

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ

ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε.Φ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<p>ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ</p>

ΕΚΠΟΝΗΣΗ

ΜΑΡΑΓΚΟΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΠΑΠΠΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΔΡΑΓΑΝΙΔΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΚΑΡΑΜΠΑΤΣΟΥ

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός

ΠΑΤΡΑ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	5
1.1 Γενικά	5
1.2 Στρατηγικές Συντήρησης	6
1.3 Η Σημαντικότητα της Συντήρησης	11
2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ	13
2.1 Σχεδιαστικές Προσεγγίσεις	13
2.2 Κύκλος Ζωής Προϊόντος	17
2.2 Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση	21
3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	25
4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ	36
4.1 Λογισμικό DFMA	36
4.2 Λογισμικό ATROID	38
4.3 Συμπεράσματα χρήσης λογισμικών	39
5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ	41
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ	50

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η βιβλιογραφική έρευνα σε μεθόδους και εργαλεία Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση (Design for Disassembly - DFD) με σκοπό τη συντήρηση (Maintenance). Η μέθοδος αυτή ανήκει στις μεθόδους Σχεδιασμού για x (Design For x - DFX) και πραγματοποιείται στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης ενός προϊόντος για την υποστήριξη των διαδικασιών συντήρησης.

Στο κεφάλαιο 1 αναφέρεται στο πρόβλημα της συντήρησης γενικά. Είναι σημαντική η αναφορά στην αναγκαιότητα της συντήρησης ενός προϊόντος για την σωστή και ασφαλή λειτουργία του. Στο ίδιο κεφάλαιο αναφέρονται οι στρατηγικές συντήρησης και η εξέλιξή τους. Τελειώνοντας, γίνεται αναφορά στη σημαντικότητα της συντήρησης ενός προϊόντος.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται εκτενής αναφορά στη μέθοδο Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση. Σε αυτό το σημείο εισάγονται ορισμένοι όροι όπως *Κύκλος Ζωής Προϊόντος (Product Life Cycle)* και *κανόνες Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση*.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται ερευνητικές εργασίες πάνω στο Σχεδιασμό για Αποσυναρμολόγηση μέσω των οποίων φαίνεται εύρος της μεθόδου και οι κλάδοι εφαρμογής του.

Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα δύο πιο βασικά λογισμικά εργαλεία DFD που είναι εμπορικά διαθέσιμα και ο τρόπος εφαρμογής του από σχεδιαστές.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μια αναφορά στις εφαρμογές που έχει η μέθοδος στη βιομηχανία.

Τα συμπεράσματα της έρευνας για την Μέθοδο Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση παρουσιάζονται στο 6ο κεφάλαιο.

Τέλος, στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας.

1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

1.1 Γενικά

Κάθε βιομηχανία έχει ως στόχο να παράγει προϊόντα που να καλύπτουν τις ανθρώπινες ανάγκες με το μικρότερο δυνατό κόστος και την καλύτερη ποιότητα. Κύριο έργο της συντήρησης είναι ο συνδυασμός των δύο παραπάνω απαιτήσεων και σκοπός της η οργάνωση και η εκτέλεση όλων των εργασιών που απαιτούνται ώστε να εξασφαλίζονται:

- 1) Η συνέχεια της λειτουργίας με βάση τις προδιαγραφές
- 2) Η συνέχεια της οικονομικής λειτουργίας
- 3) Η συνέχεια της οικονομικής λειτουργίας με το βέλτιστο αποτέλεσμα

Η συντήρηση είναι μια σειρά συγκεκριμένων ενεργειών που λαμβάνονται για να αποκαταστήσουν μια μηχανή στην πλήρη λειτουργική θέση. Αυτές οι ενέργειες μπορούν να περιλαμβάνουν τη συντήρηση, την ανίχνευση λαθών, την επιθεώρηση, τη ρύθμιση, την αφαίρεση και την αντικατάσταση, ή την επιτόπου επισκευή των εξαρτημάτων ή των συστημάτων σε μια μηχανή ή γενικότερα σε μια κατασκευή.

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το Σουηδικό Πρότυπο Λεξικό Συντήρησης SS-EN 13306, η συντήρηση ορίζεται ως:

«ο συνδυασμός όλων των τεχνικών και διοικητικών ενεργειών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός αντικειμένου, προκειμένου να το διατηρήσει ή να το επαναφέρει σε μια κατάσταση κατά την οποία θα εκτελεί μια απαιτούμενη λειτουργία.»

Τέλος, ένας ορισμός που σχετίζεται άμεσα με την συντήρηση και είναι απαραίτητο να δοθεί σε αυτό το σημείο είναι η *αξιοπιστία*. Η αξιοπιστία είναι η πιθανότητα που έχει η μηχανή ή μια κατασκευή να εκτελέσει την

προοριζόμενη λειτουργία της για ένα διευκρινισμένο διάστημα του χρόνου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας.

1.2 Στρατηγικές Συντήρησης

Η συντήρηση δημιουργήθηκε σαν άμεση συνέπεια της βιομηχανικής εποχής. Η συντήρηση δεν εξελίχθηκε παράλληλα με την τεχνική και τον προγραμματισμό της παραγωγής, επειδή η ποσότητα των αγαθών που παράγονται ήταν περιορισμένη και το προσωπικό παραγωγής είχε αρκετό χρόνο για να συντηρεί τις μηχανές και τις εγκαταστάσεις.

Η ζήτηση των πελατών προσδιόρισε μια αύξηση στην παραγωγή μέσα από την εκλογίκευση των διαδικασιών της παραγωγής και την εξέταση του κόστους αυτών των δραστηριοτήτων που επιδρούσαν στο συνολικό κόστος παραγωγής. Η συντήρηση άρχισε να αποκτά σπουδαιότητα όταν οι βιομηχανίες εφάρμοσαν το σύστημα παραγωγής, στο οποίο το σταμάτημα μιας μηχανής σήμαινε το σταμάτημα όλης της γραμμής. Οι υπεύθυνοι συντήρησης, μετά τα παραπάνω, προσπάθησαν να εφαρμόσουν μια μέθοδο που να προλαμβάνει τα σταματήματα, αντικαθιστώντας τα φθαρμένα κομμάτια πριν σπάσουν.

Επειδή στην αρχή δεν υπήρχε οργάνωση της συντήρησης για να ερευνήσει και να μελετήσει τις αιτίες του σπασίματος, τα κομμάτια αντικαθίστανται ανεξάρτητα από την κατάσταση της φθοράς τους ή την υπόλοιπη χρήσιμη ζωή τους. Οι επεμβάσεις αυτές προκαλούσαν σταματήματα της μηχανής, χρήση μεγάλου αριθμού προσωπικού και μεγάλη σπατάλη ανταλλακτικών.

Η αύξηση στα κόστη ανάγκασε τη βιομηχανία να δημιουργήσει, να μελετήσει και να εφαρμόσει τη σημερινή ιδέα για τον τομέα της συντήρησης. Η μοντέρνα συντήρηση έχει προχωρήσει σε πολλούς τύπους έρευνας για να προλαμβάνει τα

σταματήματα έτσι ώστε να μειώσει το χρόνο που προκαλεί το σταμάτημα στο ελάχιστο δυνατόν.

Σήμερα, διάφορα συστήματα όπως π.χ. εξέταση με υπέρυθρες ακτίνες, η ανάλυση των δονήσεων, η ανάλυση φθοράς κλπ. χρησιμοποιούνται εκτενώς. Ο στόχος όλων είναι να αναγνωρίσουν και να επιβεβαιώσουν την κατάσταση φθοράς ή και γήρανσης των μηχανημάτων και εγκαταστάσεων.

Ωστόσο για να έχουμε τη σωστή λειτουργία της συντήρησης θα πρέπει να ακολουθείται κάποια στρατηγική συντήρησης. Υπάρχουν τέσσερις βασικές στρατηγικές, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει ένα κύκλο ενεργειών και η επιλογή της κρίνεται από διάφορους παράγοντες. Οι στρατηγικές της συντήρησης είναι:

1. Αντιδραστική συντήρηση

Η αντιδραστική συντήρηση είναι γνωστή και ως διορθωτική συντήρηση. Βασίζεται στη θεωρία «άστο να εργάζεται μέχρι να σπάσει». Δεν γίνεται καμία ενέργεια σε ένα προϊόν πριν την αστοχία του. Στόχος της αντιδραστικής συντήρησης είναι να επαναφέρει το προϊόν σε καθορισμένη κατάσταση μετά την αστοχία του. Οι ενέργειες που γίνονται είναι:

- Καθορισμός βλάβης
- Εντοπισμός και απομόνωση
- Αποσυναρμολόγηση
- Αφαίρεση και αντικατάσταση ή επισκευή
- Επανα-συναρμολόγηση
- Έλεγχος και επιβεβαίωση λειτουργίας

Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Έχει λιγότερο αρχικό κόστος
- Απαιτεί λιγότερο προσωπικό

Τα μειονεκτήματα όμως είναι πιο πολλά:

- Αυξάνει το κόστος λόγω απρογραμματίστης αχρηστίας μηχανημάτων
- Αυξάνει το κόστος μισθοδοσίας
- Οδηγεί σε πιθανή αύξηση κόστους λόγω αγοράς πολλών ανταλλακτικών
- Οδηγεί σε πιθανή βλάβη ή δυσλειτουργία και σε δευτερεύοντα συστήματα
- Αποτελεί μη αναποτελεσματικό τρόπο απασχόλησης προσωπικού.

2. Προγραμματισμένη συντήρηση

Η προγραμματισμένη συντήρηση αφορά σε δραστηριότητες συντήρησης για την αποφυγή βλαβών και αστοχίας. Πραγματοποιούνται ανά χρονικά διαστήματα με βάση το χρόνο λειτουργίας των μηχανημάτων ή του προϊόντος. Στόχος αυτής της στρατηγικής είναι να ανιχνεύει, να προλαβαίνει ή να μετριάξει την υποβάθμιση ενός συστήματος σε σχέση με τις προδιαγραφές του. Παρόλο που δεν μπορεί να προβλέψει καταστροφικές βλάβες, είναι βέβαιο ότι μειώνει τον αριθμό των βλαβών που οδηγεί σε λιγότερο κόστος συντήρησης.

Πλεονεκτήματα:

- Μειώνει το κόστος για εντατικές διαδικασίες και εξοπλισμό.
- Παρέχει ευελιξία για τη ρύθμιση της περιοδικότητας της συντήρησης.
- Αυξάνει το χρόνο ζωής των εξαρτημάτων .
- Εξοικονομεί ενέργεια.
- Μειώνει τις βλάβες σε εξαρτήματα και διαδικασίες.

- Μειώνει το κόστος συντήρησης σε σχέση με τη διορθωτική συντήρηση κατά 12% - 18% περίπου.

Μειονεκτήματα:

- Δεν καλύπτει καταστροφικές βλάβες.
- Απαιτεί περισσότερη απασχόληση προσωπικού.
- Περιλαμβάνει μη αναγκαίες διαδικασίες συντήρησης που μπορεί να οδηγήσουν σε τυχαίες ζημιές.

3. Ελεγχόμενης Κατάστασης Προληπτική Συντήρηση

Η ελεγχόμενης κατάστασης συντήρηση αποτελεί στρατηγική της προληπτικής συντηρήσης με δυνατότητες πρόληψης και ουσιαστικά αναφέρεται ως:

«οι ενέργειες συντήρησης που βασίζονται στην καταγραφή της πραγματικής κατάστασης ενός συστήματος όπως παρατηρούνται κατά τη λειτουργία του.»

Στόχος αυτής της μεθόδου είναι η παρακολούθηση του συστήματος κατά τη λειτουργία του με πρόθεση να εξαχθούν συμπεράσματα για το αν είναι απαραίτητο να γίνουν εργασίες συντήρησης ή όχι και αν ναι τότε πρέπει αυτές να γίνουν προκειμένου να μην παρουσιαστούν βλάβες.

Η βασική διαφορά με την προγραμματισμένη συντήρηση είναι ότι η προληπτική συντήρηση βασίζεται στην παρακολούθηση ενός συστήματος κατά τη λειτουργία του και όχι σε προκαθορισμένα χρονοδιαγράμματα.

