ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διαδικασία Βελτιστοποίησης Σχεδίασης Προϊόντος με Βάση Περιβαλλοντικά Κριτήρια

ΔΗΜΗΤΡΑ ΓΙΑΝΝΙΚΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Μπιλάλης

Χανιά, Μάρτιος 2009

Θα ήθελα να ευχαριστήσω,

τον καθηγητή μου, κύριο *Νικόλαο Μπιλάλη*, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με μία εργασία με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον, καθώς επίσης και για την ελευθερία που μου παραχώρησε για τη λήψη πρωτοβουλιών καθ' όλη την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη διδακτορική φοιτήτρια Αναστασία Κατσαμάκη για την προθυμία, την υπομονή και την αμέριστη συμβολή της κατά την διεκπεραίωση της εργασίας, καθώς και το διδακτορικό φοιτητή Νικόλαο Ταπόγλου για τις σημαντικές κατευθύνσεις και συμβουλές του που μου παρείχε όποτε τις χρειάστηκα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την υλική και ηθική υποστήριξη της όλα αυτά τα χρόνια.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται στην οικογένεια μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αρχικά η έννοια της σχεδίασης γεννήθηκε προκειμένου να καλύψει ανάγκες του ανθρώπου. Σήμερα η σχεδίαση αποτελεί έκφραση της τέχνης και της επιστήμης. Τα σημεία τα οποία έρχεται να καλύψει περιλαμβάνουν:

- αναγνώριση της ανάγκης
- ενέργεια δημιουργίας
- επιλογή εναλλακτικών με βάση τη βελτιστοποίηση συγκεκριμένων κριτηρίων

Σε μια παραδοσιακή περιγραφή των φάσεων σχεδίασης η αναγνώριση της αρχικής ανάγκης ακολουθείται από μια τεχνική περιγραφή του προβλήματος (ορισμό του προβλήματος), τη δημιουργία μίας ή περισσοτέρων φυσικών διατάξεων (σύνθεση), τον έλεγχο της λειτουργικότητας του αποτελέσματος που προέκυψε και την επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής (βελτιστοποίηση). Η διαδικασία κλείνει με τον έλεγχο των πρωτοτύπων απέναντι στην πραγματική ανάγκη.

Στη συγκεκριμένη εργασία ακολουθώντας τον παραπάνω γενικό συλλογισμό μέσα από ένα δεδομένο προϊόν, προκειμένου να βελτιωθεί η διαχείρισή του αφού ολοκληρώσει τον κύκλο της χρήσιμης ζωής του, αναλύονται οι λειτουργίες του, καταγράφονται όλα τα στοιχεία που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και στη συνέχεια προτείνονται λύσεις με κριτήριο τη μείωση του περιβαλλοντικού κόστους. Στη συνέχεια οι προτάσεις που διατυπώθηκαν ελέγχονται προκειμένου να βρεθεί αν ικανοποίησαν στον επιθυμητό βαθμό την αρχική ανάγκη δηλαδή την υλοποίηση της βέλτιστης διαχείρισης του προϊόντος αφού αποσυρθεί από την αγορά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ……6

ΕΙΣΑΓΩΓΗ……7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Βιβλιογραφική ανασκόπηση μεθόδων σχεδίασης προϊόντος με κριτήριο την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά……9

1.1 Σχεδίαση για το Περιβάλλον…….9

1.2 Διαμόρφωση του Σχεδίου ενός Προϊόντος με Βάση Περιβαλλοντικά Κριτήρια…….....10

1.3 Θεώρηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Thinking – LCT) και Αποτίμηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis – LCA) – Πως συνδέονται με την Περιβαλλοντική Προσέγγιση της Σχεδίασης ενός Προϊόντος….....13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μέθοδοι αναμόρφωσης σχεδίων προϊόντων με κριτήριο την περιβαλλοντική επίδραση του τελικού προϊόντος……..15

2.1 Μέθοδος 1: Πίνακας Σχεδίασης Προϊόντων (Product Design Matrix – PDM)…….……15

2.2 Μέθοδος 2: Environmental Effect Analysis….....17

2.3 Μέθοδος 3: Smart EcoDesign Electronics Strategy . Wheel – Μέθοδος LiDS….....19

2.4 Μέθοδος 4: Failure Mode Effect Analysis (FMEA)……..……27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

Μεθοδολογία Top - Down Design Analysis – Αποσυναρμολόγηση …….....….30

3.1 Top - Down Design Analysis και Autodesk Inventor…….....……30

3.2 Αποσυναρμολόγηση Προϊόντος - Αναγκαιότητα Εφαρμογής.....……..33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εφαρμογή Μεθοδολογίας Top - Down Design Analysis – Αποσυναρμολόγηση...38

4.1 Περιγραφή του Προϊόντος που Χρησιμοποιήθηκε για την Εφαρμογή της Top-Down Analysis και για την Αποσυναρμολόγηση…….38

4.1.1 Λειτουργία και Τύποι Μετασχηματιστών……39

4.1.2 Κατασκευαστικά Στοιχεία των Μετασχηματιστών…….……...42

4.1.3 Βασικά Εξαρτήματα Μετασχηματιστή……44

4.2 Εφαρμογή της Top – Down Analysis και της Αποσυναρμολόγησης σε Τμήμα του Υπό Μελέτη Μετασχηματιστή…….46

4.3 Μηχανολογικά Σχέδια……..52

4.3.1 Δοχείο διαστολής…….....……54

4.3.2 Ελαιοδείκτης …….....……72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εφαρμογή μεθόδων σχεδίασης σε μετασχηματιστές – Αποτελέσματα……..…93

5.1 Τι Ισχύει κατά τη Σχεδίαση και Κατασκευή των Μετασχηματιστών……93

5.2 Διαδικασία Εφαρμογής – Υπάρχουσα Κατάσταση στην Ελλάδα…….95

5.3 Συλλογή Δεδομένων για την Εφαρμογή των Μεθόδων Product Design Matrix, Environmental Effect Analysis και Smart EcoDesign Electronics Strategy Wheel……97

5.4 Εφαρμογή Μεθόδου FMEA……...102

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα – Προτάσεις για παραπέρα μελέτη……..111

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ …….....112

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Design for Environment:	DfE
Product Design Matrix:	PDM
Failure Mode and Effect Analysis:	FMEA
Environmental Priority Number:	EPN
Life Cycle Assessment:	LCA
Life Cycle Thinking:	LCT
Quality Function Deployment:	QFD
Βαθμός πολυμερισμού	(DP)
Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού	ΑΗΗΕ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σχεδίαση είναι μια πολύπλοκη ανθρώπινη δραστηριότητα που δεν έχει συγκεκριμένους κανόνες και προδιαγεγραμμένη πορεία. Οπότε το αποτέλεσμα και οι ενέργειες που θα χρειαστεί να γίνουν σε κάθε περίπτωση δεν είναι με απόλυτη σιγουριά γνωστά στοιχεία από την αρχή. Κοινό χαρακτηριστικό όμως όλων των προσπαθειών σχεδίασης είναι ότι κατά την υλοποίησή τους θα χρειαστεί να ληφθούν αποφάσεις σε διάφορα στάδια και για διάφορα θέματα οπότε με ασφάλεια θα μπορούσε κάποιος να διατυπώσει την άποψη ότι η σχεδίαση δεν είναι τίποτα άλλο από μια διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Από τη στιγμή που σε μια διαδικασία σχεδίασης υπάρχουν περισσότερες από μια εναλλακτικές πορείες δράσης δημιουργείται η ανάγκη λήψης αποφάσεων. Προκειμένου να υπάρξουν ορθολογικές επιλογές απαιτείται και η ύπαρξη κριτηρίων με τα οποία θα εκτιμηθούν οι διαφορετικές εναλλακτικές και θα ταξινομηθούν σε κάποια μορφή κατάταξης.

Το κριτήριο για την εκτίμηση εναλλακτικών και την επιλογή της βέλτιστης λύσης σπάνια είναι μοναδικό. Συνήθως επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως τη διαδικασία σχεδίασης που έχει ακολουθηθεί, τη χρονική στιγμή και τον αποφασίζοντα.

Πιο συγκεκριμένα στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων το αρχικό σχέδιο αναπαρίσταται μέσα από ένα μοντέλο σχεδίασης. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της παραγωγής γίνονται εφόσον κριθεί απαραίτητο αλλαγές πάνω στο σχέδιο του προϊόντος με κατάλληλες αλλαγές πάνω στις μεταβλητές σχεδίασης. Επίσης, δοκιμές με διάφορες τιμές πάνω στις σχεδιαστικές παραμέτρους μπορούν να δείξουν και την επίδραση εξωτερικών αλλαγών πάνω στο κάθε σχέδιο. Το κριτήριο επιλογής είναι αυτό που θα βοηθήσει στην επιλογή του τελικού σχεδίου. Το πόσο καλό θα είναι αυτό εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο σχεδίασης. Σε πολλές περιπτώσεις, ειδικά στα αρχικά στάδια σχεδίασης νέων προϊόντων, λεπτομέρειες της σχεδίασης μπορεί μη ληφθούν υπόψη προκειμένου να μην γίνει η διαδικασία της επιλογής εξαιρετικά δύσκολη. Η κατασκευή, επαλήθευση και εφαρμογή ενός σχεδιαστικού μοντέλου στον υπολογιστή είναι μια διαδικασία που κοστίζει και διαρκεί πολύ λιγότερο χρονικά από την κατασκευή ενός πρωτοτύπου ενώ και το αποτέλεσμα είναι πολύ πιο κοντά στο επιθυμητό.

Στην περίπτωση της αναβάθμισης ενός προϊόντος ένα υπάρχον σχέδιο μπορεί να περιγραφεί επίσης από ένα μοντέλο σχεδίασης. Η αναβάθμιση ενός προϊόντος μπορεί να περιλαμβάνει δραστικές σχεδιαστικές αλλαγές που μπορούν να καταλήξουν σε μια ολοκληρωμένη μελέτη βελτιστοποίησης ή σε μικρές σχεδιαστικές αλλαγές που μπορεί να βελτιώσουν ή να επεκτείνουν τη λειτουργία του προϊόντος.

Στην περίπτωση αυτή το μοντέλο σχεδίασης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για την πρόβλεψη της επίδρασης των τυχόν αλλαγών. Και εδώ το κόστος και ο χρόνος σχεδίασης μπορούν να μειωθούν δραστικά.

Στη συγκεκριμένη εργασία η πορεία που ακολουθείται είναι η εξής:

Αρχικά γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση των μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σχεδίαση προϊόντων με βασικό κριτήριο τη βέλτιστη διαχείρισή τους αφού λήξει η διάρκεια της χρήσιμης ζωής τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε προϊόντα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού οπότε και εκτός από το θέμα της διαχείρισης μετά τη χρήσιμη ζωή υπάρχει και το θέμα της αποσυναρμολόγησης που χρειάζεται να προηγηθεί.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας περιγράφονται αναλυτικά ορισμένες από τις μεθόδους αναμόρφωσης σχεδίων υπαρχόντων προϊόντων με βάση την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά κατά τη χρήση τους. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι λαμβάνουν επίσης υπόψη σε μεγάλο ή μικρότερο βαθμό και τη συμπεριφορά του προϊόντος μετά το τέλος της χρήσιμης ζωής του.

Στο τρίτο μέρος περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία Top Down Analysis καθώς και το Autodesk Inventor το λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση των επιμέρους τμημάτων του προϊόντος που μελετήθηκε στη συνέχεια και το οποίο ήταν ένας μετασχηματιστής.

Στο τέταρτο μέρος περιγράφεται ο μετασχηματιστής που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της αποσυναρμολόγησης. Πρόκειται για έναν τριφασικό μετασχηματιστή λαδιού όπου και περιγράφονται αναλυτικά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και παρουσιάζεται σε σχέδια η αναλυτική δομή του. Με τη χρήση του συγκεκριμένου πακέτου έγιναν τα σχέδια που δείχνουν την πορεία συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης τμήματος του μετασχηματιστή όπου και δόθηκε ιδιαίτερη σημασία αφού για προϊόντα ηλεκτρικού ή / και ηλεκτρονικού εξοπλισμού η αποσυναρμολόγηση αποτελεί απαραίτητο βήμα από τη στιγμή που ένα προϊόν αποσύρεται από την αγορά και πριν τη διαδικασία της παραπέρα διαχείρισής του.

Στο πέμπτο μέρος με βάση τις μεθόδους σχεδίασης που μελετήθηκαν με κριτήριο το περιβαλλοντικό κόστος προτείνονται σημεία αλλαγών που θα μπορούσαν να συμβούν στο συγκεκριμένο προϊόν προκειμένου να βελτιωθεί η συμπεριφορά του κατά τη χρήση και μετά την απόσυρσή του από την αγορά.

Κλείνοντας η εργασία παρουσιάζει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση καθώς και προτάσεις για παραπέρα μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

1.1 Σχεδίαση για το Περιβάλλον

Σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους τα προϊόντα με την ύπαρξή τους επηρεάζουν το περιβάλλον. Αρχικά κατά την εξαγωγή και επεξεργασία των πρώτων υλών για τη δημιουργία τους, στη συνέχεια κατά τη φάση της κατασκευής, της συναρμολόγησης, της διανομής, της συσκευασίας, της χρήσης, της συντήρησης και τέλος με την απόσυρσή τους από την αγορά.

Τα φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα είναι προϊόντα που συμφωνούν με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και έχουν χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη μείωση της επίδρασής τους στο περιβάλλον. Ένα ιδανικά φιλικό προς το περιβάλλον προϊόν θα ήταν ένα προϊόν που όχι μόνο δεν επιδρά με κανένα τρόπο αρνητικά προς το περιβάλλον σε καμία φάση της ζωής του αλλά και συμβάλει στην αναστροφή της υπάρχουσας αλλοίωσής του. Επίσης το ιδανικό για το περιβάλλον προϊόν κατά την απόσυρσή του από την αγορά θα ήταν μια χρήσιμη αρχική ύλη για την κατασκευή άλλων προϊόντων.

Οι τρόποι για να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιδράσεις ενός προϊόντος στο περιβάλλον είναι πολλές. Είναι επίσης προφανές ότι τη μεγαλύτερη ευκαιρία για αυτό την έχουν οι κατασκευαστές κατά τη φάση της σχεδίασης. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τη φάση της σχεδίασης νέων προϊόντων υπάρχει η δυνατότητα να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες που συνδέονται με την περιβαλλοντική επίδραση των προϊόντων τους όπως η υπάρχουσα νομοθεσία εθνική ή κοινοτική, οι προτιμήσεις των καταναλωτών καθώς και άλλοι περιβαλλοντικοί στόχοι που προκύπτουν από την έρευνα και τις απαιτήσεις του κοινωνικού συνόλου για το συγκεκριμένο προϊόν. Αν και τα παραπάνω προκειμένου να καταγραφούν και να ληφθούν υπόψη απαιτούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση από έναν απλό έλεγχο των τυχόν εκλυόμενων ουσιών ή τη χρήση επικίνδυνων υλικών (οπότε πρόκειται για μια επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία) εντούτοις το όφελος που προκύπτει είναι πολύ σημαντικό αφού όχι μόνο υπάρχει συμβολή στην προστασία του περιβάλλοντος αλλά παράλληλα βελτιώνεται η εικόνα της κατασκευάστριας εταιρείας και μειώνονται τα εμπλεκόμενα κόστη του κύκλου ζωής αφού μειώνεται η απαιτούμενη ενέργεια, τα εμπλεκόμενα κόστη που αφορούν τον έλεγχο της ρύπανσης που προκαλείται καθώς και οι απαιτήσεις σε πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά αφού προωθείται η χρήση επαναχρησιμοποιήσιμων υλικών.

Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι η διαδικασία της σχεδίασης για το περιβάλλον (Design for Environment – DfE) τα χρησιμοποιούμενα εργαλεία καθώς

και οι μέθοδοι και οι στρατηγικές έχουν γίνει ένα σημαντικό τμήμα των δραστηριοτήτων για τη σχεδίαση ενός προϊόντος.

Λέγοντας σχεδίαση για το περιβάλλον δεν εννοείται μόνο ο υπολογισμός περιβαλλοντικών δεικτών όπως μετριέται το κόστος. Πρόκειται για μια συστηματική θεώρηση της διαδικασίας σχεδίασης με γνώμονα την περιβαλλοντική υγεία και ασφάλεια πάνω στο συνολικό προϊόν και στο σύνολο της διάρκειας ζωής του.

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι μια σημαντική δραστηριότητα στην πορεία ανάπτυξης νέων προϊόντων. Οι αποφάσεις που χρειάζεται να ληφθούν αφορούν τη διαδικασία σχεδίασης όπου το ερώτημα που χρειάζεται να απαντηθεί είναι «Ποια μορφή θα πρέπει να έχει το σχέδιο του προϊόντος;». Μέσα από αυτήν την ερώτηση θα ληφθούν αποφάσεις για τη μορφή, τις διαστάσεις, τα χρησιμοποιούμενα υλικά, τη διαδικασία συναρμολόγησης και τα επιμέρους τμήματα. Επίσης αποφάσεις θα πρέπει να ληφθούν και όσον αφορά διαχειριστικά θέματα και συγκεκριμένα πως ένα σχέδιο μπορεί να καταλήξει σε ένα επιτυχημένο προϊόν. Οι διοικητικές αποφάσεις επηρεάζουν τους διαθέσιμους πόρους, τους απαιτούμενους χρόνους και τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες για την υλοποίηση των απαιτούμενων ενεργειών. Επίσης ορίζουν ποιες δραστηριότητες θα πρέπει να συμβούν, τη σειρά υλοποίησής τους, καθώς και ποιος θα τις υλοποιήσει. Οπότε τα ερωτήματα που χρειάζεται να απαντηθούν είναι τι θα γίνει – πως θα γίνει και από ποιόν θα γίνει.

1.2 Διαμόρφωση του Σχεδίου ενός Προϊόντος με Βάση Περιβαλλοντικά Κριτήρια

Τα απαραίτητα βήματα για την υλοποίηση του σχεδίου ενός προϊόντος με κριτήριο τη βέλτιστη συμπεριφορά του προς το περιβάλλον είναι τα εξής:

- Αναγνώριση και κατανόηση για το ποιοι είναι οι εμπλεκόμενοι στη συγκεκριμένη διαδικασία καθώς και ποιοι εξωτερικοί παράγοντες επηρεάζουν τις αποφάσεις που θα ληφθούν
- Δημιουργία περιβαλλοντικών στόχων οι οποίοι θα πρέπει στο μέγιστο βαθμό να είναι εναρμονισμένοι με τις απαιτήσεις που θα πρέπει να καλυφθούν από τυχόν περιορισμούς και τις απαιτήσεις των πελατών
- Μείωση των οικονομικών επιβαρύνσεων που απορρέουν από την κακή περιβαλλοντική συμπεριφορά (κόστη αποκατάστασης, πρόστιμα για υπερβάσεις ορίων, καταστροφή φυσικών πόρων, κ.α.)
- Επιλογή των περιβαλλοντικών παραμέτρων που θα μετρηθούν. Σε κάθε περιβαλλοντικό στόχο που θα πρέπει να ικανοποιηθεί θα πρέπει να αντιστοιχεί τουλάχιστον μία περιβαλλοντική παράμετρος. Επιπλέον είναι επιθυμητό να ελέγχονται παράμετροι που να αντιστοιχούν σε περισσότερους από ένα στόχους. Επίσης η κάθε εταιρεία ή άλλος φορέας που εκπονεί το σχέδιο θα πρέπει να έχει και την ικανότητα να μετράει την κάθε περιβαλλοντική παράμετρο που θα επιλέξει με τη μεγαλύτερη δυνατή ευκολία

και το μικρότερο δυνατό κόστος. Τέλος, σημειώνεται ότι αν και οι περισσότερες περιβαλλοντικές παράμετροι είναι ποσοτικές εντούτοις υπάρχουν και ποιοτικές παράμετροι που σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται 8 περιβαλλοντικές παράμετροι που διαμορφώθηκαν από το προσωπικό της Black & Decker κατά τη διαδικασία εκτίμησης σχεδίων προϊόντων τους και οι οποίες είναι οι εξής:

1. Μάζα κάθε υλικού στο κάθε προϊόν. Αρνητικό εδώ για ένα υλικό είναι να ανήκει στην κατηγορία των απαγορευμένων προς χρήση υλικών, ή σε υλικά που επιτρέπεται η χρησιμοποίησή τους με περιορισμούς ή με τη χρήση συγκεκριμένων οδηγιών.
2. Μάζα προϊόντος και μάζα συσκευασίας.
3. Λίστα υλικών που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία. Και εδώ αρνητικό είναι τα υλικά που διαμορφώνονται να ανήκουν στην κατηγορία των απαγορευμένων υλικών ή των υλικών που χρησιμοποιούνται με περιορισμό ή με συγκεκριμένες οδηγίες.
4. Βαθμό στον οποίο κάθε επιμέρους κομμάτι ή ομάδα κομματιών είναι ανακυκλώσιμα καθώς και βαθμό στον οποίο κάθε προϊόν ή επιμέρους τμήματά του είναι εύκολα αποσυναρμολογήσιμα στον επιθυμητό βαθμό. Πρόκειται για παραμέτρους που μπορούν να εκτιμηθούν με τη χρήση κατατάξεων σε κλίμακες που έχουν ήδη οριστεί για την κάθε περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα οι σχεδιαστές για τη Black & Decker λαμβάνουν κάποια δεδομένα που περιγράφουν το βαθμό στον οποίο ένα συστατικό είναι ανακυκλώσιμο ή διαχωρίσιμο από το υπόλοιπο προϊόν. Με βάση αυτά τα δεδομένα η αντίστοιχη παράμετρος λαμβάνει μια τιμή από 1 ως 6. Όσο πιο μικρή είναι η τιμή για την ικανότητα ανακύκλωσης και αποσυναρμολόγησης τόσο πιο εύκολα μπορούν να γίνουν και οι δύο παραπάνω εργασίες. Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει τόσο για το συνολικό προϊόν όσο και για επιμέρους τμήματά του. Αν όλες οι τιμές είναι μικρότερες από 3 τόσο πιο εύκολα ανακυκλώσιμο και αποσυναρμολογήσιμο είναι το προϊόν.
5. Χρόνοι αποσυναρμολόγησης. Μετριέται με βάση διαγράμματα που περιλαμβάνουν εκτιμήσεις για τους απαιτούμενους χρόνους για να υλοποιηθούν συγκεκριμένες εργασίες που συνδέονται με τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.
6. Κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρήση του προϊόντος. Πρόκειται για την εκτιμώμενη ποσότητα ενέργειας που απαιτείται κατά το σύνολο ζωής του προϊόντος. Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το συνολικό εκτιμώμενο χρόνο ζωής σε ώρες λειτουργίας με την απαιτούμενη ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη χρήση του προϊόντος ανά ώρα. Πρόκειται για παράμετρο που χρησιμοποιείται κυρίως για συσκευές που καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας.

7. Ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων της σχεδίασης για το περιβάλλον στη διαδικασία σχεδίασης του προϊόντος. Αυτό γίνεται καταγράφοντας σε πρώτη φάση τις διορθώσεις που θα πρέπει να γίνουν στη σχεδίαση προκειμένου να απαλειφθούν ή να μειωθούν οι αρνητικές επιδράσεις από τη χρήση του προϊόντος στο περιβάλλον. Σε δεύτερη φάση απαιτείται επιβεβαίωση και επαλήθευση των αρχικά προτεινόμενων διορθώσεων καθώς και έλεγχος των επιδράσεων που έχουν οι προτεινόμενες ενέργειες προκειμένου να καταγραφούν περιπτώσεις που οι προτεινόμενες ενέργειες προκαλούν άλλα προβλήματα που δεν είχαν προβλεφθεί αρχικά.
8. Εφαρμογή διαδικασίας σχεδίασης για το περιβάλλον στη φάση της σχεδίασης του προϊόντος. Εδώ απαιτείται να απαντηθεί η ερώτηση «Η ομάδα σχεδίασης και ανάπτυξης του προϊόντος ακολούθησε τη διαδικασία σχεδίασης με κριτήριο την επίδραση στο περιβάλλον;». Η απάντηση είναι Ναι ή Όχι.

Αν και ένα σύνολο παραμέτρων δεν είναι σίγουρο ότι θα καταφέρει να μετρήσει και να καταγράψει όλες τις πιθανές επιδράσεις στο περιβάλλον από τη χρήση ενός προϊόντος παρόλα αυτά αποτελεί μια καλή βάση για να συγκριθούν διαφορετικά πιθανά σχέδια. Επιπλέον με βάση τη συγκεκριμένη προσέγγιση διαμορφώνονται στόχοι για την επίδραση στο περιβάλλον του κάθε προϊόντος από τη φάση της σχεδίασής του, ενώ αξιολογείται και το έργο των σχεδιαστών όσον αφορά το βαθμό που κατάφερε να ικανοποιήσει τους αρχικούς στόχους.

Η διαδικασία σχεδίασης ενός προϊόντος με βάση την επίδρασή του στο περιβάλλον δεν μπορεί να εφαρμοστεί χωριστά από τις υπόλοιπες εργασίες που συμβαίνουν κατά τη φάση της σχεδίασης. Βέβαια στις περισσότερες περιπτώσεις οι τυχόν περιβαλλοντικές ανησυχίες που υπάρχουν λαμβάνονται υπόψη μετά το στάδιο της κατασκευής και όχι στο προηγούμενο στάδιο της σχεδίασης. Παρόλα αυτά η εφαρμογή της νομοθεσίας και των κοινοτικών οδηγιών που ξεκαθαρίζουν την ευθύνη του κατασκευαστή που δεν σταματάει και αφού πουλήσει το προϊόν που κατασκεύασε, έχουν αλλάξει τις απαιτούμενες εργασίες στη φάση της σχεδίασης αφού πρόκειται για το στάδιο που μπορεί πολύ εύκολα και με το ελάχιστο κόστος να βελτιώσει τις ιδιότητες του προϊόντος που κατασκευάζεται.

Συνοψίζοντας, τα εργαλεία, μέθοδοι και στρατηγικές που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή της σχεδίασης με βάση το περιβάλλον έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται προκειμένου να βοηθήσουν και να καθοδηγήσουν τους κατασκευαστές να σχεδιάσουν προϊόντα φιλικά προς το περιβάλλον. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό ποικίλουν σημαντικά όσον αφορά το πλήθος της πληροφορίας που απαιτείται και την ανάλυση που θα πρέπει να ακολουθηθεί. Εφαρμόζοντας μια οποιαδήποτε μέθοδο δεν είναι σίγουρο ότι η κατάληξη θα είναι ένα προϊόν όσο το δυνατό πιο φιλικό προς το περιβάλλον. Το σημαντικό είναι να υπάρχουν και να εφαρμόζονται τεχνικές σχεδίασης προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον που θα δίνουν πληροφορίες χρήσιμες για τη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων στη διαδικασία σχεδίασης και ανάπτυξής τους.

1.3 Θεώρηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Thinking – LCT) και Αποτίμηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis – LCA) – Πως συνδέονται με την Περιβαλλοντική Προσέγγιση της Σχεδίασης ενός Προϊόντος

Θεώρηση του κύκλου ζωής είναι η διαδικασία να λαμβάνονται υπόψη όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος σε μια ποιοτική ανάλυση.

Αποτίμηση του κύκλου ζωής είναι το εργαλείο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον ενός προϊόντος ή μιας δραστηριότητας συνολικά, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Πρόκειται για μια διαδικασία που δίνει κυρίως ποσοτικά αποτελέσματα και χρησιμοποιείται κυρίως και στην πράξη.

<u>Ποια είναι τα βήματα στη διαδικασία της αποτίμησης του κύκλου ζωής;</u>

1. Ορισμός των στόχων που θα πρέπει να επιτευχθούν.

Είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητοί οι στόχοι της LCA όπως και ο βαθμός στον οποίο μπορεί να επεκταθεί ή χρειάζεται να περιοριστεί η ανάλυση πριν ξεκινήσει η συλλογή δεδομένων. Η ύπαρξη ορίων στη διαδικασία της LCA είναι σημαντική προκειμένου να καλύψει όλα τα απαιτούμενα θέματα και παράλληλα να ολοκληρωθεί σε εύλογο χρονικό διάστημα.

2. Ανάλυση Αποθεμάτων – Ανίχνευση υλικών που προκαλούν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον.
3. Ανάλυση Επιδράσεων.

Πρόκειται για το στάδιο στο οποίο εξετάζονται τα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν διαπιστωθεί.

4. Βελτιωτικές Ενέργειες για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων και προτάσεις για μελλοντικές ενέργειες.

Τα δεδομένα σε μια LCA ανάλυση εξαρτώνται από το ποιος διεξάγει την έρευνα. Πολλές φορές μια εταιρεία μπορεί να χρηματοδοτήσει τη διαδικασία LCA με ιδίους πόρους και δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα από το σχεδιαστικό / κατασκευαστικό τμήμα. Επίσης πολλά Ιδρύματα (Πανεπιστημιακά ή / και Ερευνητικά) υλοποιούν σχετικές αναλύσεις με βάση διαθέσιμα δεδομένα και τη χρήση σχετικών μεθόδων.

Επίσης πολλές φορές το πιο δύσκολο στάδιο είναι η εύρεση δεδομένων και αυτό γιατί συνήθως τα δεδομένα για ένα προϊόν είναι απόρρητα και δεν ανακοινώνονται από τις εταιρείες.

Η διαδικασία της εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι μια χρονοβόρα διαδικασία που εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος και διενεργεί ελέγχους προκειμένου να μετρήσει τους παράγοντες που επηρεάζουν την περιβαλλοντική συμπεριφορά ενός προϊόντος και σε ποιο βαθμό. Πρόκειται για μια τεχνική που δίνει πολύ καλά αποτελέσματα στον καθορισμό του πως ένα τρέχον προϊόν μπορεί να επανασχεδιαστεί προκειμένου να έχει τη βέλτιστη περιβαλλοντική συμπεριφορά.

Βασικά της μειονεκτήματα είναι ότι πρόκειται για μια τεχνική εξαιρετικά χρονοβόρα στην εφαρμογή της, με μεγάλο κόστος που δίνει πληροφορίες μόνο εφόσον το σχέδιο έχει ολοκληρωθεί. Επιπλέον, πρόκειται για μια μέθοδο που δεν βοηθάει τους σχεδιαστές να βελτιώσουν την τρέχουσα περιβαλλοντική επίδραση των διαφόρων παραγόντων. Για τους παραπάνω λόγους η LCA τεχνική δεν εφαρμόζεται κατά τη φάση ανάπτυξης ενός προϊόντος. Παρόλα αυτά επειδή μια πλήρης λεπτομερής LCA μελέτη φαίνεται να είναι απαραίτητη προκειμένου να εξεταστούν οι περιβαλλοντικές παράμετροι που επηρεάζονται από το κάθε προϊόν και να καθοριστούν στη συνέχεια οι σχεδιαστικές αλλαγές που θα πρέπει να γίνουν, υπάρχουν και αρκετές ακόμα ευρετικές τεχνικές και κανόνες που μπορούν να δώσουν επιτυχή αποτελέσματα και να οδηγήσουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του κάθε προϊόντος. Μερικές από αυτές τις τεχνικές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Συνοψίζοντας στην πράξη η διαδικασία της βελτίωσης του σχεδίου ενός προϊόντος σε σχέση με την περιβαλλοντική του συμπεριφορά περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Κατανόηση του προϊόντος (Quality Function Deployment (QFD*), βελτιστοποίηση, λειτουργική αποσύνθεση).
2. Κατανόηση των επιδράσεων σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής (LCA).
3. Λήψη διορθωτικών ενεργειών (DFE).

(*) **Σημείωση**: *Η QFD αναπτύχθηκε προκειμένου να συνδέσει τις ανάγκες των πελατών (τελικοί χρήστες) με τη σχεδίαση, ανάπτυξη, κατασκευή και επισκευή του κάθε προϊόντος. Περιλαμβάνει την κατανόηση των αναγκών των πελατών, την εφαρμογή ποιοτικής ανάλυσης, τη μεγιστοποίηση της θετικής ποιότητας που προσθέτει αξία στο προϊόν, τον ορισμό ενός κατανοητού ποιοτικού συστήματος για την ικανοποίηση του πελάτη, τη χάραξη στρατηγικών ώστε να αντιμετωπιστεί οποιοδήποτε πρόβλημα στο μέλλον και να διατηρήσει το προϊόν την καλή του εικόνα στην αγορά.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΧΕΔΙΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

2.1 Μέθοδος 1: Πίνακας Σχεδίασης Προϊόντων (Product Design Matrix – PDM)

Ο Πίνακας Σχεδίασης Προϊόντων είναι ένα εργαλείο που δημιουργήθηκε από τη συνεργασία των Minnesota Office of Environmental Assistance και το Minnesota Technical Assistance Program (MnTAP) [6].

Στόχος του είναι να βοηθήσει τους σχεδιαστές προϊόντων να καθορίσουν ποιες είναι οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιδράσεις από τη σχεδίαση του κάθε προϊόντος. Οι δύο σημαντικές κατηγορίες που μελετώνται με το συγκεκριμένο πίνακα είναι οι περιβαλλοντικές παράμετροι καθώς και το στάδιο του κύκλου ζωής που βρίσκεται το προϊόν κάθε φορά.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί οι περιβαλλοντικές παράμετροι είναι οι εξής:

- υλικά,
- χρήση ενέργειας,
- στερεά – υγρά και αέρια υπολείμματα

που μελετώνται σε συνδυασμό με τα στάδια του κύκλου ζωής:

- πριν την κατασκευή,
- κατασκευή,
- διανομή και συσκευασία,
- χρήση και συντήρηση και
- τέλος της διάρκειας ζωής

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Πίνακας Σχεδίασης Προϊόντων

Στάδια κύκλου ζωής	Περιβαλλοντικές παράμετροι					Σύνολα
	1. Υλικά	2. Χρήση ενέργειας	3. Στερεά υπολείμματα	4. Υγρά υπολείμματα	5. Αέρια υπολείμματα	
A. Πριν την κατασκευή	(A.1)	(A.2)	(A.3)	(A.4)	(A.5)	
B. Κατασκευή	(B.1)	(B.2)	(B.3)	(B.4)	(B.5)	
C. Διανομή και συσκευασία	(C.1)	(C.2)	(C.3)	(C.4)	(C.5)	
D. Χρήση και συντήρηση	(D.1)	(D.2)	(D.3)	(D.4)	(D.5)	
E. Τέλος της διάρκειας ζωής	(E.1)	(E.2)	(E.3)	(E.4)	(E.5)	
Σύνολα						

Ο συγκεκριμένος πίνακας χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους Graedel T.E. και Allenby B.R. το 1995 [5]. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου μαζί με τον πίνακα υπάρχει μια σειρά από ερωτήσεις για το καθένα από τα 25 τετράγωνα που έχουν δημιουργηθεί από αυτόν που διεξάγει την ανάλυση κάθε φορά. Για την κάθε ερώτηση υπάρχει βαθμονομημένη κλίμακα και υπολογίζεται το άθροισμα σε γραμμές και στήλες. Με τον τρόπο αυτό ο κάθε ενδιαφερόμενος έχει τις απαιτούμενες πληροφορίες για το ποια είναι η μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση καθώς και σε ποιο στάδιο της ζωής του προϊόντος συμβαίνει. Οι ερωτήσεις που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από το προϊόν και τις ανάγκες της εταιρείας που σχεδιάζει και κατασκευάζει το προϊόν.

Σαν μέθοδος είναι απλή στην εφαρμογή της και δίνει άμεσα αποτελέσματα οπότε καλό είναι να χρησιμοποιείται όποτε αυτό είναι δυνατό αφού ανάλογα με τις ερωτήσεις είναι δυνατό να προτείνει αλλαγές κατά τη σχεδίαση ενός προϊόντος ή να δώσει έναυσμα για παραπέρα ανάλυση πιθανών αλλαγών.

2.2 Μέθοδος 2: Environmental Effect Analysis

Αναπτύχθηκε σταδιακά από εταιρείες και ανώτατα ιδρύματα της Σουηδίας (University of Kalmar, Volvo, Consulting Agency HRM / Ritline, κ.α.) [7]. Βασίζεται στην ποιοτική εκτίμηση σφαλμάτων και των επιδράσεών τους (Failure Modes and Effects Analysis, FMEA). Και σε αυτήν την περίπτωση το εργαλείο που διαμορφώθηκε χρησιμοποιείται σε αρχικά στάδια της ανάπτυξης του προϊόντος.

Στόχος είναι να καταγραφούν οι βασικές δραστηριότητες που συνδέονται σε κάθε στάδιο της ζωής του προϊόντος. Στη συνέχεια καταγράφονται οι περιβαλλοντικές επιδράσεις που συνδέονται με τις συγκεκριμένες δραστηριότητες. Μέσα από αυτήν τη διαδικασία προκύπτει ένας περιβαλλοντικός αριθμός προτεραιότητας (Environmental Priority Number, EPN) που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τρεις μεταβλητές: **S** για θέματα ελέγχου, **I** για θέματα δημόσιας εικόνας και **O** για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι παραπάνω παράμετροι μπορούν να λάβουν τιμές από 1 ως 3 με βάση το βαθμό στον οποίο έχουν περιβαλλοντικά αποδεκτή συμπεριφορά με το 1 να είναι η καλύτερη δυνατή βαθμολογία και το 3 η χειρότερη. Ο δείκτης EPN υπολογίζεται προσθέτοντας τους τρεις παραπάνω αριθμούς. Υπάρχει και μια τέταρτη παράμετρος η F που αφορά την επιθυμητή βελτίωση που επικεντρώνεται στην απαιτούμενη προσπάθεια σε χρόνο, κόστος και τεχνική δυνατότητα που υπάρχει για τη βελτίωση του κάθε προϊόντος. Παίρνει τιμές σε μια κλίμακα από 1 ως 9 όπου το 1 σημαίνει πως δεν υπάρχει δυνατότητα βελτίωσης και το 9 ότι υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα βελτίωσης. Αφού ολοκληρωθεί η εκτίμηση των παραπάνω παραμέτρων τα αποτελέσματα καταχωρούνται σε έναν πίνακα εκτίμησης ο οποίος έχει τη μορφή που φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να καθοριστούν οι αλλαγές που χρειάζεται να γίνουν στο σχέδιο του προϊόντος προκειμένου αυτό να βελτιωθεί.

