθώς είναι μονόχρωμη. Υπάρχει βέβαια πάντα ο κίνδυνος φθοράς στο πίσω μέρος της συσκευασίας καθώς είναι κατασκευασμένο από χαρτί.

Όσον αφορά τη συσκευασία της UnCommon, αυτή έχει κατασκευαστεί από πιο σκληρό πλαστικό και τα τοιχώματα της θήκης έχουν αρκετά μεγάλο πάχος για το προϊόν που συσκευάζουν. Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να δικαιολογηθεί το πολύ υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί για τα τοιχώματα της συσκευασίας καθώς είναι πιο πιθανή μια μακροχρόνια διάβρωση στην εκτυπωμένη πλευρά της θήκης, όπως επίσης προστατεύει καλύτερα από ενδεχόμενη πτώση ώστε να μην χαραχθεί αυτή.

Και οι δύο συσκευασίες στο πίσω μέρος τους έχουν το σύμβολο της ανακύκλωσης που σημαίνει ότι οι συσκευασίες είναι κατάλληλες για ανακύκλωση. Η συσκευασία της Apple έχει στην πίσω πλευρά της και το σύμβολο “Green Dot” το οποίο σημαίνει ότι η εταιρεία συμμετέχει σε σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης και συνεισφέρει οικονομικά για την ανακύκλωση του προϊόντος.

Η συσκευασία της UnCommon έχει στην πίσω πλευρά της την ένδειξη “patents pending”, το οποίο δηλώνει ότι έχει κατατεθεί η αίτηση για την πατέντα του προϊόντος που πουλάει, στο γραφείο εμπορικών σημάτων και ευρεσιτεχνιών των ΗΠΑ (United States Patent and Trademark Office - USPTO) και εκκρεμεί η άδεια ευρεσιτεχνίας, άρα μέχρι στιγμής η εταιρεία δεν έχει κάποια νομική προστασία. Αυτό σημαίνει ότι αν κάποιος ανταγωνιστής αντιγράψει την ευρεσιτεχνία προς όφελός του και η UnCommon κατοχυρώσει την άδεια, τότε θα μπορεί να κινηθεί εναντίον του και νομικά. Επιπλέον αναγράφεται η τεχνολογία “air rocket technology” που αφορά επίσης την προστατευτική θήκη που πωλείται και δείχνει το πως διανέμεται ο αέρας μεταξύ του κινητού τηλεφώνου και της θήκης και η προστασία “impact & shock protection” με βάση το πρότυπο MIL STD 810F-516.5 που είναι του αμερικανικού στρατού και δίνει έμφαση στον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων και στην προστασία αυτών σε δύσκολες περιβαλλοντολογικές συνθήκες.

Η σύγκριση των δύο εταιρειών θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι άνιση. Η Apple είναι μια εταιρεία που πουλάει καταναλωτικά ηλεκτρονικά είδη, λογισμικό, online υπηρεσίες και υπολογιστές και τα περιφερειακά, όπως οι προστατευτικές θήκες, απλά υποστηρίζουν τα προϊόντα της. Η UnCommon είναι μια εταιρεία με καινοτόμα ιδέα και την τεχνογνωσία να την πραγματοποιήσει και έτσι μπορούμε να πούμε ότι μέσω της συσκευασίας της έχει απόλυτη επιτυχία στον τρόπο που αναδεικνύει τα προϊόντα της στον καταναλωτή.

Τέλος, αν συγκρίνουμε τις σχεδιαστικές απαιτήσεις που έχουν οι δύο συσκευασίες βλέπουμε πως είναι παρόμοιες και ουσιαστικά απαιτούν λογισμικά που να δίνουν τη δυνατότητα 3D αναπαράστασης για τον λεπτομερή καθορισμό των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των υλικών τους.

4.5 Προτάσεις βελτιστοποίησης

Αν εξετάσουμε της συσκευασία από τη σκοπιά της εφοδιαστικής αλυσίδας γνωρίζουμε ότι οι διαστάσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στην τελική μορφοποίηση των παλετών. Μπορούμε να πούμε δηλαδή πως αν η συσκευασία της UnCommon ήταν μικρότερων διαστάσεων, γιατί υπάρχει αυτό το περιθώριο με βάση τις διαστάσεις της προστατευτικής θήκης που συσκευάζει, θα χωρούσαν περισσότερα τεμάχια εντός ενός χαρτοκιβωτίου, άρα και συνολικά περισσότερα στις παλέτες που προορίζονται για τις χώρες που η εταιρεία πουλάει τα προϊόντα της στα καταστήματα. Αυτό κατά πάσα πιθανότητα θα είχε οικονομικό όφελος για την επιχείρηση και κατά τη διάρκεια παραγωγής της συσκευασίας λόγω ανάγκης λιγότερου υλικού κατασκευής όπως και κατά τη διάρκεια της διανομής της.