Πλεονεκτήματα:

- Αυξάνει το χρόνο ζωής των εξαρτημάτων.
- Επιτρέπει προειδοποιητικές ενέργειες διόρθωσης.
- Μειώνει το χρόνο σταματήματος μηχανημάτων και παραγωγής.
- Μειώνει το κόστος εξαρτημάτων και παραγωγής.
- Αυξάνει την ποιότητα των προϊόντων.

- Βελτιώνει την ασφάλεια των εργαζομένων και του περιβάλλοντος.
- Εξοικονομεί ενέργεια.
- Μειώνει το κόστος συντήρησης σε σχέση με την προγραμματισμένη συντήρηση κατά 8% - 12% περίπου.

Μειονεκτήματα:

- Αυξάνει τις επενδύσεις σε διαγνωστικά συστήματα και εκπαίδευση.

4. Προ-δραστική Συντήρηση

Η προ-δραστική συντήρηση αποτελεί την πιο πρόσφατη στρατηγική συντήρησης. Στόχος της είναι όχι μόνο να ελεγχθεί το προϊόν και να προβλεφθεί η αστοχία, αλλά να ενεργήσει ώστε να διευρυνθεί η διάρκεια ζωής του προϊόντος. Ουσιαστικά ενδιαφέρεται στο *γιατί* ένα εξάρτημα είναι επιρρεπές σε βλάβες και στοχεύει στην εξάλειψη των αιτιών. Τα βασικά χαρακτηριστικά της στρατηγικής είναι:

- Περιλαμβάνει μια συνολική εικόνα της συντήρησης για όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος και αποτελεί μια συνεχή διαδικασία βελτίωσης.
- Χρησιμοποιεί δυνατότητες επικοινωνίας και ανάδρασης για να εγγυηθεί ότι οι αλλαγές στις διαδικασίες συναρμολόγησης έχουν την πλήρη έγκριση της διοίκησης.
- Βελτιώνει και τροποποιεί κάθε τεχνική συντήρησης για κάθε συγκεκριμένο πρόβλημα.
- Ολοκληρώνει λειτουργίες που υποστηρίζουν διαδικασίες συντήρησης μέσα σε συστήματα προγραμματισμού συντήρησης.
- Χρησιμοποιεί διαδικασίες ανάλυσης βλαβών καθώς και ανάλυσης πρόβλεψης για να αυξήσει την αξιοπιστία της συντήρησης.

1.3 Η Σημαντικότητα της Συντήρησης

Όταν κατασκευάζεται ένας μηχανισμός ή πιο γενικά μια κατασκευή, είναι γνωστό εξ αρχής ότι όλα τα κομμάτια που απαρτίζουν τον μηχανισμό ή την κατασκευή έχουν ορισμένη διάρκεια ζωής. Για να μπορεί να λειτουργεί το κάθε κομμάτι ξεχωριστά σωστά σε αυτό το χρονικό διάστημα επιβάλλεται να γίνεται σωστή συντήρηση. Αυτή η συντήρηση μπορεί να περιλαμβάνει τον καθαρισμό, την λίπανση, ακόμη και την αντικατάσταση του κομματιού. Μια σωστή συντήρηση είναι πολύ σημαντική διαδικασία αφού είναι ικανή να εξασφαλίσει τη σωστή λειτουργία του μηχανισμού ή γενικά της οποιασδήποτε κατασκευής. Κάτι τέτοιο είναι σημαντικό αφού έτσι μπορούμε να γλιτώσουμε τα έξοδα σε μια απρόοπτη βλάβη. Η μέτρια συντήρηση είναι πιθανό να έχει πολύ δαπανηρές επιπτώσεις, ωστόσο η συντήρηση η ίδια αποτελεί κι αυτή δαπάνη οπότε μπορεί να μην είναι οικονομική να εκτελείται συνέχεια. Κάπου εδώ πρέπει ο αρμόδιος μηχανικός να βρει τη χρυσή τομή.

Η προληπτική συντήρηση έχει ορισμένους στόχους οι οποίοι αξίζει να αναφερθούν επιγραμματικά. Οι στόχοι αυτοί είναι οι εξής:

Αξιοπιστία: Σαν αξιοπιστία εννοούμε την εξασφάλιση ορισμένων απαιτήσεων για

- τη συνεχή λειτουργία υπό κανονικές και ειδικές συνθήκες
- τη συνεχή λειτουργία υπό συνθήκες μεταβαλλόμενου φορτίου
- τη θέση σε λειτουργία κατόπιν εντολής μετά από μικρές ή παρατεταμένες παύσεις

Ασφάλεια: οι απαιτήσεις ασφάλειας πρέπει να είναι σύμφωνες με τους ισχύοντες νόμους και κανονισμούς.

Απόδοση: η λειτουργία του μηχανισμού ή της κατασκευής θα πρέπει να είναι σύμφωνη με το μέγιστο βαθμό απόδοσης της μελέτης και των χαρακτηριστικών των μηχανημάτων σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας.

Διάρκεια: με την κατάλληλη συντήρηση επιτυγχάνεται για τα μηχανολογικά εξαρτήματα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

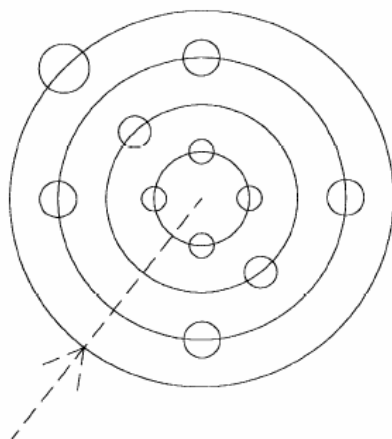
2.1 Σχεδιαστικές Προσεγγίσεις

Η αποσυναρμολόγηση δεν είναι αντίστροφη συναρμολόγηση. Έχουν, όμως, ένα κοινό σημείο: το λόγο της επιτυχίας τους. Η επιτυχία της συναρμολόγησης έγκειται στη δημιουργία καταλλήλων υποσυνόλων και στη σωστή σύνδεσή τους. Αυτό ισχύει και στην αποσυναρμολόγηση για τους δικούς της λόγους.

Σκοπός της αποσυναρμολόγησης είναι, με το μικρότερο δυνατό κόστος, να χωρίσουμε το προϊόν σε τρεις ουσιαστικά κατηγορίες υποσυνόλων: για επισκευή/συντήρηση, ανακύκλωση και οικολογική διάθεση. Ελαχιστοποίηση, λοιπόν, του κόστους επιτυγχάνεται με έξυπνους συνδέσμους και με κατάλληλα υποσύνολα. Η θεωρία των υποσυνόλων και των καταλλήλων συνδέσεων είναι η απάντηση στο πρόβλημα της αποσυναρμολόγησης. Τα υποσύνολα ακολουθούν μία δομή. Στο σχεδιασμό, λοιπόν, θα πρέπει κανείς να λαμβάνει υπ' όψη του και τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης και ακολουθώντας τα βήματά της, να λαμβάνει τις κατάλληλες αποφάσεις. Με άλλα λόγια, όπως η αποσυναρμολόγηση συναντά το προϊόν ολόκληρο και φτάνει μέχρι τα επιμέρους στοιχεία, έτσι και ο σχεδιασμός πρέπει να κινείται από έξω προς τα μέσα. Θα μπορούσε να παρομοιασθεί η δομή του προϊόντος με την δομή της ύλης και τους μηχανικούς να προσπαθούν να εισχωρήσουν στο εσωτερικό (Εικόνα 1).

Οι κύκλοι συμβολίζουν τα διάφορα επίπεδα αποσυναρμολόγησης. Κάθε επίπεδο (ομόκεντροι κύκλοι) αποτελείται από κάποια υποσύνολα (κυκλάκια πάνω στους ομόκεντρους) που όχι μόνο προηγούνται από τα εσωτερικά τους, αλλά και που χρειάζονται την ίδια περίπου προσπάθεια να αποσπασθούν. Όπως και στην ύλη, από τις τροχιές των ηλεκτρονίων ή πλανητών δεν συμπεραίνουμε μόνο την θέση τους, αλλά και την ενέργεια που χρειάζονται να αποσπαστούν από το σύστημα, έτσι και εδώ τα επίπεδα δεν συμβολίζουν μόνο ίδιο γεωμετρικό βάθος, αλλά και

ίδια προσπάθεια αποσυναρμολόγησης. Όσο πιο κοντά στο κέντρο, τόσο περισσότερη ενέργεια χρειάζεται. Είναι αλήθεια, ότι όσο περισσότερο εξαρτημένο είναι ένα υποσύνολο από την αποσυναρμολόγηση άλλων, τόσο περισσότερη προσπάθεια χρειάζεται.



Εικόνα 1: Απεικόνιση της δομής ενός προϊόντος

Στην Εικόνα 1 ο κάθε εξωτερικός ομόκεντρος κύκλος συμβολίζει τα υποσύνολα που προηγούνται. Ο πρώτος ομόκεντρος κύκλος δηλώνει το επίπεδο του κελύφους. Κάθε ομόκεντρος κύκλος πρέπει να φέρει τουλάχιστον ένα υποσύνολο (μικρός κύκλος). Όταν τελειώνει ένα επίπεδο, ο κύκλος εξαφανίζεται και έρχεται ο επόμενος. Η αποσυναρμολόγηση σταματά στον τελευταίο ομόκεντρο κύκλο, που σημαίνει ότι δεν αξίζει να συνεχισθεί άλλο η αποσυναρμολόγηση. Όταν τελειώσει η αποσυναρμολόγηση θα έχουν διαχωριστεί τα επιμέρους υποσύνολα (κυκλάκια πάνω στους ομόκεντρους). Πολλά απ' αυτά χρειάζονται περαιτέρω αποσυναρμολόγηση, ενώ άλλα όχι. Μπορεί, δηλαδή, να λεχθεί ότι υπάρχουν πολλά διαφορετικά επίπεδα αποσυναρμολόγησης υποσυνόλων. Είναι, λοιπόν, εύλογο, ότι ένας στόχος είναι η μείωση της πολυπλοκότητας.

Το πρόβλημα της προσέγγισης της συναρμολόγησης-αποσυναρμολόγησης από τα κατασκευαστικά σχέδια πρωτοδιατυπώθηκε από τους κατασκευαστές μηχανικούς σκοπεύοντας να ερευνήσουν καλύτερα τη συναρμολόγηση-

αποσυναρμολόγηση. Από το 1984 έγιναν πετυχημένες προσπάθειες να αναλυθεί η διαδικασία αποσυναρμολόγησης με μαθηματικά μοντέλα και γραφικές μεθόδους.

Κατά την ανάπτυξη ενός προϊόντος μπορούν να ακολουθηθούν δύο κυρίως προσεγγίσεις:

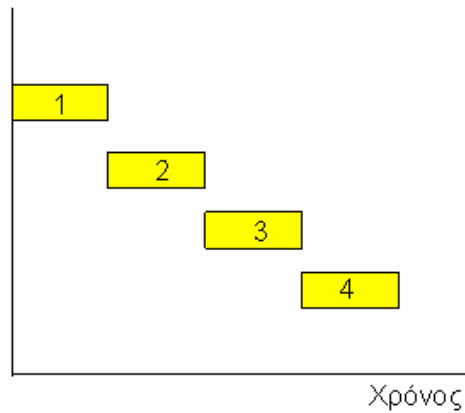
1. **Η σειριακή προσέγγιση.** Με αυτή τη μέθοδο έχουμε:

- Εύκολη διαχείριση έργου
- Έλεγχος των διαδικασιών μετά το τέλος κάθε φάσης
- Μεγάλη απαίτηση χρόνου

2. **Η ταυτόχρονη προσέγγιση.** Με αυτήν έχουμε:

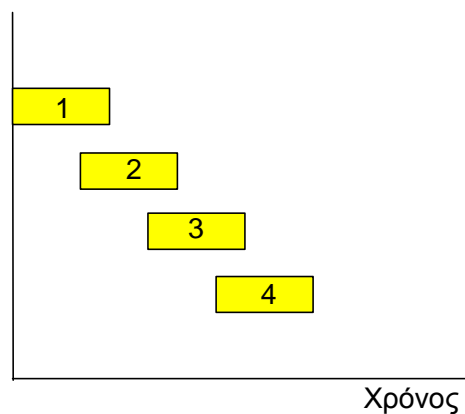
- Επικοινωνία μεταξύ των φάσεων
- Ομαδική εργασία
- Μείωση απαιτούμενου χρόνου
- Ευελιξία
- Σχεδιασμός για x

Αρχικά οι βιομηχανίες χρησιμοποιούσαν τη σειριακή προσέγγιση. Για να προχωρήσει η μία εργασία θα έπρεπε να έχει ολοκληρωθεί η προηγούμενη. Κάτι τέτοιο εξασφάλιζε μεν εύκολη διαχείριση αλλά μεγαλύτερο χρόνο ανάπτυξης και έλλειψη αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων τμημάτων, στη διάρκεια της παραγωγής.