Στο συγκεκριμένο πίνακα οι προτάσεις για σχεδιαστικές αλλαγές καθώς και οι αποφάσεις που λαμβάνονται καταγράφονται, οπότε οι δείκτες EPN και F εκτιμώνται ξανά προκειμένου να διασφαλιστεί ότι θα προκύψει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια αξιόπιστη καταγραφή των πιθανών αλλαγών που μπορούν να συμβούν στη σχεδίαση του κάθε προϊόντος καθώς και εκτιμήσεις για τα αποτελέσματα που θα προκύψουν με το τελικό αποτέλεσμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Environmental Effect Analysis

Part Name	Part Number	Drawing Number		Function	Date	Issue
Project	Supplier		Info		Follow-up date	Page No.
EEA Leader	EEA Participants					

Inventory Life Cycle		Environmental Characteristics		Valuation				Actions – Proposals for Action		Valuation				Realization	
No.	Life-cycle phase	Activity	Environmental effect/aspect	S	I	O	EPN/F	Recommended actions	Environmental Effect/Aspect	S	I	O	EPN/F	Remarks	Responsible

2.3 Μέθοδος 3: Smart EcoDesign Electronics Strategy Wheel – Μέθοδος LiDS

Η μέθοδος LiDS wheel είναι ένα εργαλείο χρήσιμο για τη σχεδίαση φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων. Επίσης αποτελεί έναν απλό τρόπο αξιολόγησης ενός νέου ή αναμορφωμένου προϊόντος χρησιμοποιώντας το παλιό σχέδιο σαν σημείο αναφοράς [3].

Η μέθοδος LiDS wheel χρησιμοποιεί 8 σημεία για να βελτιώσει ένα προϊόν τα οποία είναι τα εξής:

Ανασκόπηση της σχεδίασης και ανάπτυξης του προϊόντος	Ανάλυση επιμέρους χρησιμοποιούμενων υλικών. Αύξηση πολλαπλής χρήσης του προϊόντος. Σημεία που επιδέχονται επισκευή.
Βασικές ενέργειες βελτίωσης σε όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος	Καθορισμός των λειτουργιών του προϊόντος. Βελτιστοποίηση λειτουργιών. Αύξηση αξιοπιστίας και διάρκειας ζωής. Εύκολη επισκευή και διατήρηση προϊόντος. Δομή προϊόντος. Μελέτη επιμέρους τμημάτων. Ισχυρή σχέση παραγωγού – χρήστη.
Βελτίωση των χρησιμοποιούμενων υλικών	Καθαρότερα υλικά. Ανανεώσιμα υλικά. Υλικά μικρής ενεργειακής κατανάλωσης. Υλικά ανακύκλωσης. Κατασκευή από ανακυκλώσιμα υλικά. Μείωση χρήσης υλικών.
Βελτίωση των τεχνικών παραγωγής	Εναλλακτικές τεχνικές συναρμολόγησης. Λιγότερα βήματα στη διαδικασία συναρμολόγησης και παραγωγής. Λιγότερη / καθαρότερη κατανάλωση ενέργειας. Λιγότερα απόβλητα από τη διαδικασία συναρμολόγησης και παραγωγής. Λιγότερα / καθαρότερα απαιτούμενα αναλώσιμα για τη συναρμολόγηση και παραγωγή.
Βελτίωση συστήματος διανομής	Λιγότερη / καθαρότερη / επαναχρησιμοποίησιμη συσκευασία.

	Αποδοτική διαχείριση και μεταφορά ενέργειας.
Επίδραση στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της χρήσης	Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Καθαρότερη πηγή ενέργειας. Λιγότερα απαιτούμενα αναλώσιμα. Καθαρότερα απαιτούμενα αναλώσιμα.
Μείωση αρνητικών περιβαλλοντικών επιδράσεων σε όλα τα στάδια ζωής του προϊόντος	Αξιοπιστία και διάρκεια χρήσης. Εύκολη διατήρηση και επισκευή. Διαμόρφωση προϊόντος από συγκεκριμένα διακριτά τμήματα. Κλασική σχεδίαση. Ισχυρή σχέση παραγωγού – χρήστη.
Διαχείριση του προϊόντος στο τέλος του κύκλου ζωής του	Επαναχρησιμοποίηση προϊόντων ή επιμέρους τμημάτων τους. Επανακατασκευή / επισκευή. Ανακύκλωση υλικών. Ασφαλή αποτέφρωση.

Η μέθοδος LiDS wheel δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τον πραγματικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο ενός προϊόντος, καθώς είναι μια συγκριτική μέθοδος. Χρησιμοποιείται για να μειώσει τις αρνητικές επιδράσεις προς το περιβάλλον, για να μειώσει την ποσότητα του χρησιμοποιούμενου υλικού και ενέργειας και για να αποφευχθεί η χρήση τοξικών ουσιών πάνω στον κύκλο ζωής του προϊόντος χρησιμοποιώντας ποιοτικές οδηγίες για τη συγκεκριμένη προσέγγιση.

Η χρήση της ευνοείται στις περιπτώσεις που:

- Δεν υπάρχουν διαθέσιμα πολλά δεδομένα στο αρχικό στάδιο σχεδίασης του προϊόντος.
- Χρειάζεται να γίνει μια αποτύπωση των βασικών προβληματικών περιοχών.
- Να δώσει προτάσεις για παραπέρα μελέτη με τη χρήση άλλων πιο αναλυτικών μεθόδων.

Η μέθοδος LiDS wheel είναι μια εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της έρευνας για τις στρατηγικές μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι βασισμένη εν μέρη στο περιβαλλοντικό πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών PROMISE Manual και προσαρμόστηκε από το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας του Καναδά. Παρέχει ένα βασικό πλαίσιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί συστηματικά στην ανασκόπηση ολόκληρου του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Είναι ένα εργαλείο το οποίο μπορεί να:

- κινητοποιήσει τη δημιουργική διαδικασία παραγωγής
- βοηθήσει στην οπτικοποίηση της τρέχουσας περιβαλλοντικής επίδοσης
- υπογραμμίσει τις δυνατότητες για βελτίωση

Η οπτικοποίηση της δημιουργίας και λειτουργίας ενός προϊόντος απαιτεί μία ισορροπία λειτουργικών, οικονομικών, και περιβαλλοντικών στοιχείων. Ο κύκλος που έχει τα 8 σημεία που μελετώνται όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί ξεκινάει με τις νέες ιδέες για το προϊόν, τις σχεδιαστικές ανάγκες, την επιλογή υλικών, την παραγωγή, τη διανομή και τη χρήση καθώς και το τέλος του χρόνου ζωής του προϊόντος. Παρόλο που οι στρατηγικές είναι αριθμημένες διαδοχικά βασισμένες στον κύκλο ζωής του προϊόντος, η σειρά εφαρμογής των στρατηγικών δεν είναι η ίδια για κάθε προϊόν. Με άλλα λόγια, δεν υπάρχει ένας σωστός τρόπος εφαρμογής των στρατηγικών, αλλά η σειρά των απαιτούμενων ενεργειών εξαρτάται από τις ανάγκες την εταιρίας ή του οργανισμού γενικότερα καθώς και από την παραγωγή του προϊόντος.

<u>Διαδικασία εφαρμογής του “Smart ecoDesign Electronics Strategy Wheel”</u>:

1. Επιλογή προϊόντος.
2. Διαμόρφωση μιας ομάδας αλληλοσχετιζόμενων σημείων που θα μελετηθούν (π.χ. 5-10 όπως περιβάλλον, ποιότητα, μηχανική σχεδίαση, προμήθεια, εφοδιασμός κ.λπ.).
3. Απάντηση των ερωτήσεων που έχουν διαμορφωθεί σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής.
4. Χρησιμοποίηση των απαντήσεων για τον καθορισμό της θέσης του προϊόντος στο διάγραμμα του “Smart ecoDesign Electronics Strategy Wheel”.
5. Τοποθέτηση σήμανσης σε κάθε σημείο πάνω στο διάγραμμα και ένωση των σημείων που προέκυψαν.

Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι πρόκειται για μια απλή στην εφαρμογή της μέθοδο που δεν δίνει μεν αποτελέσματα ακριβείας αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια αρχική εκτίμηση προσδιορισμού των περιβαλλοντικών δυνατοτήτων και αδυναμιών ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας.
Συγκεκριμένα, όσο πιο κοντά στο κέντρο του διαγράμματος του Smart ecoDesign Strategy Wheel βρίσκεται κάποιο προϊόν αυτό είναι ένδειξη χαμηλής ποιότητας περιβαλλοντικής συμπεριφοράς ενώ επιθυμητό είναι να βρίσκεται όσο το δυνατό πιο κοντά στον εξωτερικό κύκλο.
Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά για το κάθε στάδιο ποια ερώτηση απαντάει και ποιές παραμέτρους εξετάζει για το σκοπό αυτό.

Στάδιο 1: Ανασκόπηση της Σχεδίασης και Ανάπτυξης του Προϊόντος

και Στάδιο 2: Βασικές Ενέργειες Βελτίωσης σε όλη τη Διάρκεια Ζωής του Προϊόντος

Πως ικανοποιεί το προϊόν στην πραγματικότητα τις κοινωνικές ανάγκες; - Ποιες είναι οι πρωτεύουσες και δευτερεύουσες λειτουργίες του προϊόντος, συστήματος ή υπηρεσίας που μελετάται; - Πραγματοποιεί το προϊόν ή υπηρεσία ή σύστημα αυτές τις λειτουργίες αποτελεσματικά και σε ικανοποιητικό βαθμό; - Ποιες ανάγκες του χρήστη ικανοποιεί το προϊόν ή υπηρεσία ή σύστημα; - Μπορεί το προϊόν ή υπηρεσία ή σύστημα να επεκταθεί ή να βελτιωθεί προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών σε μεγαλύτερο βαθμό; - Μπορεί αυτή η ανάγκη να αλλάξει με το πέρασμα του χρόνου; - Σε ποιο βαθμό το προϊόν είναι αξιόπιστο και έχει την επιθυμητή διάρκεια ζωής; - Ποιες είναι οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την αποσυναρμολόγησή του, τον καθαρισμό του και τη συντήρησή του;	**Νέα ιδέα** - Ανάλυση στα επιμέρους υλικά. - Χρήση του προϊόντος σε περισσότερες από μία εργασίες. - Καταγραφή και ανάλυση των λειτουργιών. - Λειτουργική βελτιστοποίηση του προϊόντος καθώς και των επιμέρους εξαρτημάτων του. - Χαμηλή κατανάλωση της ενέργειας. - Καθαρότερη πηγή ενέργειας - Ελάχιστα απαιτούμενα αναλώσιμα (*). - Καθαρότερα αναλώσιμα - Αύξηση της αξιοπιστίας κατά τη χρήση του καθώς και της διάρκειάς ζωής του. - Απλή και μη-χρονοβόρα διαδικασία αποσυναρμολόγησης, καθαρισμού και συντήρησης. - Αποφυγή δημιουργίας εξεζητημένων μη-λειτουργικών σχεδίων. - Προώθηση της επισκευής και επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων.

(*) **Σημείωση:** *Αναλώσιμα όπως νερό / καθαριστικά για πλυντήρια ρούχων, καφές / φλιτζάνια / φίλτρα για καφετιέρες, φιλμ για φωτογραφικές μηχανές, χαρτί για φωτοτυπικά μηχανήματα κ.λπ.*

Στάδιο 3: Βελτίωση των Χρησιμοποιούμενων Υλικών

Τι προβλήματα μπορούν να προκύψουν στην παραγωγή και προμήθεια των υλικών και των εξαρτημάτων; - Πόσα και τι τύπου πλαστικά και καουτσούκ χρησιμοποιούνται; - Πόσα και τι τύπου μέταλλα χρησιμοποιούνται; - Πόσα και τι τύπου άλλων υλικών (γυαλί, κεραμικά, κ.λπ.) χρησιμοποιούνται; - Σε ποιο βαθμό και τι επικαλύψεις χρησιμοποιούνται; - Ποιο είναι το περιβαλλοντικό προφίλ των εξαρτημάτων; - Πόση είναι η απαιτούμενη ενέργεια για να μεταφερθούν τα εξαρτήματα και τα υλικά;	**Eco-design στρατηγική 1:** **Προμήθεια υλικών / εξαρτημάτων** - Καθαριστής υλικών - Ανανεώσιμα υλικά - Χαμηλής περιεκτικότητας σε ενέργεια υλικά - Ανακυκλωμένα υλικά - Ανακυκλώσιμα υλικά **Eco-design στρατηγική 2:** **Χρήση υλικών / εξαρτημάτων** - Μείωση του βάρους - Μείωση του όγκου (μεταφορά)

Στάδιο 4: Βελτίωση των Τεχνικών Παραγωγής

Τι προβλήματα μπορούν να προκύψουν στη διαδικασία συναρμολόγησης/ παραγωγής in-house ή ex-house; - Πόσοι και ποιοι τύποι διαδικασιών συναρμολόγησης / παραγωγής χρησιμοποιούνται; (συμπεριλαμβάνοντας τις συνδέσεις, επεξεργασίες επιφάνειας, τύπωση και τοποθέτηση ετικέτας) - Πόσα και τι τύπου βοηθητικών υλικών και διαλυτικών χρησιμοποιούνται; Π.χ. για καθαρισμό, κόψιμο, λάδι για γεώτρηση κ.λπ. - Πόσο υψηλή είναι η κατανάλωση ενέργειας; - Πόσα απόβλητα παράγονται;	**Eco-design στρατηγική 3: Διαδικασία συναρμολόγησης/ παραγωγής (in-house/ex-house)** - Εναλλακτικές τεχνικές συναρμολόγησης/ παραγωγής - Λιγότερα βήματα για συναρμολόγηση/ παραγωγή - Χαμηλότερη/ καθαρότερη κατανάλωση ενέργειας - Λιγότερα απόβλητα από τη διαδικασία συναρμολόγησης/ παραγωγής - Λιγότερα/ καθαρότερα αναλώσιμα από τη διαδικασία συναρμολόγησης/ παραγωγής

- Πόσα προϊόντα δεν ανταποκρίνονται στους στόχους ποιότητας που έχουν τεθεί;	

Στάδιο 5: Βελτίωση Συστήματος Διανομής

Τι προβλήματα παρουσιάζονται στη διανομή του προϊόντος στον καταναλωτή; - Τι τύποι συσκευασιών μεταφοράς χρησιμοποιούνται. Ποιος ο όγκος – διαστάσεις τους – υλικά και ικανότητα επαναχρησιμοποίησής τους για μεταφορά για χονδρική και λιανική πώληση; - Ποια μέσα μεταφοράς χρησιμοποιούνται; - Είναι η μεταφορά οργανωμένη ικανοποιητικά;	**Eco-design στρατηγική 4: Χρήση υλικών** - Μείωση βάρους - Μείωση όγκου (κατά τη μεταφορά) **Eco-design στρατηγική 5: Σύστημα διανομής (in-house/ex-house)** - Λιγότερες/ καθαρότερες/ επαναχρησιμοποιούμενες συσκευασίες - Ικανοποιητική οργάνωση των σχετικών θεμάτων διαχείρισης - Αποδοτική χρήση της ενέργειας στον τρόπο μεταφοράς

Στάδιο 6: Επίδραση στο Περιβάλλον κατά τη Διάρκεια της Χρήσης και Στάδιο 7: Μείωση Αρνητικών Περιβαλλοντικών Επιδράσεων σε όλα τα Στάδια Ζωής του Προϊόντος

Πως παρουσιάζονται τα προβλήματα όταν χρησιμοποιείται, λειτουργεί, εξυπηρετεί, επιδιορθώνεται το προϊόν, η υπηρεσία ή το σύστημα; - Πόση και τι είδους ενέργεια απαιτείται σε όλα τα στάδια ζωής του προϊόντος; - Πόση και τι είδους ενέργεια απαιτείται άμεσα ή έμμεσα στο τέλος ζωής του προϊόντος; (*) - Πόσα και τι είδους αναλώσιμα χρειάζονται; - Ποιά είναι η διάρκεια ζωής σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές; - Πόση συντήρηση και επιδιορθώσεις χρειάζονται; - Τι είδους και πόσα βοηθητικά υλικά και ενέργεια απαιτούνται για τη λειτουργία, εξυπηρέτηση και επιδιόρθωση; - Μπορεί το προϊόν ή το σύστημα να αποσυναρμολογηθεί από έναν μη εξειδικευμένο εργαζόμενο; - Απαιτείται αντικατάσταση ή επισκευή των κατεστραμμένων τμημάτων μετά την αποσυναρμολόγηση για την επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος; - Πόσο ισχυρή είναι η σχέση παραγωγού – χρήστη (μόλις χαλάσει το προϊόν γίνεται προσπάθεια επισκευής ή η πιο πιθανή λύση είναι να αποσυρθεί;). - Ποιος είναι ο πραγματικός χρόνος ζωής του προιόντος;	**Eco-design στρατιγική 6: Αντίκτυπο κατα τη διάρκεια χρήσης** - Χαμηλότερη χρήση ενέργειας - Καθαρότερη πηγή ενέργειας - Λιγότερα αναλώσιμα - Καθαρότερα αναλώσιμα **Eco-design στρατιγική 7: Αρχικός χρόνος ζωής** - Αξιοπιστία και ανθεκτικότητα - Ευκολότερη συντήρηση και επιδιόρθωση - Πρότυπη δομή προιόντος - Κλασική σχεδίαση (**) - Ισχυρή σχέση προϊόντος-χρήστη

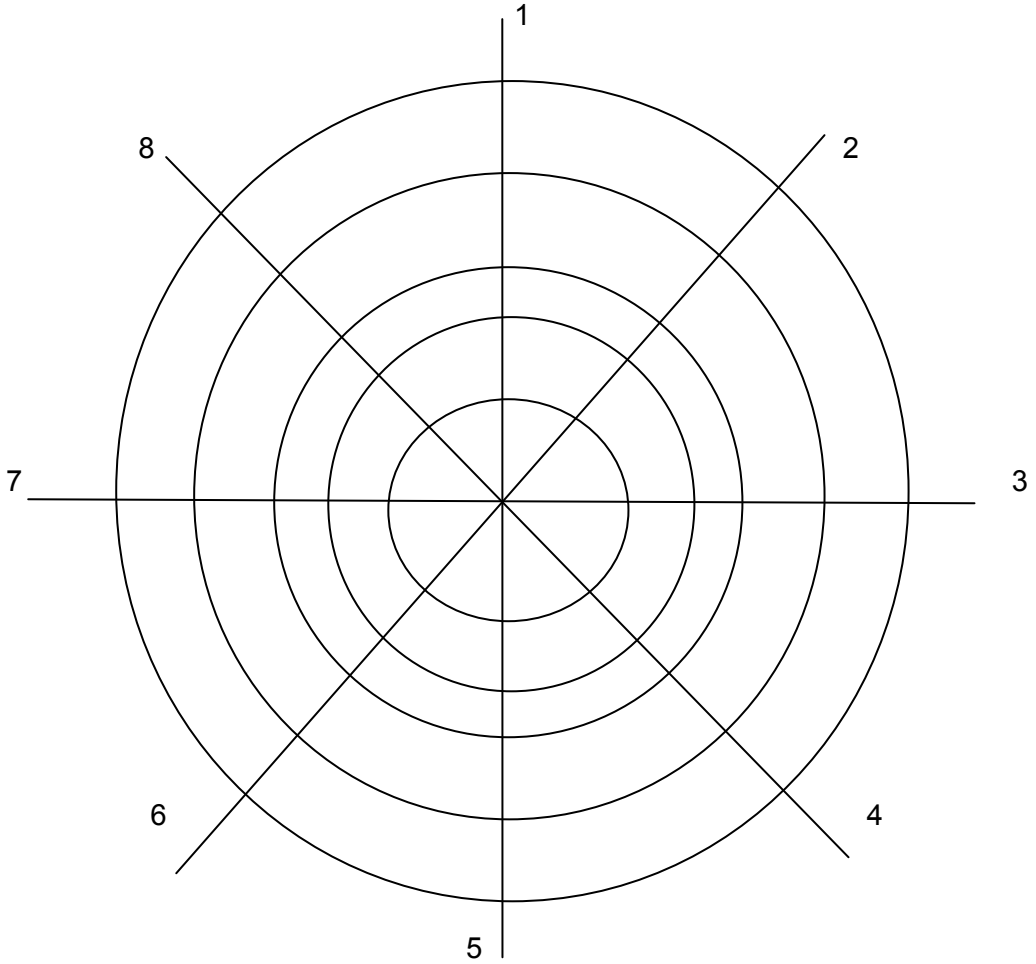
(*) **Σημείωση:** *Ενώ η χρήση νερού υπό πίεση δεν καταναλώνει ενέργεια άμεσα, καθορίζει έμμεσα πόση ενέργεια καταναλώνεται από τη χρήση του.*

(**) **Σημείωση:** *Η κλασική σχεδίαση αναφέρεται σε ένα προϊόν που είναι απίθανο να βρεθεί εκτός μόδας π.χ. τα levi's τζινς.*

Στάδιο 8: Διαχείριση Προϊόντος στο Τέλος του Κύκλου Ζωής του

Ποια προβλήματα μπορούν να προκύψουν απο την αποκατάσταση και τελική απόθεση ενός προϊόντος, υπηρεσίας ή συστήματος; - Πως ένα προϊόν ή σύστημα μπορεί να αποσυρθεί και να βρεθεί σε χώρο τελικής απόθεσης; - Ποια εξαρτήματα ή επιμέρους συναρμολογήσεις μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν; - Ποια υλικά είναι ανακυκλώσιμα; - Είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται αναγνωρίσιμα; - Μπορούν να αποσπασθούν σε μικρό χρόνο; - Χρησιμοποιούνται αταίριαστα στοιχεία, επικαλύψεις επιφανειών ή αυτοκόλλητα; - Υπάρχουν επικίνδυνα εξαρτήματα που μπορούν να αφαιρεθούν εύκολα;	**Eco-design στρατηγική 8: Διαχείριση Τέλους Χρόνου Ζωής (EOL) (in-house/ ex-house)** - Επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος ή των εξαρτημάτων / υποσυναρμολογήσεων. - Σχεδίαση προϊόντος με κριτήριο την εύκολη αποσυναρμολόγησή του. - Σχεδίαση με κριτήριο την ελαχιστοποίηση των επιμέρους τμημάτων από τα οποία αποτελείται το προϊόν. - Επανακατασκευή / Ανακαίνιση. - Ανακύκλωση υλικών. Μέγιστη χρήση ανακυκλώσιμων υλικών καθώς και υλικών κατασκευής που προέρχονται από ανακύκλωση. - Αποφυγή χρήσης πολλών διαφορετικών υλικών. - Ασφαλής αποτέφρωση.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται και οπτικά η παραπάνω διαδικασία των 8 επιμέρους σταδίων που εξετάζονται με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Όπως φαίνεται και στο σχήμα τα 8 στάδια είναι ισοδύναμα μεταξύ τους.



Σχήμα 2.1 Smart EcoDesign Electronics Strategy Wheel – Μέθοδος LiDS

2.4 Μέθοδος 4: Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Εκτός από τις παραπάνω κλασσικές μεθόδους υπάρχει και άλλη μια μέθοδος που ναι μεν δεν έχει ως κριτήριο τη σχεδίαση με βάση το περιβαλλοντικό όφελος αλλά μπορεί να αποδειχτεί χρήσιμη η εφαρμογή της και να δώσει χρήσιμα στοιχεία κατά τη σχεδίαση ενός προϊόντος που θα βελτιώσουν τόσο την περιβαλλοντική όσο και τη γενικότερη συμπεριφορά του. Πρόκειται για τη μέθοδο της ανάλυσης αποτυχιών και της επιδράσεών τους που είναι γνωστή ως failure mode effect analysis ή πιο σύντομα με τα αρχικά FMEA. Πιο συγκεκριμένα είναι η διαδικασία κατά την οποία αναλύονται τα πιθανά σημεία αποτυχιών μέσα σε ένα σύστημα και στη συνέχεια κατατάσσονται με βάση τα κριτήρια:

- σοβαρότητα των επιδράσεων που θα έχει η πιθανή πραγματοποίησή τους στο συγκεκριμένο σύστημα
- πόσο συχνά συμβαίνει η κάθε πιθανή αποτυχία
- πόσο εύκολο είναι να ανιχνευτεί η συγκεκριμένη αποτυχία εφόσον συμβεί.

Εφαρμόζεται σε μεγάλο βαθμό στις κατασκευαστικές βιομηχανίες σε διάφορες φάσεις της ζωής ενός προϊόντος και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη φάση της συντήρησης. Οι αποτυχίες που καταγράφονται είναι λάθη ή ελαττώματα του προϊόντος που έχουν συμβεί στη φάση της σχεδίασης ή της παραγωγής και μπορεί να είναι πιθανές ή πραγματικές. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει ως στόχο να μελετήσει τις επιπτώσεις των πιθανών αποτυχιών που καταγράφονται.

Πρόκειται για μια ακριβή και χρονοβόρα στην εφαρμογή της μέθοδο αφού απαιτεί συστηματική ανάλυση και μελέτη της αποτυχίας. Παρόλα αυτά εφαρμόζεται σε μεγάλο βαθμό γιατί είναι μια συστηματική μέθοδος που καταγράφει την υπάρχουσα γνώση για το κάθε προϊόν καθώς και τις ενέργειες που χρειάζεται να γίνουν σε περίπτωση αποτυχίας. Στη φάση της σχεδίασης τα δεδομένα από την εφαρμογή της FMEA χρησιμοποιούνται προκειμένου να σχεδιαστεί το κάθε προϊόν με τρόπο ώστε να αποφευχθούν μελλοντικές αποτυχίες. Επίσης συχνά χρησιμοποιείται και στα υπόλοιπα στάδια της ζωής ενός προϊόντος κατά τη χρήση του. Ιδανικό σενάριο είναι να χρησιμοποιείται σε όλη τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος.

Η διαδικασία υλοποίησης μιας FMEA ανάλυσης αποτελείται από συγκεκριμένα στάδια. Πριν την υλοποίησή της είναι απαραίτητο να έχει συλλεχθεί όλη η υπάρχουσα πληροφορία για το υπό μελέτη προϊόν. Αυτό μπορεί να γίνει μέσα από τη δημιουργία πινάκων διασύνδεσης των επιμέρους τμημάτων του προϊόντος (interface matrices), διαγραμμάτων ορίων επίδρασης του κάθε τμήματος (boundary diagrams) και διαγραμμάτων παραμέτρων (parameter diagrams). Ο λόγος είναι ότι πολλές από τις αποτυχίες που συμβαίνουν οφείλονται σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ τμημάτων / συστημάτων που δεν είχαν προβλεφθεί αρχικά γιατί ο καθένας στη φάση της σχεδίασης ή της κατασκευής ασχολιόταν αποκλειστικά και μόνο με το συγκεκριμένο τμήμα για το οποίο είχε την ευθύνη οπότε δεν υπήρχε έλεγχος του συνολικού προϊόντος. Αυτή καθεαυτή η μέθοδος αναπτύσσεται σε τρεις βασικές φάσεις που είναι οι εξής:

- περιγραφή του συστήματος και των λειτουργιών του (επιθυμητών και μη-επιθυμητών)
- δημιουργία ενός αναλυτικού σχεδίου του προϊόντος (block diagram). Μέσα από το συγκεκριμένο σχέδιο θα πρέπει να φαίνονται όλα τα βασικά σημεία του προϊόντος και οι λειτουργίες του καθώς και πως συνδέονται μεταξύ τους
- δημιουργία φύλλων αναφοράς όπου έχουν καταγραφεί σημαντικές πληροφορίες για το σύστημα όπως χρονικές στιγμές στις οποίες γίνεται επιθεώρηση ή αναβάθμιση ή κάποια άλλη σημαντική λειτουργία ή τα ονόματα των υλικών. Στο συγκεκριμένο φύλλο εργασίας όλα τα κομμάτια και οι λειτουργίες του προϊόντος χρειάζεται να είναι καταγεγραμμένες με έναν

λογικό κωδικοποιημένο τρόπο που θα βασίζεται στο block diagram του οποίου η δημιουργία έχει προηγηθεί.

Βασικά βήματα εφαρμογής της FMEA μεθόδου είναι τα εξής:

1. Ορισμός του υπό μελέτη συστήματος. Αυτό σημαίνει τον καθορισμό των ορίων του συστήματος, εύρεση των εσωτερικών συσχετίσεων, περιγραφή της αναμενόμενης λειτουργίας και ορισμός των πιθανών αποτυχιών που μπορεί να σημειωθούν.
2. Αντιστοίχηση των πιθανών αποτυχιών του συστήματος με τις λειτουργίες του συστήματος που θα επηρεαστούν. Για την κάθε πιθανή αποτυχία εύρεση των πιθανών σεναρίων που μπορεί να οδηγήσουν στην πραγματοποίησή τους.
3. Προσδιορισμός των πιθανών επιδράσεων από την πραγματοποίηση της κάθεμιας πιθανής αποτυχίας. Με άλλα λόγια να απαντηθεί για την κάθε αποτυχία η ερώτηση: «Τι θα συμβεί στο σύστημα όταν θα συμβεί η συγκεκριμένη αποτυχία;».
4. Ορισμός και βαθμονόμηση της σοβαρότητας της κάθε επίδρασης. Προσδιορισμός των επιμέρους τμημάτων εξοπλισμού που επηρεάζονται και στη συνέχεια επηρεάζουν και τη συνολική λειτουργία του συστήματος.
5. Αναζήτηση για την κάθε πιθανή αποτυχία των αιτιών που μπορεί να οδηγήσουν στην πραγματοποίησή της.
6. Αναζήτηση για την καθεμιά από τις παραπάνω αιτίες των πιθανών μεθόδων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στον αρχικό εντοπισμό της.
7. Καταγραφή προτεινόμενων ενεργειών για την κάθε αιτία που μπορεί να μειώσει τη σοβαρότητα των επιπτώσεων της κάθε αποτυχίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ Top - Down Design Analysis – ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

3.1 Top - Down Design Analysis και Autodesk Inventor

Η μεθοδολογία σχεδιασμού top - down design analysis εφαρμόζεται σε βιομηχανικά συστήματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης και έχει ως αποτέλεσμα τη διευκόλυνση στη διαχείριση μεγάλων συναρμολογήσεων και την οργάνωση πολύπλοκων σχεδίων [2]. Πρόκειται για μεθοδολογία που είναι ανεξάρτητη του προϊόντος και του συστήματος τρισδιάστατης μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται. Μέσα από τη χρήση της υπάρχει η δυνατότητα να σχεδιαστεί βήμα προς βήμα η πορεία συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης ενός οποιουδήποτε προϊόντος. Η αποτύπωση της διαδικασίας στον Η/Υ γίνεται με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού. Στη συγκεκριμένη εργασία το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση των επιμέρους εξαρτημάτων είναι το Autodesk Inventor.

Το συγκεκριμένο πακέτο παρέχει ένα περιεκτικό σύνολο εργαλείων για τρισδιάστατη πρότυπη και μηχανολογική σχεδίαση για την παραγωγή, τεκμηρίωση και αποθήκευση ολοκληρωμένων ψηφιακών πρωτοτύπων. Το μοντέλο του Inventor είναι ένα τρισδιάστατο ψηφιακό πρωτότυπο που βοηθάει τους χρήστες να σχηματίσουν μία εικόνα, να προσομοιώσουν και να αναλύσουν πως θα δουλέψει ένα σχέδιο κάτω από πραγματικές συνθήκες πριν ακόμα αυτό παραχθεί, βοηθώντας τους κατασκευαστές να το προωθήσουν στην αγορά σε μικρότερο χρονικό διάστημα με τη δημιουργία λιγότερων μοντέλων μέχρι την τελική διαμόρφωσή του. Μειώνοντας το χρόνο που ξοδεύεται στη γεωμετρία ενός προϊόντος υπάρχει η δυνατότητα να ξοδέψει κάποιος περισσότερο χρόνο στην αναβάθμιση των σχεδίων. Επιπλέον, με τη γρήγορη κατασκευή ψηφιακών πρωτοτύπων που επικυρώνουν τη λειτουργία ενός σχεδίου εντοπίζονται άμεσα τα τυχόν λάθη πριν φτάσουν τα σχέδια στην παραγωγή.

Πρόκειται λοιπόν για ένα λογισμικό που βοηθά τους σχεδιαστές να πραγματοποιήσουν τα οφέλη της ψηφιακής διαμόρφωσης ενός πρωτοτύπου δίνοντάς τους παράλληλα την ελευθερία να επαναχρησιμοποιήσουν τα υπάρχοντα σχέδια σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον σχεδίου.

Με τον τρόπο αυτό επιτρέπεται στους χρήστες να ελέγξουν πάνω στο σχέδιο και μηχανολογικά στοιχεία καθώς αυτά λειτουργούν, να ελαχιστοποιηθεί η ανάγκη για τα φυσικά πρωτότυπα, και να μειωθούν οι δαπανηρές μηχανολογικές αλλαγές που ανακαλύπτονται αφού έχει σταλεί το σχέδιο στην κατασκευή.

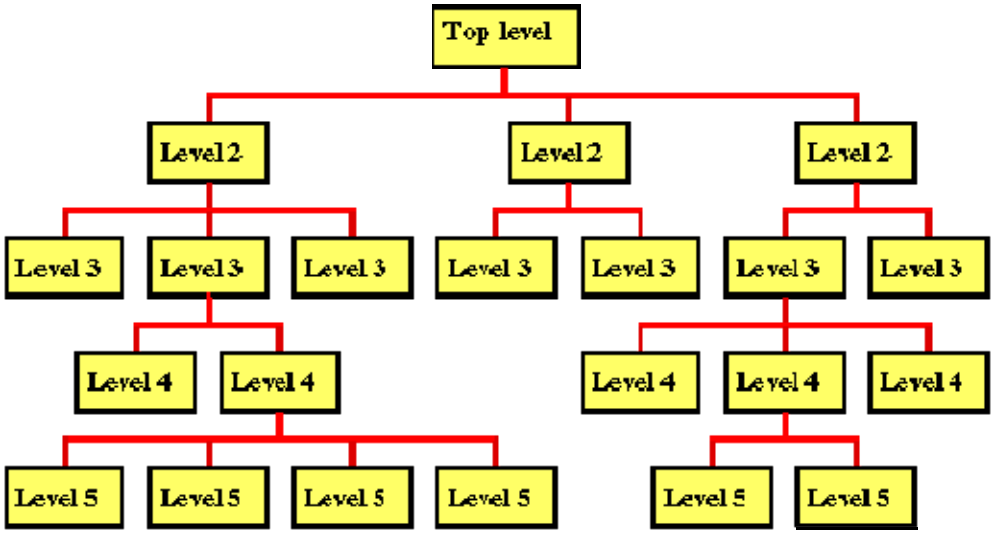
Στόχος της εργασίας που πραγματοποιήθηκε ήταν η εφαρμογή της top-down analysis καθώς και η χρήση του Autodesk Inventor προκειμένου για ένα σύνθετο προϊόν να σχεδιαστούν τα επιμέρους τμήματά του με απώτερο στόχο όχι να διερευνηθεί η διαδικασία της συναρμολόγησής του και η βελτίωση του σχεδίου για τη

μετέπειτα παραγωγή του, αλλά για να διερευνηθεί η διαδικασία της αποσυναρμολόγησής του, η απαιτούμενη σειρά των εργασιών που θα πρέπει να ακολουθηθεί καθώς και ποια χαρακτηριστικά των επιμέρους τμημάτων του θα μπορούσαν να βελτιωθούν με στόχο να διευκολύνουν το προϊόν στο τέλος της χρήσιμης ζωής του.

Η top - down analysis θεωρείται η καλύτερη μέθοδος για τη χρήση και έλεγχο των συσχετιζόμενων με το Autodesk Inventor εργαλείων σχεδίασης κατά τη θεμελίωση και οικοδόμηση μεγάλων συναρμολογήσεων. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει αφορούν τη διαχείριση μεγάλων συναρμολογήσεων, την οργάνωση πολύπλοκων σχεδίων, τον έλεγχο της κίνησης και την υποστήριξη πιο ευέλικτων σχεδίων συναρμολογήσεων.

Σύμφωνα με την προσέγγιση top - down analysis για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος χρειάζεται να διαμορφωθεί ένας μηχανισμός επίλυσης προβλημάτων στον οποίο το κάθε πρόβλημα διασπάται σε ολοένα και μικρότερα υποπροβλήματα έως ότου φτάσει σε ένα σύνολο προβλημάτων που μπορούν να λυθούν με ευκολία.
Πιο συγκεκριμένα η top – down analysis επιτρέπει τη διάσπαση του υπό μελέτη αντικειμένου σε επιμέρους τμήματα ώστε να μπορεί κάποιος να μελετήσει την αντίστροφη πορεία του προϊόντος κατά την αποσυναρμολόγησή του. Είναι ένας μηχανισμός επίλυσης προβλημάτων στον οποίο το δοσμένο πρόβλημα διασπάται σε ολοένα και μικρότερα υποπροβλήματα, έως ότου φτάσει σε ένα σύνολο εύκολα επιλυόμενων υποπροβλημάτων. Κάθε επίπεδο της ανάλυσης αριθμείται αρχίζοντας από το άνω (πρώτο) επίπεδο, ακολουθούμενο από το δεύτερο επίπεδο κ.ο.κ., και καταγράφει ένα διαφορετικό επίπεδο αφαίρεσης (βαθμός λεπτομέρειας), με το άνω επίπεδο να αντιπροσωπεύει το μέγιστο βαθμό αφαίρεσης.

Ο απλούστερος τρόπος περιγραφής της top – down analysis γίνεται με τη χρήση δομής δένδρου (tree structure) όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1. Σε μια τέτοια δομή υπάρχουν κλαδιά (branches) και κόμβοι (nodes). Ο άνω κόμβος (δηλ. το πρώτο ή άνω επίπεδο στην ανάλυση) αναφέρεται μερικές φορές και σαν κόμβος αφετηρίας (root node), ενώ οι κόμβοι του κατώτερου επιπέδου αναφέρονται και ως κόμβοι φύλλων (leaf nodes). Κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μια αφαίρεση στην ανάλυση του προβλήματος, με τους κόμβους φύλλων να αντιπροσωπεύουν το χαμηλότερο επίπεδο αφαίρεσης. Σε κάθε δένδρο μπορεί να υπάρξει μόνο ένας κόμβος αφετηρίας (το υψηλότερο επίπεδο αφαίρεσης).



Εικόνα 3.1 [2]

Αν και χρησιμοποιώντας την top – down analysis μπορεί να επιτευχθεί μια πολύ λεπτομερής περιγραφή του προβλήματος, ο στόχος του σχεδιαστή πρέπει να είναι ο καθορισμός εύκολα επιλύσιμων υποπροβλημάτων και όχι ο προσδιορισμός ενός λεπτομερούς σχεδίου ή ενός συνόλου εκθέσεων υλοποίησης.