Όσον αφορά τη συσκευασία της Apple, θα μπορούσαν τα υλικά κατασκευής της να είχαν μεγαλύτερο πάχος τοιχωμάτων, ή κάποια άλλη μορφή συνδεσμολογίας ώστε να μπορεί να ξανακλείνει με κάποιο τρόπο η συσκευασία. Το χαρτί στο πίσω μέρος της συσκευασίας και τα λεπτά τοιχώματα μπορούν εύκολα να προκαλέσουν την αλλοίωση του περιεχομένου σε ενδεχόμενη πτώση της συσκευασίας.

Επιπλέον, έρευνες έχουν δείξει ότι η εμπειρία με τη συσκευασία ενός προϊόντος, επιδρά σημαντικά στην αξιολόγηση των καταναλωτών για το προϊόν αυτό. Η εμπειρία αυτή μπορεί να είναι έμμεση π.χ. μέσω διαφήμισης, είτε άμεση μέσω του χειρισμού της. Ο χειρισμός και η χρήση του προϊόντος και της συσκευασίας πριν και μετά την αγορά αποτελούν τη διάσταση της εμπειρίας και η αξιολόγηση της ποιότητας του προϊόντος γίνεται συχνά μέσω του χειρισμού της συσκευασίας. Κατά την άποψη πολλών ακαδημαϊκών, ένας άνθρωπος γίνεται πιο σίγουρος για την ικανότητά του να προβεί σε ενημερωμένη αξιολόγηση της ποιότητας ενός προϊόντος

όταν έχει άμεση εμπειρία, μέσω διαφορετικών αισθήσεων. Πολλές μεταβλητές επηρεάζουν τυπικά την πρόθεση αγοράς. Η αντιληπτή ποιότητα και η τιμή είναι ιδιαίτερα σημαντική, δεδομένου ότι συνδυάζονται για να διαμορφώσουν την αντίληψη της αξίας. Η επίδραση των μεταβλητών αυτών αυξάνεται όσο η εμπειρία των καταναλωτών μετατοπίζεται από την έμμεση προς την άμεση εμπειρία.

Συνοψίζοντας, η προοπτική των καταναλωτών να αξιολογήσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την συσκευασία και το περιεχόμενό της αυξάνεται καθώς η εμπειρία με το προϊόν γίνεται πιο άμεση. Οι εταιρείες πρέπει να δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στην ευκολία χρήσης της συσκευασίας. Ένας τέτοιος στόχος μπορεί να ενισχύσει την αντίληψη του καταναλωτή για ανώτερη ποιότητα. Η επίδραση της ευκολίας του χειρισμού είναι μεγαλύτερη με άμεση εμπειρία χρήσης της συσκευασίας. Θα πρέπει άρα να είναι στόχος του μάρκετινγκ και του τμήματος σχεδιασμού, η βελτιστοποίηση της χρήσης της συσκευασίας καθώς μέσα από την άμεση εμπειρία του καταναλωτή με το προϊόν δημιουργείται μια θετική στάση και θετικές προσδοκίες για την ποιότητα του προϊόντος που θα οδηγήσει στην αγορά του.

Τέλος, η εξοικονόμηση οικονομικών και υλικών πόρων είναι ένα ζήτημα που πρέπει να εξετάζεται στο σχεδιασμό της συσκευασίας. Η παρουσία της συσκευασίας κρίνεται σημαντική στην ολοκλήρωση των διαδικασιών αποθήκευσης, διακίνησης, προώθησης και η επιλογή της επηρεάζει την εξυπηρέτηση που προσφέρει τόσο στον παραγωγό, όσο και στον τελικό χρήστη. Ο σχεδιασμός της πρέπει να γίνεται με τον βέλτιστο τρόπο, ώστε να παρέχει στο προϊόν την ασφάλεια μεταφοράς, αποθήκευσης και προώθησης του προϊόντος, ακολουθώντας τεχνολογίες και μεθόδους που είναι αποδοτικές και βασίζονται στις αρχές του οικολογικού σχεδιασμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική (Βιβλία)