Εικόνα 2: Διάγραμμα εξέλιξης παραγωγής σε συνάρτηση με τον χρόνο στη σειριακή προσέγγιση

Με την πάροδο των χρόνων και μετά από έρευνες μπήκε στη στρατηγική των βιομηχανιών η ταυτόχρονη προσέγγιση (concurrent approach). Η νέα αυτή προσέγγιση δίνει στις βιομηχανίες νέα πλεονεκτήματα όπως μείωση του χρόνου παραγωγής του προϊόντος δίνοντας τη δυνατότητα σε διάφορα τμήματα της βιομηχανίας να δουλεύουν ταυτόχρονα σε διαφορετικά εξαρτήματα του προϊόντος. Με αυτή τη προσέγγιση έγινε απαραίτητη η επικοινωνία των τμημάτων έτσι ώστε να προχωράει η παραγωγή. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μείωση του χρόνου παραγωγής του ίδιου προϊόντος με ταυτόχρονη προσέγγιση.



Εικόνα 3: Διάγραμμα εξέλιξης παραγωγής σε συνάρτηση με τον χρόνο στην ταυτόχρονη προσέγγιση

Αυτή η μέθοδος εισήγαγε νέους όρους στην παραγωγή όπως ο *Σχεδιασμός για x*, ο οποίος περιλαμβάνει το Σχεδιασμό για Παραγωγή - Design for Manufacturing (DFM), Σχεδιασμό για Συναρμολόγηση - Design For Assembly (DFA), Σχεδιασμό για Αποσυναρμολόγηση - Design For Disassembly (DFD), Σχεδιασμό για Ανακύκλωση - Design for Recycling (DFR), κ.α. Όλες αυτές οι έννοιες χρησιμοποιούνται στη φάση του Σχεδιασμού του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, για την υποστήριξη όλων των μετέπειτα φάσεων.

2.2 Κύκλος Ζωής Προϊόντος

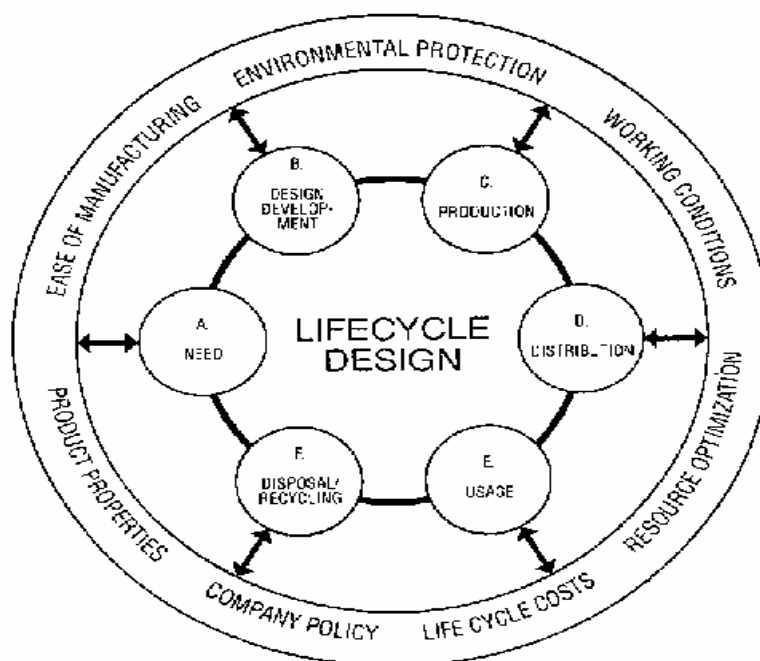
Σαν κύκλο ζωής προϊόντος (Product Life Cycle) μπορούν να οριστούν τα: *«Διαδοχικά και συνδεδεμένα στάδια ενός συστήματος προϊόντος (product system), από την απόκτηση των πρώτων υλών ή την δημιουργία των φυσικών πόρων μέχρι τη τελική διάθεση».*

Ο Σχεδιασμός Τέλους Κύκλου Ζωής (TKZ) (Design for End of Life) έχει σαν στόχο τον κατάλληλο σχεδιασμό και ανάπτυξη του προϊόντος, ώστε η μετέπειτα διαδικασία αποσυναρμολόγησης και ανάκτησης από αυτό να είναι όσο το δυνατόν αποδοτικότερη.

Βασικές συνιστώσες του και ταυτόχρονα τομείς έρευνας σήμερα αποτελούν :

- Ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση με αντικείμενο την κατασκευαστική σύνθεση και δομή του προϊόντος ως συναρμολογημένου συνόλου.
- Ο Σχεδιασμός για Ανακύκλωση, όπου λαμβάνεται μέριμνα για τα χρησιμοποιούμενα υλικά, τα οποία θα αποτελέσουν είτε την πρώτη ύλη της ανακύκλωσης μετά το TKZ, είτε συστατικά μερών και υποσυνόλων του προϊόντος προς επαναχρησιμοποίηση.
- Ο καθορισμός ιεραρχίας - ακολουθίας αποσυναρμολόγησης (DFD sequence)
- Η εκτίμηση του βάθους αποσυναρμολόγησης (DFD leveling ή DFD depth)

- Η ανάπτυξη μεθοδολογίας και λογισμικών εργαλείων σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση (DFD software)



Εικόνα 4: Ο Κύκλος Ζωής Προϊόντος (Alting, CIRP)

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4, οι φάσεις και τα ενδεικτικά στοιχεία του κύκλου ζωής είναι τα εξής:

1. **Ανάγκη** (Need) : αναφέρεται στην ανάγκη της αγοράς για ένα νέο προϊόν, η οποία μπορεί να οφείλεται στην ανάγκη των καταναλωτών, στην ανάγκη για νέες τεχνολογίες και ανταγωνιστικά στοιχεία.
2. **Σχεδιασμός** (Design/Development) : στο σχεδιασμό περιλαμβάνονται:
 - οι προδιαγραφές του προϊόντος
 - οι κανόνες σχεδιασμού
 - δομή προϊόντος
 - λειτουργικά μέρη
 - υλικά

— οι οδηγίες σχεδιασμού:

- συναρμολόγηση
- αποσυναρμολόγηση

— η εκτίμηση επιπτώσεων σε

- περιβάλλον
- υγεία εργαζομένων
- χρήση πόρων

και τέλος,

— το κόστος του προϊόντος.

3. Παραγωγή (Production) : στην φάση της παραγωγής απασχολούν τα εξής:

— τα συστήματα παραγωγής

- διεργασίες
- συναρμολόγηση
- αυτοματισμοί

— η χρήση της ενέργειας

— η χρήση των υλικών

— τα διάφορα περιβαλλοντικά θέματα και θέματα υγείας εργαζομένων

— η επιχείρηση η οποία θα αναλάβει την παραγωγή του προϊόντος

— το κόστος παραγωγής.

4. Διανομή (Distribution) : η φάση της διανομής περιλαμβάνει

— τους κανόνες διανομής

— τις διαδικασίες μεταφοράς

— τη χρήση ενέργειας

- τα διάφορα περιβαλλοντικά θέματα και θέματα υγείας εργαζομένων
- την δομή προϊόντος (μέγεθος, βάρος, κλπ)
- την αποσυναρμολόγηση του προϊόντος κατά τη διανομή
- το κόστος της διανομής.

5. Χρήση (Usage) : σε αυτό το στάδιο έχουμε:

- τις λειτουργίες χρήσης
- την συντήρηση & επισκευή του προϊόντος
- την κατανάλωση ενέργειας και των υλικών
- τα διάφορα περιβαλλοντικά θέματα και θέματα υγείας εργαζομένων
- το κόστος της χρήσης.

6. Διάθεση/ανακύκλωση (Disposal/Recycling) : αυτή είναι και η τελευταία φάση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος και περιλαμβάνει:

- την επαναχρησιμοποίηση
- την ανακατασκευή
- την αποσυναρμολόγηση
 - λειτουργικά μέρη
 - υλικά
 - καύση
 - απόρριψη
- τις διαδικασίες ανακύκλωσης
- τα θέματα ενέργειας
- τα διάφορα περιβαλλοντικά θέματα και θέματα υγείας εργαζομένων
- το κόστος διάθεσης και ανακύκλωσης.

2.2 Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση

Ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση είναι ένα σετ από διαδικασίες που έχουν ως στόχο την καθοδήγηση των μηχανικών στο σχεδιασμό προϊόντων για εύκολη και γρήγορη αποσυναρμολόγηση. Έχει διαπιστωθεί ότι μια αναδυόμενη νέα κατεύθυνση στο σχεδιασμό, ιδιαίτερα στον βιομηχανικό, είναι η προτεραιότητα στη δυνατότητα να επιστρέψει ένα προϊόν στα αρχικά συστατικά του αφότου έχει συναρμολογηθεί. Αυτή η προσέγγιση έχει ονομαστεί Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση - DFD. Η ιδέα δεν είναι νέα και έχει χρησιμοποιηθεί από τη βιομηχανοποιημένη κοινωνία από τον δέκατο ένατο αιώνα (ενδεχομένως και νωρίτερα) ως τεχνική προμήθειας από τους προμηθευτές της αυτοκινητοβιομηχανίας. Μια καινοτομία του πρόσφατου εικοστού αιώνα, ήταν ένα εργοστάσιο που παρήγαγε αυτοκίνητα, αποσυναρμολογημένα για να διευκολυνθεί έτσι η εξαγωγή τους στις πιο μακρινές χώρες όπως π.χ. η Αυστραλία, όπου τα μέρη συγκεντρώνονταν και συναρμολογούνταν σε πλήρη αυτοκίνητα για τη διανομή και την πώληση. Επίσης, η σύγχρονη σκέψη καθιστά την τεχνική του DFD ελκυστική ως διαδικασία κατασκευής, γιατί διευκολύνει στην ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση των διαφόρων μερών ενός προϊόντος. Έτσι, διευκολύνεται και η συγκράτηση του αυξανόμενου όγκου των μετακαταναλωτικών υλικών αποβλήτων. Με το να καταστήσουν τα προϊόντα ευκολότερα στο να τα πάρουν χωριστά, με έναν τρόπο που δεν είναι καταστρεπτικός για τα ιδρυτικά συστατικά, τα στοιχεία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν άμεσα, εάν είναι ακόμα ικανά των απαιτήσεων απόδοσης του προϊόντος, ή μπορούν να χωριστούν εύκολα από το τελικό προϊόν και να αντιμετωπιστούν ως πρώτη ύλη για να αποτελέσουν τη βάση για την κατασκευή νέων προϊόντων μέσω των διαδικασιών ανακύκλωσης. Συνεπώς, ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση έχει νόημα ως συστατικό μιας βιώσιμης φιλοσοφίας σχεδιασμού.

Ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση λαμβάνει χώρα στη φάση του σχεδιασμού του κύκλου ζωής ενός προϊόντος προκειμένου να υποστηριχθούν επόμενες φάσεις του κύκλου ζωής, οι οποίες είναι:

- **Η χρήση:** Στη φάση της χρήσης ενός προϊόντος πρέπει να είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες επισκευής και συντήρησης. Έτσι, το προϊόν πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι μηχανικοί συντήρησης θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε όλα τα εξαρτήματα του προϊόντος που απαιτούν επισκευή ή συντήρηση, λαμβάνοντας υπόψη λειτουργικά χαρακτηριστικά και συχνότητα εμφάνισης σφαλμάτων. Η Μέθοδος Σχεδιασμού Αποσυναρμολόγησης με σκοπό τη Συντήρηση (Design For Maintenance) και με σκοπό την Επισκευή (Design for Service) είναι οι δύο επιμέρους τεχνικές της μεθόδου που χρησιμοποιούνται για τον παραπάνω σκοπό.
- **Η διανομή:** Στη φάση της διανομής, το προϊόν που μπορεί να είναι ένα μικρό ρολόι χειρός, ένας Η/Υ, ένα κινητό τηλέφωνο, ένα αυτοκίνητο ή ένα αεροσκάφος θα πρέπει να μπορεί να συσκευαστεί και να διανεμηθεί στα διάφορα σημεία πώλησης ή παραγγελίας. Για να μπορεί να γίνει αυτό με επιτυχία θα πρέπει από τη φάση του σχεδιασμού να μελετηθεί αν το προϊόν θα διανεμηθεί αυτούσιο ή σε επιμέρους υποσυναρμολογήματα και θα γίνει τελική συναρμολόγηση στον προορισμό.
- **Η διάθεση/ανακύκλωση:** Μετά το τέλος ζωής ενός προϊόντος είναι απαραίτητο αυτό (για να πληροί περιβαλλοντικούς κανονισμούς) να μπορεί να ανακυκλωθεί ή να διατεθεί οικολογικά. Προϋπόθεση για αυτή τη διαδικασία είναι η δυνατότητα απόλυτου διαχωρισμού και ανάκτησης όλων των επιμέρους εξαρτημάτων του προϊόντος. Μετά το διαχωρισμό τα αποσπασμένα εξαρτήματα θα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, να ανακυκλωθούν, ή να διατεθούν οικολογικά. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με τη Μέθοδο Σχεδιασμού Αποσυναρμολόγησης με σκοπό την

Ανακύκλωση (Design For Recycling). Τα οφέλη από τη μέθοδο του Σχεδιασμού για Ανακύκλωση είναι πολλά. Τα σημαντικότερα είναι:

- § Μειώθηκε ο χρόνος σταματήματος της παραγωγής λόγω τυχαίας αστοχίας
- § Διευκολύνονται οι τεχνικοί συντήρησης διότι τα διάφορα τμήματα είναι πιο εύκολα προσβάσιμα.
- § Το κόστος της συντήρησης είναι μικρότερο αφού οι τεχνικοί χρειάζονται λιγότερο χρόνο να αποσυναρμολογήσουν ένα συγκεκριμένο τμήμα.
- § Επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων ικανοποιητικής ποιότητας
- § Εύκολος διαχωρισμός σε κατηγορίες των μεταλλικών εξαρτημάτων, διευκολύνοντας έτσι την ανακύκλωσή τους
- § Εύκολη αποσυναρμολόγηση πλαστικών εξαρτημάτων με σκοπό την ανακύκλωση
- § Εύκολος διαχωρισμός και επανα-επεξεργασία εξαρτημάτων από γυαλί ή από άλλα επικίνδυνα υλικά.

Ο σχεδιασμός εξαρτημάτων που οδηγεί σε μη ευέλικτες διαδικασίες αποσυναρμολόγησης προϊόντων οδηγεί σε αύξηση του κόστους εργασίας στο τέλος της ζωής τους. Το αυξημένο κόστος με τη σειρά του, μειώνει την οικονομική δυνατότητα για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υλικών. Για τους παραπάνω λόγους και για να επιτευχθεί σωστός σχεδιασμός και ικανότητα απόλυτου διαχωρισμού του προϊόντος στα επιμέρους εξαρτήματά του, θα πρέπει να ακολουθούνται βασικοί **κανόνες Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση**, όπως:

- § μείωση των εξαρτημάτων που αποτελούν το προϊόν
- § εύκολη διαδικασία συναρμολόγησης

- § μείωση του όγκου των υποσυναρμολογήσεων
- § εύκολη πρόσβαση στα λειτουργικά μέρη
- § χρήση εξαρτημάτων με μικρές ανοχές
- § χρήση απλών μεθόδων σύνδεσης
- § μείωση αριθμού βιδών, καρφιών
- § αποφυγή τρυπημάτων στα πλαστικά υλικά
- § χρήση κλιπς
- § αποφυγή συγκολλήσεων
- § αποφυγή μεγάλου αριθμού διαφορετικών πλαστικών
- § αποφυγή διαδικασιών που απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας
- § αποφυγή διεργασιών επιμετάλλωσης, βαφής, επίστρωσης

Όσο αφορά στην υποστήριξη της συντήρησης, χρησιμοποιείται προκειμένου ένα να μπορεί να επιστρέψει στα αρχικά του μέρη και να συντηρηθεί ή να επισκευαστεί. Αυτό είναι σημαντικό γιατί δίνεται η δυνατότητα να συντηρηθεί ή να επισκευαστεί κάθε επιμέρους κομμάτι. Σε άλλη περίπτωση το προϊόν θα έπρεπε να πεταχτεί ή να μην συντηρηθεί λόγω μη εύκολης πρόσβασης σε λειτουργικά μέρη της συναρμογής ή του προϊόντος. Η επίδραση αυτής της μεθόδου είναι και στον οικονομικό τομέα αφού από την μια πλευρά ο καταναλωτής πληρώνει λιγότερα αφού αντικαθιστά ένα μέρος του προϊόντος και όχι όλο το προϊόν και με την συντήρηση που πλέον είναι ευκολότερη παρατείνεται η ζωή του προϊόντος. Από την άλλη πλευρά οι κατασκευάστριες εταιρίες ωφελούνται από την μέθοδο γιατί εκτός από το προϊόν μπορούν να πωλούν το κάθε κομμάτι ξεχωριστά ως ανταλλακτικό.

3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Έρευνες πάνω στη μέθοδο του Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση έχουν γίνει σε πολλά Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Ινστιτούτα της Ευρώπης και της Αμερικής.

Στο Πανεπιστήμιο του Τέξας, η μέθοδος Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση εξετάζεται λαμβάνοντας υπόψη το Σχεδιασμό για Συναρμολόγηση (Design for Assembly - DFD). Με βάση τη μέθοδο που έχει αναπτύξει υπολογίζεται ο ελάχιστος αριθμός εξαρτημάτων από τα οποία μπορεί να αποτελείται ένα προϊόν, πριν γίνει ο επανασχεδιασμός του. Την ίδια μέθοδο χρησιμοποιούν και άλλα Πανεπιστήμια όπως το Ohio State και το Rhode Island .

Το Πανεπιστήμιο Carnegie-Mellon, έχει καταγράψει τις δυσκολίες που αντιμετωπίζονται κατά το Σχεδιασμό για το Περιβάλλον (Design for Environment). Μετά από έρευνες, προτάθηκαν δυο διαφορετικοί τρόποι προσέγγισης πάνω στο θέμα αυτό. Ο πρώτος αφορά στο σχεδιασμό ενός μοντέλου ανάλυσης του κόστους και των κερδών από την ανακύκλωση και ο άλλος προτείνει στους σχεδιαστές τη μέθοδο Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση, παρέχοντας συγκεκριμένους σχεδιαστικούς κανόνες. Οι κανόνες αυτοί αφορούν στην επιλογή υλικών και την εύκολη αποσυναρμολόγηση

Σύμφωνα με τον οδηγό οικολογικού σχεδιασμού που καταγράφηκε από το Αμερικάνικο Συμβούλιο Πλαστικών (American Plastics Council), οι βασικοί κανόνες σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση είναι:

- § Η μείωση των διαφορετικών τύπων συνδέσμων που χρησιμοποιούνται σε ένα προϊόν (βίδες, κλιπς, κ.α), επιταχύνει την αποσυναρμολόγηση και μειώνει τον αριθμό των διαφορετικών εργαλείων που απαιτούνται.
- § Η ανάγκη για αποσυναρμολόγηση ενός προϊόντος μπορεί να περιοριστεί με τη μείωση του αριθμού των ξεχωριστών κομματιών κατά το σχεδιασμό

του προϊόντος. Για παράδειγμα πολλαπλά εξαρτήματα μπορούν να σχεδιαστούν σαν ένα εξάρτημα. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο αριθμός των εξαρτημάτων και των συνδέσμων που απαιτούνται άρα και ο χρόνος αποσυναρμολόγησης.

§ Η εύκολη πρόσβαση στα λειτουργικά μέρη διευκολύνει και επιταχύνει τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης

§ Η αποφυγή συγκολλήσεων καθώς και διεργασιών που απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και η χρήση απλών μεθόδων σύνδεσης ελαττώνουν το κόστος και τον χρόνο αποσυναρμολόγησης

Στο Πανεπιστήμιο του Rhode Island πραγματοποιήθηκε έρευνα με τίτλο «*Design for Disassembly and the Environment*», στην οποία διατυπώθηκε ότι οι παράμετροι εκείνες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό αποσυναρμολόγησης των προϊόντων είναι τα οικονομικά μεγέθη, που περιλαμβάνουν το κόστος των διαδικασιών αποσυναρμολόγησης, το κόστος ανακύκλωσης των αποβλήτων, τα οφέλη από την επαναχρησιμοποίηση των ανακυκλωμένων κομματιών καθώς και ο περιβαλλοντολογικός αντίκτυπος. Για την υλοποίηση της μεθόδου και την αξιολόγηση των παραπάνω παραμέτρων στη διαδικασία σχεδιασμού, χρησιμοποιήθηκε ένα συγκεκριμένο προϊόν (μια καφετιέρα αποτελούμενη από 84 κομμάτια) από τους ερευνητές. Ο χρόνος συναρμολόγησης του προϊόντος εκτιμήθηκε στα 660 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε η σειρά αποσυναρμολόγησης η οποία ήταν η αναστροφή της διαδικασίας συναρμολόγησης, της οποίας ο χρόνος εκτιμήθηκε στα 447 δευτερόλεπτα και το κόστος στα 0.81 δολάρια. Με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους και του χρόνου αποσυναρμολόγησης έγιναν μετατροπές στη σειρά αποσυναρμολόγησης με την εφαρμογή των παρακάτω κανόνων:

§ Τα εξαρτήματα που απαιτούν ειδική μεταχείριση κατά την απόρριψη τους (π.χ. τοξικά), πρέπει να αφαιρούνται νωρίς για να είναι πιο θετική η

επίδραση τους στο συνολικό κόστος αφού μετά την αφαίρεσή τους το υπόλοιπο κομμάτι έχει μικρότερο κόστος απόρριψης.

§ Τα πιο πολύτιμα εξαρτήματα θα πρέπει να αφαιρούνται όσο πιο γρήγορα γίνεται. Για την εκτίμηση των εξαρτημάτων υπολογίζεται η απόδοση τους, διαιρώντας το συνολικό κόστος τους στη διαδικασία αποσυναρμολόγησης με το συνολικό χρόνο που απαιτείται για την αποσυναρμολόγηση όλων των εξαρτημάτων πριν από αυτά.

§ Εξαρτήματα από το ίδιο ή ταιριαστά υλικά που δε διαχωρίζονται με σκοπό την ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση, μεταχειρίζονται σαν ένα εξάρτημα

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω κανόνες σχεδιάστηκε μια βελτιωμένη σειρά αποσυναρμολόγησης κατά την οποία ο συνολικός χρόνος μειώθηκε στα 333 δευτερόλεπτα και το κόστος στα 0.52 δολάρια.

Για τη μελέτη των επιπτώσεων που έχει ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση με σκοπό την απόρριψη, ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση των εξαρτημάτων, αναπτύχθηκε μέθοδος και παρουσιάστηκε από το TNO Product Center, η οποία χρησιμοποιεί ένα σύστημα βαθμολόγησης (MET points) των παραπάνω διαδικασιών σύμφωνα με τις επιπτώσεις τους πάνω στα εξής:

§ Κύκλος υλικών: Εξάντληση των πόρων

§ Χρήση ενέργειας: Φαινόμενο του θερμοκηπίου, νέφος

§ Αποβολή τοξικών ρύπων: Τοξικά απόβλητα, τρύπα του όζοντος

Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω ανάλυση καταγράφονται απλοί κανόνες, οι οποίοι είναι:

§ Οι διεργασίες αποσυναρμολόγησης που πραγματοποιούνται με χειρωνακτικές μεθόδους δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον

§ Η ανακύκλωση των εξαρτημάτων έχει θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον αφού αποτρέπει την εξάντληση των πρώτων υλών

§ Η επαναχρησιμοποίηση ενός εξαρτήματος έχει θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον αφού μειώνει τον αριθμό των αποβλήτων

Μία πολύ σημαντική έρευνα πάνω στο Σχεδιασμό για Αποσυναρμολόγηση έχει ολοκληρωθεί από τον Beitz. Η έρευνα αναγνωρίζει τις μεθόδους εκείνες που συσχετίζονται με το Σχεδιασμό για το Περιβάλλον, οι οποίες είναι:

§ Σχεδιασμός για εύκολη αποσυναρμολόγηση, η οποία διευκολύνει τον διαχωρισμό των εξαρτημάτων χωρίς αυτά να υποστούν ζημιά

§ Σχεδιασμός για εύκολο καθαρισμό, ο οποίος εξασφαλίζει ότι η διαδικασία αποχώρησης των ξένων σωμάτων δε βλάπτει το περιβάλλον.