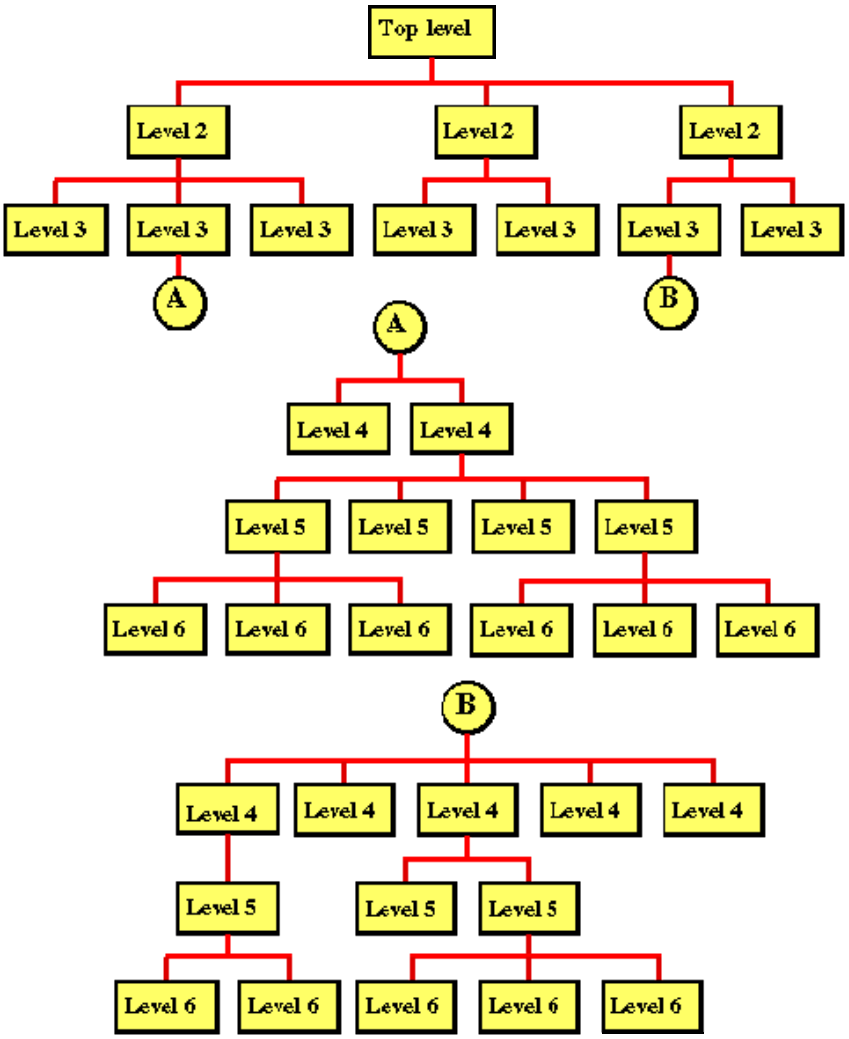
Η top – down analysis θεωρείται ιδανική για τη δομημένη επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων και μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών (προγραμματισμός Η/Υ, σχεδίαση, προγραμματισμός παραγωγής, διοίκηση, κ.λπ). Παρουσιάζει όμως και ορισμένα μειονεκτήματα όπως:

- Έχει συνήθως ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλες δομές δένδρων.
- Δεν υπάρχει σαφής καθορισμός της ροής του ελέγχου.
- Παρουσιάζει δυσκολία στην απεικόνιση ενεργειών όπως επιλογή, επανάληψη και επίκληση ρουτινών.

Για την περιγραφή ενός ιδιαίτερα περίπλοκου προβλήματος μπορεί να είναι κατάλληλη η χρήση ενός πλήθους δέντρων που χρησιμοποιούν συνδετήρες (οι οποίοι απεικονίζονται με κύκλους) για να δείξουν τα μέρη στα οποία τα εξαρτήματα του συνολικού δέντρου συναντιούνται μεταξύ τους (βλ. Εικόνα 3.2).

Όσον αφορά τις δομές δένδρων που χρησιμοποιούνται για την top – down analysis πρέπει να σημειωθούν τα παρακάτω:

- Απαιτείται η ύπαρξη μόνο ενός κόμβου αφετηρίας.
- Δεν χρειάζεται να έχουν όλοι οι κλάδοι τον ίδιο αριθμό επιπέδων.
- Ο μέγιστος αριθμός κόμβων δεν χρειάζεται να εμφανίζεται απαραίτητα στο χαμηλότερο επίπεδο.



Εικόνα 3.2 [2]

3.2 Αποσυναρμολόγηση Προϊόντος - Αναγκαιότητα Εφαρμογής

Συχνά σε προϊόντα είναι απαραίτητο να ληφθούν ορισμένα μέτρα για να μειωθεί η πολυπλοκότητα του δοθέντος σχεδίου τους και να διευκολυνθεί η συνολική τους κατεργασία.[1] Η αποσυναρμολόγηση και ο τεμαχισμός θεωρούνται ενέργειες προς αυτήν την κατεύθυνση. Η αποσυναρμολόγηση επιτρέπει την ανάκτηση των επαναχρησιμοποιούμενων εξαρτημάτων ή μερών ή υλικών που δεν μπορούν να χωριστούν ή είναι μετά βίας διαχωρίσιμα υλικά σε ένα σύστημα καταστροφής βιομηχανικών υλικών ενώ ο τεμαχισμός χρησιμοποιείται για τα εύκολα διαχωρίσιμα υλικά.

Η αποσυναρμολόγηση (disassembly) είναι η διαδικασία συστηματικής απομάκρυνσης επιθυμητών συστατικών μερών από ένα συναρμολογημένο σύνολο ενός προϊόντος εξασφαλίζοντας ότι δεν φθείρονται τα επιμέρους τμήματα λόγω της συγκεκριμένης διαδικασίας. Αυτός είναι ο καθαρά θεωρητικός ορισμός της αποσυναρμολόγησης.

Πρακτικά, η αποσυναρμολόγηση μπορεί να οριστεί ως η ελεγχόμενη διαδικασία που στοχεύει στον, με οποιοδήποτε τρόπο, διαχωρισμό και ανάκτηση επιθυμητών υποσυνόλων του προϊόντος. Η αποσυναρμολόγηση μπορεί να διακριθεί στα ακόλουθα είδη, ανάλογα με το επίπεδο της ανάκτησης που επιτυγχάνεται:

- Μη καταστροφική (non destructive), χωρίς να καταστραφεί κανένα υποσύνολο του προϊόντος.
- Μερικώς καταστροφική (partly destructive), με καταστροφή των συνδέσμων ή επιλεγμένων εξαρτημάτων προκειμένου να επιτευχθεί ο τελικός στόχος.
- Καταστροφική (destructive), με μη ελεγχόμενη καταστροφή της δομής του προϊόντος. Αυτός ο τρόπος, βέβαια, δεν μπορεί να ενταχθεί στον ορισμό της αποσυναρμολόγησης, εφόσον δεν είναι ελεγχόμενος και δεν ανακτώνται υποσύνολα. Αναφέρεται σαν ακραία περίπτωση της αποσυναρμολόγησης.

Η μερικώς καταστροφική ή η καταστροφική αποσυναρμολόγηση (dismantling) σκοπό έχει την ανάκτηση των υλικών (ανακύκλωση) ή την επίτευξη πρόσβασης σε άλλα συστατικά μέρη του προϊόντος.

Το είδος της αποσυναρμολόγησης που επιλέγεται κάθε φορά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σκοπός συνήθως είναι η ελαχιστοποίηση του σχετικού κόστους καθώς και η αυτοματοποίηση στο μέγιστο βαθμό της σχετικής διαδικασίας. Οι θετικές επιπτώσεις της αποσυναρμολόγησης μπορούν να διαχωριστούν στις περιβαλλοντικές και σε οικονομικές.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις εστιάζονται στα εξής σημεία:

- Επέκταση της ζωής των προϊόντων. Αφού θα μπορεί να επιτευχθεί πιο εύκολη πρόσβαση στα επιμέρους τμήματος ενός προϊόντος διευκολύνεται η επισκευή, γεγονός που αυξάνει και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.
- Καθαρότερη ανάκτηση υλικών (αυξάνει την απόδοση της ανακύκλωσης). Είναι προφανές ότι όταν τα διάφορα συστατικά εξαρτήματα αποσυναρμολογούνται, τότε και τα υλικά μπορούν να ομαδοποιηθούν πιο εύκολα και ανάλογα να ταξινομηθούν, ώστε όταν θα ανακυκλωθούν να υπάρχει μεγαλύτερη ομοιογένεια στο τελικό αποτέλεσμα. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αναβάθμιση των δευτερογενών υλικών και αυξάνει την αξία τους.
- Τα υλικά που μέχρι τώρα θάβονταν λόγω δυσκολίας διαχωρισμού, μπορούν να διαχωρίζονται από τη φάση της αποσυναρμολόγησης οπότε αυξάνεται ο αριθμός των προϊόντων που ανακυκλώνονται.
- Ανάκτηση συνόλων (επαναχρησιμοποίηση).
- Επιτρέπει την απομάκρυνση και απομόνωση επικίνδυνων ουσιών.

Οι οικονομικές επιπτώσεις από την εφαρμογή της αποσυναρμολόγησης είναι οι εξής:

- Μείωση των αρνητικών επιπτώσεων από τη διακοπή της παραγωγής ενός προϊόντος. Μια ξαφνική διακοπή της παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε ένα πλήθος μη επιθυμητών συναρμολογημένων συνόλων. Σε αυτήν την περίπτωση, η αποσυναρμολόγηση μπορεί να οδηγήσει σε ανάκτηση πολύτιμων εξαρτημάτων, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε άλλα προϊόντα που παράγονται. Τα υπόλοιπα που περισσεύουν μπορούν να ανακυκλωθούν, να πουληθούν ή να αποθηκευτούν για μελλοντική χρήση.
- Μείωση χρόνου παραγωγής. Κάποια από τα προϊόντα που βρίσκονται στη διαδικασία ανακύκλωσης, μπορεί να περιέχουν σπάνια εξαρτήματα ή σύνολα, που είναι σημαντικά για την παραγωγή άλλων προϊόντων. Η αποσυναρμολόγηση αυτών και η απόσπαση των επιμέρους τμημάτων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του χρόνου δημιουργίας άλλων προϊόντων.
- Διευκολύνει την επισκευή. Αφού είναι δυνατή η πρόσβαση στα επιμέρους τμήματα του προϊόντος διευκολύνεται η επισκευή του και η μετέπειτα επαναχρησιμοποίησή του.

Παρά την αυξημένη επέκταση της αυτόματης τεχνολογίας και της χρήσης των ρομπότ σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, η αποσυναρμολόγηση δεν έχει μέχρι σήμερα αποδεσμευτεί απόλυτα από την χειρωνακτική εργασία.

Μερικοί από τους λόγους που δυσκολεύουν την αποσυναρμολόγηση είναι οι εξής:

- Τεράστια ποικιλία διαφορετικών τύπων προϊόντων και συνδέσμων.
- Σύνδεσμοι που επιλέγονται για απλή συναρμολόγηση και ασφαλείς συνδέσεις. Μη λυόμενα και δύσκολα προσβάσιμα συνδετικά στοιχεία.
- Πολλά διαφορετικά υλικά για οικονομία και βέλτιστη επίδοση. Οδηγεί σε δύσκολο διαχωρισμό, ενώ σε πολλές περιπτώσεις τα επιμέρους υλικά δεν ανακυκλώνονται.
- Μη - συγκεκριμένη και γνωστή η κατάσταση των προϊόντων που οδηγούνται στην αποσυναρμολόγηση.
- Πολύπλοκη δομή κατασκευής των προϊόντων (κατάλληλη για συναρμολόγηση - ακατάλληλη για αποσυναρμολόγηση).
- Έλλειψη κατασκευαστικών στοιχείων για την γεωμετρία των προϊόντων, την κατασκευαστική δομή, αλλά και την κατάστασή τους.
- Αδυναμία πρόβλεψης του χρόνου που θα επιστραφούν τα προϊόντα (αν θα είναι στο τέλος της διάρκειας της ζωής τους ή νωρίτερα).
- Κίνδυνοι και συνέπειες χειρωνακτικής εργασίας.

Οι δυσκολίες αυτές έχουν ως αποτέλεσμα:

- Την μικρή απόδοση και παραγωγικότητα της ανακύκλωσης.
- Το μεγάλο κόστος (δυσανάλογο με τα έσοδα).

Πολλοί μπορεί να θεωρήσουν ότι η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης είναι αντίστροφη συναρμολόγηση, γεγονός που όμως δεν ευσταθεί:

Ενώ οι σχεδιαστές της συναρμολόγησης γνωρίζουν το κάθε εξάρτημα, τον αριθμό τους, την κατάστασή τους, η αποσυναρμολόγηση βρίσκεται προ απροόπτων:

- Σε πολλές περιπτώσεις οι πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στην αποσυναρμολόγηση για την δομή της κατασκευής ενός προϊόντος είναι ελάχιστες.
- Η φθοροποιός χρήση μεταβάλλει τις ιδιότητες των εξαρτημάτων και δυσκολεύει τη διαδικασία. Επίσης, σε πολλά προϊόντα συναντώνται απρόβλεπτες μετατροπές από τους χρήστες. Δεν μπορούν, λοιπόν, να χρησιμοποιηθούν τα ίδια εργαλεία και οι ίδιες μέθοδοι κάθε φορά.
- Η συναρμολόγηση πρέπει να επιτευχθεί μέχρι «την τελευταία βίδα», γεγονός που δεν χρειάζεται πάντα για τους σκοπούς της αποσυναρμολόγησης.
- Οι είσοδοι της συναρμολόγησης είναι πολλές (τα εξαρτήματα) και μία η έξοδος (το προϊόν). Αντίθετα στην αποσυναρμολόγηση, ένα εισάγεται (προϊόν), πολλά εξάγονται (εξαρτήματα). Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι στην πρώτη διαδικασία δεν υπάρχουν απρόβλεπτες αποκλίσεις στις πρώτες ύλες (εξαρτήματα), ενώ στη δεύτερη δεν μπορεί κανείς να ξέρει εκ των προτέρων την εισροή πρώτων υλών (απορριπτόμενων συσκευών).
- Η ποικιλία των προϊόντων στην αποσυναρμολόγηση είναι πολύ μεγαλύτερη, άρα και των συνδετικών στοιχείων. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για πιο εξειδικευμένο εξοπλισμό.
- Όλες οι παραπάνω αβεβαιότητες στην αποσυναρμολόγηση, οδηγούν σε πολύ μεγαλύτερες αποκλίσεις των προτύπων χρόνων από ότι στην συναρμολόγηση. Επίσης, δεν μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν διαγράμματα εργασίας (work plans). Οπότε τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν μεγάλη αβεβαιότητα.

Όμως, αν αναλογισθεί κανείς την αποσυναρμολόγηση στη θεωρητική της διάσταση (με μελλοντικό κατάλληλο σχεδιασμό) προκύπτουν κάποιοι παράγοντες που την καθιστούν ευκολότερη από την συναρμολόγηση όπως:

- Θέσεις και προσανατολισμοί των εξαρτημάτων και των υποσυνόλων είναι γνωστές από την αρχή της διαδικασίας, αφήνοντας περιθώρια για μεγαλύτερο βαθμό εντολών.
- Εξαρτήματα προϊόντων που δεν ενδιαφέρουν ή δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, μπορούν να τραυματιστούν ή ακόμα και να καταστραφούν.
- Χρειάζεται λιγότερη ακρίβεια για τα μέρη που δεν πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθούν.
- Μείωση του κόστους ανακύκλωσης με την επαναχρησιμοποίηση υποσυνόλων. Βέβαια, η αγορά δεν είναι ακόμη ώριμη για ανακτημένα εξαρτήματα, οπότε συνήθως γίνεται μόνο ανάκτηση υλικών.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι τα προβλήματα που συνήθως χρειάζεται να αντιμετωπιστούν κατά τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης είναι ο προσδιορισμός του επιθυμητού επιπέδου αποσυναρμολόγησης, η διαχείριση των ενώσεων και συνδέσεων, η υπάρχουσα φθορά στο προϊόν, ο απαιτούμενος εξοπλισμός, η

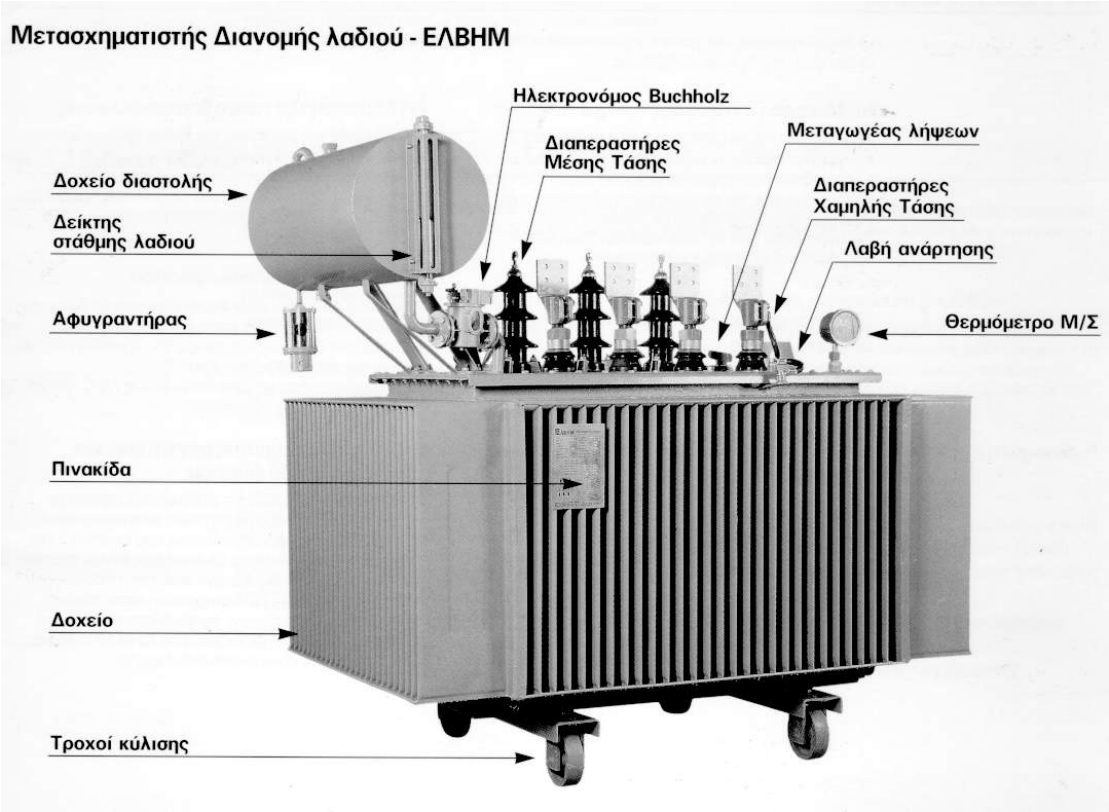
διαχείριση των επικίνδυνων ουσιών που χρειάζεται να απομονωθούν καθώς και η βέλτιστη σειρά απομάκρυνσης των επιμέρους τμημάτων κατά τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ Top - Down Design Analysis – ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

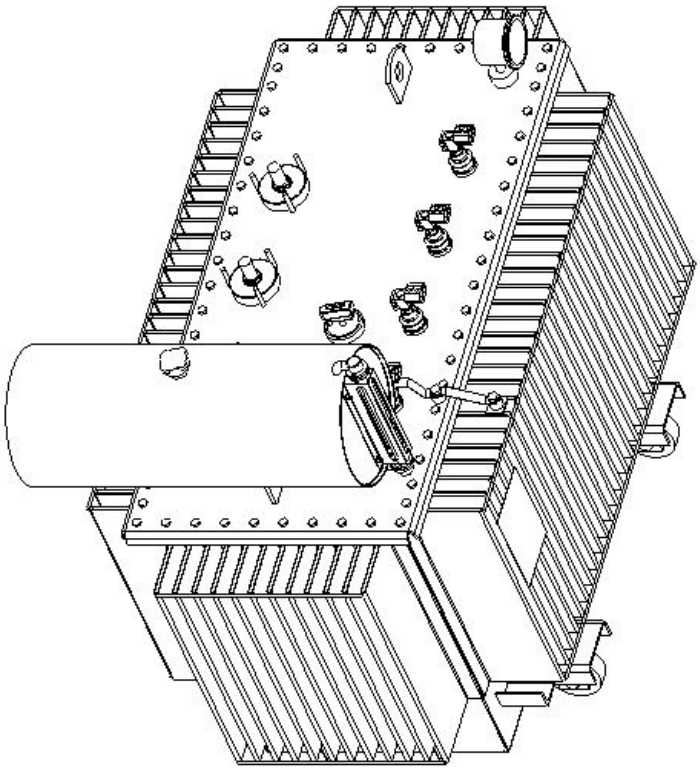
4.1 Περιγραφή του Προϊόντος που Χρησιμοποιήθηκε για την Εφαρμογή της Top-Down Analysis και για την Αποσυναρμολόγηση

Το προϊόν που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία για την εφαρμογή της top-down analysis είναι ένας τριφασικός μετασχηματιστής (Μ/Σ) της εταιρείας Schneider Electric (πρώην ΕΛΒΗΜ) ο οποίος και εξετάστηκε αρχικά όσον αφορά την αποσυναρμολόγησή του και στη συνέχεια διατυπώθηκαν προτάσεις για τη βελτίωση της συμπεριφοράς του με βάση τις μεθόδους αναμόρφωσης του σχεδίου ενός προϊόντος που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Στην Εικόνα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο συγκεκριμένος μετασχηματιστής στην πραγματική τελική μορφή του ενώ στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η απεικόνιση της ίδιας εικόνας μέσα από Η/Υ με τη χρήση του λογισμικού Pro/ENGINEER [2].



Εικόνα 4.1: Τριφασικός μετασχηματιστής και βασικά εξωτερικά εξαρτήματά του [2]



Εικόνα 4.2 Σχεδίαση τριφασικού μετασχηματιστή και των βασικών εξωτερικών εξαρτημάτων του με τη χρήση του Pro/Engineer [2]

4.1.1 Λειτουργία και Τύποι Μετασχηματιστών

Μετασχηματιστής είναι μια διάταξη του μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια από ένα επίπεδο τάσης σε ένα άλλο με τη δράση ενός μαγνητικού πεδίου. Ο μετασχηματιστής παίζει έναν πολύ σπουδαίο ρόλο στη σύγχρονη ζωή, αφού η παρουσία του κάνει δυνατή και οικονομικά συμφέρουσα τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, όταν στο πρωτεύον τύλιγμα (τύλιγμα εισόδου) του μετασχηματιστή εφαρμόζεται κάποια τάση, παράγεται μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πυρήνα του, ενώ η μεταβολή του παραπάνω πεδίου προκαλεί την ανάπτυξη τάσης στα άκρα του δευτερεύοντος τυλίγματος (τύλιγμα εξόδου). Επειδή η διαπερατότητα του πυρήνα ενός μετασχηματιστή είναι πολύ μεγάλη, η μαγνητεγερτική δύναμη που απαιτείται για την ανάπτυξη της απαραίτητης ροής στο εσωτερικό του είναι πολύ μικρή. Έτσι, η μαγνητεγερτική δύναμη του πρωτεύοντος είναι σχεδόν ίση και αντίθετη με τη μαγνητεγερτική δύναμη του δευτερεύοντος. Από το γεγονός αυτό προσδιορίζεται ο λόγος των ρευμάτων ενός μετασχηματιστή [4].

Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για μια διάταξη με την οποία είναι δυνατό να μεταβληθεί η τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος, χωρίς αισθητή ελάττωση της ισχύος του. Στην πράξη οι Μ/Σ παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό απόδοσης (>90%), που σε ορισμένες περιπτώσεις Μ/Σ μεγάλης ισχύος μπορεί να φτάσει και το 99%.

Σχεδόν όλα τα συστήματα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ισχύος στη σημερινή εποχή είναι τριφασικά συστήματα εναλλασσόμενης τάσης. Τριφασικοί λέγονται οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούν τρία εναλλασσόμενα ρεύματα με την ίδια μέγιστη ένταση, συχνότητα, μέγιστη τάση και διαφορά φάσης 120° ανά δύο. Οι τριφασικοί μετασχηματιστές κατασκευάζονται με δύο βασικούς τρόπους. Στον πρώτο από αυτούς, τρεις απλοί μονοφασικοί μετασχηματιστές συνδέονται μεταξύ τους σε μια τριφασική συστοιχία (bank). Στη δεύτερη μέθοδο κατασκευής τριφασικών μετασχηματιστών τρία διπλά τυλίγματα τοποθετούνται γύρω από έναν κοινό πυρήνα. Η δεύτερη τεχνική χρησιμοποιείται πιο πολύ στις μέρες μας επειδή παρουσιάζει μικρότερο βάρος και όγκο, είναι πιο φθηνή και λειτουργεί με κάπως μεγαλύτερη απόδοση. Ο παλαιότερος τρόπος κατασκευής παρουσίαζε το πλεονέκτημα εύκολης επισκευής για τον καθένα από τους ξεχωριστούς μετασχηματιστές μια και η απομάκρυνσή του από τη συστοιχία ήταν μια πολύ απλή διαδικασία. Όμως τα πλεονεκτήματα του μετασχηματιστή που διαθέτει έναν μόνο πυρήνα είναι περισσότερο σημαντικά.

Οι Μ/Σ ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με:

- τη χρήση
- τη ψύξη
- το μονωτικό μέσο
- την κατασκευή του πυρήνα

Ανάλογα με τη χρήση, υπάρχουν οι ακόλουθες κατηγορίες μετασχηματιστών:

- Μετασχηματιστές διανομής: Χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής για να μεταφέρουν ενέργεια από το δίκτυο μέσης τάσης στο δίκτυο χαμηλής τάσης των καταναλωτών. Η ισχύς τους είναι συνήθως από 50 kVA έως 1600 kVA.
- Μετασχηματιστές ισχύος: Χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής για την ανύψωση της τάσης και στους υποσταθμούς μεταφοράς, είτε για την ανύψωση ή για τον υποβιβασμό της τάσης μέχρι τη μέση τάση. Η ισχύς τους είναι συνήθως από 2 MVA και πάνω.
- Αυτομετασχηματιστές
- Μετασχηματιστές για τροφοδότηση διατάξεων με μετατροπείς
- Μετασχηματιστές δοκιμών
- Ειδικοί μετασχηματιστές ισχύος
- Μετασχηματιστές μετρήσεων
- Μετασχηματιστές τηλεπικοινωνιών

Η κωδικοποίηση της ψύξης των Μ/Σ γίνεται με χρήση 4 γραμμάτων: τα δύο πρώτα αφορούν στον τρόπο κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου εσωτερικά (σε επαφή με τα τυλίγματα) του Μ/Σ και τα δύο τελευταία στον τρόπο κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου εξωτερικά του Μ/Σ. Στους Μ/Σ ισχύος χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση διάφορες τεχνικές ψύξης με βεβιασμένη κυκλοφορία του λαδιού μέσω αντλιών, είτε βεβιασμένη κυκλοφορία του αέρα μέσω ανεμιστήρων, είτε και τα δύο. Έτσι με βάση την ψύξη οι κατηγορίες των μετασχηματιστών που υπάρχουν είναι οι εξής:

- ONAF: Φυσική κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα.
- OFAN: Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, φυσική κυκλοφορία αέρα.
- OFAF: Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα.
- OFWF: Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία νερού.

Για Μ/Σ μικρής ισχύος (μέχρι 25 kVA), η εξωτερική επιφάνεια του ενεργού τους μέρους, η οποία έρχεται σε επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος, είναι αρκετή για την εξασφάλιση ικανοποιητικής ψύξης.

Ανάλογα με το μονωτικό μέσο, οι Μ/Σ διακρίνονται σε:

- Μετασχηματιστές με ορυκτό λάδι: Το μονωτικό μέσο είναι προϊόν κλασματικής απόσταξης πετρελαίου, ναφθενικής ή παραφινικής ή ενδιάμεσης βάσης.
- Μετασχηματιστές με συνθετικό λάδι: Το μονωτικό μέσο είναι συνθετικό (σιλικονούχο) λάδι.
- Μετασχηματιστές ξηρού τύπου: Η ψύξη γίνεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα και τα τυλίγματα είναι μονωμένα με υλικά που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν, σε κανονικές συνθήκες, σε θερμοκρασίες είτε έως 180°C (κλάση H), ή έως 155°C (κλάση F).
- Μετασχηματιστές ρητίνης: Είναι τύπος ξηρού Μ/Σ, όπου τα τυλίγματα είναι μονωμένα συνήθως με υλικά κλάσης F και χυτευμένα σε εποξική ρητίνη.

Όσον αφορά την κατασκευή του μαγνητικού κυκλώματος των τριφασικών Μ/Σ αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Μετασχηματιστής με τρία πόδια (κάθετα σκέλη): Η μαγνητική ροή ενός σκέλους πρέπει να κλείσει μέσω των δύο άλλων και διαρρέει και τα τυλίγματα των άλλων φάσεων, δηλαδή ο Μ/Σ δεν έχει ελεύθερη επιστροφή της ροής.
- Μετασχηματιστής με πέντε πόδια (κάθετα σκέλη): Υπάρχει ελεύθερη επιστροφή της ροής από τα εξωτερικά ζυγώματα.

Επίσης υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνολογίες για τη σώρευση των φύλλων του μαγνητικού υλικού του πυρήνα που είναι οι εξής:

- Στοιβαχτός πυρήνας: Τα στρώματα των ελασμάτων τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο και τα κάθετα και οριζόντια στρώματα επικαλύπτονται μεταξύ τους.
- Τυλιχτός πυρήνας: Τα ελάσματα είναι τυλιχτά σε μορφή πυρήνα από κομμένα φύλλα.

Τέλος, υπάρχουν δύο διαφορετικές κατηγορίες Μ/Σ με βάση το υλικό κατασκευής του πυρήνα που είναι:

- Ελάσματα από πυριτιούχο χάλυβα.
- Ελάσματα από άμορφο σίδηρο.

4.1.2 Κατασκευαστικά Στοιχεία των Μετασχηματιστών

Πυρήνες: Οι πυρήνες των Μ/Σ που κατασκευάζονται από τη Schneider Electric είναι τεχνολογίας τυλιχτού πυρήνα και κατασκευάζονται από μαγνητική λαμαρίνα χαμηλών απωλειών.

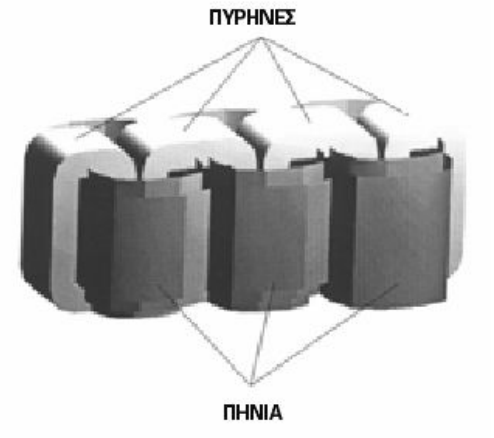
Η διαδικασία παραγωγής τυλιχτών πυρήνων έχει ως εξής: αρχικά κόβεται η πρώτη ύλη μαγνητικής λαμαρίνας σε λωρίδες τυποποιημένου πλάτους. Ακολουθεί η κοπή σε προκαθορισμένα μήκη και η περιέλιξη σε στρογγυλό τύμπανο, οπότε προκύπτει ο στρογγυλός πυρήνας. Στη συνέχεια ο στρογγυλός πυρήνας διαμορφώνεται σε ειδική πρέσα και λαμβάνει τη μορφή πυρήνα ορθογωνικής διατομής. Έπειτα ο τυλιχτός πυρήνας ανοπτύεται, προκειμένου να ανακτηθούν πλήρως οι ηλεκτρικές και φυσικές ιδιότητες του μαγνητικού υλικού. Οι ιδιότητες των τυλιχτών πυρήνων ελέγχονται στο 100% της παραγωγής από το τμήμα ποιοτικού ελέγχου του εργοστασίου.

Πηνία: Τα πηνία είναι ορθογωνικής διατομής. Στο πηνίο χαμηλής τάσης χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο φύλλο χαλκού ή αγωγός ορθογωνικής διατομής. Στο πηνίο μέσης τάσης χρησιμοποιείται σύρμα χαλκού ή αγωγός ορθογωνικής διατομής. Ο συνδυασμός αυτός, μαζί με το μονωτικό υλικό μεταξύ των στρώσεων, στο οποίο υπάρχουν ρόμβοι εποξικής κόλλας, δίνουν μεγάλη αντοχή στην καταπόνηση βραχυκυκλώματος.

Σημαντικά στοιχεία στην παραγωγική διαδικασία είναι:

- Η ξήρανση των πηνίων σε φούρνο θερμοκρασίας 100°C, που έχει επίσης σαν αποτέλεσμα τον πολυμερισμό της εποξικής κόλλας, δίνοντας έτσι ένα συμπαγές σύνολο.
- Ο ποιοτικός έλεγχος του 100% των παραγόμενων πηνίων.

Στην Εικόνα 4.3 που ακολουθεί απεικονίζεται το συναρμολογημένο ενεργό μέρος (πυρήνες και πηνία) ενός τριφασικού Μ/Σ διανομής, τύπου τυλιχτού πυρήνα.



Εικόνα 4.3 [2]

Μεταλλικά Μέρη: Για την κατασκευή των μεταλλικών μερών των Μ/Σ της Schneider Electric χρησιμοποιείται ο ακόλουθος βασικός μηχανολογικός εξοπλισμός:

- Μηχανές CNC και συμβατικές για την κοπή, διάτρηση και διαμόρφωση χαλυβδοελασμάτων.
- Ηλεκτροσυγκολλητικές μηχανές τύπου MIG-MAG, TIG και ηλεκτροδίου για τη συγκόλληση των διαμορφωμένων χαλυβδοελασμάτων.
- Μποζονομηχανές για τη συγκόλληση μποζονιών στο κάλυμμα με στόχο τη σωστή συγκράτηση των μονωτήρων μέσης τάσης.
- Μηχανήματα για την κατασκευή και συγκόλληση πτυχωτών πανελών και δοχείων. Ο χειρισμός των μηχανημάτων αυτών γίνεται από πιστοποιημένους τεχνίτες και ηλεκτροσυγκολλητές.
- Τμήμα ελέγχου στεγανότητας δοχείων Μ/Σ.
- Σύγχρονο βαφείο, όπου γίνεται η βαφή των μεταλλικών μερών. Η διαδικασία βαφής περιλαμβάνει αμμοβολή, απολίπανση, φωσφάτωση Fe και βαφή σε στρώσεις (δύο στρώσεις αστάρια και δύο στρώσεις χρώμα) συνολικού πάχους 160μm. Η βαφή αυτή προσδίδει πολύ καλή αντοχή στη διάρκεια του χρόνου.

Συναρμολόγηση: Για τη συναρμολόγηση των Μ/Σ στην Schneider Electric χρησιμοποιείται ο παρακάτω βασικός εξοπλισμός:

- Ένας γερανός 35 τόνων και δύο γερανοί 5 τόνων.
- Ένας θάλαμος, στον οποίο γίνεται η ξήρανση των ενεργών μερών προκειμένου να αφαιρεθεί η υγρασία που απορρόφησαν τα μονωτικά του Μ/Σ κατά τη διαδικασία παραγωγής.
- Δύο θάλαμοι κενού, στους οποίους γίνεται η πλήρωση των Μ/Σ με λάδι.
- Μηχανήματα επεξεργασίας μονωτικού λαδιού, προκειμένου το λάδι να αποκτήσει τις απαραίτητες ιδιότητες (μονωτική αντοχή, ιξώδες, θερμική αγωγιμότητα), σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Ψυκτικό Μέσο: Ως ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται λάδι που ακολουθεί τις προδιαγραφές IEC 296. Η αρχική πλήρωση γίνεται σε υψηλό κενό, ώστε να εξασφαλιστεί η διείσδυση του λαδιού παντού και να εξαλειφθεί οποιαδήποτε παρουσία υγρασίας ή φυσαλίδας αέρα που θα μπορούσε να προκαλέσει διηλεκτρική αστοχία του πηνίου.

Μεταγενέστερες συμπληρώσεις επιτρέπονται χωρίς κενό με την προϋπόθεση ότι η στάθμη του λαδιού δεν έχει αποκαλύψει το ενεργό μέρος, και ότι το λάδι έχει υποστεί τη διαδικασία αφύγρανσής του.

4.1.3 Βασικά Εξαρτήματα Μετασχηματιστή

Τα βασικά εξαρτήματα ενός Μ/Σ είναι:

- Δοχείο Μ/Σ: Αποτελείται από τον πυθμένα, τη στεφάνη και τα πλευρικά τοιχώματα. Τα πλευρικά τοιχώματα κατασκευάζονται από πτυχωτά ελάσματα με στόχο την αύξηση της επιφάνειας ψύξης. Το δοχείο των μετασχηματιστών κλειστού τύπου (χωρίς δοχείο διαστολής) γεμίζει με λάδι και σφραγίζεται ερμητικά. Τα ελαστικά τοιχώματα του δοχείου δεν επιτρέπουν να δημιουργηθεί μεγάλη αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό του, η οποία προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας του λαδιού κατά τη λειτουργία του Μ/Σ. Στο δοχείο τοποθετούνται δύο αφαλοί γείωσης. Στο πυθμένα του δοχείου είναι συγκολλημένο το σύστημα κύλισης με τροχούς ή βάση έδρασης.
- Βαλβίδα εκκένωσης και δειγματοληψίας λαδιού: Στο κάτω μέρος ενός πλευρικού τοιχώματος του δοχείου του Μ/Σ τοποθετείται η βαλβίδα εξαγωγής λαδιού, η οποία επιτρέπει τη δειγματοληψία για τον έλεγχο της διηλεκτρικής αντοχής του λαδιού.
- Τροχοί κύλισης: Οι Μ/Σ μέχρι 160 kVA κατασκευάζονται συνήθως για τοποθέτηση σε έναν ή δύο στύλους και δεν έχουν τροχούς. Οι Μ/Σ πάνω από 160 kVA εφοδιάζονται με τροχούς κύλισης, των οποίων η κατεύθυνση μπορεί να μεταβάλλεται κατά 90°.
- Σύνδεσμος Γείωσης Ουδέτερου: Ο σύνδεσμος αυτός εξασφαλίζει τη γείωση του ουδέτερου κόμβου του τριφασικού τυλίγματος με το δοχείο του Μ/Σ.
- Αφαλός γείωσης δοχείου: Στο δοχείο του Μ/Σ και συγκεκριμένα κοντά στον πυθμένα, τοποθετούνται δυο αφαλοί γείωσης αντιδιαμετρικά μεταξύ τους, έτσι ώστε να παρέχεται η δυνατότητα γείωσης του δοχείου.
- Ακροδέκτες υψηλής και χαμηλής τάσης: Αποτελούν τα σημεία που συνδέουν το Μ/Σ με την τάση που τροφοδοτεί το πρωτεύον και το φορτίο που θα τροφοδοτηθεί από το δευτερεύον.
- Μεταγωγέας λήψεων: Η εφαρμοζόμενη μέση τάση στο πρωτεύον του Μ/Σ δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από τη θέση του Μ/Σ στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Γι αυτό χρησιμοποιείται ο μεταγωγέας λήψεων, έτσι ώστε με δεδομένη την εφαρμοζόμενη τάση στο πρωτεύον του Μ/Σ, να διατηρείται όσο το δυνατόν σταθερή η τάση στο δευτερεύον.
- Θερμόμετρο μετασχηματιστή: Το θερμικό στοιχείο του θερμομέτρου είναι τοποθετημένο στο πιο ψηλό στρώμα του λαδιού, έτσι ώστε να μετράει τη μέγιστη θερμοκρασία του λαδιού. Αποτελεί μέσο προστασίας του Μ/Σ για παρατεταμένη συνεχή υπερφόρτιση. Οι ηλεκτρικές επαφές του θερμομέτρου ρυθμίζονται στις επιθυμητές θερμοκρασίες και συνδέονται στο κύκλωμα προστασίας για συναγερμό (alarm) και διακοπή (trip) του κυκλώματος, όταν γίνει υπέρβαση των αντίστοιχων ορίων των θερμοκρασιών αυτών.
- Κάλυμμα Μ/Σ: Στο κάλυμμα τοποθετούνται οι ακροδέκτες υψηλής και χαμηλής τάσης, η θήκη θερμομέτρου, το θερμόμετρο, και ο αφαλός γείωσης.