Καναβούρας, Α 2009, Συσχευασία προϊόντων κατά τη μεταφορά και την αποθήκευσή τους, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα

Μπιλάλης, Ν, Μαραβελάκης, Ε 2009, Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση, Εκδόσεις Κριτική ΑΕ, Αθήνα

Σκιττίδης, Φ, 2004, Ενοποιημένη παραγωγή με Η/Υ - CIM, Σύγχρονη Εκδοτική ΕΠΕ, Αθήνα

Lee, Κ, μετάφραση Καρανικολός Κ, Μικέδης, Μ 2009, Βασικές αρχές συστημάτων CAD/CAM/CAE, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα

Ελληνική (Ηλεκτρονικές Πηγές)

Στεργίου, Κ 2008, Σχεδίαση Μηχανολογικών Κατασκευών με Η/Υ, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://sites.google.com/site/cstergiou/>, (Προσπελάστηκε την 14 Σεπτεμβρίου 2015)

Apple packaging information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.appleteam.gr/> (Προσπελάστηκε 24 Οκτωβρίου 2015)

Πληροφορίες συσκευασίας, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.modad.gr/> (Προσπελάστηκε 26 Οκτωβρίου 2015)

Πληροφορίες συσκευασίας, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση http://www.cmykmag.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=62&Itemid=26 (Προσπελάστηκε 26 Οκτωβρίου 2015)

Ξενόγλωσση (Βιβλία)

Bieda, J 1961, Practical Product Assurance Management, ASQ Quality Press, Milwaukee, USA

Hugh, J 2013, Engineering Design Planning and Management, Elsevier Inc, Waltham, USA

Pugh, S 1996, Creating Innovative Products Using Total Design, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, USA

Ulrich, Eppinger 2008, Product Design and Development 4th edition, McGraw-Hill Companies Inc, USA

Ξενόγλωσση (Ηλεκτρονικές Πηγές)

Apple, Wikipedia, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://el.wikipedia.org/wiki/Apple> (Προσπελάστηκε 24 Οκτωβρίου 2015)

Apple packaging information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://blog.appleworldhellas.com/> (Προσπελάστηκε 24 Οκτωβρίου 2015)

SolidWorks, Wikipedia, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://en.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>, (Προσπελάστηκε 16 Οκτωβρίου 2015)

Apple packaging information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.networkworld.com/article/2221536/data-center/inside-apple-s-secret-packaging-room.html> (Προσπελάστηκε 26 Οκτωβρίου 2015)

Apple packaging information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.businessinsider.com/apple-design-packaging-apple-store-2015-7> (Προσπελάστηκε 26 Οκτωβρίου 2015)

Packaging design information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.cultofmac.com/328418/packaging-design/> (Προσπελάστηκε 26 Οκτωβρίου 2015)

Apple packaging information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://gizmodo.com/5879097/apple-packing-is-so-good-because-they-employ-a-dedicated-box-opener> (Προσπελάστηκε 24 Οκτωβρίου 2015)

Apple packaging information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://9to5mac.com/2015/09/21/iphone-6s-packaging-refresh/> (Προσπελάστηκε 25 Οκτωβρίου 2015)

UnCommon LLC, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.getuncommon.com/> (Προσπελάστηκε 30 Οκτωβρίου 2015)

UnCommon Packaging information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.bloomberg.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapid=115774061> (Προσπελάστηκε 30 Οκτωβρίου 2015)

UnCommon Packaging information, Διαθέσιμο διαδικτυακά στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.investopedia.com/terms/p/patent-pending.asp> (Προσπελάστηκε 30 Οκτωβρίου 2015)

Ξενογλωσση (Άρθρα)

Coelho do Vale, R 2015, 'The impact of copycat packaging strategies on the adoption of private labels', School of Business and Economics, Catholic University of Portugal, Journal of Product & Brand Management Vol. 24, pp.646-659

Holmes, G, R 2012 'Consumer reaction to new package design' Department of Marketing and Logistics, University of North Texas, Journal of Product & Brand Management Vol.21, pp.109-116

Niemela-Nyrhinen, J 2013, 'Identifying potential sources of value in a packaging value chain', School of Business and Economics, University of Jyväskylä, Journal of Business & Industrial Marketing Vol. 28, pp.76-85

Rundh, B 2009 'Packaging design: creating competitive advantage with product packaging' Department of Business Administration, Karlstad University, British Food Journal Vol.111, pp.988-1002