§ Σχεδιασμός για ευκολία στον έλεγχο και στη ταξινόμηση, ο οποίος σκοπεύει στο να γίνει σαφής η κατάσταση των εξαρτημάτων που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ενώ παράλληλα παρέχει εύκολη ταξινόμηση των εξαρτημάτων

§ Σχεδιασμός για εύκολη επιδιόρθωση, ο οποίος υποστηρίζει την επαναεπεξεργασία των εξαρτημάτων παρέχοντας πρόσθετα υλικά και συνδετικούς μεθόδους.

§ Σχεδιασμός για εύκολη επανασυναρμολόγηση ο οποίος παρέχει εύκολη συναρμολόγηση στα νέα εξαρτήματα και σε αυτά που έχουν υποστεί επιδιόρθωση.

Ο ερευνητής υποστηρίζει πως όταν ένα προϊόν φτάνει στο τέλος της ζωής του, πρέπει να μεταχειρίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά σε κάποια μορφή. Ο σχεδιασμός που χρησιμοποιεί όλες τις παραπάνω μεθόδους μπορεί να διασφαλίσει ότι το προϊόν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ολοκληρωτικά. Φαίνεται λοιπόν ότι η αποσυναρμολόγηση δε χρησιμοποιείται μόνο για τον διαχωρισμό των εξαρτημάτων εκείνων που θα οδηγηθούν σε

ανακύκλωση αλλά και για την επαναεπεξεργασία, επισκευή, επανακατασκευή των εξαρτημάτων διευρύνοντας έτσι τη ζωή τους.

Διάφορες δραστηριότητες που αφορούν στην ανακύκλωση και στη μέθοδο Σχεδιασμού για το Περιβάλλον πραγματοποιούνται στο Πολυτεχνείο του Aachen. Η διατριβή του Barg με τίτλο «*A concept for recycling oriented product and production planning*» περιγράφει βήματα και διαδικασίες στη σειρά παραγωγής, εστιάζοντας στην ανακύκλωση και στο Σχεδιασμό για Αποσυναρμολόγηση. Οι Esser και Schneewind εργάζονται πάνω στο Σχεδιασμό για Ανακύκλωση δίδοντας έμφαση στη μέθοδο του DFD, ενώ οι Hartmann και Baumann ασχολούνται με τη καταγραφή μοντέλων κόστους για συναρμολόγηση.

Στο IPA, Fraunhofer Institute, που εδρεύει στη Στουτγάρδη διάφορες δραστηριότητες εστιάζονται σε θέματα που αφορούν στην ανακύκλωση. Από το 1983 οι Warnecke και Steinhilper αναφέρθηκαν στο σχεδιασμό προϊόντων με σκοπό την επαναεπεξεργασία τους μετά το τέλος της ζωής τους, ένα θέμα που έχει πάρει σήμερα μεγάλες διαστάσεις. Στις μέρες μας ο Kahmeyer εξετάζει μεθόδους αποσυναρμολόγησης με τη χρήση βιομηχανικών ρομπότ. Ένας πιλοτικός πυρήνας αποσυναρμολόγησης κατασκευάστηκε και δοκιμάστηκε με καλά αποτελέσματα στη περίπτωση ενός τηλεφώνου ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στη περίπτωση αποσυναρμολόγησης ηλεκτρονικού υπολογιστή. Από τα αποτελέσματα του παραπάνω προγράμματος καταγράφηκε μια σειρά από κανόνες σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση.

Στο Πολυτεχνείο του Manchester, έχει ολοκληρωθεί ένα ερευνητικό πρόγραμμα πάνω στον οικολογικό σχεδιασμό. Στο πρόγραμμα αυτό ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση κατέχει ιδιαίτερη θέση. Διάφοροι κανόνες και υποδείξεις έχουν καταγραφεί με σκοπό να προωθήσουν την ιδέα της ανακύκλωσης, επανακατασκευής και επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων μετά το τέλος της

ζωής τους. Με τη χρήση των υποδείξεων αυτών οι σχεδιαστές αντιλαμβάνονται τις επιλογές που έχουν για τη διάθεση των προϊόντων και το αντίστοιχο κόστος.

Στο Federal Institute of Technology, που εδρεύει στην Ελβετία, ερευνάται η παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων και διαδικασιών. Πάνω στην ερευνά αυτή η δυνατότητα ανακύκλωσης είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο.

Στο Πολυτεχνείο του Βερολίνου πραγματοποιείται έρευνα στο μέθοδο Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση και στη μοντελοποίηση παραγωγής περιλαμβανομένων και θεμάτων που αφορούν τον κύκλο ζωής των προϊόντων.

Στο Karlsruhe University ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση και Ανακύκλωση πραγματοποιείται για βιομηχανικά προϊόντων υψηλής αξίας.

Μια άλλη ερευνητική εργασία είχε ως στόχο στην ανάπτυξη μιας μεθόδου για την υποστήριξη Μηχανικών Παραγωγής στο σχεδιασμό ανακυκλώσιμων προϊόντων. Στα πλαίσια της εργασίας προτάθηκε μια διαδικασία σχεδιασμού για την υποστήριξη χειρωνακτικών διαδικασιών αποσυναρμολόγησης.

Η έρευνα που πραγματοποιείται στο I-CARVE Lab, στο πανεπιστήμιο του Wisconsin-Madison, εστιάζεται στο να αναπτύξει μεθόδους Σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση με σκοπό να υποστηρίξει τη διάθεση του προϊόντος μετά το τέλος της ζωής του (επισκευή, ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση). Το αποτέλεσμα της έρευνας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός υπολογιστικού σχεδιαστικού εργαλείου το οποίο σχεδιάζει μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά προϊόντα που μπορούν να αποσυναρμολογηθούν με σκοπό τα υλικά και τα εξαρτήματα τους να μπορούν εύκολα και αποτελεσματικά να επαναεπεξεργαστούν ή να απορριφθούν. Εξετάζοντας τη συναρμολόγηση φυσικών και εικονικών πρωτοτύπων αναπτύσσεται μία μεθοδολογία εκτίμησης των επιπτώσεων της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης στο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι και μια σειρά από τεχνικές αποσυναρμολόγησης όπως αυτή της επιλεκτικής αποσυναρμολόγησης. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη έρευνα για

αποσυναρμολογήσεις όπως για μερική αποσυναρμολόγηση αεροσκαφών και αποσυναρμολογήσεις ηλεκτρονικών εξαρτημάτων όπως ενός κινητού τηλεφώνου. Με βάση τις εκτιμήσεις στη διαδικασία αποσυναρμολόγησης, σχεδιαστικές αλλαγές υποδεικνύονται με σκοπό την κατασκευή προϊόντων που θα μπορούν εύκολα να αποσυναρμολογηθούν .

Στο Linkorings Universitet στη Σουηδία πραγματοποιείται έρευνα πάνω στη μέθοδο Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση, στην οποία τονίζεται η σημασία της μεθόδου αυτής στη διαδικασία ανακύκλωσης. Με τη χρήση της αποσυναρμολόγησης είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση υποσυναρμολογήσεων, εξαρτημάτων, και υλικών. Για να πραγματοποιηθεί μία προσιτή διαδικασία αποσυναρμολόγησης είναι αναγκαίος ο σχεδιασμός αποδοτικών συστημάτων αποσυναρμολόγησης. Αυτό επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους σημαντικές για το σχεδιασμό των συστημάτων όπως η ευκαμψία, η ροή υλικού και ο όγκος παραγωγής. Σε αυτό το ερευνητικό πρόγραμμα εξετάζονται και καθορίζονται οι παράμετροι εκείνες που καθορίζουν το σχεδιασμό των συστημάτων. Το πρώτο βήμα πάνω σε αυτή την έρευνα είναι η δημιουργία μίας βάσης ανάλυσης των προβλημάτων αποσυναρμολόγησης. Με τη μελέτη διαδικασιών αποσυναρμολόγησης διαφορετικών προϊόντων και ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στο ίδιο θέμα, συγκεντρώνονται πληροφορίες που οδηγούν στον καθορισμό των παραμέτρων εκείνων που κάνουν αποτελεσματική τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης και την ανάπτυξη συστημάτων αποσυναρμολόγησης .

Μία σημαντική έρευνα πάνω στη μέθοδο σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση δημοσιεύτηκε από την ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Manchester με τίτλο "*Design for the Environment, Guidelines*". Η ομάδα αυτή ανέπτυξε απλούς κανόνες σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση ενός προϊόντος με σκοπό την επανακατασκευή του ή επισκευή του. Οι κανόνες αυτοί παρατείνουν τη ζωή του προϊόντος και των εξαρτημάτων του συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της ανάγκης νέων προϊόντων. Συγκεκριμένα οι κανόνες είναι οι εξής:

- § Δημιουργία ιεραρχικής και συμβατής σειράς αποσυναρμολόγησης
- § Χρήση τυποποιημένων συνδέσμων
- § Χρήση αποσπώμενων σημείων
- § Τοποθέτηση συνδέσμων για την απαραίτητη μείωση της κίνησης κατά τη διάρκεια αποσυναρμολόγησης
- § Υπόδειξη κανόνων αποσύνδεσης για μη καταστρεπτική αποσυναρμολόγηση

Οι Kroll, Beardsley και Parulian προτείνουν ένα σχέδιο εκτίμησης που να επιτρέπει στους σχεδιαστές να μεταφράσουν τα αποτελέσματα ενός σχεδιασμού σε ποσοτικά μεγέθη και να προτείνει εναλλακτικές λύσεις. Οι ερευνητές μελετούν το πρόβλημα, ώστε να διευκολύνουν την αποσυναρμολόγηση των προϊόντων για την ανακύκλωση λαμβάνοντας υπόψη το ευρύτερο ζήτημα της αξιολόγησης της κατασκευής. Ανέπτυξαν μια μέθοδο μετρικής αποσυναρμολόγησης για να υπολογίσουν το χρόνο αποσυναρμολόγησης.

Ο Kuo αναλύει την αλληλουχία και το κόστος αποσυναρμολόγησης για τα ηλεκτρομηχανικά προϊόντα κατά τη διάρκεια της μελέτης του σχεδιασμού και παρέχει μερικές οδηγίες DFD σύμφωνα με τα αποτελέσματα. Οι Desai και Mital, παρουσιάζουν μια μεθοδολογία για να ενισχύσουν την αποσυναρμολόγηση των προϊόντων. Αξιολογούν τον σχεδιασμό της αποσυναρμολόγησης ενός προϊόντος με βάση παραμέτρους όπως η προσπάθεια που απαιτείται για την αποσυναρμολόγηση, η δυσκολία της τοποθέτησης των εργαλείων, η μορφή των αποσυναρμολογούμενων εξαρτημάτων, η χρήση των χειρονακτικών εργαλείων, κ.λπ. Η μεθοδολογία ορίζει το χρόνο που απαιτείται για την αποσυναρμολόγηση με βάση αριθμητικούς δείκτες.

Οι Desai και Mital, ανέπτυξαν ακόμα μια μέθοδο για τον έλεγχο της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης προϊόντων κατά τη φάση του σχεδιασμού. Οι

Villalba, Segarra, Chimenos και Espiell ελέγχουν τις σημαντικές παραμέτρους που επιδρούν στο σχεδιασμό για αποσυναρμολόγηση.