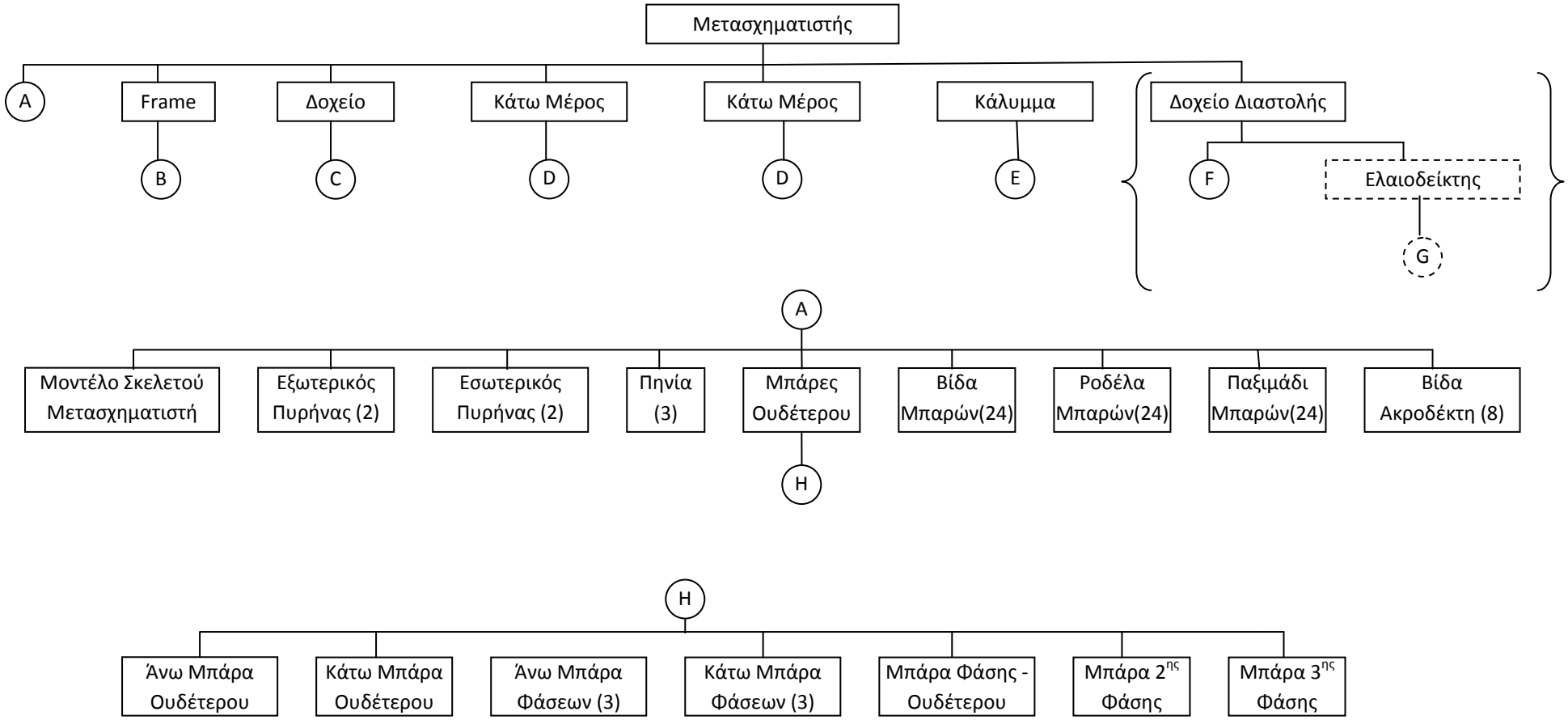
Πάνω στο κάλυμμα υπάρχουν δύο λαβές ανάρτησης που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση και μεταφορά του Μ/Σ.

- Αφυγραντήρας: Τοποθετείται πάνω στο δοχείο διαστολής. Μέσα από τον αφυγραντήρα περνά ο αέρας προς και από το δοχείο διαστολής του Μ/Σ λόγω της συστολής και διαστολής του όγκου του λαδιού. Περιέχει κρυστάλλους SiO_2, οι οποίοι απορροφούν την υγρασία του αέρα.
- Ηλεκτρονόμος Buchholz: Χρησιμοποιείται σε ελαιόψυκτους Μ/Σ για ανίχνευση των σφαλμάτων που οδηγούν σε ανάπτυξη αερίων ή σε έντονη ροή του λαδιού. Ο ηλεκτρονόμος Buchholz τοποθετείται στο σωλήνα μεταξύ του δοχείου Μ/Σ και του δοχείου διαστολής. Περιέχει 2 διακόπτες άνωσης (πλωτήρες) και ένα διακόπτη που εργάζεται με μια πλάκα, κάθετη στη ροή του λαδιού. Αν σχηματιστούν φυσαλίδες (σαν αποτέλεσμα εσωτερικής βλάβης) ή υπάρχει έλλειψη λαδιού, μετακινείται προς τα κάτω ο άνω πλωτήρας και ενεργοποιείται η επαφή συναγερμού (alarm). Αν τα αέρια που εκλύονται είναι αρκετά ή η έλλειψη λαδιού είναι μεγάλη μετακινείται προς τα κάτω και ο κάτω πλωτήρας και ενεργοποιείται η επαφή διακοπής (trip). Διακοπή γίνεται και εάν δημιουργηθεί έντονη ροή λαδιού μετά από βραχυκύκλωμα ή μεγάλη εσωτερική βλάβη, οπότε πιέζεται η πλάκα και κλείνει ο διακόπτης. Ο ηλεκτρονόμος Buchholz προστατεύει σε σφάλματα μόνωσης, βραχυκυκλώματα και σε διαρροή λαδιού.
- Δοχείο διαστολής: Κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας λαδιού του Μ/Σ και άρα του όγκου του λαδιού, το δοχείο διαστολής δέχεται αυτή την αυξομείωση του όγκου του λαδιού. Η ποσότητα του λαδιού που περιέχει το δοχείο διαστολής μετριέται από τον δείκτη στάθμης λαδιού, ο οποίος είναι ανθεκτικός σε υψηλή θερμοκρασία και έχει δύο ενδεικτικά σημεία: το πρώτο δείχνει τη στάθμη στους -20°C και το δεύτερο στους +20°C. Οι Μ/Σ με δοχείο διαστολής συνήθως διαθέτουν αφυγραντήρα και ηλεκτρονόμο Buchholz.
- Πώμα πλήρωσης: Όλοι οι Μ/Σ είναι εφοδιασμένοι με το κατάλληλο (σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN) πώμα πλήρωσης, από το οποίο γίνεται η συμπλήρωσή τους με μονωτικό λάδι.
- Δείκτης στάθμης λαδιού: Στους Μ/Σ με δοχείο διαστολής τοποθετείται σε αυτό ένας δείκτης στάθμης λαδιού (ελαιοδείκτης) σωληνωτού τύπου (γυάλινος διαφανής σωλήνας), ή μαγνητικού τύπου. Στους Μ/Σ κλειστού τύπου (χωρίς δοχείο διαστολής), ο ελαιοδείκτης είναι τοποθετημένος στο πλευρικό τοίχωμα ή στο κάλυμμα του Μ/Σ.
- Πινακίδα Μ/Σ: Στην πινακίδα του Μ/Σ αναγράφονται όλα τα στοιχεία που ορίζουν οι διεθνείς προδιαγραφές, όπως: τύπος, ισχύς (σε kVA), φάσεις, συχνότητα, τάση βραχυκύκλωσης, ολικό βάρος, θέσεις μεταγωγέα λήψεων, κ.λπ.

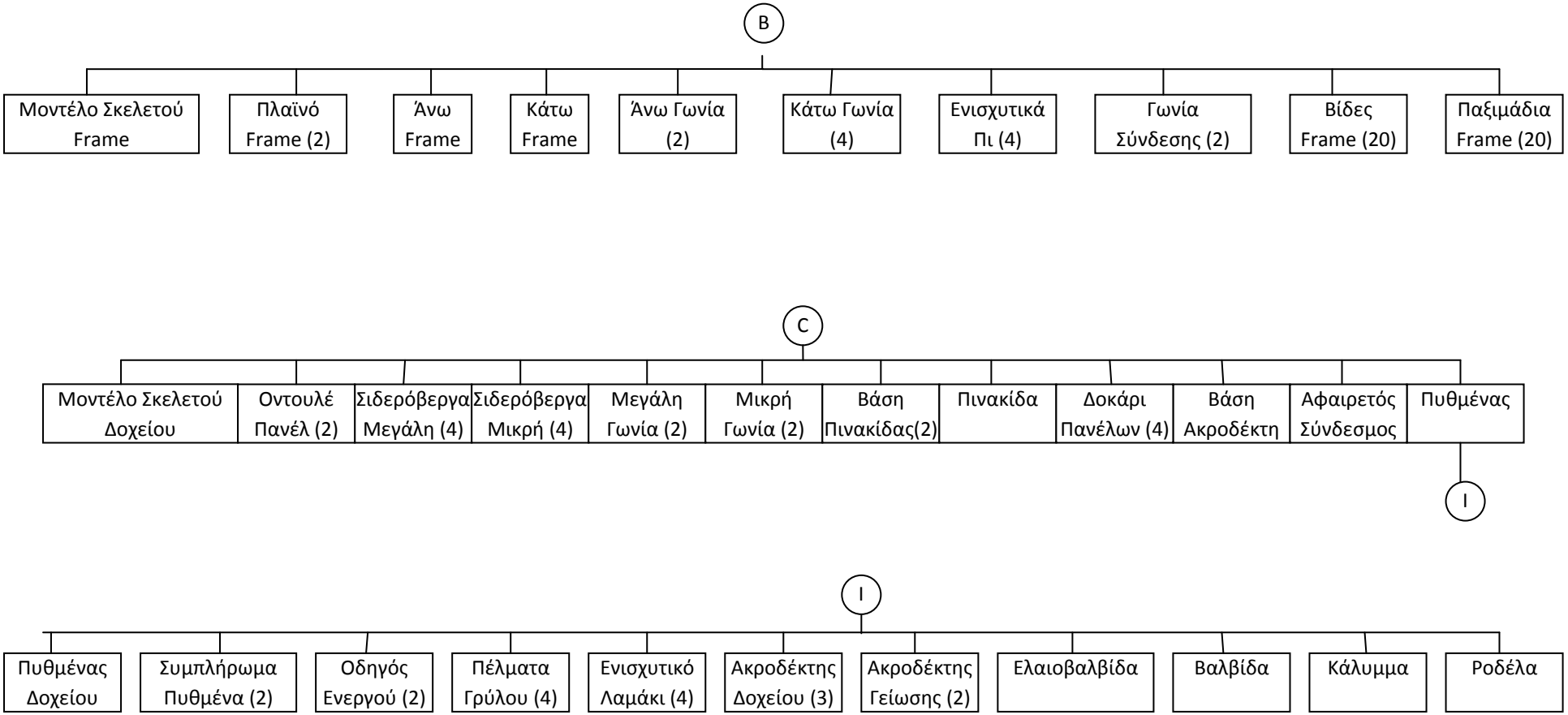
4.2 Εφαρμογή της Top – Down Analysis και της Αποσυναρμολόγησης σε Τμήμα του Υπό Μελέτη Μετασχηματιστή

Βάσει των όσων αναφέρθηκαν στις δύο προηγούμενες ενότητες, στην Εικόνα 4.4 που ακολουθεί παρουσιάζεται το συνολικό δένδρο της τελικής συναρμολόγησης του μετασχηματιστή που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία.

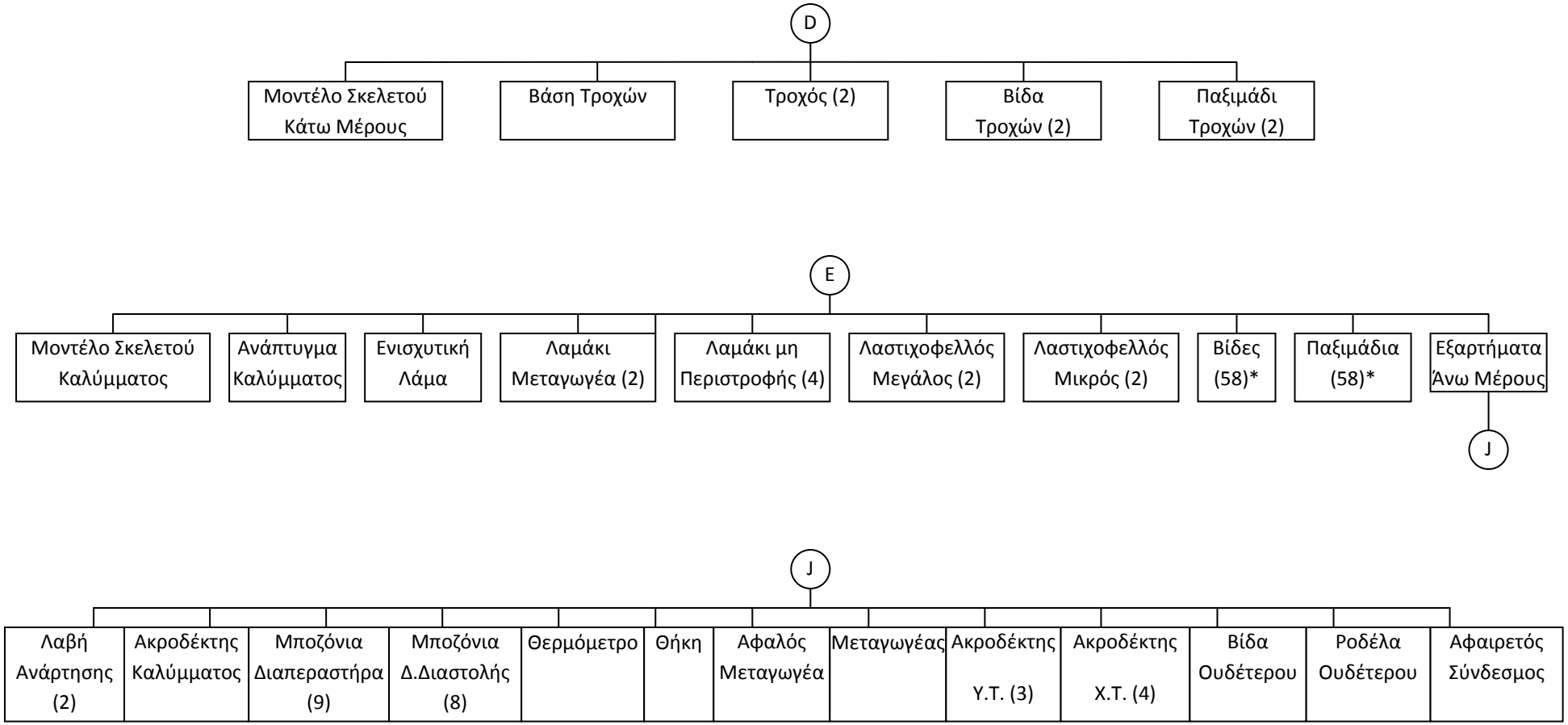
Ως στοιχεία του κατώτατου επιπέδου του δένδρου θεωρούνται τα στερεά εξαρτήματα, ελάσματα ή μοντέλα σκελετού, ενώ εντός παρενθέσεως σημειώνεται το πλήθος των στοιχείων αυτών (όταν είναι μεγαλύτερο του 1). Ο αστερίσκος στο πλήθος δίνει μια τυπική τιμή, καθώς η πραγματική τιμή μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις διαστάσεις του Μ/Σ. Οι διακεκομμένες γραμμές στα κουτιά και τους κύκλους υποδηλώνουν ότι τα συστατικά τους δεν εμφανίζονται σε όλες τις δυνατές περιπτώσεις της μοντελοποίησης.



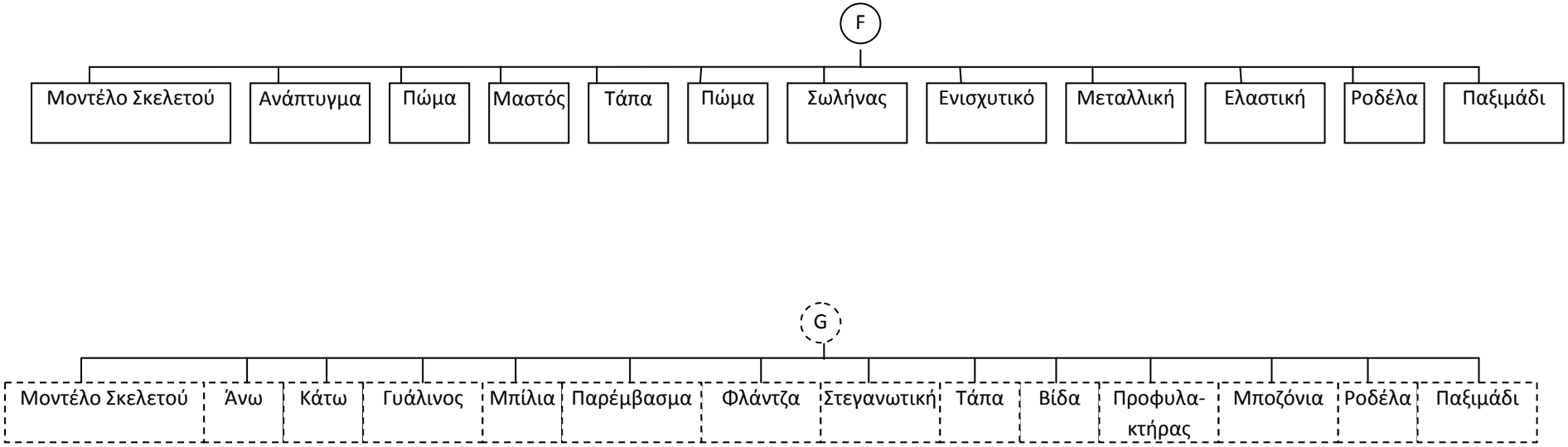
Εικόνα 4.4 (Μέρος 1 από 4) [2]



Εικόνα 4.4 (Μέρος 2 από 4) [2]



Εικόνα 4.4 (Μέρος 3 από 4) [2]

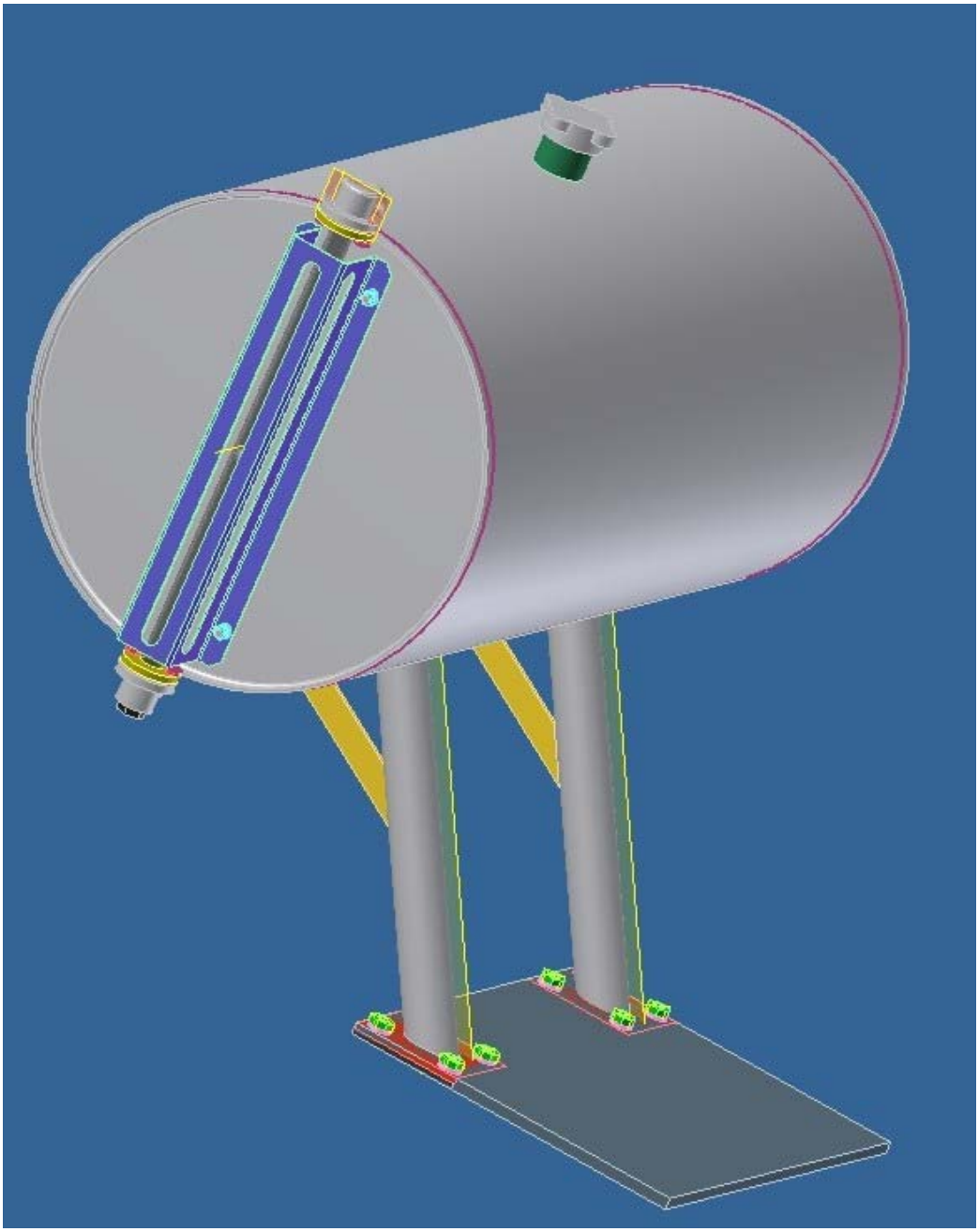


Εικόνα 4.4 (Μέρος 4 από 4) [2]

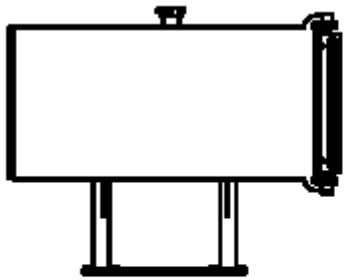
Στο παραπάνω αναλυτικό διάγραμμα επιλέχθηκε να γίνουν τα σχέδια αποσυναρμολόγησης για το κομμάτι που αφορά στο πρώτο μέρος από την Εικόνα 4.4 (που βρίσκεται μέσα στα άγκριστρα) και συγκεκριμένα το δοχείο και τον ελαιοδείκτη και τη συνέχειά τους που βρίσκεται στο μέρος 4 από την Εικόνα 4.4 (το οποίο επίσης βρίσκεται μέσα σε άγκιστρα). Το συγκεκριμένο κομμάτι επιλέχθηκε επειδή μπορεί κάποιος να το δει και ξεχωριστά από τον υπόλοιπο μετασχηματιστή ενώ δεν μελετήθηκε η διαδικασία αποσυναρμολόγησης ολόκληρου του μετασχηματιστή γιατί στόχος ήταν να μελετηθεί η εφαρμογή των top – down analysis καθώς και της αποσυναρμολόγησης ως εργαλεία που συμβάλουν στην καλύτερη διαχείριση ενός προϊόντος που έχει αποσυρθεί από την αγορά ως μεθοδολογίες και όχι να δούμε τη συνολική πορεία αποσυναρμολόγησης ενός μετασχηματιστή.
Με τις δυο αγκύλες παρουσιάζονται τα μέρη του μετασχηματιστή που μας απασχόλησαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Παρακάτω δίνονται τα μηχανολογικά τους σχέδια καθώς και η τρισδιάστατη απεικόνιση τους.

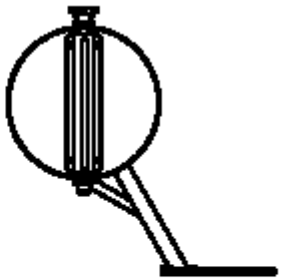
4.3 Μηχανολογικά Σχέδια

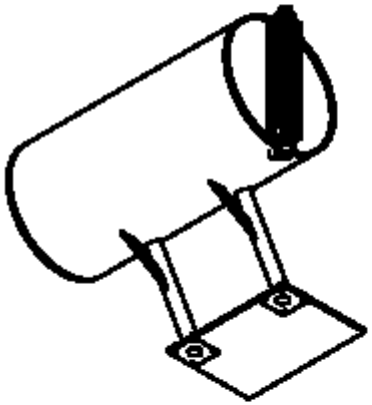
Γενικό Σχήμα

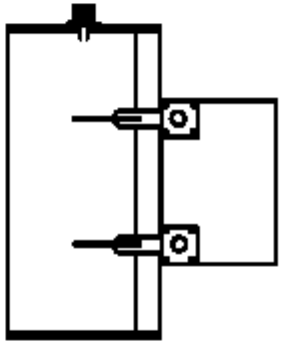


Εικόνα 4.5





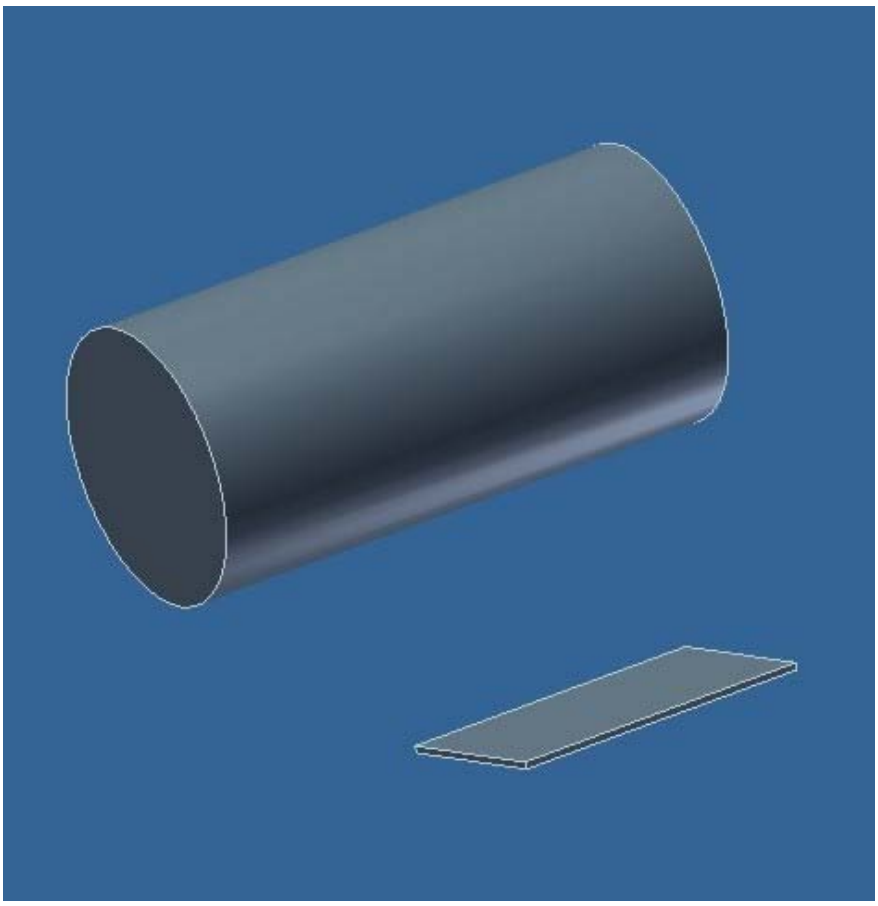




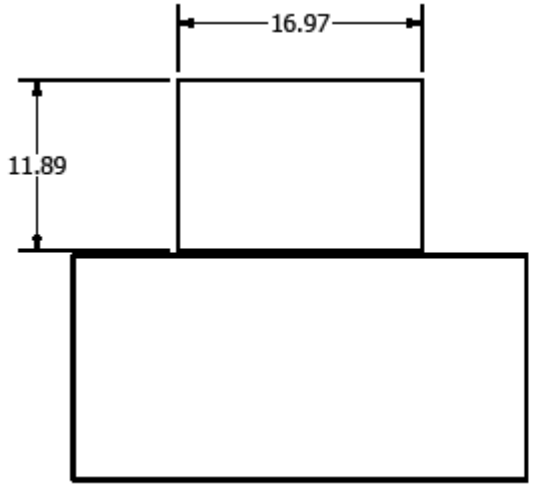
DRAWN Δ. ΓΙΑΝΝΙΚΗ	23/2/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO Assembly2ddiastolis	REV
		SCALE			SHEET 1 OF 1

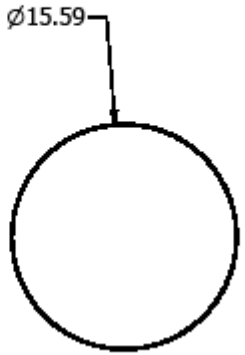
4.3.1 Δοχείο διαστολής

Μοντέλο σκελετού



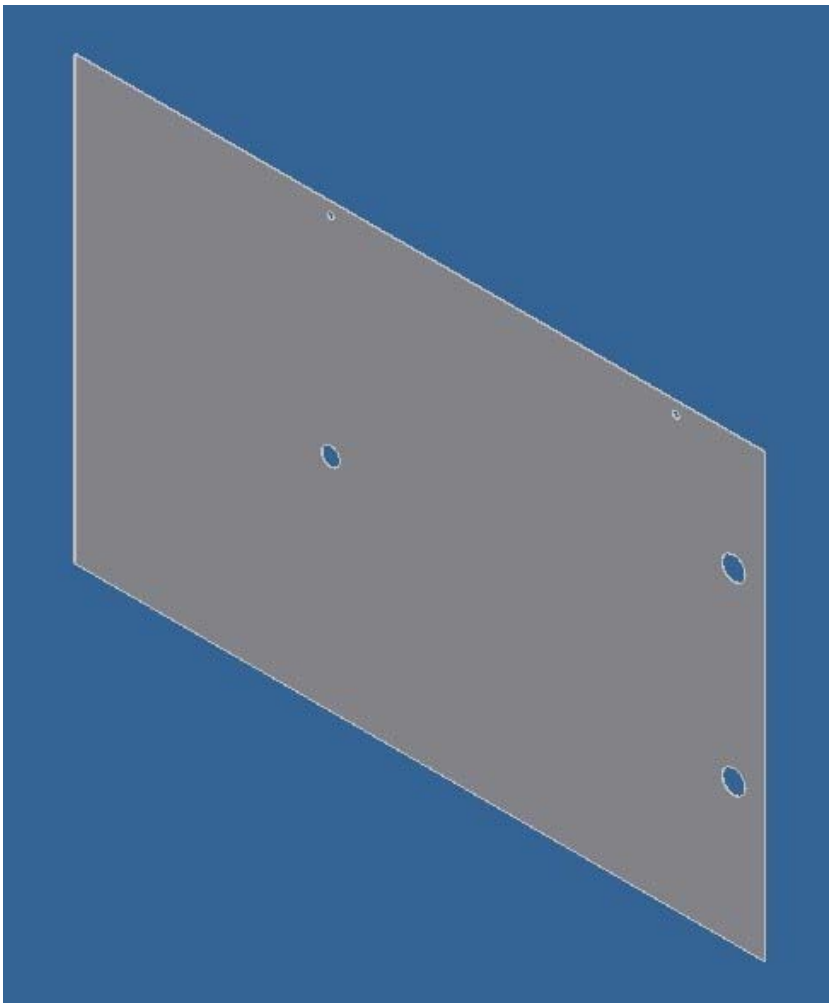
Εικόνα 4.6



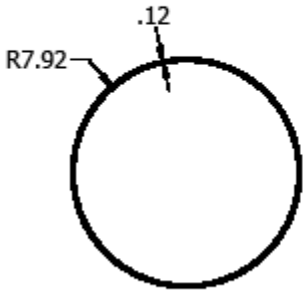


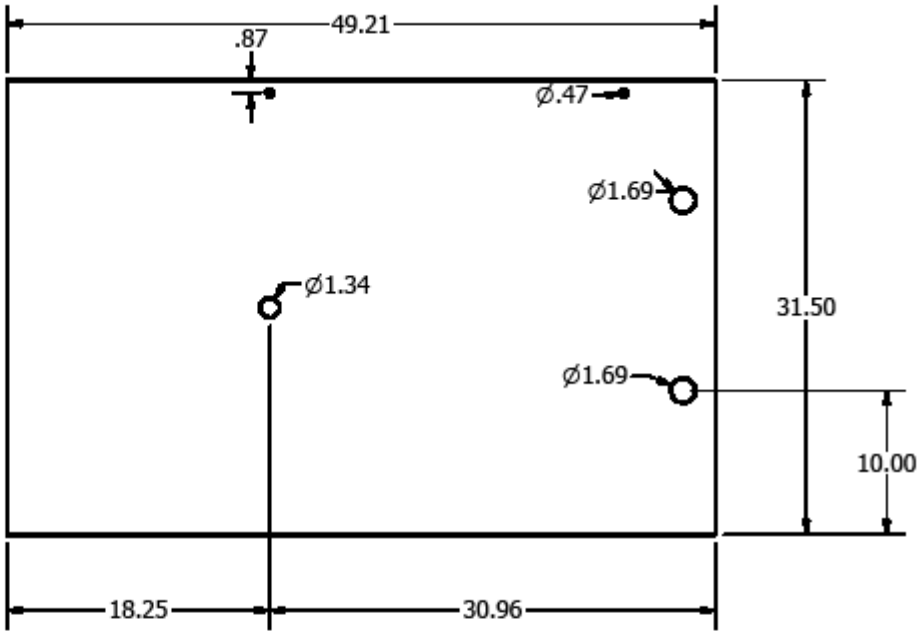
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO SKELETON_DDIASTOLIS_D	REV 400
		SCALE		SHEET 1 OF 1	

Ανάπτυγμα



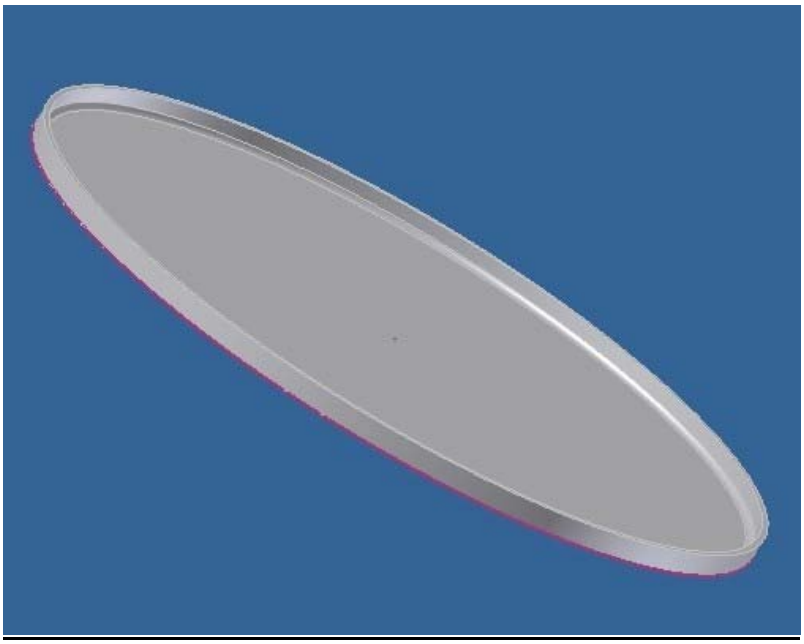
Εικόνα 4.7





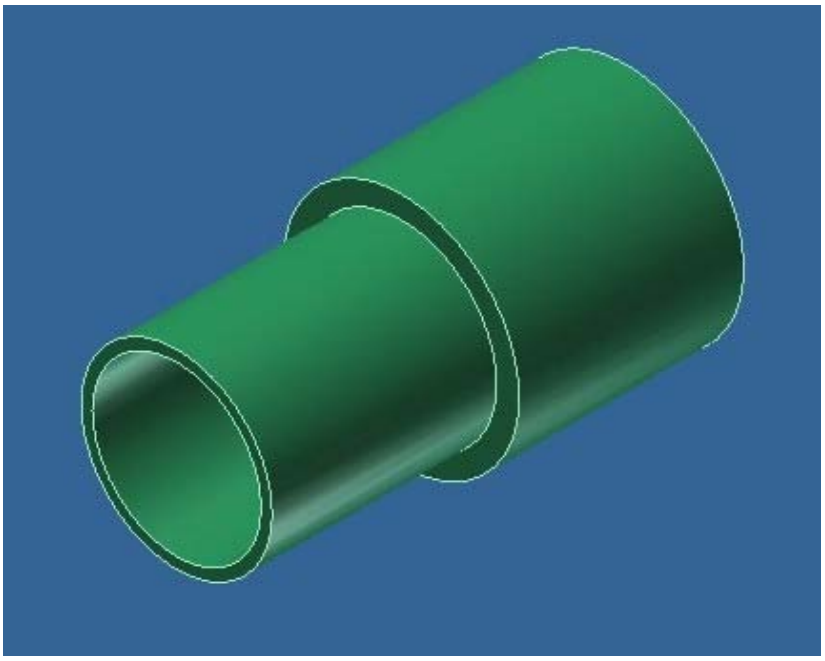
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO ANAPTYGMA_DIAM_400 / REV SHEET
		SCALE / SHEET 1 OF 1