Χρησιμοποιώντας το μικρότερο αριθμό αποσυναρμολογούμενων εξαρτημάτων επιτυγχάνουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- § Στην επισκευή και στη συντήρηση, μειώνεται ο χρόνος που συνδέεται με την πρόσβαση του επιθυμητού μέρους του προϊόντος και την εκ νέου συγκέντρωση του προϊόντος μετά από την ολοκλήρωση του στόχου.
- § Στην αποκατάσταση προϊόντων, μειώνεται ο χρόνος αποσυναρμολόγησης ώστε να γίνει ο διαχωρισμός των μερών που αποτελείται το προϊόν. Επιπλέον, ο αριθμός συνδέσμων και η ποικιλία των εργαλείων που απαιτείται για τις δραστηριότητες αποσυναρμολόγησης/συναρμολόγησης μειώνονται αρκετά.

Χρησιμοποιούνται νέοι τρόποι σύνδεσης ώστε να γίνεται εύκολα η αποσυναρμολόγηση των συστατικών μερών του προϊόντος. Επίσης, χρησιμοποιείται μικρός αριθμός συνδετικών μέσων. Οι αρχές DFD δημιουργούν επιδράσεις στην αποσυναρμολόγηση ενός προϊόντος και επηρεάζουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται κατά την διάρκεια της μελέτης του σχεδιασμού έχουν επιδράσεις στις διαδικασίες της χρησιμοποίησης του προϊόντος, στις διαδικασίες αποσυναρμολόγησης και στην αποκατάσταση του προϊόντος. Οι δαπάνες επισκευής και συντήρησης του προϊόντος μειώνονται. Με την μέθοδο DFD βελτιώνεται η αποκατάσταση των προϊόντων κατά τη διάρκεια της φάσης της απόσυρσης. Η τρέχουσα εργασία αξιολογεί τους τύπους σύνδεσης από αυτές τις προοπτικές.

- § Οι Kondo, Deguchi, Hayashi, και Obata, πειραματικά εξετάζουν το χρόνο της αποσυναρμολόγησης των συνδετικών μερών μέσω της πραγματικής εργασίας αποσυναρμολόγησης. Υπογραμμίζουν ότι ο χρόνος αποσυναρμολόγησης για τα μέρη αυτά εξαρτάται από τη μέθοδο ένωσης,

την κατεύθυνση ένωσης, τη διάρκεια της ζωής προϊόντων και τη χημική και φυσική παραμόρφωση. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η μέθοδος σύνδεσης παίζει ρόλο στο χρόνο αποσυναρμολόγησης.

Οι Sonnenberg και Sodhi μελετούν τις μεθόδους στερέωσης για να αναλύσουν τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης των προϊόντων. Οι οδηγίες προτείνονται για να βοηθήσουν στη διαδικασία αποσυναρμολόγησης ενός προϊόντος για τη συντήρηση, την επισκευή, την επαναχρησιμοποίηση και την αποκατάσταση. Αυτές οι οδηγίες είναι βασισμένες στις διαφορετικές κατηγορίες συνδετήρων γενικού τύπου.

Οι Rios, Blyler, Tieman, και Stuart, εισάγουν την έννοια των συμβόλων σχεδιασμού για να βοηθήσουν την πολυπλοκότητα προϊόντων, ενώ οι Yedlarajaiah, Dhimmarr και Sonnenberg μελετούν διεξοδικά τους τύπους συνδέσμων και τα αποτελέσματά τους στις διαδικασίες αποσυναρμολόγησης. Ο Sonnenberg ταξινόμησε τους συνδέσμους σε διάφορες ομάδες ως εξής:

§ Ξεχωριστοί σύνδεσμοι. Αυτοί οι σύνδεσμοι είναι ανεξάρτητοι από τα εξαρτήματα που ενώνονται. Μπορούν να είναι μια ενιαία μονάδα ή να αποτελούνται από πολλά στοιχεία. Ένας ιδιαίτερος σύνδεσμος μπορεί να αφαιρεθεί από το προϊόν και να επαναχρησιμοποιηθεί μετά από την αφαίρεση. Τα παραδείγματα των ιδιαίτερων συνδέσμων περιλαμβάνουν τις βίδες, τα μπουλόνια, τα καρύδια, τα ελατήρια κ.λπ. Αυτοί οι σύνδεσμοι δεν προκαλούν καμία ζημιά στο σώμα των μερών του προϊόντος. Είναι επίσης ικανοί να ενώσουν μέρη από διαφορετικά υλικά.

§ Ολομερείς σύνδεσμοι. Αυτοί οι τύποι συνδέσμων είναι ενσωματωμένοι στα μέρη του προϊόντος. Δεν απαιτούν τη χρήση ενός ενισχυτικού στοιχείου ή ενός εργαλείου σύνδεσης. Τα ακέραια μέρη κλειδώνουν το ένα στο άλλο και ενώνονται. Τα παραδείγματα των ακέραιων συνδέσεων περιλαμβάνουν τις κλειδαριές, κλιπς, snap-fits κ.λπ.

§ Συγκολλητικοί σύνδεσμοι. Αυτοί οι τύποι συνδέσμων ενώνουν τα μέρη με διαφορετικούς τύπους προσκολλήσεων, κολλών κ.λπ., ενώ οι χημικές

αντιδράσεις και η μετάβαση φάσης είναι οι μηχανισμοί που συνδέουν τα συστατικά. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι κολλών ανάλογα με την απαίτηση. Αν και μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στην εμφάνιση του προϊόντος, μπορούν να περιπλέξουν τις διαδικασίες αποσύνθεσης.

§ Ενεργειακοί σύνδεσμοι. Η συγκόλληση, η καύση, η ένωση και η σχηματοποίηση είναι πολύ δημοφιλείς περιπτώσεις της ενεργειακής σύνδεσης. Σε αυτήν τη μέθοδο, η ένωση λειώνει ή πλαστικοποιείται προκειμένου να διαμορφωθεί ένας δεσμός χρησιμοποιώντας μια εξωτερική πηγή ενέργειας όπως η επαγωγική θέρμανση. Οι ιδιότητες του μέρους που συνδέεται καθορίζουν την επιλογή αυτού του τύπου σύνδεσης.

§ Άλλοι σύνδεσμοι. Αυτή η ομάδα συνδέσμων δεν εμπίπτει στις προηγούμενες ομάδες. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τη συρραφή, την πτύχωση, τα φερμουάρ, Velcro, και κ.λπ.

Αυτή η έρευνα στοχεύει στην αξιολόγηση των διάφορων τύπων συνδέσμων εξετάζοντας την πλήρη επίδραση στον κύκλο ζωής του τύπου σύνδεσης που επιλέγεται.

4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Είναι γεγονός ότι ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση βοήθησε την παραγωγή του προϊόντος καθώς επίσης και κάποιες διαδικασίες μετά την παραγωγή, όπως τη συντήρηση, την επισκευή, την ανακύκλωση, κτλ. Η διαδικασία της μελέτης του σχεδιασμού όμως, είναι αρκετά δύσκολη και περίπλοκη. Για να διευκολυνθεί η διαδικασία αυτή δημιουργήθηκαν λογισμικά εργαλεία Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση - DFD. Τα προγράμματα αυτά βοηθούν τον μελετητή να πάρει σωστές αποφάσεις παρουσιάζοντας συγκεντρωμένες όλες τις παραμέτρους και τα στοιχεία της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου εργαλείου είναι:

- § Αξιόλογα και γρήγορα αποτελέσματα
- § Ακριβής τρόπος εκτίμησης κόστους διαδικασίας
- § Ενίσχυση της ταυτόχρονης εφαρμοσμένης μηχανικής
- § Χρήσιμο εργαλείο σχεδιασμού
- § Ενίσχυση προμηθευτή – διαπραγματευτή

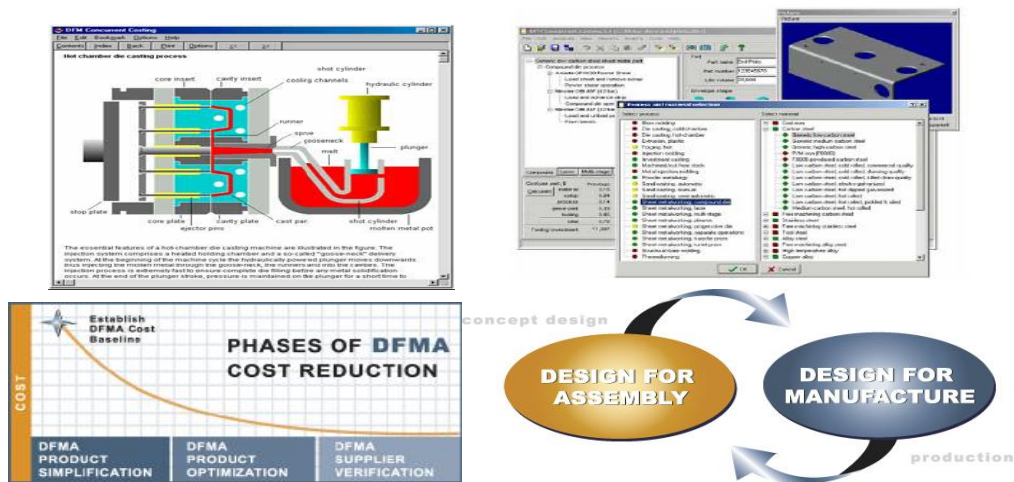
Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά δύο λογισμικά εργαλεία DFD:

4.1 Λογισμικό DFMA

Το λογισμικό DFMA των Boothroyd-Dewhurst είναι μια συστηματική προσέγγιση που επιτρέπει στους μηχανικούς να προβλέψουν τις δαπάνες στη διαδικασία σχεδιασμού, ακόμα και όταν μόνο η γεωμετρία είναι γνωστή για το προϊόν που αναπτύσσεται. Η ταυτόχρονη κοστολόγηση επιτρέπει να αναπτυχθούν γρήγορες εκτιμήσεις του κόστους για την παραγωγή ενός προϊόντος. Το λογισμικό βάζει 20 έτη βιομηχανικής-επικυρωμένης έρευνας στα χέρια του σχεδιαστή ή της ταυτόχρονης ομάδας μηχανικών.

Οι μηχανικοί προϊόντων ξέρουν ότι 85% του κόστους παραγωγής καθορίζεται στα αρχικά στάδια του σχεδίου. Το λογισμικό DFA χρησιμοποιείται για:

- Εκτίμηση της δυσκολίας της συναρμολόγησης
- Λήψη απόφασης υποστήριξης.
- Μετρητική σύγκριση επιδόσεων υπαρχόντων προϊόντων.
- Εστίαση στις αναθεωρήσεις σχεδιασμού.
- Έλεγχο δεξιοτήτων σχεδιασμού.
- Ενσωμάτωση σχεδιασμού και κατασκευής.

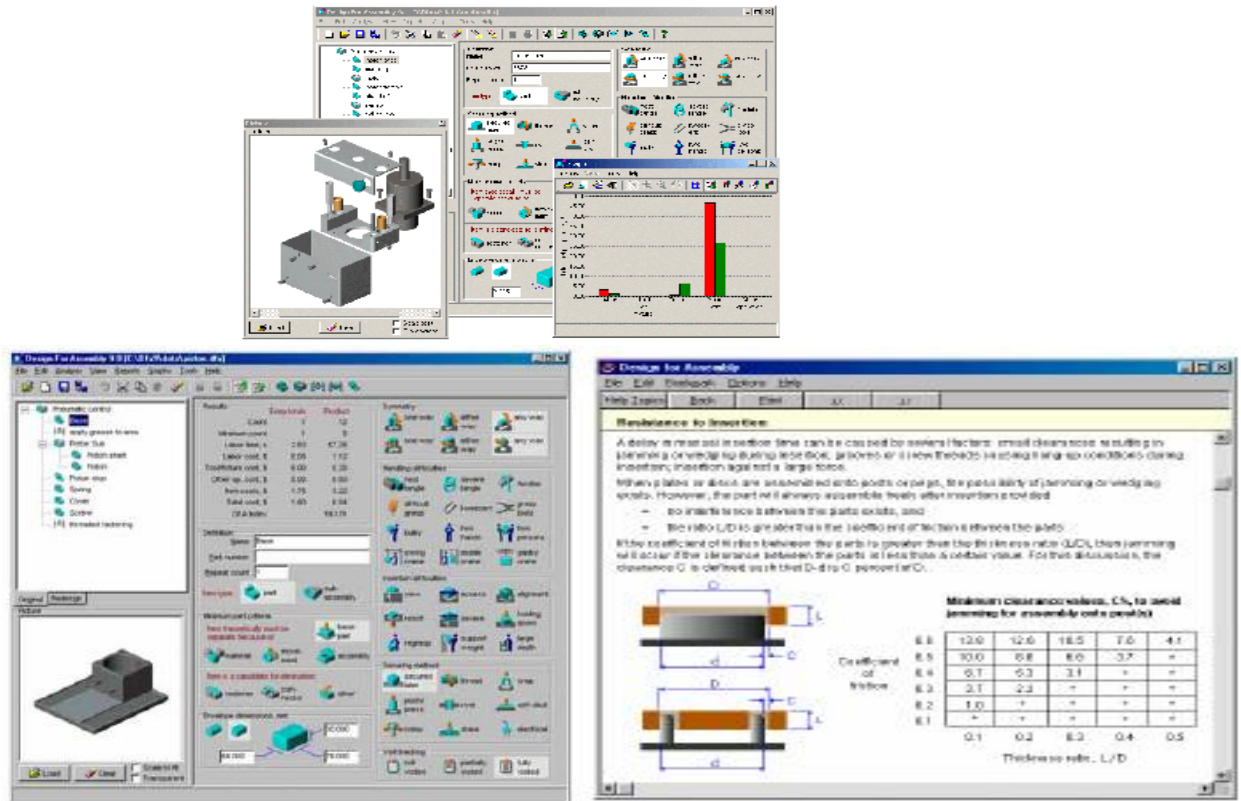


Εικόνα 5: Λογισμικό DFMA

Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικός πίνακας με το κέρδος στα διάφορα σημεία της παραγωγής από τη χρήση του λογισμικού:

Δαπάνες εργασίας	42%
Χωριστοί σύνδεσμοι	57%
Βάρος	22%
Χρόνος συναρμολόγησης	60%
Κόστος συναρμολόγησης	45%
Εργαλεία συναρμολόγησης	73%
Διαδικασίες συναρμολόγησης	53%
Κύκλος ανάπτυξης προϊόντων	45%
Αρίθμηση μερών	54%
Συνολικό κόστος	50%

Πίνακας 1: Μέσος Όρος μείωσης κόστους με χρήση του λογισμικού DFMA

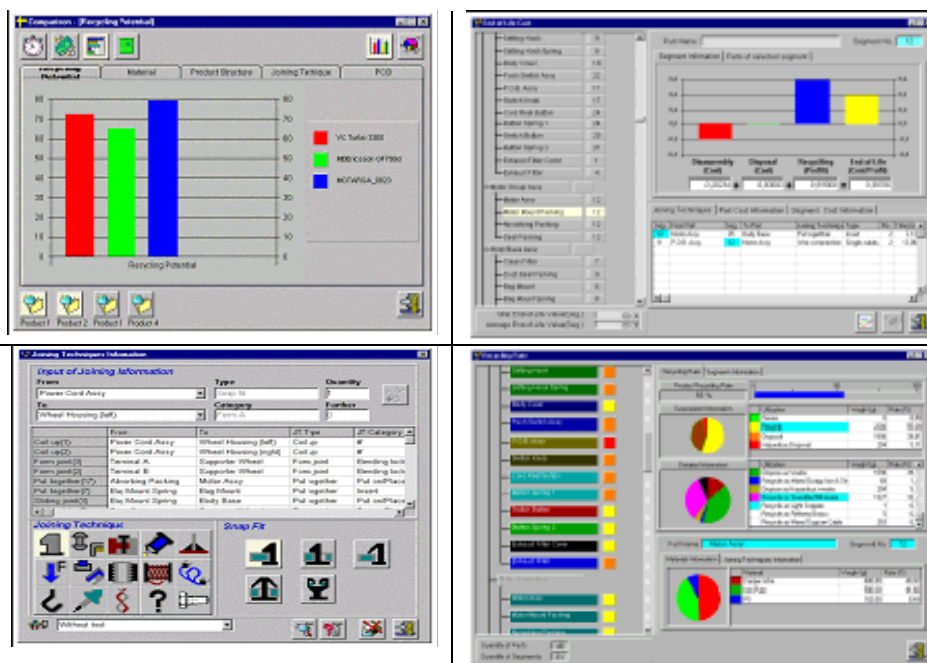


Εικόνα 8: Φάσεις εργασιών στο λογισμικό DFMA

4.2 Λογισμικό ATROID

Ένα ακόμη λογισμικό εργαλείο που βοηθάει το σχεδιαστή στο να σχεδιάσει και να παράγει με τον, όσο το δυνατό, οικονομικότερο τρόπο, είναι το λογισμικό της ATROID. Το λογισμικό ATROID υποστηρίζει τη διαδικασία αξιολόγησης για τη βελτίωση των προϊόντων προς ανακύκλωση και «ecodesign». Το λογισμικό προσφέρει τις μεθόδους για να υποστηρίξει την αξιολόγηση ενός προτεινόμενου σχεδιασμού και τη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων του σχεδιασμού. Το λογισμικό της ATROID καθοδηγεί επίσης τους σχεδιαστές για μια συνεχή βελτίωση προϊόντων. Αυτό το λογισμικό διαιρείται σε τρία κύρια επίπεδα:

- αξιολόγηση
- ανάλυση
- βελτίωση



Εικόνα 9: Φάσεις εργασιών λογισμικού ATROID

4.3 Συμπεράσματα χρήσης λογισμικών

Είναι δυνατόν να επισημανθούν ορισμένες τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις που ορίζουν το βάθος αποσυναρμολόγησης. Αυτές είναι:

- § Απομάκρυνση αναγκαίων εξαρτημάτων για την συνέχιση της διαδικασίας (π.χ. κέλυφος, σύνδεσμοι)
- § Απομάκρυνση μερών για τεχνικούς λόγους (π.χ. καλώδια)
- § Απομάκρυνση των επικίνδυνων ουσιών
- § Συλλογή των πολύτιμων μερών
- § Απομάκρυνση μερών για την μείωση του υπολείμματος τεμαχισμού (π.χ. εσωτερική επένδυση αυτοκινήτων)

Είναι κατανοητό, ότι από ένα σημείο και πέρα (βέλτιστο βάθος αποσυναρμολόγησης), η αποσυναρμολόγηση γίνεται μη συμφέρουσα.

Όπως είναι φανερό, όλοι οι παραπάνω κανόνες επιβαρύνουν πολύ το φόρτο εργασίας και ελέγχου ενός σχεδιαστή. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός για το περιβάλλον είναι μια υψηλή προτεραιότητα, αλλά δεν είναι η πρώτη. Ο σχεδιαστής οφείλει να δημιουργήσει ένα λειτουργικό προϊόν που θα αντέχει στον ανταγωνισμό. Όλα, λοιπόν, τα παραπάνω αποτελούν ουσιαστικά το περιβάλλον μέσα στο οποίο οφείλει να κινείται ο σχεδιαστής. Φαίνεται λοιπόν η αξία των κατάλληλων λογισμικών προγραμμάτων που θα οργανώνουν όλο τον παραπάνω φόρτο πληροφοριών και θα βοηθούν το σχεδιαστή στην επιλογή της βέλτιστης σχεδιαστικής λύσης.

Τα προγράμματα αυτά βοηθούν το σχεδιαστή ουσιαστικά:

- § Να πετύχει μία κατάλληλη κατασκευαστική δομή προϊόντος, υποδεικνύοντας τα αδύναμα σημεία αποσυναρμολόγησης.
- § Να διαλέξει κατάλληλους συνδέσμους
- § Να υπολογίσει το χρόνο και το κόστος αποσυναρμολόγησης
- § Να υπολογίσει το ποσοστό ανακυκλωσιμότητας του προϊόντος
- § Να υπολογίσει το κόστος τέλους ζωής του προϊόντος
- § Να επιλέξει τη βέλτιστη λύση

Όλα τα παραπάνω είναι πολύ δύσκολο να ληφθούν υπόψη ταυτόχρονα στον αρχικό σχεδιασμό. Δεν παύει ο σχεδιαστής να είναι αυτός, που θα πρωτοπορήσει και θα καινοτομήσει. Το λογισμικό, όμως, θα μπορεί να συγκρίνει όλες τις εναλλακτικές επιλογές και να αναδεικνύει την βέλτιστη λύση. Βέβαια, παρόλο που τέτοια προγράμματα ήδη κυκλοφορούν στην αγορά, βρίσκονται ακόμη σε πρωτογενή στάδια, αφού δεν έχουν αποφασιστεί ακόμα οι γενικότερες τάσεις σχεδιασμού.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

Η μέθοδος Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση έχει εφαρμογή σε μεγάλο της μέρος στον τομέα της ανακύκλωσης, όπου για παράδειγμα μελετούνται οι κατασκευές κτηρίων ώστε να μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν κάποια ή όλα αν είναι δυνατόν τα υλικά, δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής των υλικών ξεχωριστά είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του κτηρίου σαν σύνολο. Αυτή η εφαρμογή της μεθόδου είναι πολύ βασική στην εξοικονόμηση ενέργειας και πρώτων υλών.

Στη συντήρηση αυτή η μέθοδος έχει πάρα πολλές εφαρμογές. Ένας μεγάλος και βασικός τομέας είναι η *αεροναυπηγική*. Είναι γνωστό ότι τα αεροσκάφη απαιτούν προληπτική συντήρηση μετά από ένα μικρό αριθμό πτήσεων. Αυτό σημαίνει ότι κάποια τμήματα θα πρέπει να αντικατασταθούν ή να επισκευαστούν. Όπως και να έχει είναι κατανοητό ότι κάποια τμήματα θα πρέπει να είναι ευκολότερο να τα προσεγγίσουν και να τα απομονώσουν οι τεχνικοί. Εδώ φαίνεται το πόσο σημαντική είναι εφαρμογή της μεθόδου αφού δίνει λύσεις σε μια αρκετά περίπλοκη περίπτωση συντήρησης. Εκτός από την “σειρά” με την οποία τοποθετούνται τα διάφορα τμήματα ή εξαρτήματα μελετάται και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται αυτά μεταξύ τους. Εδώ εκτός από την ευκολία θα πρέπει να μελετηθεί και το θέμα της ασφάλειας.

Ένας ακόμη κλάδος στον οποίο χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος είναι η *αυτοκινητοβιομηχανία*. Εδώ τα πράγματα είναι παρεμφερή με την αεροναυπηγική. Μελετάται η ευκολία στο να απομονωθεί το κάθε κομμάτι καθώς και πόσο οικονομικότερη μπορεί να γίνει η συντήρηση. Σε αυτή την περίπτωση η μέθοδος έχει χρήση και στη παραγωγή όπου μπορούν να γίνονται δύο ή περισσότερες εργασίες αφού έχει ήδη μελετηθεί η παραγωγή του.

Ένα τμήμα της προσπάθειας της Κορεάτικης εταιρίας *HYUNDAI MOTORS* για την υποστήριξη του Σχεδιασμού για το Περιβάλλον, ακολουθεί από το 1998 τη

μέθοδο Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση. Το 2002 η εταιρία άρχισε να αναπτύσσει μια μέθοδο DFD μέσω μιας έρευνας από κοινού με το Εθνικό Πανεπιστήμιο Pusan. Τα εργαλεία αξιολόγησης της μεθόδου DFD και η πορεία που ακολουθείται στο σχεδιασμό ενσωματώθηκαν στο Σύστημα Πληροφοριών Αξιολόγησης της Ανακυκλωσιμότητας RAIS (Recyclability Assessment Information System)

Το μοντέλο Z1 της **BMW** παραγωγής του 1991, του οποίου τα πλαϊνά πλαστικά είναι ξεχωριστά κομμάτια, είναι ένα παράδειγμα αυτοκινήτου το οποίο έχει σχεδιαστεί για αποσυναρμολόγηση. Κατά το Σχεδιασμό του αυτοκινήτου κάποια πράγματα έγιναν μάθημα στους κατασκευαστές. Μετά από μελέτες οι σχεδιαστές είδαν ότι οι κόλλα ή η ύλη συγκολλήσεως στους προφυλακτήρες για παράδειγμα θα πρέπει να αντικατασταθούν με συνδέσμους έτσι ώστε να μπορεί να αντικατασταθεί αν χρειαστεί και να αποσπαστεί ευκολότερα όταν θα έρθει η ώρα να ανακυκλωθεί. Σήμερα η BMW με χρήση τέτοιων συνδέσμων και υλικών τα οποία μπορούν να αποσπαστούν πλέον, έχει φτάσει να ανακυκλώνει το 80% του βάρους των οχημάτων της και στοχεύει στο να μπορεί να ανακυκλώσει το 90%.