Πώμα

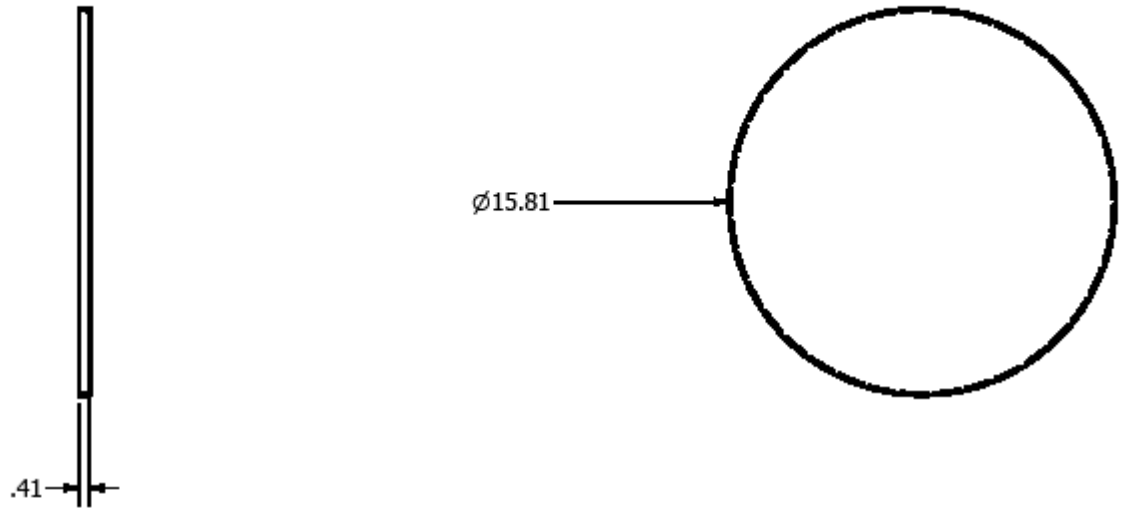


Εικόνα 4.8

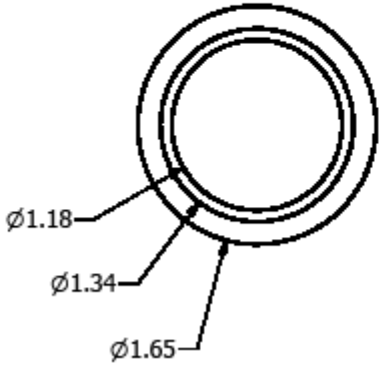
Μαστός

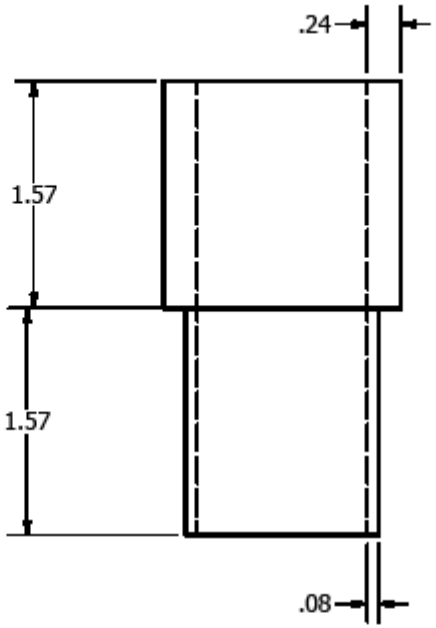


Εικόνα 4.9



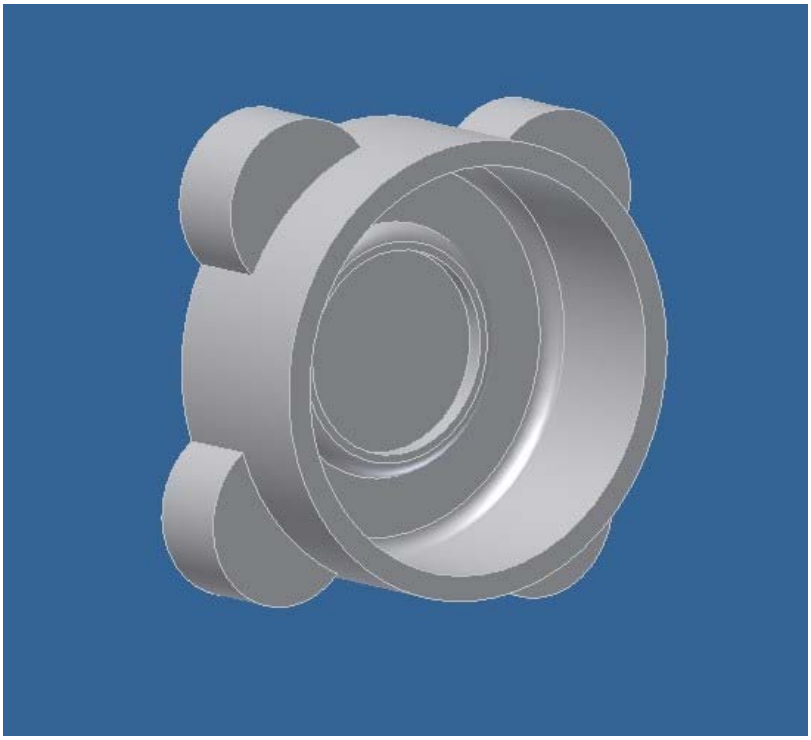
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO PWMA_DIAM_400	REV
		SCALE		SHEET 1 OF 1	





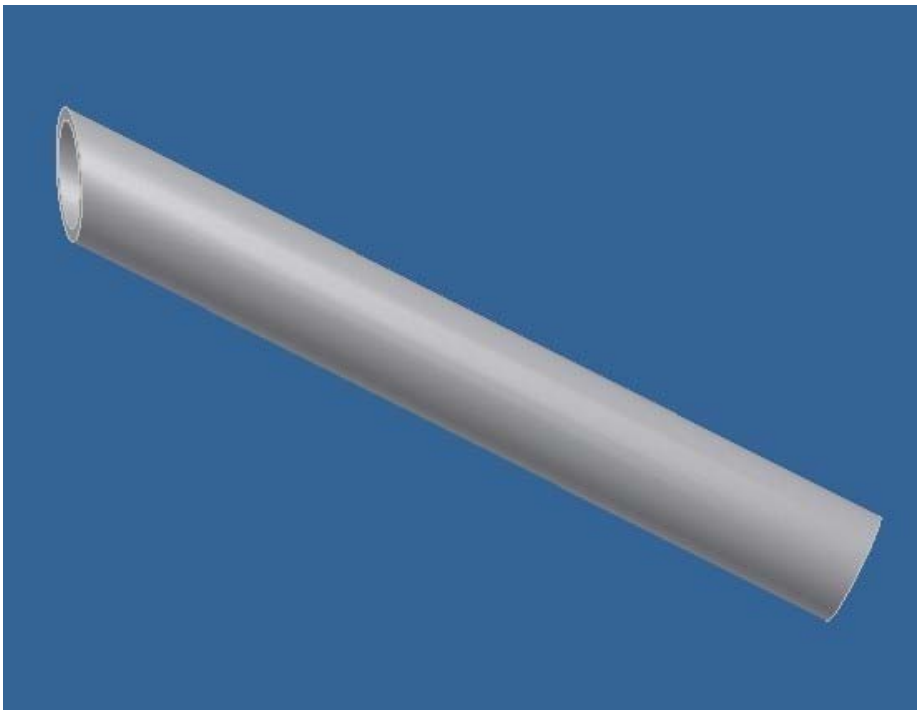
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO DDIASTOLIS_06_MASTOS / REV
		SCALE / SHEET 1 OF 1

Τάπα

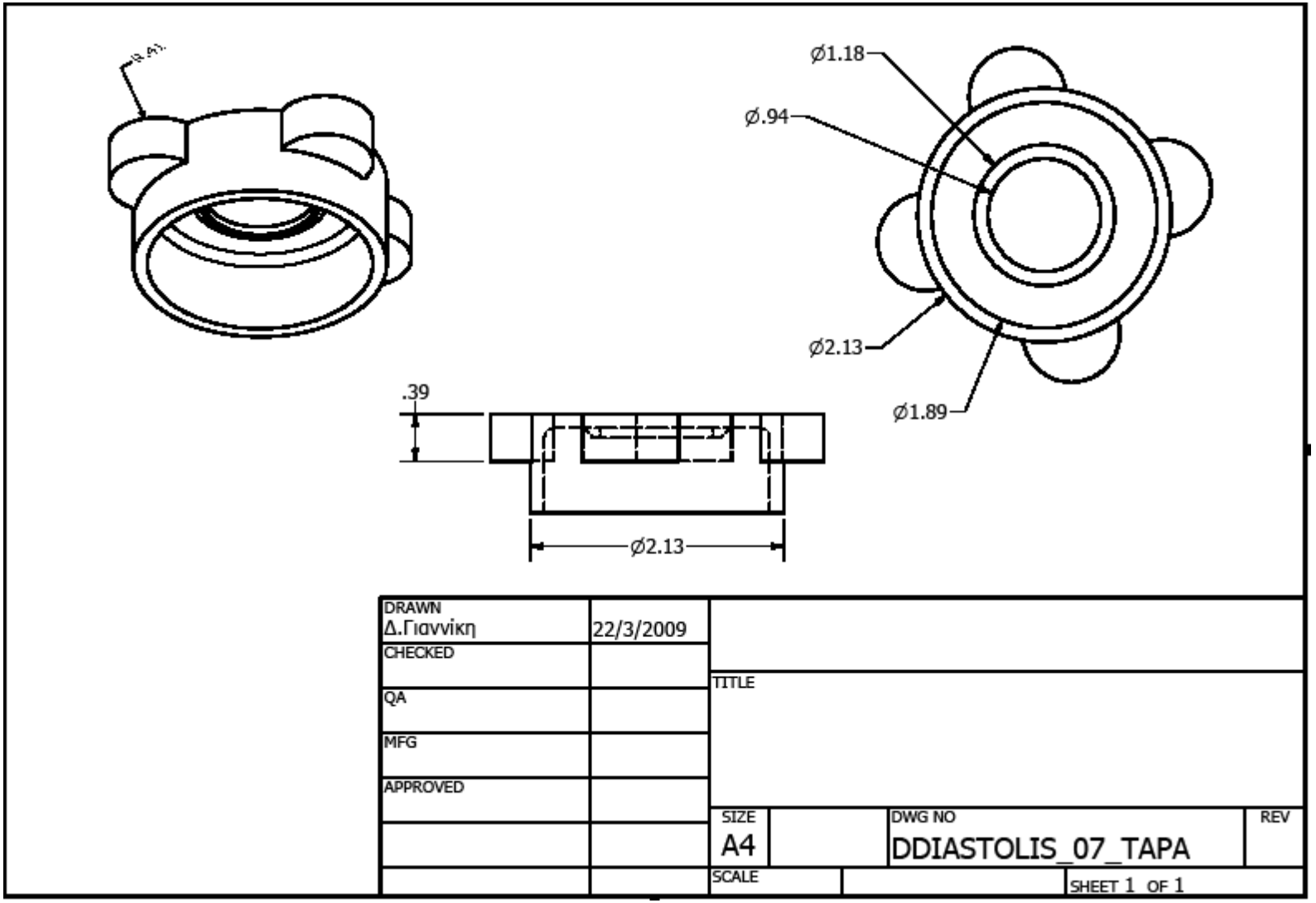


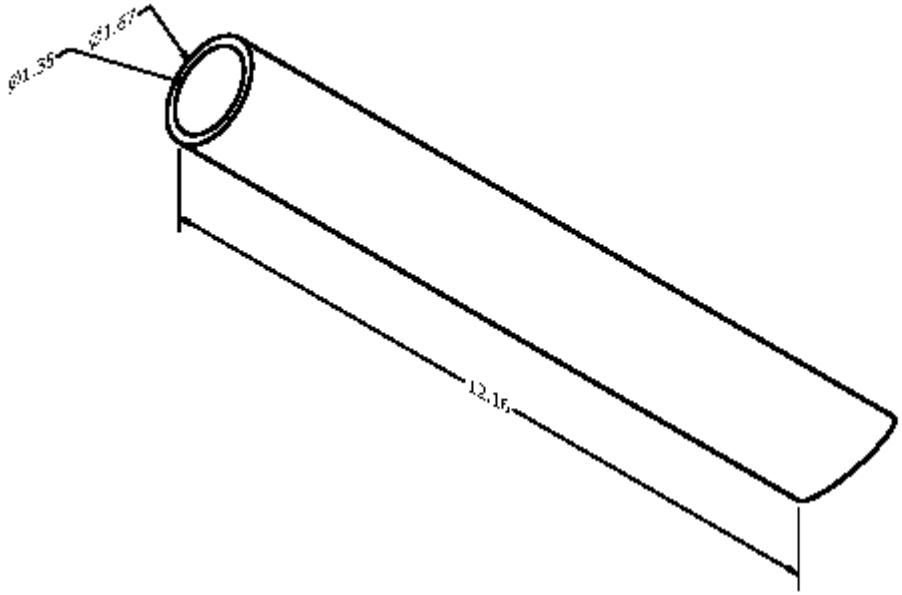
Εικόνα 4.10

Σωλήνας στηρίξεως



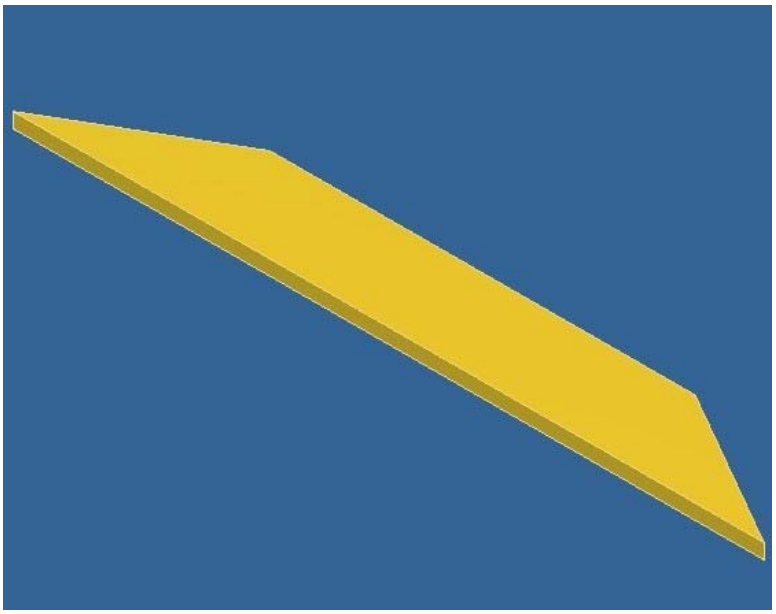
Εικόνα 4.11


Ø1.18
Ø.94
Ø2.13
Ø1.89
.39
Ø2.13
DRAWN
Δ.Γιαννίκη
22/3/2009
CHECKED
QA
MFG
APPROVED
TITLE
SIZE
A4
DWG NO
DDIASTOLIS_07_TAPA
REV
SCALE
SHEET 1 OF 1



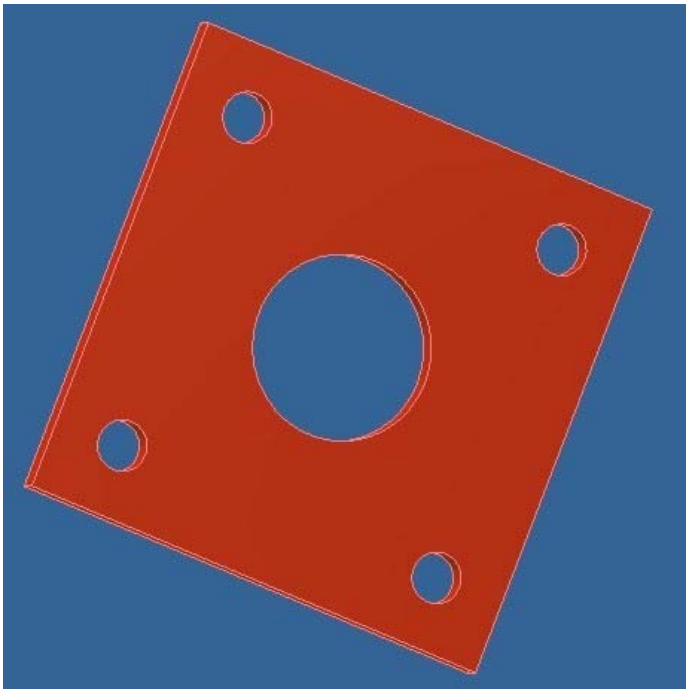
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO SWLINAS_STHRIKSEWS_DIAM / REV
		SCALE / SHEET 1 OF 1

Ενισχυτικό

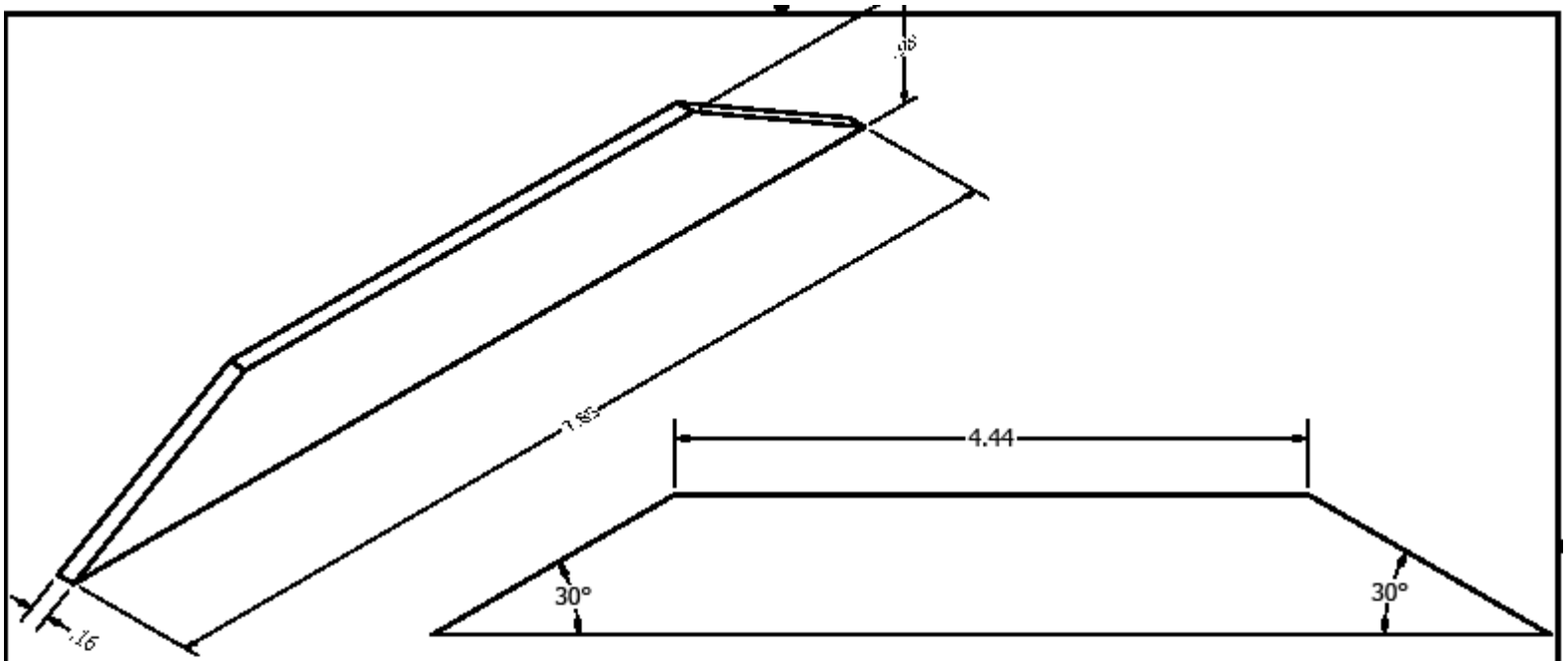


Εικόνα 4.12

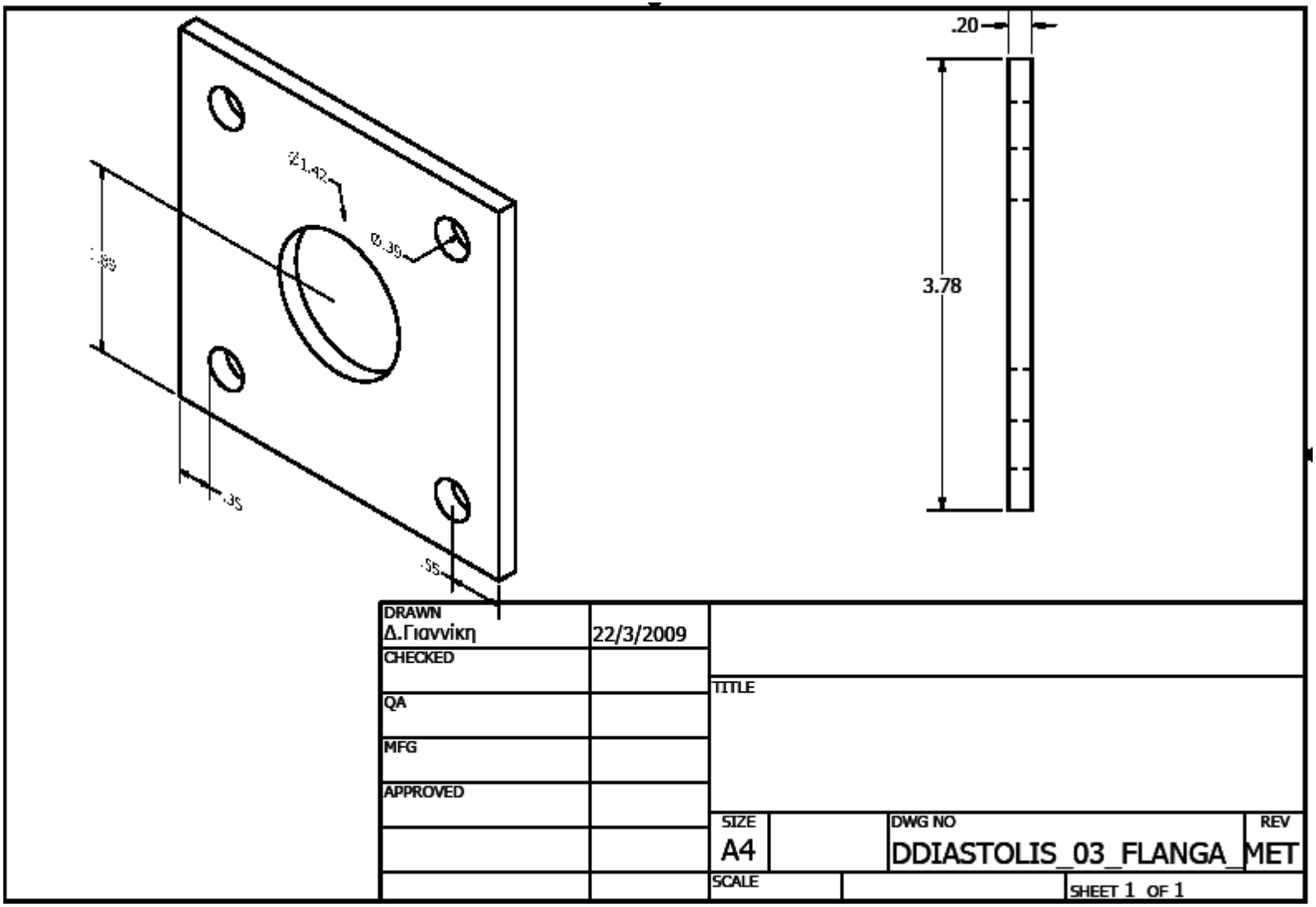
Μεταλλική φλάντζα



Εικόνα 4.13

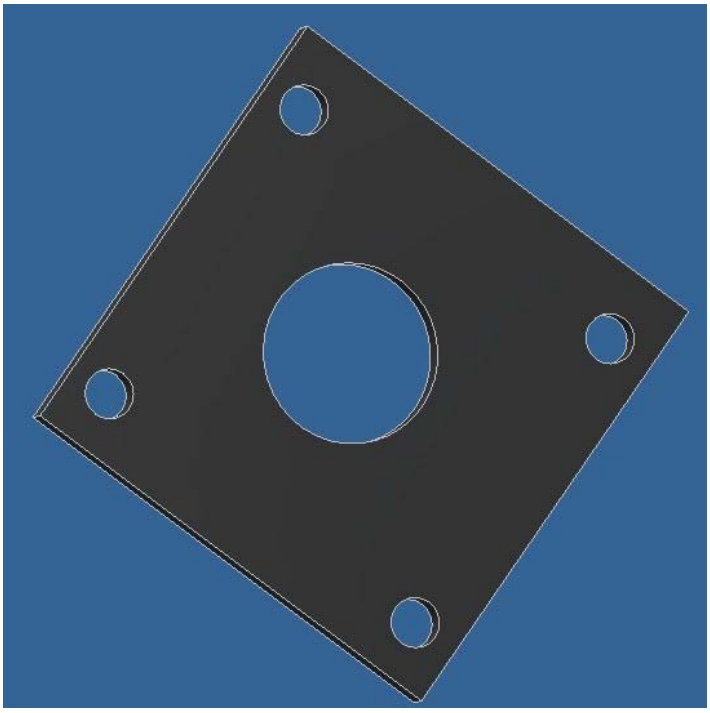


DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO ENISXYTIKO_DIAM_400	REV
		SCALE		SHEET 1 OF 1	



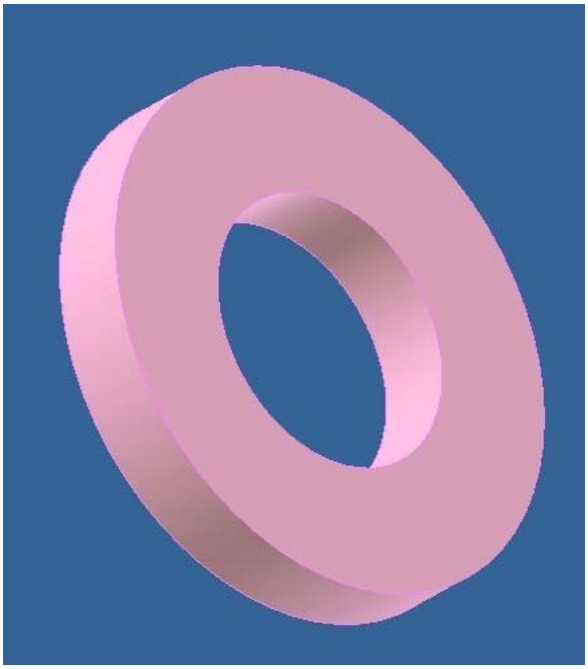
.20
3.78
Ø1.42
Ø.39
.35
.55
DRAWN
Δ.Γιαννίκη
22/3/2009
CHECKED
QA
MFG
APPROVED
TITLE
SIZE
A4
DWG NO
DDIASTOLIS_03_FLANGA_
REV
MET
SCALE
SHEET 1 OF 1

Ελαστική φλάντζα

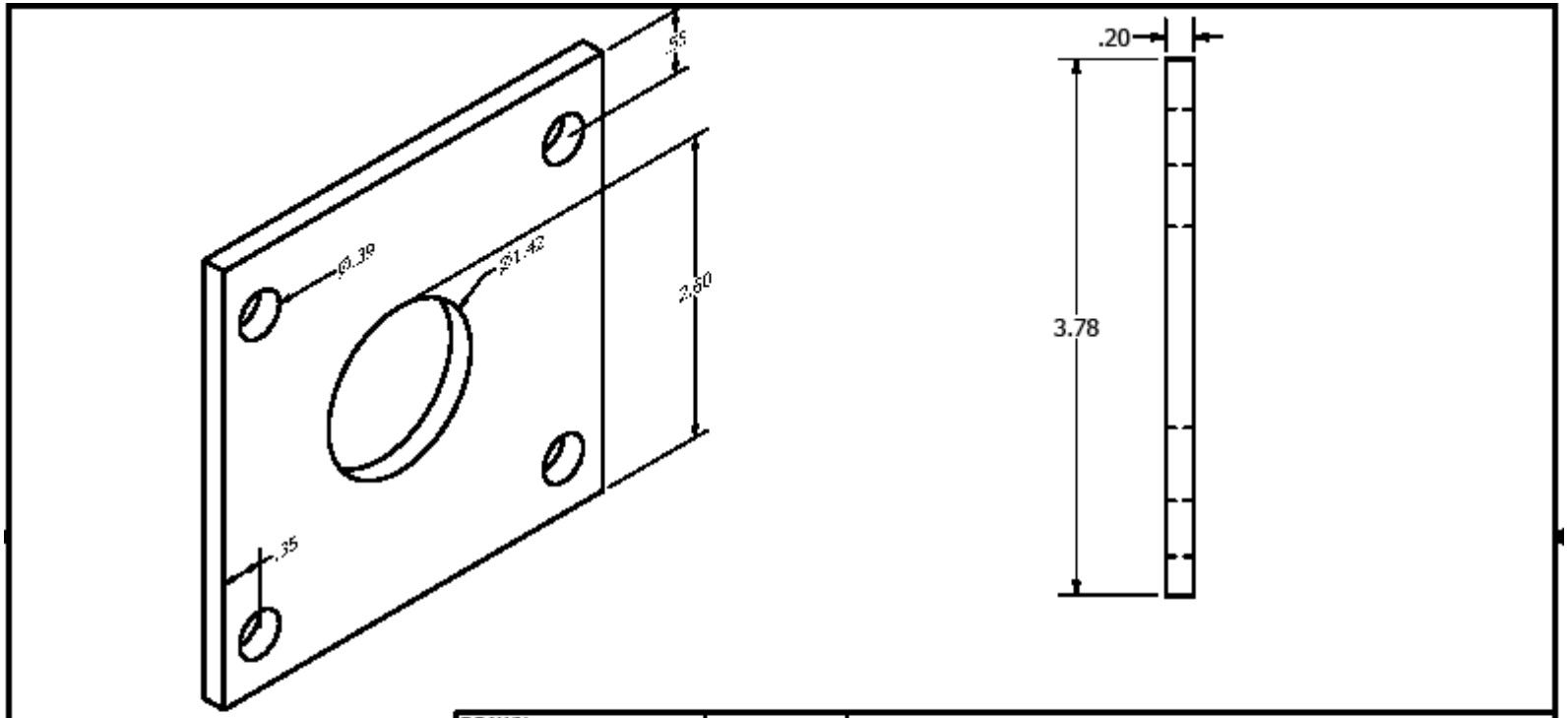


Εικόνα 4.14

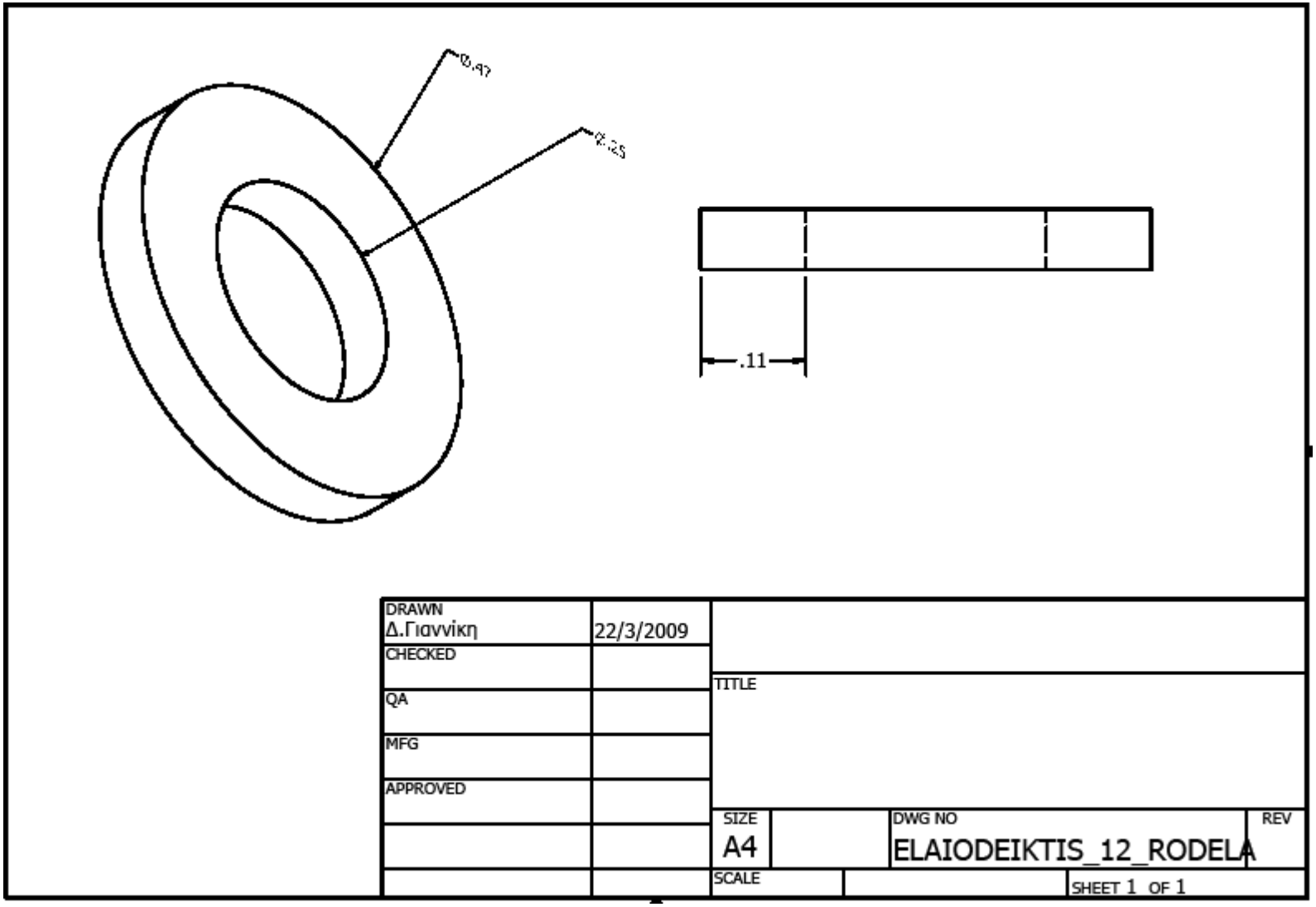
Ροδέλα



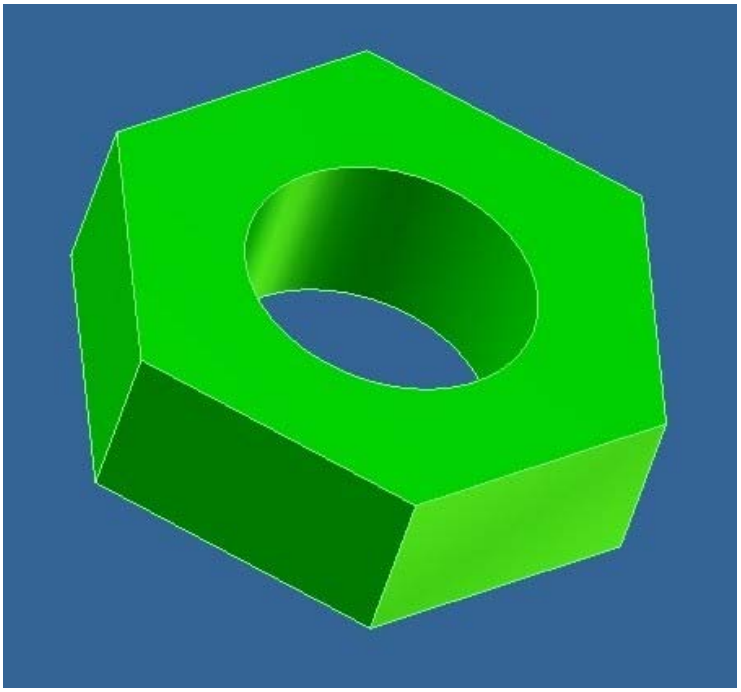
Εικόνα 4.15



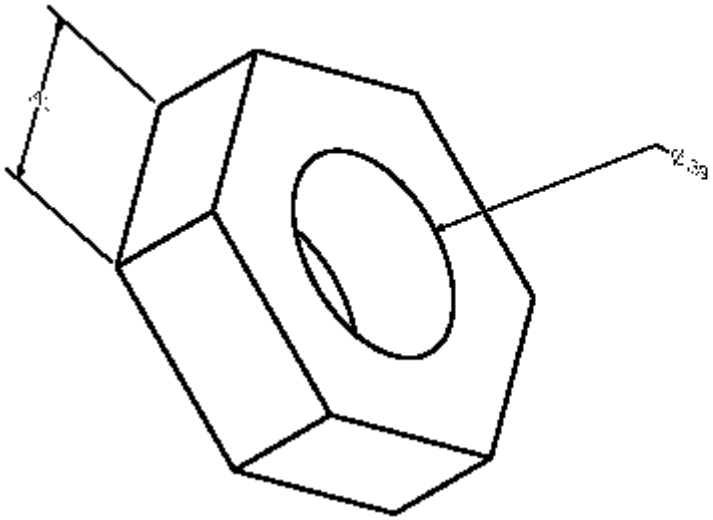
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO DDIASTOLIS_05_FLANGA	REV
		SCALE			SHEET 1 OF 1


Ø.97
Ø.25
.11
DRAWN
Δ.Γιαννίκη
22/3/2009
CHECKED
QA
MFG
APPROVED
TITLE
SIZE
A4
DWG NO
ELAIODEIKTIS_12_RODELA
REV
SCALE
SHEET 1 OF 1

Παξιμάδι



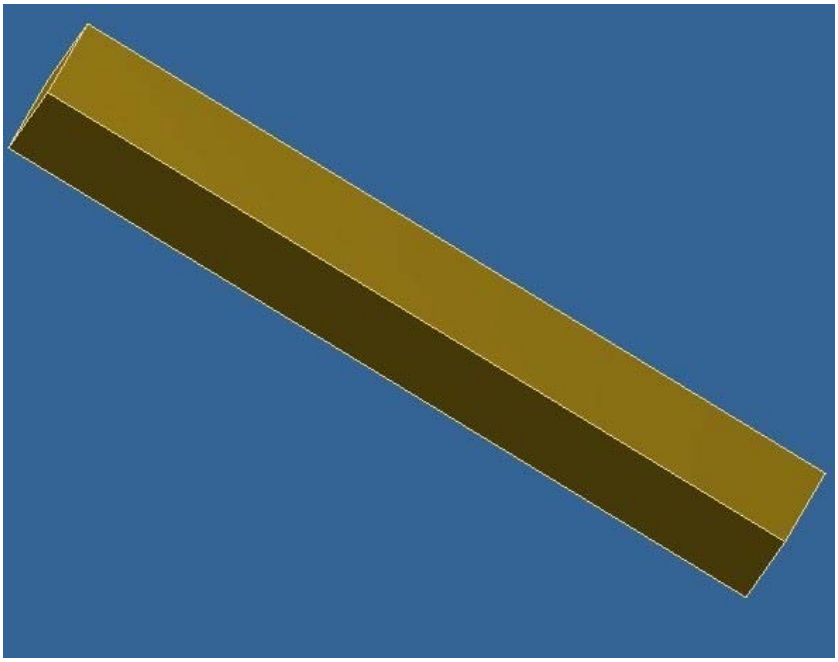
Εικόνα 4.16



DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO DDIASTOLIS_11_PAKSIMADIA / REV
		SCALE / SHEET 1 OF 1

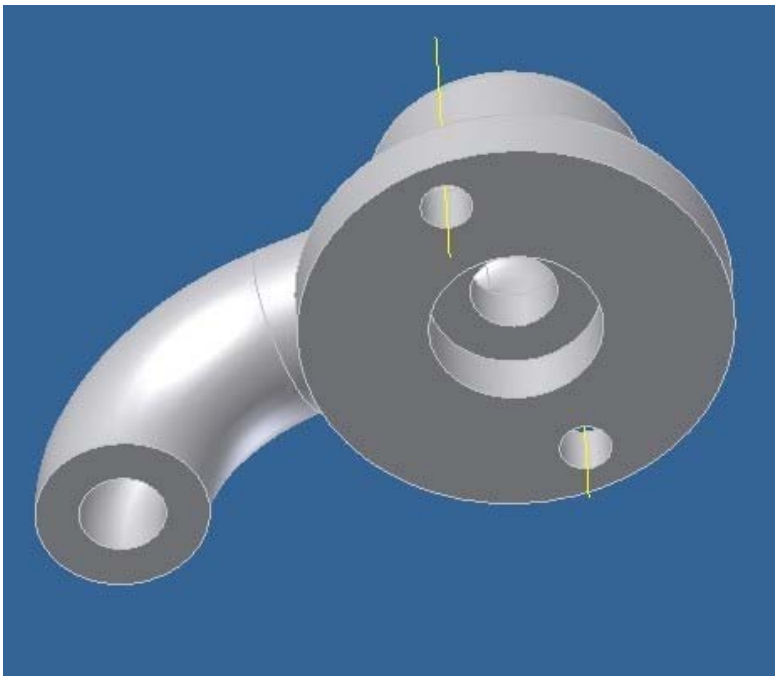
4.3.2 Ελαιοδείκτης

Μοντέλο σκελετού

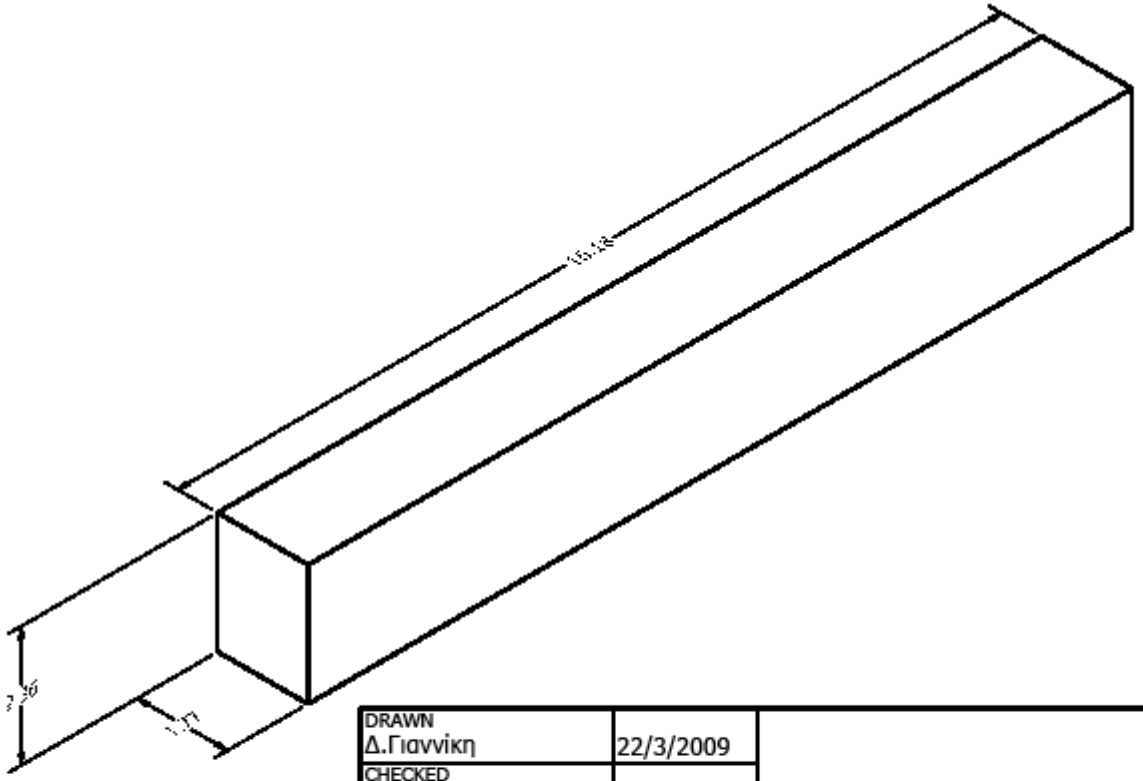


Εικόνα 4.17

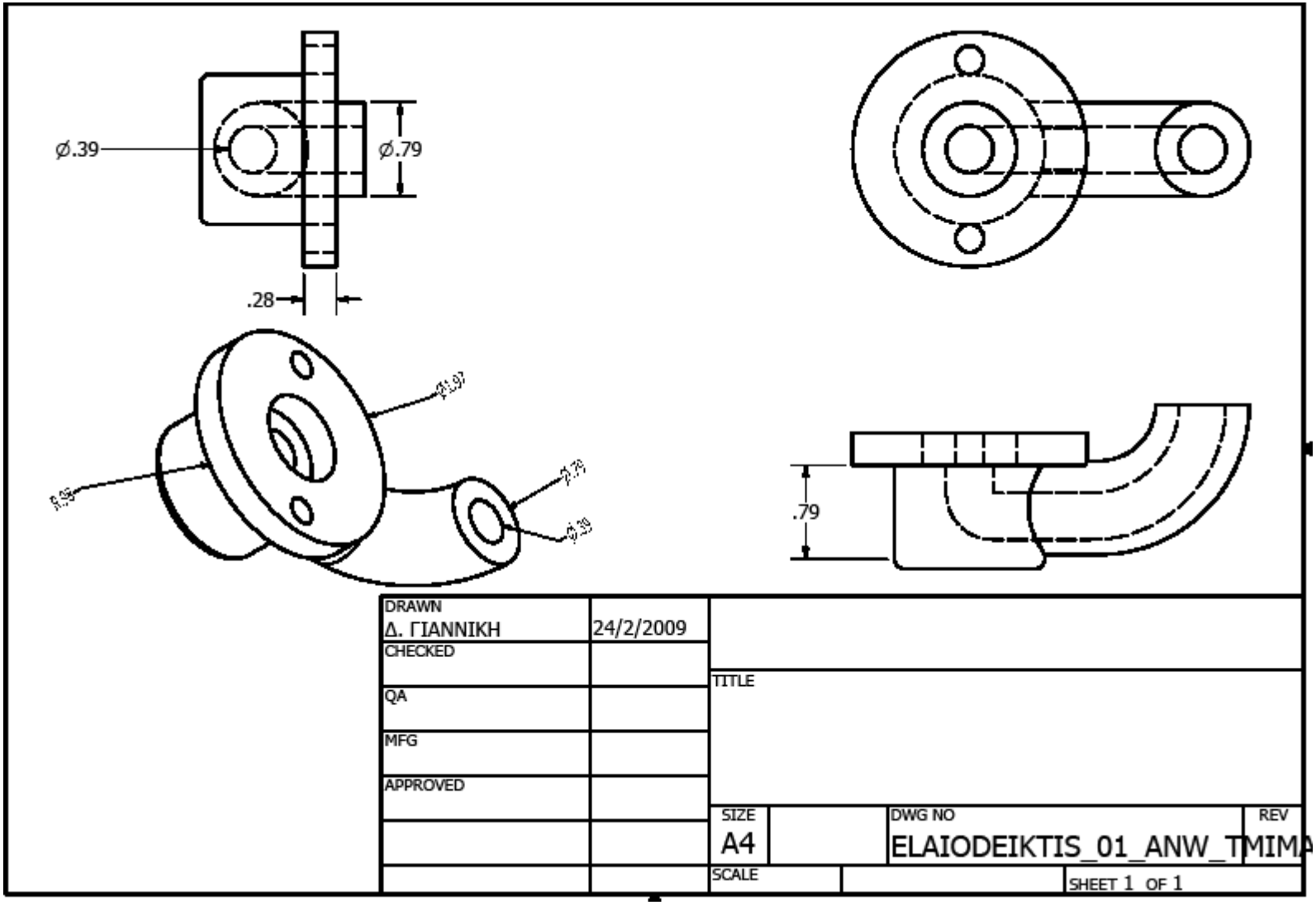
Άνω τμήμα



Εικόνα 4.18



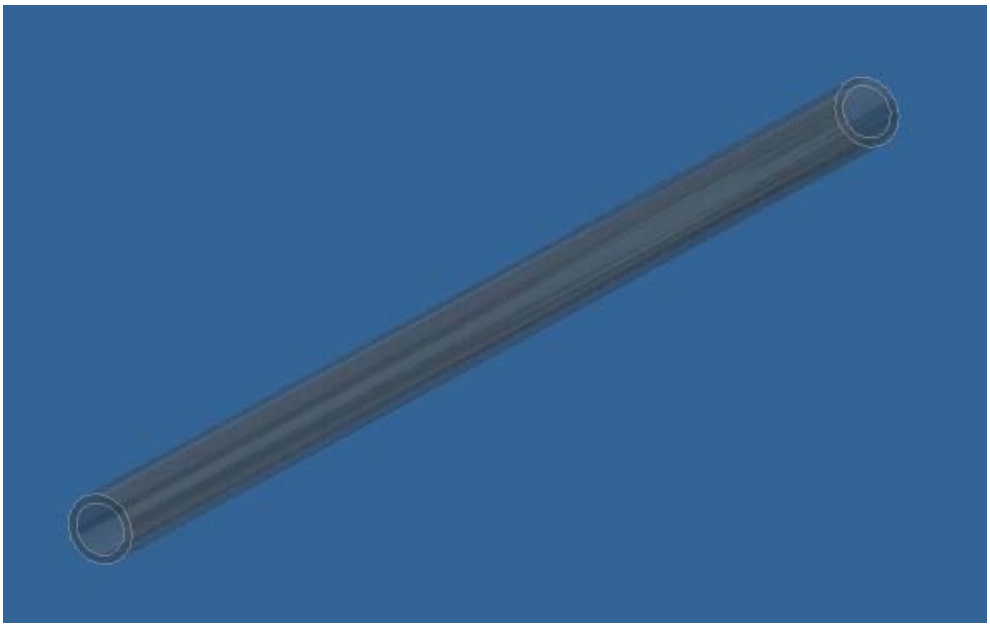
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO ELAIODEIKTIS_SKELETON	REV
		SCALE			SHEET 1 OF 1


Ø.39
Ø.79
.28
.79
DRAWN
Δ. ΓΙΑΝΝΙΚΗ
24/2/2009
CHECKED
QA
MFG
APPROVED
TITLE
SIZE
A4
DWG NO
ELAIODEIKTIS_01_ANW_TMIMA
REV
SCALE
SHEET 1 OF 1

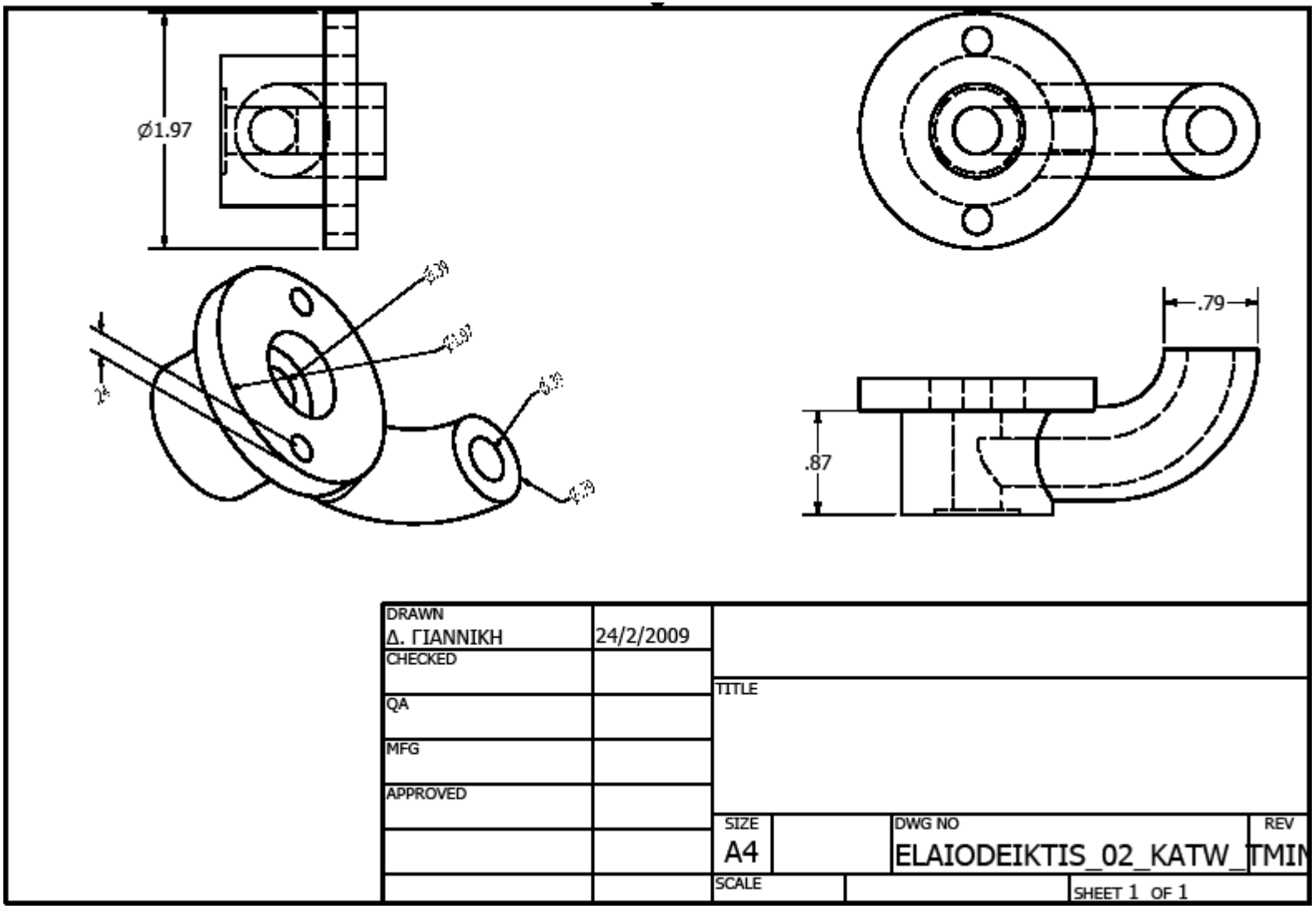
Κάτω τμήμα

Εικόνα 4.19

Γυάλινος σωλήνας

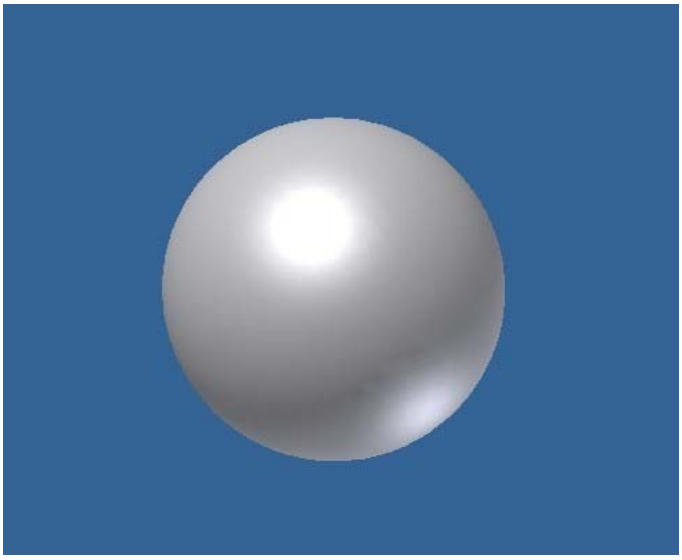


Εικόνα 4.20


Ø1.97
.79
.87
DRAWN
Δ. ΓΙΑΝΝΙΚΗ
24/2/2009
CHECKED
QA
MFG
APPROVED
TITLE
SIZE
A4
DWG NO
ELAIODEIKTIS_02_KATW_TMIN
REV
SCALE
SHEET 1 OF 1

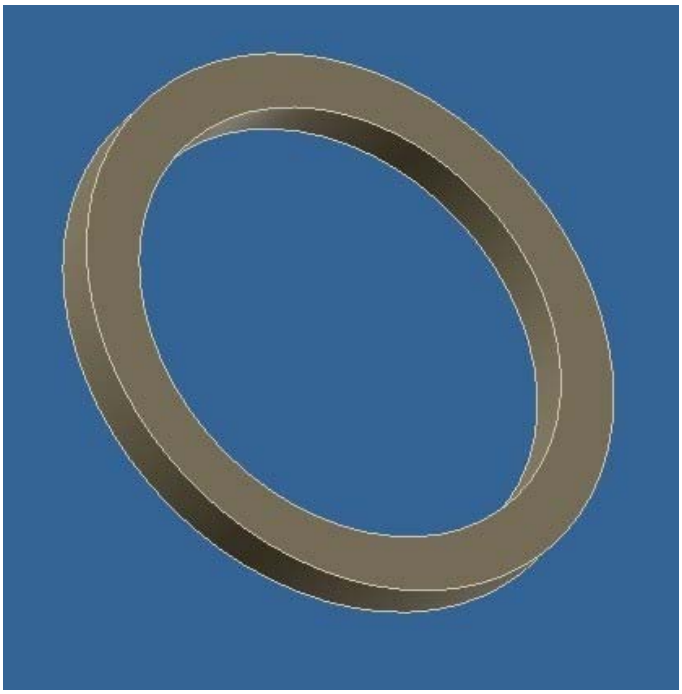
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO GYALINOS_SWLINAS_DIAM_40 / REV
		SCALE / SHEET 1 OF 1

Μπίλια

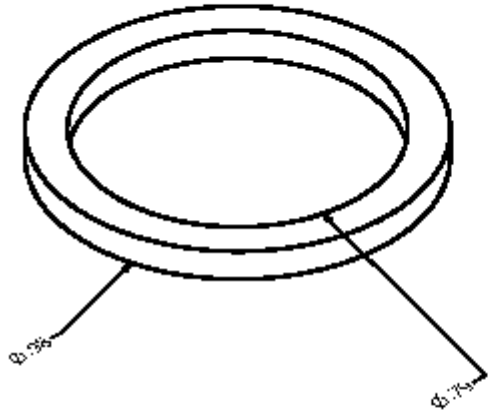


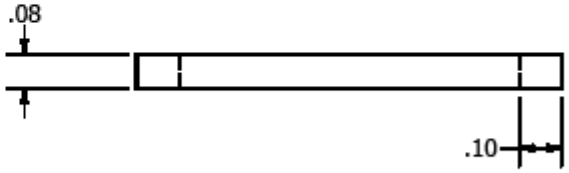
Εικόνα 4.21

Παρεμβάσματα



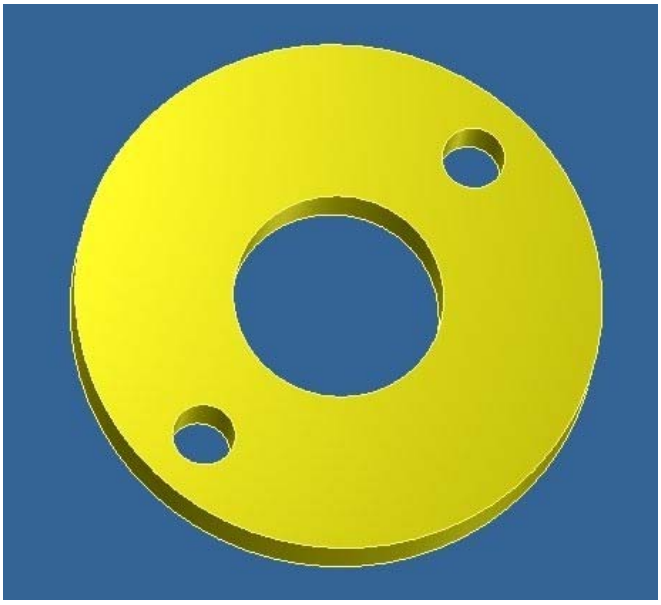
Εικόνα 4.22





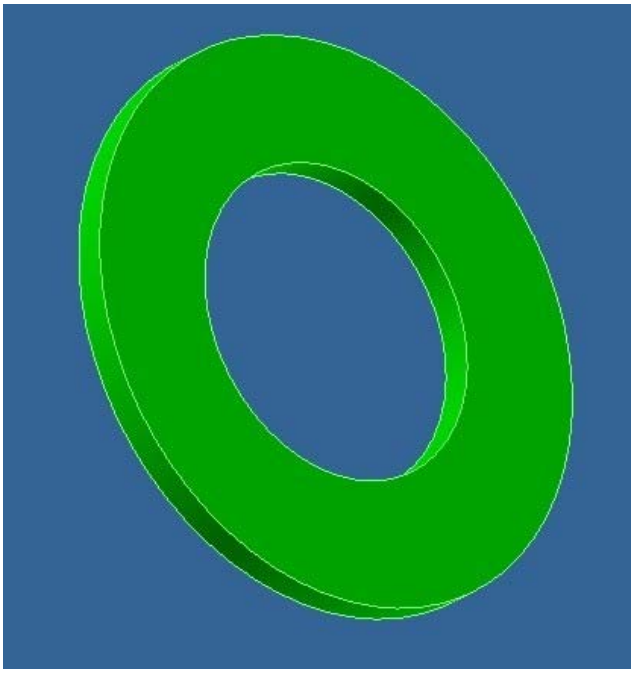
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO ELAIODEIKTIS_06_PAREMBASM / REV
		SCALE / SHEET 1 OF 1

Φλάντζα

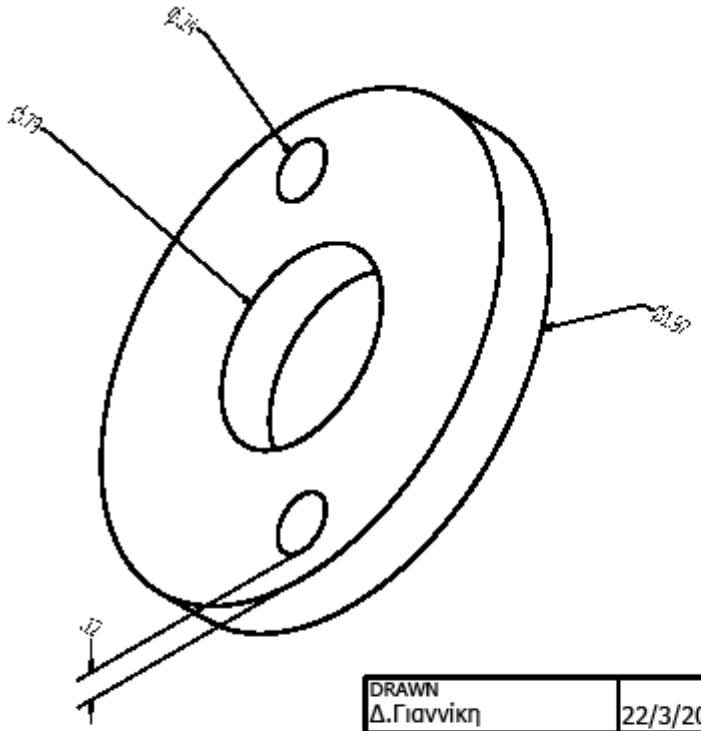


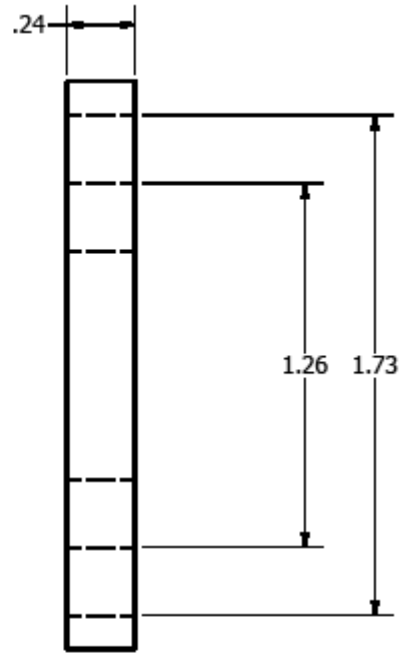
Εικόνα 4.23

Στεγανωτική ροδέλα

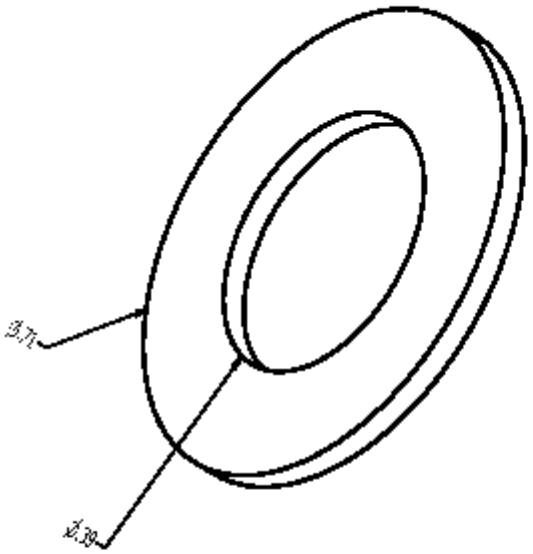


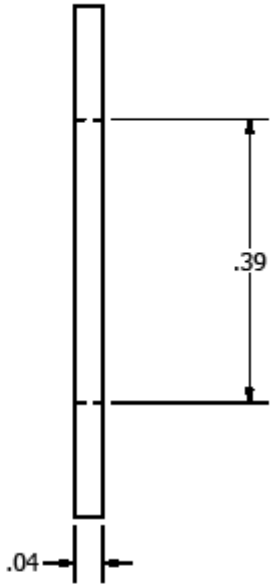
Εικόνα 4.24





DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO ELAIODEIKTIS_03_FLANTZA / REV
		SCALE / SHEET 1 OF 1



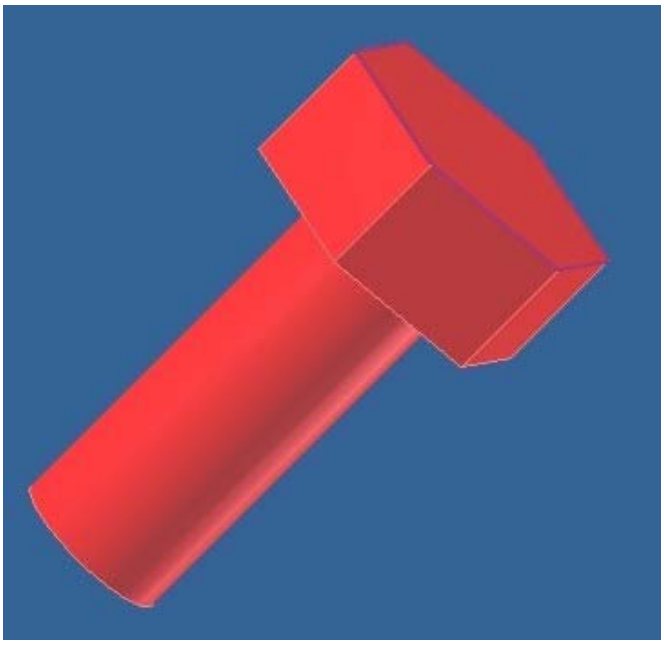


DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO ELAIODEIKTIS_07_DSTEGAN_R / REV
		SCALE / SHEET 1 OF 1

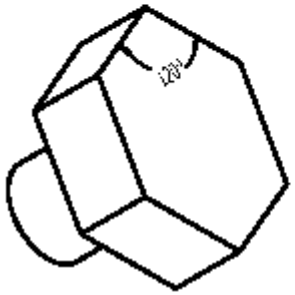
Τάπα

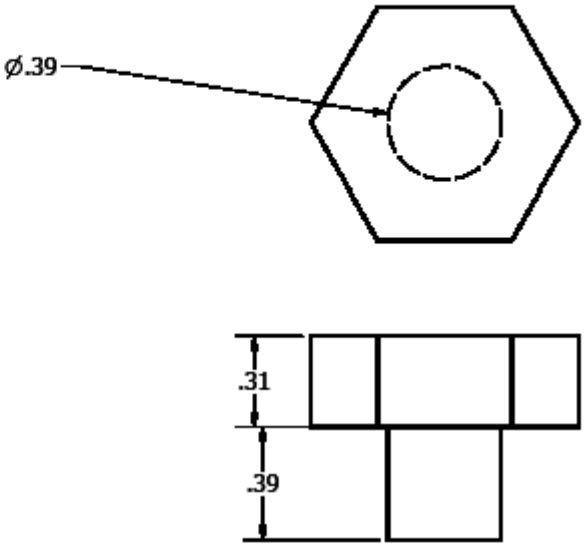
Εικόνα 4.25

Βίδα

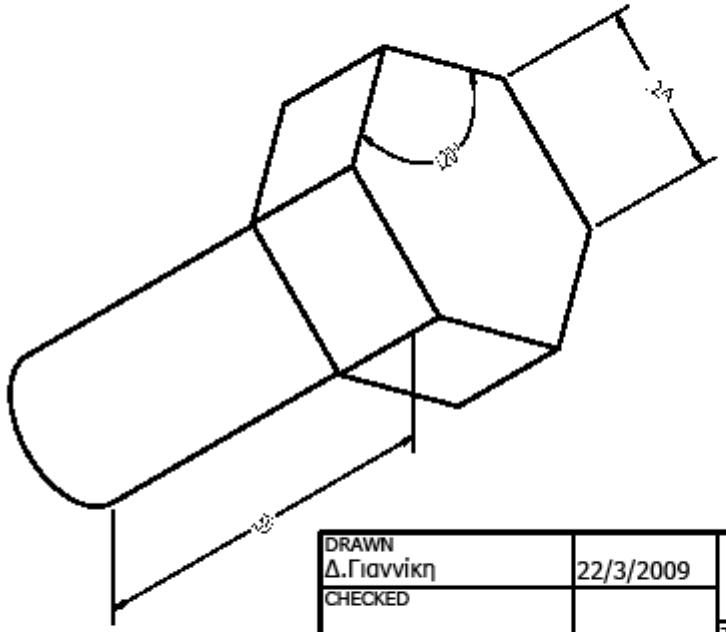


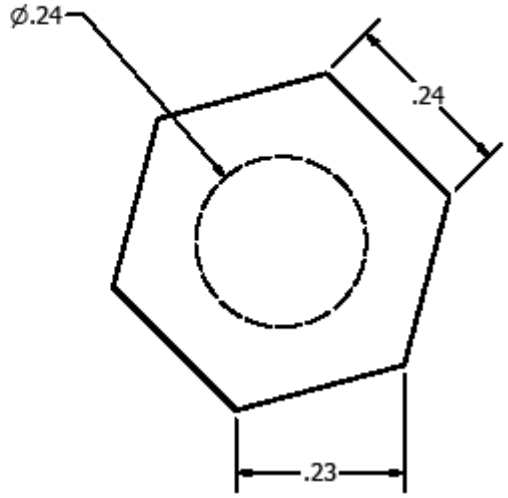
Εικόνα 4.26





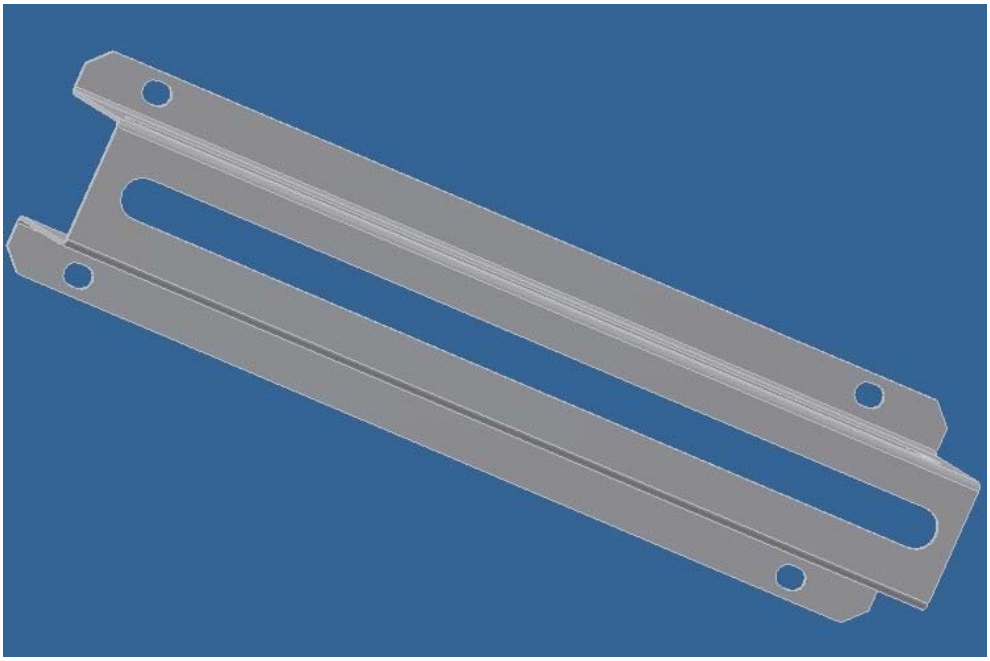
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO ELAIODEIKTIS_08_TAPA	REV
		SCALE		SHEET 1 OF 1	





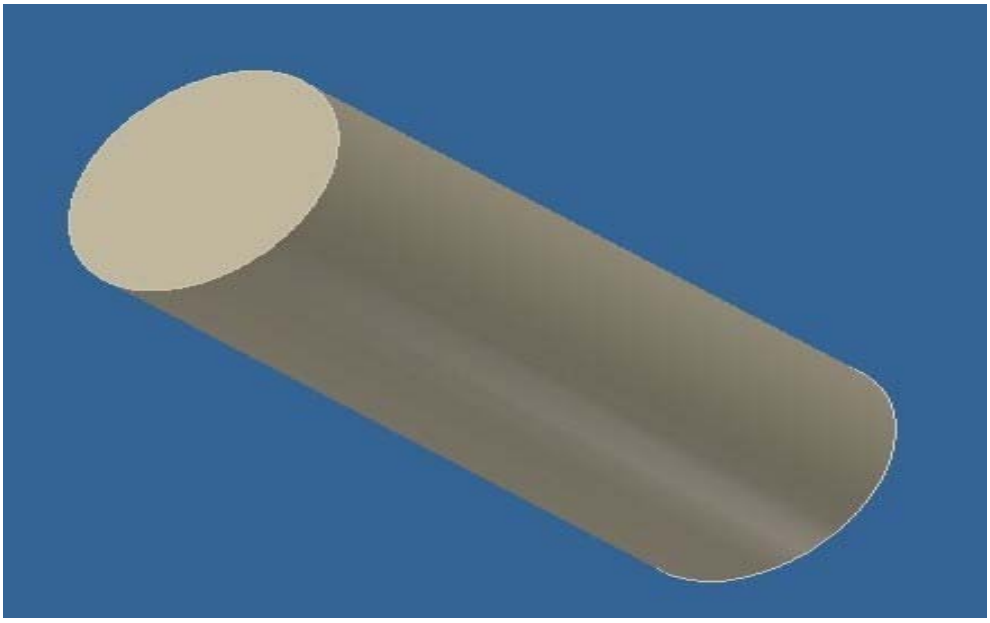
DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO ELAIODEIKTIS_09_BIDA	REV
		SCALE		SHEET 1 OF 1	

Προφυλακτήρας

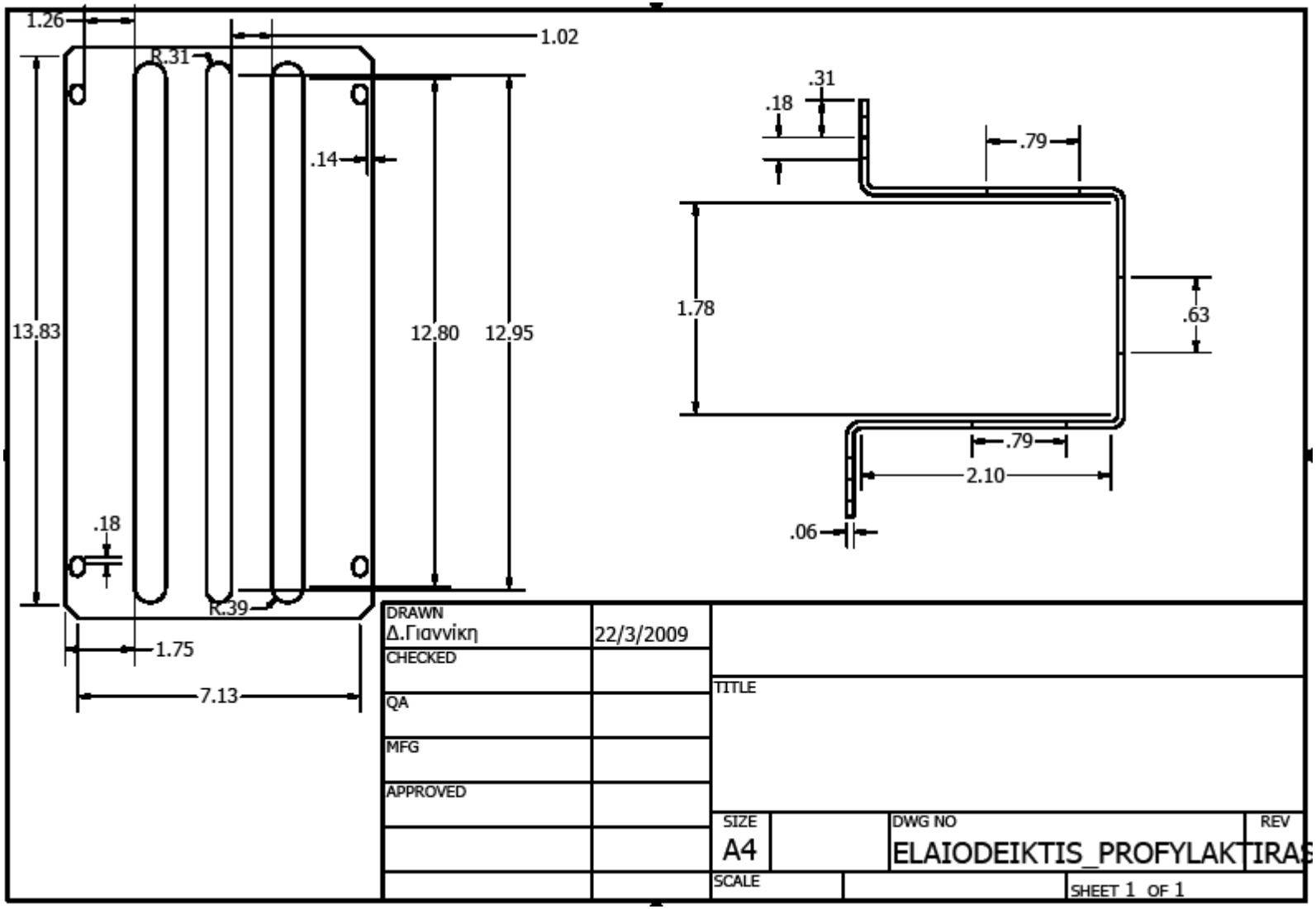


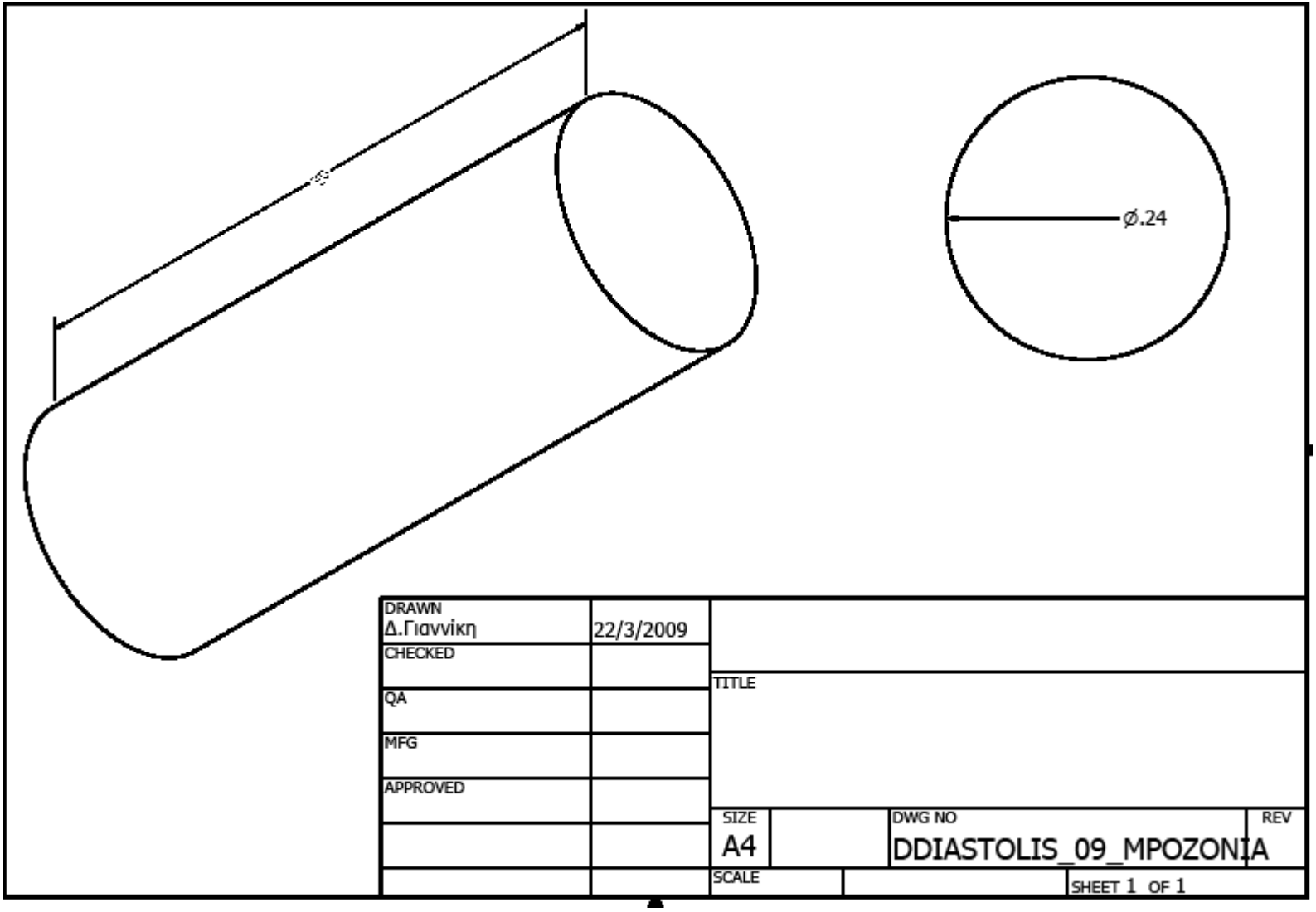
Εικόνα 4.27

Μποζόνια

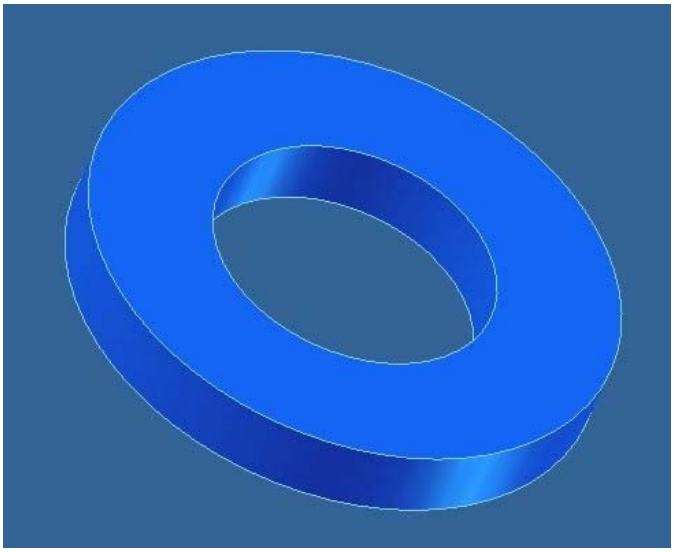


Εικόνα 4.28


1.26
1.02
R.31
.14
13.83
12.80
12.95
.18
R.39
1.75
7.13
.31
.18
.79
1.78
.63
.79
2.10
.06
DRAWN
Δ.Γιαννίκη
22/3/2009
CHECKED
QA
MFG
APPROVED
TITLE
SIZE
A4
DWG NO
ELAIODEIKTIS_PROFYLAKTIRAS
REV
SCALE
SHEET 1 OF 1

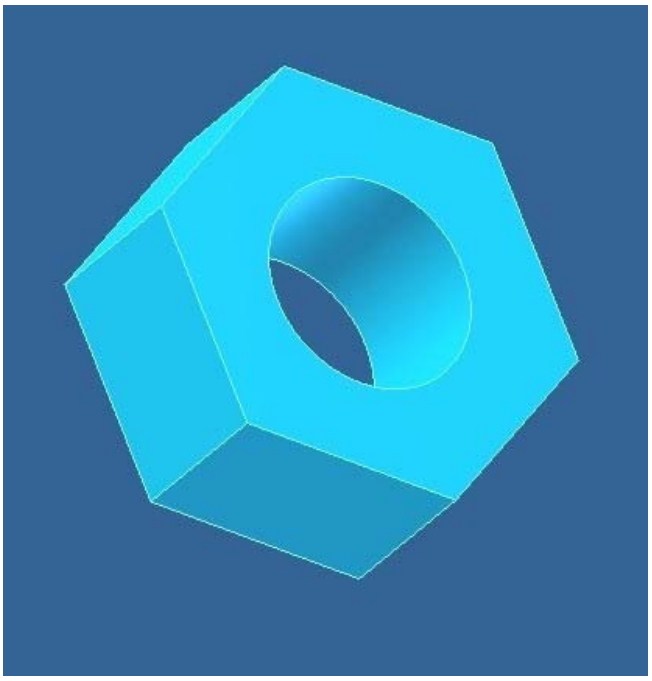

Ø.24
DRAWN
Δ.Γιαννίκη
22/3/2009
CHECKED
QA
MFG
APPROVED
TITLE
SIZE
A4
DWG NO
DDIASTOLIS_09_MPOZONIA
REV
SCALE
SHEET 1 OF 1

Ροδέλα

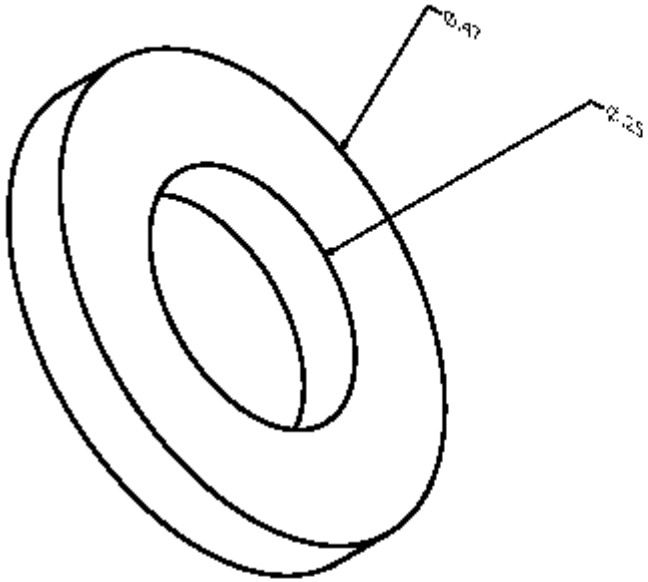


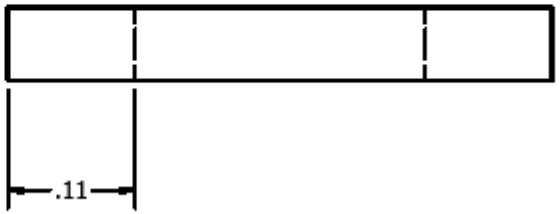
Εικόνα 4.29

Παξιμάδι

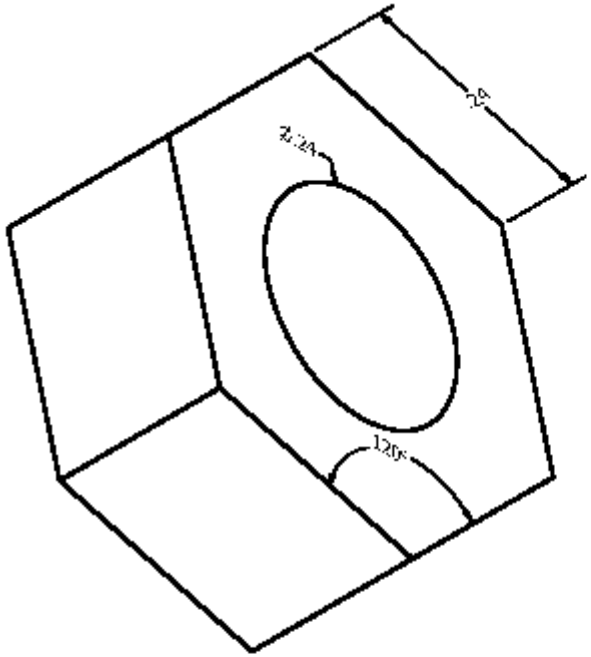


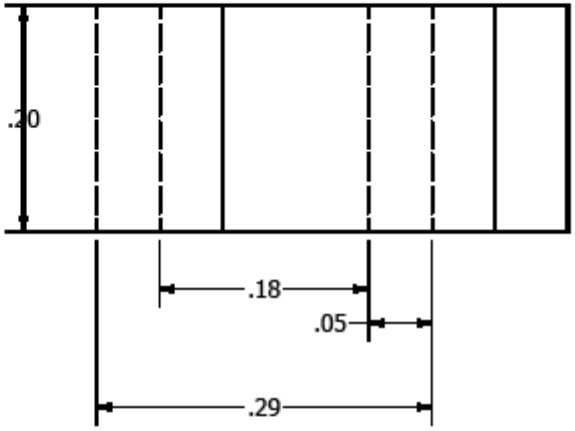
Εικόνα 4.30





DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		SIZE A4 / DWG NO ELAIODEIKTIS_12_RODELA / REV
		SCALE / SHEET 1 OF 1





DRAWN Δ.Γιαννίκη	22/3/2009				
CHECKED		TITLE			
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4		DWG NO ELAIODEIKTIS_11_PAKSIMADI	REV
		SCALE		SHEET 1 OF 1	

Με βάση τα παραπάνω σχέδια η βέλτιστη σειρά αποσυναρμολόγησης φαίνεται να είναι η εξής:

Αρχικά διαχωρίζουμε τον ελαιοδείκτη από το δοχείο διαστολής και τα αποσυναρμολογούμε το κάθε ένα ξεχωριστά από έξω προς τα μέσα.

Για να τα ξεχωρίσουμε βγάζουμε τις ροδέλες, τα παξιμάδια και τα μποζόνια.

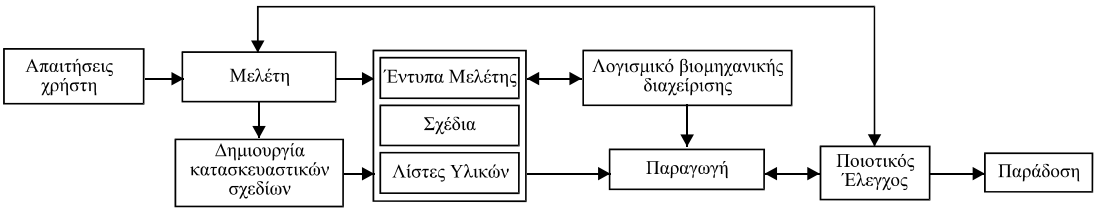
Από το δοχείο διαστολής αρχικά αφαιρούμε το μοντέλο σκελετού και το ανάπτυγμα, και στη συνέχεια αφαιρούμε από το πάνω μέρος του σκελετού το πώμα και τον μαστό. Συνεχίζουμε με τους δύο σωλήνες στηρίξεως και τα ενισχυτικά και τέλος από τη βάση αποσυναρμολογούμε τις ροδέλες, τα παξιμάδια, και τις μεταλλικές και ελαστικές φλάντζες .

Από τον ελαιοδείκτη έχουμε ήδη αφαιρέσει τον σκελετό καθώς θέλαμε να το ξεχωρίσουμε από το δοχείο διαστολής. Αφαιρούμε τις βίδες και αποσυναρμολογούμε το άνω και κάτω τμήμα του ελαιοδείκτη αφού έχουμε βγάλει και το πώμα του άνω τμήματος. Αφαιρούμε τα παρεμβάσματα και στη συνέχεια τις δύο φλάντζες. Τέλος μένει ο γυάλινος σωλήνας από τον οποίο έχω πρώτα αποσπάσει την μπίλια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΣΕ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Τι Ισχύει κατά τη Σχεδίαση και Κατασκευή των Μετασχηματιστών

Με βάση τις απαιτήσεις που έχουν καταγραφεί σε κάθε περίπτωση διαμορφώνονται οι απαιτούμενες προδιαγραφές για τον επιθυμητό Μ/Σ και στη συνέχεια ακολουθούν τα στάδια της σχεδίασης, παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου [2]. Τα παραπάνω φαίνονται και στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχεδίαση ----------→ Παραγωγή ----→ Έλεγχος

Εικόνα 5.1

Η φάση σχεδίασης περιλαμβάνει τη δημιουργία της μελέτης και των κατασκευαστικών σχεδίων.

Η μελέτη στοχεύει στην ικανοποίηση των απαιτήσεων του χρήστη του Μ/Σ με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Για τον υπολογισμό της καλύτερης τεχνικοοικονομικά λύσης χρησιμοποιείται κατάλληλο λογισμικό στο οποίο καταχωρούνται ως δεδομένα οι απαιτήσεις του χρήστη του Μ/Σ, το κόστος ανά μονάδα μέτρησης των πρώτων υλών, και οι περιοχές τιμών των διάφορων κατασκευαστικών παραμέτρων. Το κόστος των πρώτων υλών είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος, αν ληφθεί υπόψη ότι οι τιμές αλλάζουν αρκετά συχνά, κάποιες πρώτες ύλες εισάγονται από το εξωτερικό οπότε εμπλέκονται οι συναλλαγματικές ισοτιμίες, ο χαλκός (υλικό κατασκευής των τυλιγμάτων) είναι χρηματιστηριακό αγαθό, κ.λπ. Κατά την εκτέλεση του προγράμματος εξετάζονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί τιμών των διάφορων κατασκευαστικών παραμέτρων, οι οποίοι αποτελούν υποψήφιες λύσεις του προβλήματος. Για κάθε υποψήφια λύση (συνδυασμό) ελέγχεται αν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του χρήστη του Μ/Σ και οι διεθνείς ηλεκτροτεχνικές προδιαγραφές, και εφόσον κάτι τέτοιο συμβαίνει η υποψήφια λύση είναι αποδεκτή και υπολογίζεται το κόστος κατασκευής, διαφορετικά η υποψήφια λύση απορρίπτεται. Από το σύνολο των αποδεκτών λύσεων (εφόσον υπάρχουν) συνήθως επιλέγεται η λύση με το

μικρότερο κόστος (σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να επιλεγεί μία λύση, η οποία δεν είναι η φθηνότερη, όπως π.χ. σε περίπτωση μοναδιαίων κατασκευών, όπου μπορεί να επιλεγεί μία λύση, για την οποία οι πρώτες ύλες υπάρχουν ήδη στη βιομηχανική αποθήκη). Αν δεν βρεθούν αποδεκτές λύσεις, τότε στο πρόγραμμα Η/Υ δίνονται άλλες περιοχές τιμών για τις διάφορες κατασκευαστικές παραμέτρους και η εκτέλεση του προγράμματος επαναλαμβάνεται.

Όταν επιλεγεί η "βέλτιστη" κατασκευαστική λύση, παραδίδεται στο σχεδιαστήριο:

- 'Ενα έντυπο το οποίο περιέχει τις τιμές των παραμέτρων που απαιτούνται για τη δημιουργία των ηλεκτρονικών κατασκευαστικών σχεδίων.
- Τα έντυπα μελέτης που περιλαμβάνουν τυποποιημένη γραπτή πληροφορία που χρησιμοποιείται στη φάση της βιομηχανικής παραγωγής για τον προγραμματισμό και το συντονισμό της παραγωγής. Επίσης τα έντυπα μελέτης χρησιμοποιούνται από το τμήμα διαχείρισης υλικών (για τις πιθανές παραγγελίες των πρώτων υλών) και το τμήμα ποιοτικού ελέγχου (για να γνωρίζουν τις συνθήκες των δοκιμών ποιοτικού ελέγχου και τις αναμενόμενες θεωρητικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών). Τα έντυπα μελετών που απαιτούνται για τη βιομηχανική παραγωγή περιλαμβάνουν το έντυπο κύριων υλικών, απωλειών, τάσης βραχυκύκλωσης, πυρήνων, πηνίων χαμηλής τάσης, πηνίων μέσης τάσης, μεταγωγέα, ψύξης, ενεργού μέρους, μονωτικών υλικών, και το έντυπο δοκιμών ποιοτικού ελέγχου.

Το τμήμα σχεδιαστηρίου χρησιμοποιεί την πληροφορία από το τμήμα μελετών προκειμένου να δημιουργήσει τον κατασκευαστικό φάκελο του Μ/Σ. Ένας πλήρης κατασκευαστικός φάκελος περιλαμβάνει:

- τα σχέδια των μη τυποποιημένων εξαρτημάτων,
- τους κωδικούς των τυποποιημένων εξαρτημάτων, και
- τη λίστα υλικών.

Τα μη τυποποιημένα εξαρτήματα είναι διαφορετικά για κάθε νέα μελέτη Μ/Σ, ενώ τα ίδια τυποποιημένα εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές διαφορετικές μελέτες. Η λίστα υλικών είναι ένας κατάλογος που περιέχει για κάθε ένα από τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το Μ/Σ, την ονομασία του εξαρτήματος, περιγραφή του υλικού, προδιαγραφή ή σχέδιο, κωδικό αριθμό, μονάδα μέτρησης, ποσότητα, και βάρος.

Όταν ολοκληρωθεί ο κατασκευαστικός φάκελος διαβιβάζεται στα τμήματα παραγωγής και διαχείρισης υλικών.

Με χρήση του λογισμικού βιομηχανικής διαχείρισης το τμήμα διαχείρισης υλικών πραγματοποιεί τον προγραμματισμό απαιτήσεων υλικών, δηλαδή βρίσκει τις ανάγκες σε πρώτες ύλες που πρέπει να παραγγελθούν ή να κατασκευαστούν στα διάφορα τμήματα της παραγωγής, προχωράει σε παραγγελίες όταν είναι απαραίτητο, και

διαθέτει τα υλικά στα εμπλεκόμενα τμήματα της παραγωγής. Το λογισμικό βιομηχανικής διαχείρισης βοηθάει έτσι ώστε να υπάρχουν διαθέσιμες οι ακριβείς ποσότητες αποθεμάτων την κατάλληλη χρονική στιγμή. Το τμήμα παραγωγής κάνει τον προγραμματισμό παραγωγής, δηλαδή αποφασίζει, με βάση τις ημερομηνίες παράδοσης και τις υπάρχουσες παραγωγικές δυνατότητες και περιορισμούς, πότε θα παραχθούν τα διάφορα υποπροϊόντα κάθε προϊόντος. Επιπλέον παρακολουθεί και συντονίζει τη βιομηχανική παραγωγή σε ημερήσια βάση.

Το τμήμα ποιοτικού ελέγχου κάνει μετρήσεις στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και ελέγχει αν οι πρώτες ύλες, το κάθε υποπροϊόν, και το τελικό προϊόν εκπληρούν τις προδιαγραφές. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων επί του τελικού προϊόντος δίνονται στο χρήστη του Μ/Σ υπό τη μορφή πιστοποιητικών. Επιπλέον, τα αποτελέσματα του ποιοτικού ελέγχου δίνονται στα τμήματα μελετών και παραγωγής για στατιστική επεξεργασία και βελτίωση των υφιστάμενων διαδικασιών (αν είναι απαραίτητο). Μετά την ολοκλήρωση του ποιοτικού ελέγχου το προϊόν παραδίδεται στο χρήστη.

Ο χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή που ξεκινάει η μελέτη ενός νέου Μ/Σ έως τη στιγμή που το προϊόν παραδίδεται στο χρήστη ονομάζεται βιομηχανικός κύκλος.

Αυτό που θα εξεταστεί στη συνέχεια είναι πως μπορεί να βελτιωθεί η παραπάνω διαδικασία μέχρι και την ολοκλήρωση του κατασκευαστικού φακέλου με βάση τις μεθόδους σχεδίασης Product Design Matrix, Environmental Effect Analysis, Smart EcoDesign Electronics Strategy Wheel και Failure Mode and Effects Analysis.

5.2 Διαδικασία Εφαρμογής – Υπάρχουσα Κατάσταση στην Ελλάδα

Η εφαρμογή των μεθοδολογιών που παρουσιάστηκαν στο 2^{ο} Κεφάλαιο στον τριφασικό μετασχηματιστή που χρησιμοποιήθηκε και στην top down analysis αποδείχτηκε αρκετά δύσκολη επειδή δεν βρέθηκαν στη βιβλιογραφία ανάλογες μελέτες εκτός από μια μελέτη εφαρμογής της FMEA ανάλυσης από τις Franzen A. και Karlsson του 2007 από το Royal Institute of Technology, KTH της Σουηδίας [10].

Ο λόγος είναι ότι οι περισσότερες εργασίες σχετικά με μετασχηματιστές έχουν ως κύριο στόχο τη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους με απώτερο στόχο το οικονομικό όφελος και τη μεγιστοποίηση της απόδοσής τους. Βρέθηκαν μόνο μεμονωμένες έρευνες κύρια από Αυστρία και Νορβηγία που εξέταζαν πως είναι δυνατό να βελτιωθούν όσον αφορά την περιβαλλοντική τους επίδραση τα έλαια που χρησιμοποιούνται στο μετασχηματιστή [8], [9].

Για την Ελλάδα η κατάσταση επίσης δεν είναι ξεκάθαρη. Σε συζητήσεις που έγιναν με εργαζομένους στη ΔΕΗ μας ενημέρωσαν ότι γενικά η παλαιότερη πρακτική ήταν οι μετασχηματιστές που είχαν βλάβη, οπότε είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας, να κανιβαλίζονται σε μικρό βαθμό για κάποια ανταλλακτικά από την ίδια τη ΔΕΗ. Λόγω έλλειψης προσωπικού όμως η πρακτική αυτή σήμερα έχει εγκαταλειφτεί.

Υπεύθυνες για το συγκεκριμένο θέμα είναι δύο Διευθύνσεις: η διεύθυνση Υγιεινής και Ασφάλειας και η Διεύθυνση Υλικού. Υπάρχει οδηγία για τη διαδικασία διαχείρισης σύμφωνα με την οποία προκηρύσσεται διαγωνισμός για την αγορά τους από κάποιες εταιρείες και με βάση τυποποιημένης διαδικασίας γίνεται η επεξεργασία του υλικού των μετασχηματιστών.

Η συγκεκριμένη διαδικασία αφορά κυρίως τους Μ/Σ 20/0.4 kV που είναι και οι περισσότεροι. Παράδειγμα του συγκεκριμένου μετασχηματιστή φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Εικόνα 5.2

Για τους μεγαλύτερους μετασχηματιστές δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη πρόβλεψη γιατί ελάχιστοι βγαίνουν εκτός λειτουργίας ανά έτος. Στους Μ/Σ 20/0.4 kV ισχύει ότι ανά έτος παρατηρούνται περίπου 3-4.000 βλάβες και τελικά βγαίνουν εκτός λειτουργίας σε ετήσια βάση περίπου 500 από αυτούς. Για τους συγκεκριμένους μετασχηματιστές προβλέπεται η συλλογή τους ανά περιφέρεια σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα όπου ειδικά για τους Μ/Σ ελαίου πριν μεταφερθούν βγαίνει το λιπαντικό της μόνωσης.

5.3 Συλλογή Δεδομένων για την Εφαρμογή των Μεθόδων Product Design Matrix, Environmental Effect Analysis και Smart EcoDesign Electronics Strategy Wheel

Για την καταρχήν εφαρμογή των τριών πρώτων μεθόδων σχεδίασης που παρουσιάστηκαν έγινε προσπάθεια να συλλεχθούν δεδομένα μέσα από την υπάρχουσα βιβλιογραφία καθώς και από συζητήσεις με άτομα που έχουν σχέση με τη χρήση και τη μελέτη μετασχηματιστών. Τα δεδομένα που συλλέχθησαν καταχωρήθηκαν σε κόλλες αναφοράς που περιείχαν τα βασικά σημεία μελέτης που δόθηκε βαρύτητα να ερευνηθούν. Τα συγκεκριμένα έγγραφα αν και αποτελούν μια απλοϊκή μορφή εφαρμογής DfE εργαλείου εντούτοις είναι χρήσιμα γιατί μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για μελλοντική πιο εντατική έρευνα στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Παρόλα αυτά θα πρέπει να γίνει ξεκάθαρο ότι ανάλογες προσπάθειες αναφορών, με απλή παράθεση παραμέτρων και προτάσεων που ενδέχεται να βελτιώνουν την περιβαλλοντική συμπεριφορά ενός προϊόντος, θα πρέπει να αναπτύσσονται σε συστηματική βάση μέσα στην εταιρεία και συγκεκριμένα μέσα από τη διαδικασία ανάπτυξης του συγκεκριμένου προϊόντος γιατί αλλιώς το πιθανότερο είναι να μην είναι αποδοτική η εφαρμογή τους.

Το πρώτο σημείο που θα πρέπει να προσεχθεί κατά τη σύνταξη ενός εγγράφου ελέγχου σχεδιαστικών παραμέτρων ενός προϊόντος είναι να διασφαλίζει ότι οι σχεδιαστές κάνουν τις σωστές κινήσεις προκειμένου να πετύχουν συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς στόχους. Δεύτερον θα πρέπει να μη συντάσσεται απλά μια λίστα με προτάσεις και να δίδεται στους σχεδιαστές προς εφαρμογή γιατί αυτό θα τους μπερδέψει όσον αφορά το πότε και το πως να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη λίστα. Στο σημείο αυτό χρειάζεται να γίνουν συγκεκριμένες ενέργειες προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι σχεδιαστές έχουν λάβει έγκαιρα σε σχέση με την πορεία ανάπτυξης του προϊόντος τα προτεινόμενα μέτρα προκειμένου να συμπεριλάβουν θετικές προς το περιβάλλον προτάσεις σχεδίασης.

Για παράδειγμα η Black & Decker μετά από έρευνα και εφαρμογή μεθόδων σχεδίασης με βάση το περιβαλλοντικό όφελος έχει αναπτύξει και εφαρμόζει τις εξής βασικές σχεδιαστικές αρχές με βάση το περιβαλλοντικό όφελος:

- Μείωση του πλήθους διαφορετικών υλικών.
- Μείωση των χρησιμοποιούμενων ποσοτήτων των πρώτων υλών εξαλείφοντας ή μειώνοντας επιμέρους εξαρτήματα.
- Μείωση των ποσοτήτων των υλικών που πετάγονται κατά τη φάση της κατασκευής και διαλέγοντας υλικά και διαδικασίες παραγωγής που είναι λιγότερο επικίνδυνες.
- Αύξηση της ανακυκλωσιμότητας και του βαθμού διαχωρισμού των επιμέρους υλικών.
- Μείωση του χρόνου αποσυναρμολόγησης του προϊόντος.
- Μείωση της ενέργειας που απαιτεί το προϊόν κατά τη χρήση του.

Για τον τριφασικό μετασχηματιστή που μελετήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία συντάχθηκε μια καταρχήν λίστα με τα επιμέρους τμήματά του με βάση την οποία και προέκυψαν τα σημεία προς παραπέρα μελέτη σε πρώτη φάση τα οποία φαίνονται επίσης στη συνέχεια:

Πίνακας 3: Τμήματα Μετασχηματιστή

Μεταλικά μέρη **(Metal parts)**	Φύλλα χάλυβα (Sheet steel)
Ηλεκτρικά μέρη **(Electrical parts)**	Καλωδιώσεις δηλαδή καλώδια ή φύλλα από χαλκό ή αλουμίνιο (Windings: wire or sheet of copper or aluminum) Πυρήνας που αποτελείται από πυριτιούχο μαγνητικό χάλυβα ή χάλυβα με άλλες προσμίξεις (Core - magnetic steel: silicon steel and others)
Σύστημα μόνωσης **(Insulating system)**	Τύπου ελαίου μεταλικού ή φυτικού (Oil type: mineral oil, vegetable oil) Ξηρού τύπου εποξικής ρητίνης (Dry type epoxy resin)

Με βάση την παραπάνω διακριτοποίηση η μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε πρώτη φάση εστιάζεται στις εξής παραμέτρους:

Πίνακας 4.

Παράμετροι προς μελέτη	**Υπάρχουσα κατάσταση**
Χρησιμοποιούμενα στερεά υλικά	Χαλκός: Χρησιμοποιείται σε μορφή φύλλων ή καλωδίων στην κατασκευή των πηνίων ορθογωνικής διατομής. Πρόκειται για πολύτιμο μέταλλο που συμβάλει στη βέλτιστη απόδοση του μετασχηματιστή οπότε προτιμάται η χρήση του. Η αποδοτικότητα ενός μετασχηματιστή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την καθαρότητα του χρησιμοποιούμενου χαλκού καθώς και από τον τρόπο με τον οποίο τα πηνία συναρμολογούνται και τοποθετούνται μέσα σε αυτόν. Έχει

	πολύ υψηλή αγωγιμότητα. Σε σύγκριση με το αλουμίνιο η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι περίπου στο 62% της αγωγιμότητας του χαλκού. Το αλουμίνιο ζυγίζει λιγότερο λόγω της μεγάλης διαφοράς στην πυκνότητά του. Από την άλλη τα καλώδια του χαλκού είναι μικρότερων διαστάσεων. Η ογκομετρική αγωγιμότητα και η αντοχή του αλουμινίου είναι πολύ μικρότερη από αυτήν του χαλκού. Αυτό σημαίνει ότι ένας μετασχηματιστής αλουμινίου που θα έχει ανάλογη απόδοση με μία μονάδα 400 MVA χαλκού θα είναι τεραστίων διαστάσεων γεγονός που επιβαρύνει το κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης καθώς και απαιτούμενου χώρου. Αν και οι μετασχηματιστές αλουμινίου είναι πιο φτηνοί η διαφορά είναι μικρή για μεσαίες και μεγάλες μονάδες. Επίσης προτιμάται ο χαλκός σε σημεία συνδέσεων γιατί οι συνδέσεις χαλκού είναι σταθερές και δεν έχουν προβλήματα διάβρωσης οπότε έχουν μεγαλύτερη αντοχή. <u>Χάλυβας</u>: Πρόκειται για υλικό που κύρια χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικές μηχανές, μετασχηματιστές και γεννήτριες λόγω της δύναμης, διάρκειας και σταθερότητας που έχει. Επίσης έχει συγκεκριμένες επιθυμητές μαγνητικές ιδιότητες όπως μικρές απώλειες στον πυρήνα και υψηλή διαπερατότητα.

Προτάσεις – Θέματα για παραπέρα μελέτη

Οι ερευνητικές τάσεις στους μετασχηματιστές σήμερα όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι η μείωση στο μέγιστο βαθμό των τμημάτων από πλαστικό ή από ξύλο. Επιθυμητή είναι η χρήση χαλκού, αλουμινίου, χάλυβα και κραμάτων τους που ανακυκλώνονται σε μεγάλο βαθμό και με χαμηλό κόστος.

Όσον αφορά το χάλυβα πρόκειται για ένα υλικό που ανακυκλώνεται εύκολα από οποιοδήποτε προϊόν και αν προέρχεται με μικρό κόστος. Επίσης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί με επικαλύψεις διαφόρων τύπων (οργανικές ή μη-οργανικές) προκειμένου να μειωθεί η φθορά του από διάβρωση ή σκουριά. Η επιλογή εδώ γίνεται και σε συνδυασμό με τη μελέτη των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται.

Όσον αφορά το χαλκό προέρχεται από δύο πηγές είτε από εξαγωγή από τη φύση και επεξεργασία είτε από ανακύκλωση που μπορεί να είναι από άλλα προϊόντα (δευτερογενή παραγωγή) είτε από λιώσιμο χάλκινων εξαρτημάτων που έχουν περιέλθει σε αχρηστία. Είναι 100% ανακυκλώσιμο υλικό, χρησιμοποιείται εδώ και 10.000 χρόνια περίπου ενώ η εκτιμώμενη ποσότητά του υπολογίζεται σε περίπου 2,6 τρισεκατομμύρια κιλά. Από τα γνωστά αποθέματα έχει εξαχθεί μέχρι σήμερα το 12% ενώ περίπου το 80% από τον χαλκό που έχει εξαχθεί εδώ και 10.000 χρόνια χρησιμοποιείται ως σήμερα. Ανάμεσα στο χρονικό διάστημα 1949 – 1999 η ζήτηση για ανακυκλωμένο χαλκό αυξήθηκε περίπου 300% ενώ υπολογίζεται ότι από τις σημερινές απαιτήσεις για χαλκό ποσοστό περίπου 33% καλύπτεται από ανακύκλωση. Επίσης βασικά πλεονεκτήματα που έχει και συμβάλουν στη θετική

συνεισφορά του για την προστασία του περιβάλλοντος είναι ότι τόσο ο χαλκός όσο και τα κράματά του μπορούν να ανακυκλωθούν αμέτρητες φορές ενώ η απαιτούμενη ενέργεια για την ανακύκλωσή του είναι πολύ μικρότερη από την απαιτούμενη ενέργεια για την επεξεργασία του από την αρχική μορφή του μεταλλεύματος. Με βάση όλα τα παραπάνω είναι βέβαιο ότι η χρησιμοποίησή του στους μετασχηματιστές θα συνεχίσει να γίνεται και μετά την εφαρμογή μεθόδων σχεδίασης με βάση την ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος.	
Χρησιμοποιούμενα υγρά υλικά	Έλαια: Συνθετικά (σιλικονούχα) ή ορυκτά έλαια χρησιμοποιούνται ως μονωτικά μέσα. Τα έλαια είναι καλύτερα ψυκτικά και μονωτικά μέσα από τον αέρα που χρησιμοποιείται στους μετασχηματιστές ξηρού τύπου. Επίσης στους μετασχηματιστές που χρησιμοποιούν ως μονωτικά μέσα έλαια το ενεργό μέρος τους (πυρήνας και καλωδιώσεις) έχουν μικρότερες διαστάσεις (άρα απαιτείται μικρότερη χρήση υλικών και παρατηρούνται μικρότερες απώλειες).
Προτάσεις – Θέματα για παραπέρα μελέτη	
Το ορυκτέλαιο είναι λάδι χαμηλής τοξικότητας και σε ποσοστό περίπου 25% βιοδιασπάσιμο. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (περίπου 150° C) αναφλέγεται οπότε απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων ασφαλείας που αυξάνουν το εμπλεκόμενο κόστος. Σε μετασχηματιστές με σιλικονούχο λάδι έχουν παρατηρηθεί πολλές φορές προβλήματα στην παρεχόμενη αξιοπιστία τους μετά τα 30 έτη λειτουργίας ενώ βασικό μειονέκτημα σε αυτόν τον τύπο ελαίου είναι ότι δεν είναι βιοδιασπάσιμο. Στο θέμα των χρησιμοποιούμενων ελαίων υπάρχει σημαντική ερευνητική δραστηριότητα τη σημερινή εποχή [8], [9]. Μέσα από αυτές τις προσπάθειες και πολλές άλλες έχουν αναπτυχθεί έλαια από φυσικούς εστέρες που δημιουργούνται από βρώσιμες ελιές ή από σόγια ή από άλλες φυτικές πηγές. Βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι ότι σε ποσοστό σχεδόν 100% είναι βιοδιασπάσιμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αναμεμιγμένα με ορυκτέλαια ή συνθετικούς εστέρες και έχουν υψηλό βαθμό ανάφλεξης (πάνω από 300° C).	

Συμπληρωματικές παράμετροι που επίσης χρειάζεται να μελετηθούν επειδή επηρεάζουν την περιβαλλοντική συμπεριφορά του τελικού προϊόντος είναι και οι εξής:

Πίνακας 5:

Παράμετροι	**Υπάρχουσα κατάσταση**
Χρόνος ζωής	Είναι μεγαλύτερος των 20 ετών υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας. Μέσος όρος 25-30 έτη. Εξαρτάται από το είδος του

	μετασχηματιστή, τη χρήση του καθώς και τη συντήρησή του. Σε βέλτιστες συνθήκες υπάρχουν μετασχηματιστές που λειτουργούν ακόμα και μετά τα 50 έτη.
Προτάσεις – Θέματα για παραπέρα μελέτη	
Εδώ το τι θα οδηγήσει σε μεγαλύτερο περιβαλλοντικό όφελος δεν είναι ξεκάθαρο και χρειάζεται παραπέρα διερεύνηση. Και αυτό γιατί η μείωση του χρόνου ζωής θα οδηγήσει στην αύξηση των μετασχηματιστών που θα αποσύρονται κάθε χρόνο ενώ η αύξηση του χρόνου ζωής θα οδηγήσει σε μετασχηματιστές που στη φάση της απόσυρσής τους θα έχουν σε μεγαλύτερο βαθμό υποβαθμισμένα υλικά οπότε θα είναι πιο δύσκολη και λιγότερο αποδοτική η παραπέρα διαχείρισή τους. Επίσης στην τυχόν επιθυμία αύξησης του χρήσιμου χρόνου ζωής θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη χρήση όλο και περισσότερων μετασχηματιστών μεγαλύτερης ηλικίας και παλαιότερης τεχνολογίας.	
Συντήρηση	Θεωρητικά γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα από εξειδικευμένα συνεργεία που ελέγχουν αν υπάρχουν αστοχίες υλικών, ανάγκη για αντικατάσταση επιμέρους τμημάτων, μονωτικών υγρών, κ.λπ. Σημαντικό είναι όμως ότι κατά τη συντήρηση ελέγχονται και τα συστήματα ασφαλείας για το κατά πόσο θα λειτουργήσουν αν υπάρξει ανάγκη να τεθούν σε λειτουργία ή στο χειρότερο σενάριο που τίποτα από τα παραπάνω δεν λειτουργεί να μπουν σε λειτουργία κατασταλτικά συστήματα ώστε να περιοριστεί η φωτιά που εκδηλώνεται με την αναπόφευκτη έκρηξη.
Προτάσεις – Θέματα για παραπέρα μελέτη	
Σε κάθε περίπτωση είτε περιβαλλοντικής είτε μη-περιβαλλοντικής σχεδίασης η συντήρηση ενός μετασχηματιστή είναι απαραίτητη από τη στιγμή που βελτιώνει την απόδοσή του και το κυριότερο προφυλλάσει από ενδεχόμενους κινδύνους. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις στην Ελλάδα ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, που υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση ρεύματος από τη ΔΕΗ, να τίθενται μετασχηματιστές εκτός λειτουργίας ή ακόμα χειρότερα σε σπάνιες ευτυχώς περιπτώσεις να γίνονται εκρήξεις μετασχηματιστών από τη λειτουργία τους πέρα των προδιαγραφών, την ανεπαρκή ή κακή συντήρησή τους και τη μη-λειτουργία των συστημάτων ασφαλείας που αν και θεωρητικά διαθέτουν δεν ελέγχεται ποτέ αν λειτουργούν (πχ. 08/2004 έκρηξη μετασχηματιστή στο Κερατσίνι, 17/2/2006 έκρηξη μετασχηματιστή στον Άγιο Στέφανος Αττικής, 28/6/2007 έκρηξη μετασχηματιστή στο Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης, 22 και 26/2/09 έκρηξη μετασχηματιστή στην Κεφαλονιά, κ.λπ.).	
Διαστάσεις - Βάρος	Εξαρτάται από το είδος του μετασχηματιστή. Γενικά πρόκειται για συσκευές μεγάλων διαστάσεων και βάρους.
Προτάσεις – Θέματα για παραπέρα μελέτη	
Για προφανείς λόγους γίνονται προσπάθειες όλα τα χρόνια για μείωση του βάρους και των διαστάσεων που έχουν ως επακόλουθο περιβαλλοντικό όφελος τη μείωση των υλικών προς διαχείριση μετά το τέλος της χρήσιμης ζωής τους.	

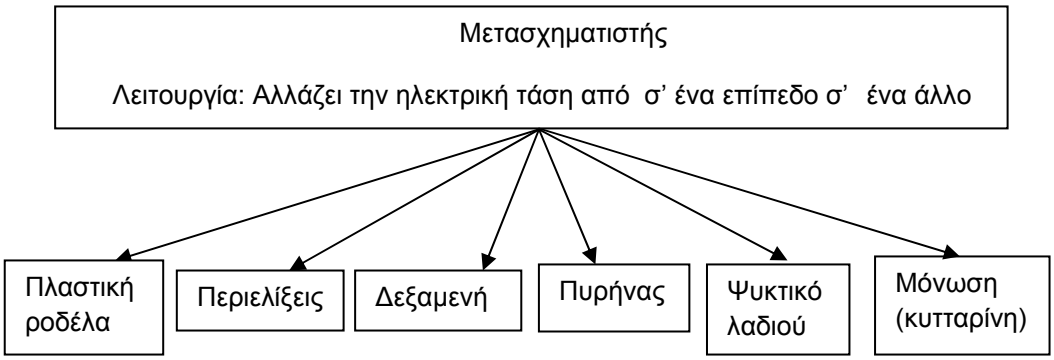
Με βάση τα παραπάνω ως βασικοί στόχοι στη σχεδίαση των μετασχηματιστών είναι η κατασκευή μετασχηματιστών με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Να είναι χαμηλών απωλειών.
- Να είναι χαμηλού θορύβου κατά τη λειτουργία τους.
- Να έχουν το ελάχιστο δυνατό κόστος σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους.
- Να έχουν την ελάχιστη επιβάρυνση προς το περιβάλλον σε όλα τα στάδια της ζωής τους.
- Να εμπεριέχουν μικρό κίνδυνο φωτιάς
- Να χρησιμοποιούν στο μέγιστο βαθμό μη-τοξικά βιοδιασπάσιμα ή ανακυκλώσιμα υλικά.

Με βάση τα παραπάνω είναι φανερό πως απαιτείται μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση για τη διατύπωση ασφαλών προτάσεων προς τη σχεδίαση που θα συμβάλουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς ενός μετασχηματιστή. Θετικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι με τα χρόνια όλο και περισσότερο δίνεται σημασία και στα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλεί η λειτουργία των μετασχηματιστών καθώς και η μετέπειτα απόσυρσή τους και παραπέρα διαχείρισή τους.

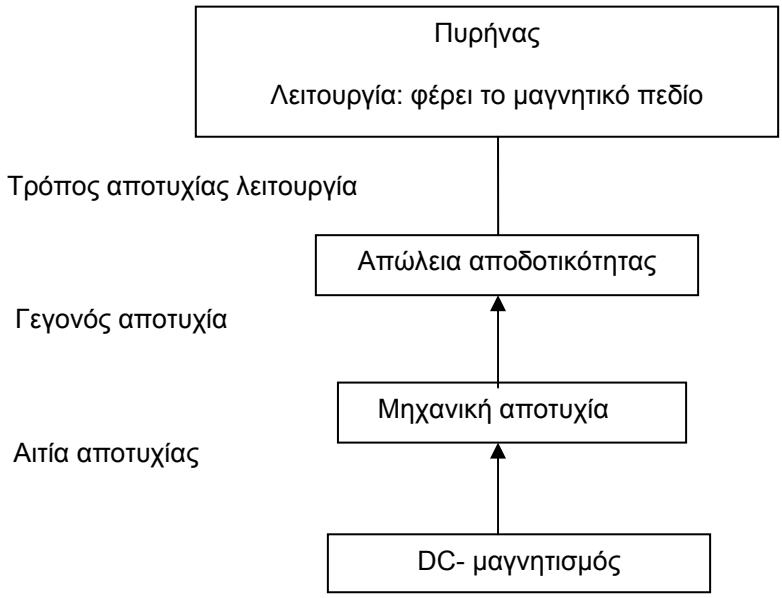
5.4 Εφαρμογή Μεθόδου FMEA

Προκειμένου να αναλυθεί ένας μετασχηματιστής και να διαμορφωθεί το δέντρο ελαττωμάτων του, χρειάζεται να διαιρεθεί στα επιμέρους εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται. Αυτά είναι οι περιελίξεις, η δεξαμενή, οι δακτύλιοι, η απομόνωση κυτταρίνης, το δοχείο ψύξης και η μόνωση πετρελαίου όπως φαίνονται και στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 5.1: Δέντρο ελαττωμάτων για έναν μετασχηματιστή, τα μέρη του μετασχηματιστή

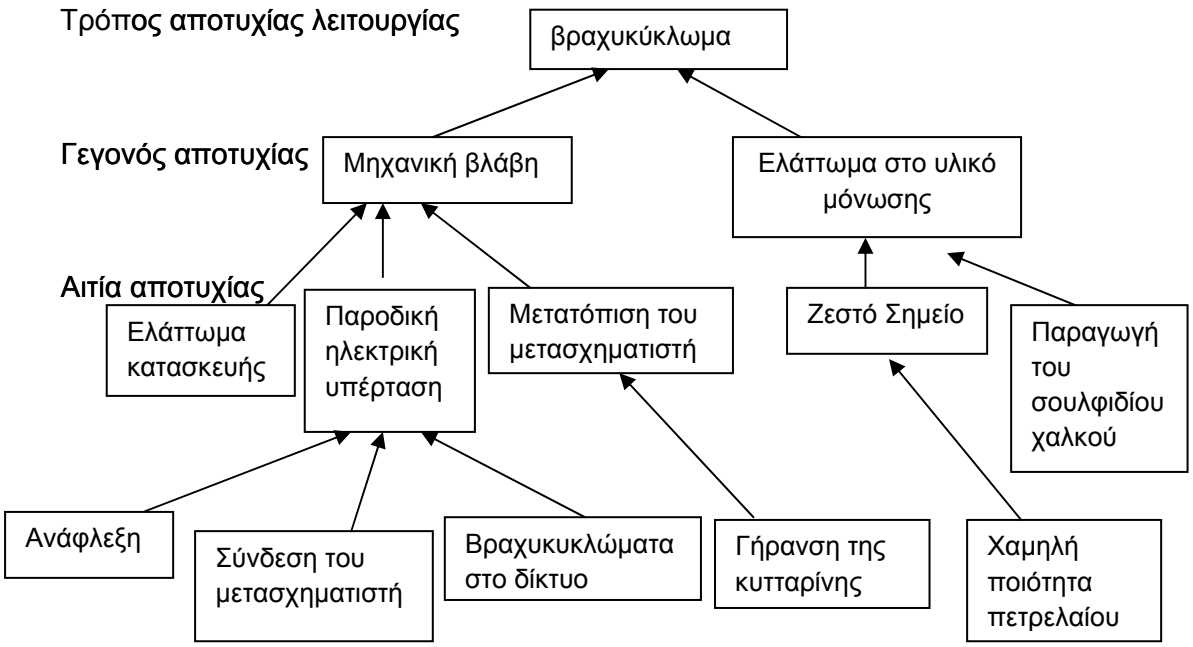
Πυρήνας: Η λειτουργία του πυρήνα είναι να μεταφέρει τη μαγνητική ροή. Το αποτέλεσμα που προέρχεται από την αποτυχία αυτής της λειτουργίας είναι η μείωση της αποδοτικότητας του μετασχηματιστή. Η αιτία μπορεί να είναι ένα μηχανικό ελάττωμα στον πυρήνα, λόγω του DC - μαγνητισμού ή της μετατόπισης του χάλυβα των πυρήνων κατά τη διάρκεια της κατασκευής, δηλ. ένα ελάττωμα κατασκευής. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το δέντρο ελαττωμάτων για τον πυρήνα.



Εικόνα 5.2: Δέντρο ελαττωμάτων για τον πυρήνα.

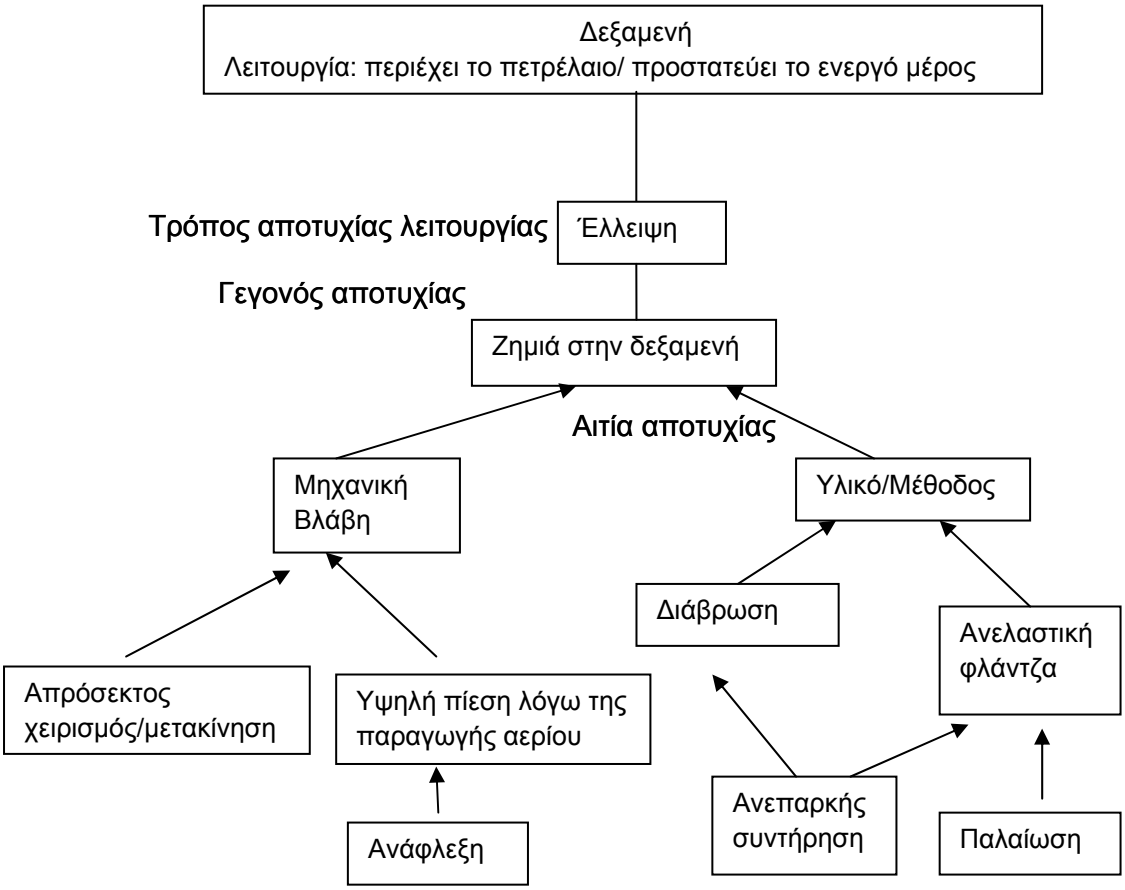
Περιελίξεις: Οι περιελίξεις ανήκουν στο ενεργό μέρος ενός μετασχηματιστή, και η λειτουργία τους είναι να φέρουν το ρεύμα. Οι περιελίξεις τοποθετούνται ως κυλινδρικά κοχύλια γύρω από το άκρο των πυρήνων, όπου κάθε σκέλος είναι τυλιγμένο με μονωτικό υλικό. Ο χαλκός είναι σήμερα η αρχική επιλογή ως υλικό τυλίγματος. Εκτός από τις διηλεκτρικές πιέσεις και τις θερμικές απαιτήσεις οι περιελίξεις πρέπει να αντέχουν τις μηχανικές δυνάμεις που μπορούν να προκαλέσουν την μετατόπιση των περιελίξεων. Τέτοιες δυνάμεις μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια αστραπών, βραχυκυκλωμάτων στον δίκτυο ή κατά τη διάρκεια μιας μετακίνησης του μετασχηματιστή.

Ένα ελάττωμα στις περιελίξεις μπορεί να εμφανιστεί λόγω των ελαττωμάτων στα υλικά της μόνωσης κυτταρίνης.



Εικόνα 5.3: Δέντρο ελαττωμάτων για τις περιελίξεις

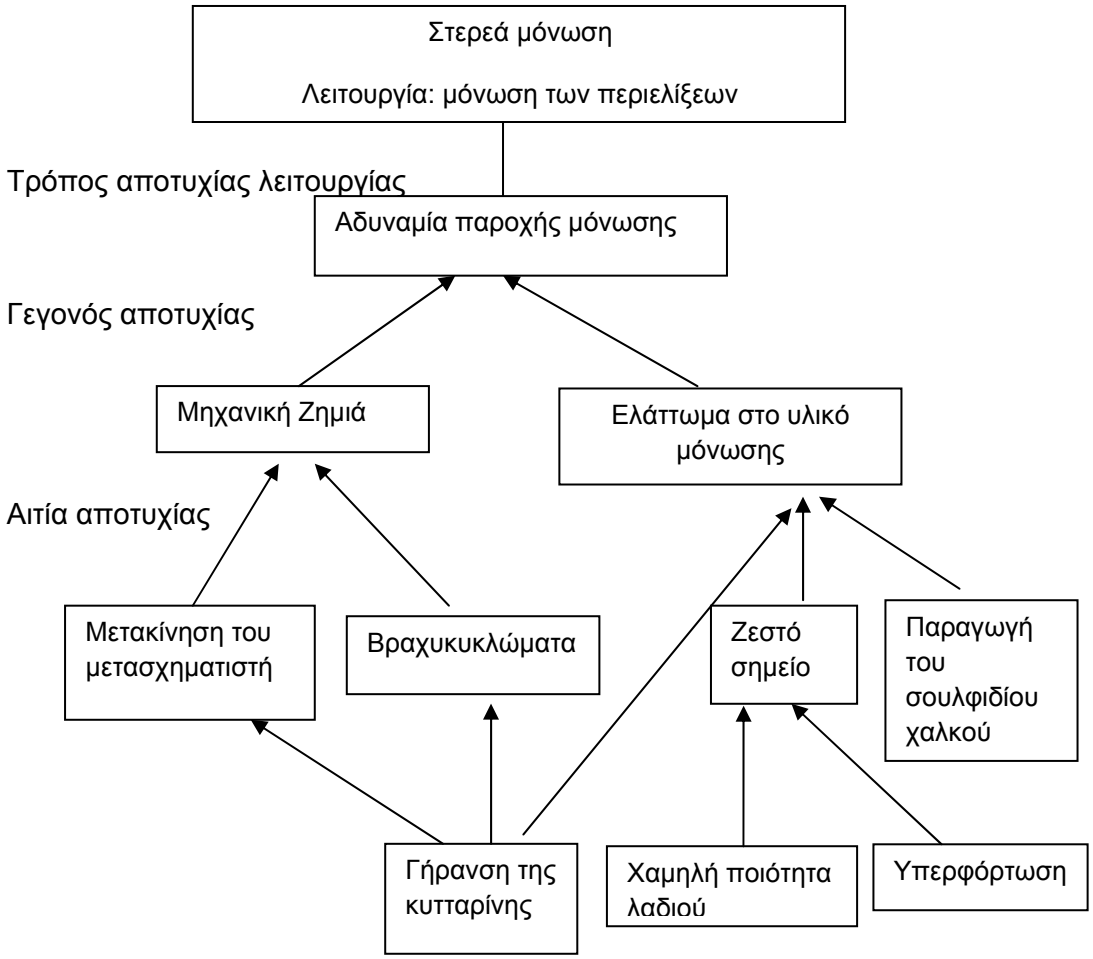
Δεξαμενή: Η δεξαμενή είναι πρωτίστως το κοντέινερ του πετρελαίου και μια φυσική προστασία για το ενεργό μέρος του μετασχηματιστή. Χρησιμεύει επίσης ως δομή στήριξης για τα εξαρτήματα και τον εξοπλισμό ελέγχου. Η δεξαμενή πρέπει να αντισταθεί στις περιβαλλοντικές πιέσεις, όπως η διαβρωτική ατμόσφαιρα, η υψηλή υγρασία και η ηλιακή ακτινοβολία. Η δεξαμενή πρέπει να επιθεωρείται για διαρροές ελαίου, υπερβολική διάβρωση, βαθουλώματα, και άλλα σημάδια από απότομο ή κακό χειρισμό. Μία εσωτερική δυσμορφία στο μετασχηματιστή λαδιού μπορεί αμέσως να ατμοποιήσει το πετρέλαιο που βρίσκεται τριγύρω το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές πιέσεις αερίου και να προκαλέσουν σπάσιμο της δεξαμενής. Στο σχήμα 5.4 δίνεται ένα δέντρο ελαττωμάτων για τη δεξαμενή.



Εικόνα 5.4: Δέντρο ελαττωμάτων για τη δεξαμενή

Στερεά μόνωση: Η στερεά μόνωση σε έναν μετασχηματιστή προέρχεται από προϊόντα που έχουν ως βάση την κυτταρίνη. Η λειτουργία της είναι να παράγει τη διηλεκτρική και μηχανική μόνωση στις περιελίξεις. Η κυτταρίνη αποτελείται από μακριές σειρές δαχτυλιδιών γλυκόζης. Όταν γίνεται υποβάθμιση της κυτταρίνης οι αλυσίδες αυτές μικραίνουν. Η στερεά μόνωση είναι η πιο αδύνατη σύνδεση στο σύστημα μόνωσης μετασχηματιστών, λόγω της μη αντιστρεψιμότητας της υποβάθμισης της κυτταρίνης και συχνά δεν δικαιολογείται οικονομικά να αντικατασταθεί. Η γήρανση της κυτταρίνης επιταχύνεται από το νερό, το οξυγόνο και τη θερμότητα.

Το σχήμα 5.5 παρουσιάζει το δέντρο ελαττωμάτων της κυτταρίνης.



Εικόνα 5.5: Δέντρο ελαττωμάτων για την απομόνωση κυτταρίνης

Μόνωση δοχείων ψύξης και πετρελαίου: Οι λειτουργίες της μόνωσης δοχείων ψύξης και πετρελαίου είναι δύο. Ψύξη του ενεργού μέρους του μετασχηματιστή, και τοποθέτηση ηλεκτρικής μόνωσης μεταξύ των διαφορετικών εξαρτημάτων. Στο σχήμα 5.6 δίνεται το δέντρο ελαττωμάτων του πετρελαίου.

Δοχείο ψύξης: Το σύστημα ψύξης μπορεί να βασιστεί είτε σε φυσική είτε σε εξαναγκασμένη κυκλοφορία του ελαίου και του αέρα είτε του νερού. Εάν το σύστημα ψύξης είναι βασισμένο στη φυσική κυκλοφορία του πετρελαίου και του αέρα, δεν υπάρχουν αντλήσεις ή εξανεμίσεις. Στην ακόλουθη παρουσίαση υποτίθεται ότι η κυκλοφορία ελαίου και αέρα ή νερού εξαναγκάζεται από τις αντλίες.

Η λειτουργία του δοχείου ψύξης είναι να ψύχει το ενεργό μέρος του μετασχηματιστή. Το δοχείο ψύξης μπορεί να είναι ανίκανο να ψύξει λόγω απουσίας πετρελαίου. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω δύο αιτιών ελαττωμάτων. Είτε λόγω της δυσλειτουργίας της κυκλοφορίας πετρελαίου, είτε λόγω πάρα πολύ υψηλής θερμοκρασίας στο δεύτερο μέσο ψύξης, του αέρα ή του νερού. Το πρώτο μπορεί να προκληθεί από την αποτυχία της αντλίας πετρελαίου ή από ρύπους και μόρια στο πετρέλαιο, το οποίο

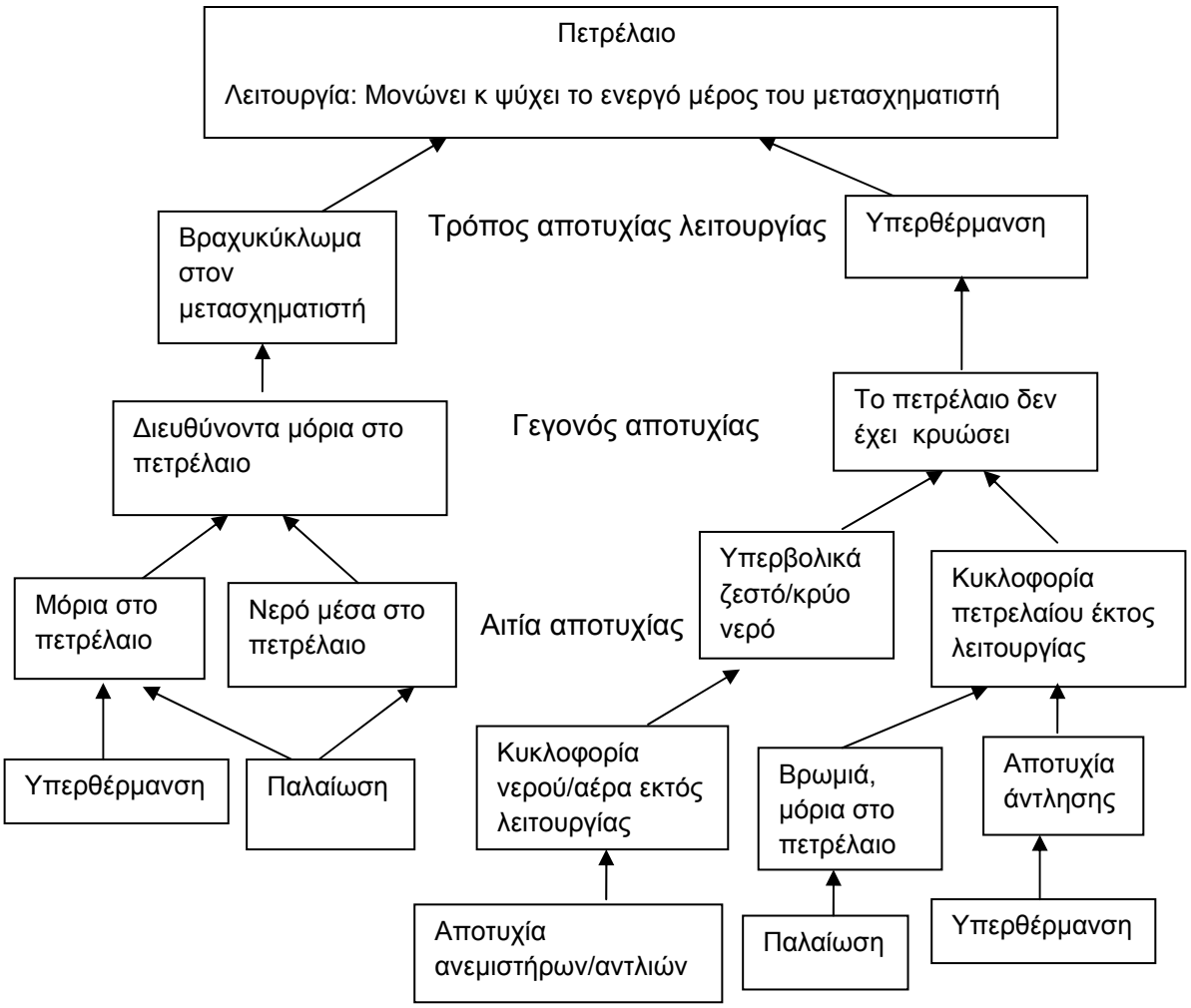
αυξάνουν το ιξώδες του πετρελαίου. Τα μόρια μπορούν να αναπτυχθούν στο πετρέλαιο λόγω της γήρανσης.

Στους μετασχηματιστές με την εξαναγκασμένη κυκλοφορία πετρελαίου, υπάρχει κίνδυνος η αντλία να σπάσει. Εάν η αντλία δεν είναι ικανή να κυκλοφορήσει το πετρέλαιο, η θερμοκρασία πετρελαίου μέσα στον μετασχηματιστή πρώτα θα αυξηθεί και υπάρχει κίνδυνος να υπερθερμανθεί ο μετασχηματιστής

Πολύ υψηλή θερμοκρασία στο δεύτερο μέσο ψύξης, προκαλείται από την κακή κυκλοφορία αέρος / ύδατος λόγω της αποτυχίας του ανεμιστήρα ή της αντλίας. Υψηλή θερμοκρασία έξω από το μετασχηματιστή μπορεί να είναι η αιτία της υψηλής θερμοκρασίας του ψυχρού αέρα.

Μόνωση πετρελαίου: Το πετρέλαιο των μετασχηματιστών είναι ένα ιδιαίτερα εξευγενισμένο προϊόν από ορυκτά ακατέργαστο πετρέλαιο και αποτελείται από σύνθεση υδρογονανθράκων από τα οποία τα πιο κοινά είναι η παραφίνη, η κυκλοπαραφίνη και τα αρωματικά πετρέλαια. Το πετρέλαιο χρησιμεύει και ως μέσο ψύξης και ως μέρος του συστήματος μόνωσης. Η ποιότητα του πετρελαίου επηρεάζει πάρα πολύ τη μόνωση και τις ψυχραντικές ιδιότητες του μετασχηματιστή. Οι σημαντικότερες αιτίες της φθοράς του πετρελαίου οφείλονται στην υγρασία και το οξυγόνο που συνδέονται με τη θερμότητα.

Μια άλλη λειτουργία του πετρελαίου είναι να κορώσει τη κυτταρίνη και να την απομονώσει μεταξύ των διαφορετικών μερών στο μετασχηματιστή. Εάν η απομόνωση δεν συμβεί τότε έχουμε βραχυκύκλωμα. Ένα βραχυκύκλωμα μπορεί να εμφανιστεί εάν υπάρχουν παρόντα διευθύνοντα μόρια στο πετρέλαιο. Τα διευθύνοντα μόρια είναι παραδείγματος χάριν το νερό, το οποίο εμφανίζεται στο πετρέλαιο ως αποτέλεσμα της διαδικασίας γήρανσης της κυτταρίνης, και άλλα μόρια, παραδείγματος χάριν το μέταλλο, του οποίου τα μόρια είναι επίσης αποτέλεσμα της γήρανσης.



Εικόνα 5.6: Δέντρο ελαττωμάτων για τη μόνωση πετρελαίου

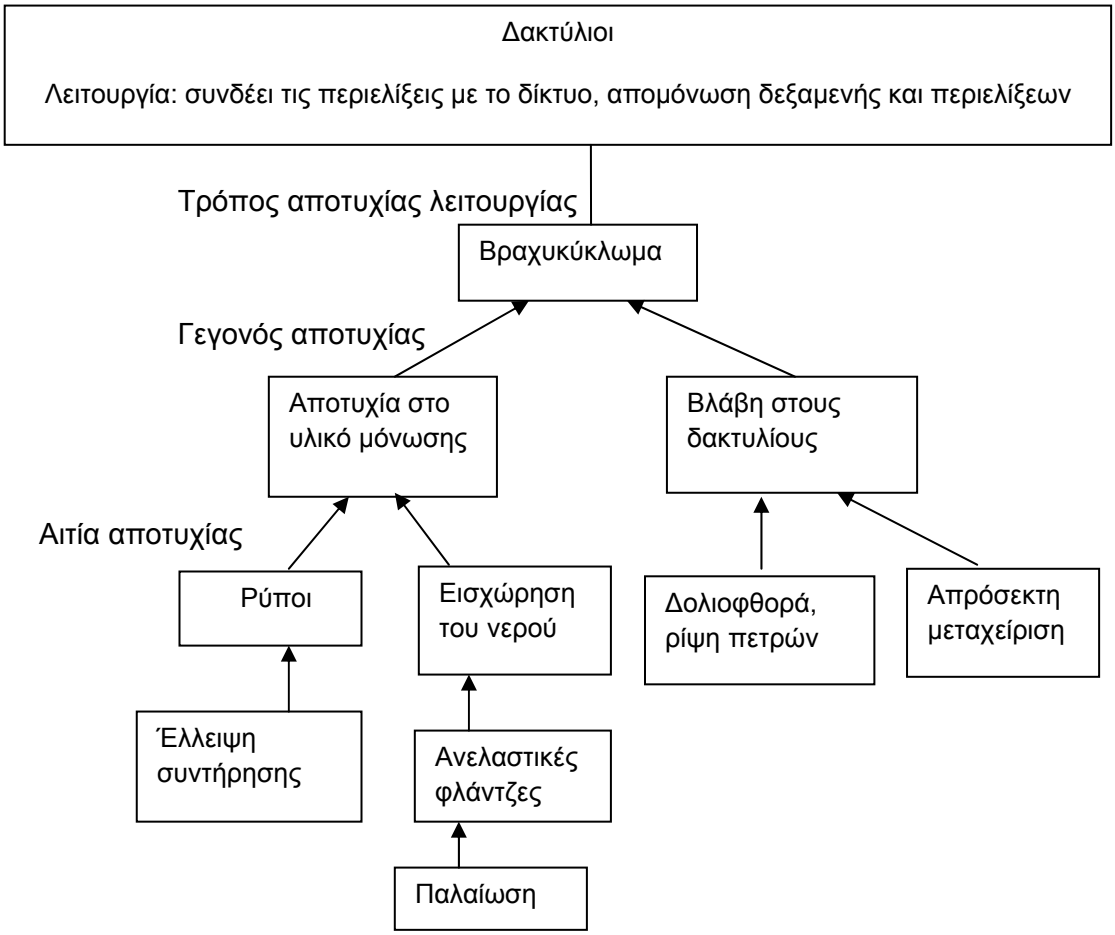
Δακτύλιοι: Υπάρχουν πολλά είδη δακτυλίων, και ταξινομούνται είτε σύμφωνα με το υλικό απομόνωσης στις άκρες, είτε μέσα στους δακτυλίους είτε στην κατασκευή. Οι δακτύλιοι σ' ένα μετασχηματιστή λαδιού είναι δακτύλιοι αέρα-λαδιού, που σημαίνει ότι το υλικό απομόνωσης στις άκρες είναι αέρας και στο υπόλοιπο πετρέλαιο. Η λειτουργία των δακτυλίων είναι να απομονωθούν ηλεκτρικά μεταξύ της δεξαμενής και των περιελίξεων και να συνδεθούν οι περιελίξεις με το ηλεκτρικό σύστημα έξω από το μετασχηματιστή. Το σχήμα 5.7 παρουσιάζει δέντρο ελαττωμάτων για το δακτύλιο.

Ο κύριος τρόπος αποτυχίας του δακτυλίου είναι το βραχυκύκλωμα. Ένα βραχυκύκλωμα στο δακτύλιο μπορεί είτε να συμβεί λόγω των ελαττωμάτων στα υλικά στην μόνωση είτε λόγω ζημίας. Μια ζημία στους δακτυλίους της πορσελάνης μπορεί να εμφανιστεί λόγω σεισμών ή δολιοφθοράς. Μια ζημία μπορεί επίσης να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια του χειρισμού, της διανομής του ή λόγω πεταμένων μερών από άλλο αποτυχημένο εξοπλισμό. Ένα ελάττωμα του υλικού στην μόνωση μπορεί να εμφανιστεί λόγω του νερού ή των ρύπων.

Είναι σημαντικό η φλάντζα μεταξύ της δεξαμενής του μετασχηματιστή και του δακτυλίου να είναι απολύτως σφιχτή έτσι ώστε καθόλου αέρας ή νερό να μην επιτρέπεται να εισέλθει στο μετασχηματιστή. Με την πάροδο του χρόνου η φλάντζα γίνεται ανελαστική και επιτρέπει την είσοδο στο νερό και τον αέρα. Νερό και ρύποι στους δακτυλίους είναι αποτέλεσμα ανεπαρκούς συντήρησης.

Οι περιοδικές επιθεωρήσεις και η συντήρηση γίνονται στους δακτυλίους προκειμένου να βρεθούν πιθανά προβλήματα. Είναι σημαντικό το επίπεδο πετρελαίου να παραμένει σε ένα κανονικό επίπεδο. Εάν το επίπεδο πετρελαίου μειώνεται είναι σημάδι διαρροής στο δακτύλιο. Εάν το επίπεδο πετρελαίου μειωθεί και ξεσκεπάσει τα μονωμένα μέρη αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διηλεκτρική αποτυχία στο δακτύλιο. Εάν η διαρροή είναι από την πλευρά του αέρα μπορεί να επιτρέψει στο νερό να εισέλθει στους δακτυλίους.

Εάν ο μετασχηματιστής είναι τοποθετημένος σε ένα ιδιαίτερα μολυσμένο περιβάλλον οι δακτύλιοι θα πρέπει να πλένονται τακτικά.



Εικόνα 5.7: Δέντρο ελαττωμάτων για τους δακτυλίους.

Με βάση τα παραπάνω, επίσης βασικά σημεία που θα πρέπει να προσεχθούν κατά τη σχεδίαση εφόσον το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης του μετασχηματιστή κατά τη λειτουργία του για το μεγαλύτερο δυνατό χρονικό διάστημα, είναι τα εξής:

- Υλικά, συνδέσεις, δεξαμενή καθώς και τα υπόλοιπα τμήματα του μετασχηματιστή θα πρέπει να ελέγχονται στην αρχή και σε τακτά χρονικά διαστήματα.
- Να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στα χρησιμοποιούμενα μονωτικά υλικά.
- Ο μετασχηματιστής και τα επιμέρους υλικά του θα πρέπει να προφυλάσσονται από εξωτερικούς παράγοντες όπως η υγρασία και οι ρύποι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΠΕΡΑ ΜΕΛΕΤΗ

Αυτή τη στιγμή σε παγκόσμιο επίπεδο υπολογίζεται ότι υπάρχουν παραπάνω από 100 εκατομμύρια μετασχηματιστές διανομής σε λειτουργία όπου οι περισσότεροι βρίσκονται σε κατοικημένες περιοχές. Η αύξηση της απόδοσής τους καθώς και η βέλτιστη σχεδίασή τους με συγκεκριμένα κριτήρια είναι δυνατό να δώσει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.

Με βάση αυτό το σκεπτικό έγινε μια παρουσίαση ορισμένων από τις υπάρχουσες μεθόδους σχεδίασης με κριτήριο το περιβαλλοντικό όφελος καθώς και παρουσίαση της top down analysis που μπορεί να συμβάλει στη βέλτιστη πορεία αποσυναρμολόγησης του προϊόντος όταν αυτό τεθεί εκτός χρήσης. Επίσης έγινε μια προκαταρκτική εφαρμογή των μεθοδολογιών που παρουσιάστηκαν σε έναν τριφασικό μετασχηματιστή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι εφόσον οι υπάρχουσες μεθοδολογίες εφαρμοστούν με συνέπεια από τις εταιρείες και αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα που θα δώσουν μαζί και με τα αποτελέσματα από την υπάρχουσα ερευνητική δραστηριότητα είναι δυνατό να προκύψουν σχέδια για ένα οποιοδήποτε προϊόν που θα βελτιώνουν τα υπάρχοντα σχέδια και χωρίς πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση όσον αφορά την περιβαλλοντική συμπεριφορά του σε όλες τις φάσεις της χρήσιμης ζωής του καθώς και μετά την απόσυρσή του από την αγορά.

Σε μελλοντική φάση επιθυμητό είναι να γίνει πλήρης εφαρμογή των παραπάνω μεθοδολογιών (τόσο της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης όσο και των μεθόδων σχεδίασης με βάση την περιβαλλοντική συμπεριφορά) σε συγκεκριμένα προϊόντα ώστε να συνταχθούν ολοκληρωμένες προτάσεις που θα μπορούσαν να συμβάλουν στη βελτίωση της σχεδίασής τους με απώτερο στόχο τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς τόσο κατά τη διάρκεια της χρήσιμης ζωής τους όσο και μετά κατά τη φάση της απόσυρσής τους από την αγορά και την παραπέρα πορεία τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιδαράκος Ε., Επικίνδυνα Απόβλητα, Διαχείριση, Επεξεργασία, Διάθεση, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη
2. Κατσίγιαννης Ι. Top-Down Design Methodology, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2003.
3. Brezet, Van Hemel, Smart EcoDesign. Electronics Strategy Wheel (source: LIDS Wheel: Ecodesign a Promising Approach), UNEP/Delft University.
4. Chapman S. J. Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC, 3η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, 2003
5. Graedel T.E., Allenby B.R. Industrial Ecology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995 (Copyright AT&T).
6. Kutz M., Environmentally Conscious Mechanical Design, John Wiley eds., 2007.
7. Lindahl M., Tingstrom J. A Small Textbook on Environmental Effect Analysis, University of Kalmar, Sweden, 2001.
8. Longva K. Distribution Transformers Improved Reliability and Environmental Safety, More Trafo AS, Norway, 2005
9. Wruss G. Environmentally – friendly Distribution Transformers, Va TECH ELIN Transformatoren GmbH & Co, 2002, Austria
10. Anna Franzén and Sabina Karlsson Failure Mode and Effects Analysis of transformers,Royal Institute of Technology, KTH School of Electrical Engineering RCAM, Stockholm, Sweden January 2007