Εικόνα 6: Τεχνικοί στην διαδικασία συντήρησης ενός αεροσκάφους



Εικόνα 7: Εφαρμογή της μεθόδου στην κατασκευή αυτοκινήτων

Μια ακόμη εφαρμογή της μεθόδου είναι στη *βιομηχανία όπλων*. Και αυτές οι βιομηχανίες χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο αφού τα όπλα μετά την παραγωγή τους θα πρέπει να συντηρηθούν ή να επισκευαστούν. Έτσι θα πρέπει να μπορεί να χωριστεί στα διάφορα κομμάτια εύκολα χωρίς πολλές διαδικασίες. Για παράδειγμα στο G3A3 που φαίνεται στη παρακάτω φωτογραφία είναι τυφέκιο το οποίο χρησιμοποιεί και ο ελληνικός στρατός.



Εικόνα 8: Τυφέκιο G3A3

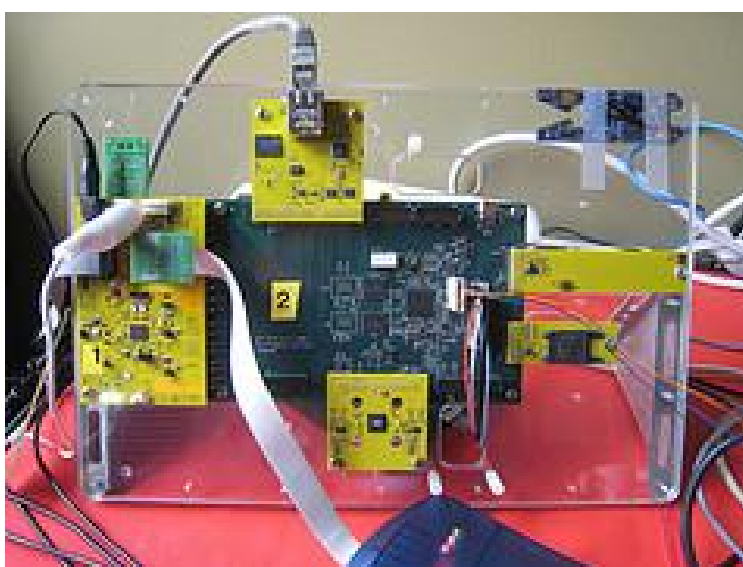
Και εδώ έχει μελετηθεί η κατασκευή του προϊόντος ώστε να μπορεί να συντηρηθεί (ο καθαρισμός και η λίπανση είναι απαραίτητη μετά από κάθε χρήση ή τουλάχιστον 1 φορά την εβδομάδα) ή να επισκευαστεί. Τα μέρη του

είναι συνδεδεμένα με πύρους έτσι ώστε να μπορεί να λυθεί εύκολα το όπλο. Ακόμη με τον ίδιο τρόπο συνδέονται και διάφορα περιφερειακά (αορτήρας, διόπτρα κτλ) έτσι ώστε να καθίσταται εύκολη η τοποθέτηση και η αφαίρεσή τους.



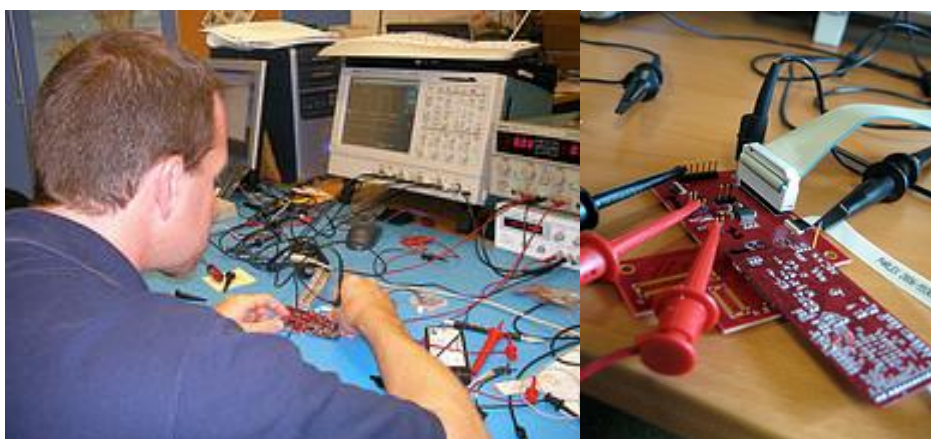
Εικόνα 9: Αποσυναρμολόγηση του όπλου

Η μέθοδος DFD έχει εφαρμογή στους *ηλεκτρονικούς υπολογιστές, στα περιφερειακά συστήματα και στα κινητά τηλέφωνα*. Εδώ τα πράγματα είναι πιο περίπλοκα αφού τα διάφορα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται το προϊόν είναι πολύ μικρά.

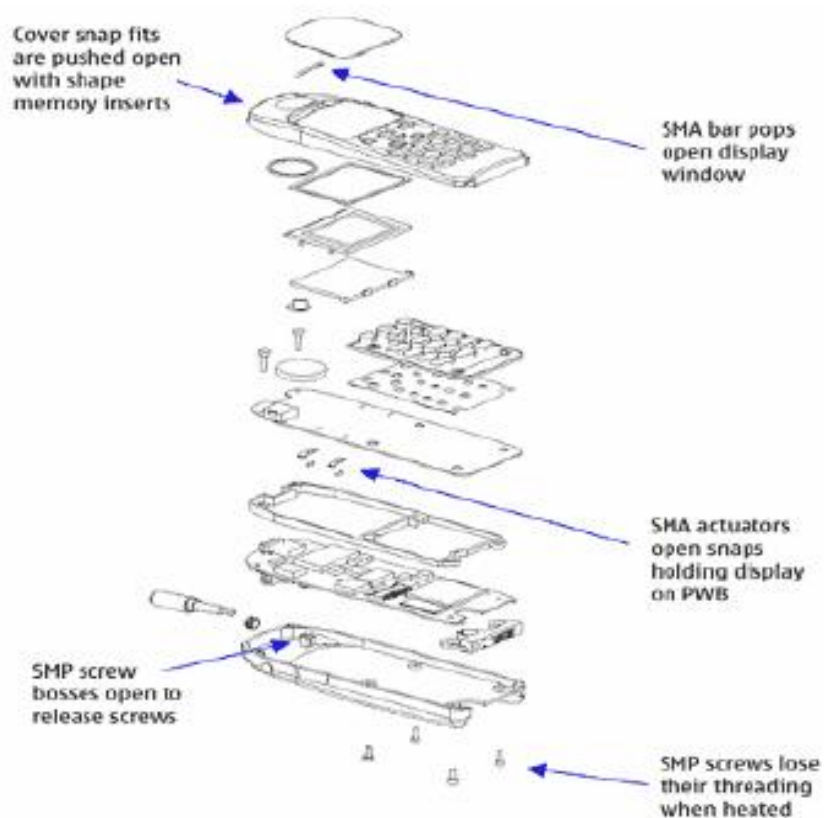


Εικόνα 10: Αποσυναρμολογήματα Η/Υ

Το μικρό μέγεθος των εξαρτημάτων ενός υπολογιστή ή ενός κινητού κάνουν την επισκευή και την συντήρησή τους αρκετά δύσκολη. Σε αυτή την περίπτωση ο σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση παίζει σημαντικό ρόλο. Τα κομμάτια μετά από μελέτη τοποθετούνται έτσι ώστε να διευκολύνεται η αφαίρεσή τους.



Εικόνα 11: Αποσυναρμολόγηση εξαρτήματος από τεχνικό



Εικόνα 12: Μορφομεταβλητές συνδέσεις σε κινητά τηλέφωνα

Η εταιρία **HEWLETT-PACKARD - HP** σχεδιάζει τα προϊόντα της με σκοπό να μπορούν να ανακυκλωθούν. Ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση περιλαμβάνει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- § Ο σχεδιασμός των προϊόντων γίνεται με τρόπο τέτοιο έτσι ώστε να επιτρέπεται η αφαίρεση, η αναβάθμιση, η αντικατάσταση και η ανακύκλωση του κάθε μέρους.
- § Κατά τον σχεδιασμό μελετάται η αποφυγή κολλών και συγκολλήσεων και προτιμούνται κλιπς και σύνδεσμοι οι οποίοι μπορούν να αφαιρεθούν ευκολότερα.
- § Χαρακτηρίζουν κατά τον σχεδιασμό τα πλαστικά μέρη τα οποία ζυγίζουν περισσότερο από 25g σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO 11469 με σκοπό να επιταχύνει τον διαχωρισμό των υλικών στη φάση της ανακύκλωσης.
- § Τέλος οι σχεδιαστές προσπαθούν να μειώνουν τον αριθμό και τους διαφορετικούς τύπους των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Μια άλλη εφαρμογή του Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση με σκοπό τη συντήρηση και την ανακύκλωση αφορά στην εταιρία GE Plastics, η οποία κατασκευάζει πλαστικά προϊόντα. Το εύρος του αντικειμένου της GE Plastics ξεκινάει από την κατασκευή κατσαρολών τσαγιού που με τη χρήση DFD είναι εύκολο να αποσυναρμολογηθούν και να επισκευασθούν ή να ανακυκλωθούν, μέχρι την μετατροπή παλαιών κουτιών υπολογιστών σε στέγαστρα εστιατορίων.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας που έγινε στα πλαίσια της μεθόδου Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση, εύκολα βγαίνει το συμπέρασμα ότι με βάση αυτή τη μέθοδο λειτουργούν πλέον όλες οι μεγάλες εταιρίες που παράγουν μεγάλες ποσότητες προϊόντων και έχουν τον κατάλληλο εξοπλισμό ώστε να εξυπηρετούν τους πελάτες αλλά και να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προστασία του περιβάλλοντος. Σύντομα μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- Η μέθοδος DFD περιλαμβάνει την εξέταση ολόκληρου του κύκλου ζωής του προϊόντος.
- Τόσο το οικονομικό όσο και το οικολογικό όφελος της μεθόδου αντισταθμίζει τις δαπάνες της.
- Η μέθοδος είναι ένα σημαντικό τμήμα της ποιοτικής στρατηγικής μιας εταιρίας.
- Σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες η μέθοδος DFD σύντομα θα χρησιμοποιείται δια νόμου.

Οι πελάτες μένουν ικανοποιημένοι λόγω της εύκολης πλέον συντήρησης των προϊόντων που αγοράζουν και της εύκολης χρήσης τους. Όσο για το περιβάλλον όπου αναφέρεται για την μέθοδο σχεδιασμού για ανακύκλωση, με την συναρμολόγηση και την αποσυναρμολόγηση μπορούν οι εταιρίες που ανακυκλώνουν τα προϊόντα τους να επιλέγουν τα αποσυναρμολογημένα κομμάτια και να τα στοιβάζουν το καθένα εκεί που ανήκει ανάλογα με το υλικό τους.

Εταιρίες που εφαρμόζουν αυτή την μέθοδο είναι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας, ηλεκτρονικών υπολογιστών, οικοδομικών επιχειρήσεων και κυρίως βιομηχανικών εταιριών όπως αυτοκινητοβιομηχανιών, αεροβιομηχανιών και κυρίως προϊόντων όπου χρειάζεται σχεδιασμός και μελέτη.

Σχεδιάζοντας τα προϊόντα έτσι ώστε να είναι εύκολο να αποσυναρμολογηθούν δίνεται μια σημαντική βοήθεια στο να διατηρηθούν οι φυσικοί πόροι αφού πολλά υλικά επαναχρησιμοποιούνται και αν η αποσυναρμολόγηση εφαρμόζεται σωστά τότε μπορεί να μειωθεί και το κόστος της παραγωγής και της συντήρησής του προϊόντος.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των εταιριών που χρησιμοποιούν τη μέθοδο του Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση έχουν σκοπό να βελτιώσουν την ανακυκλωσιμότητα των προϊόντων που παράγουν. Ο σχεδιασμός των προϊόντων έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει όλες τις κατάλληλες προϋποθέσεις για μια αποδοτική αποσυναρμολόγηση. Μπορεί να αντιμετωπίσει και την μεγάλη ποικιλία που θα προσέλθει για αποσυναρμολόγηση, αλλά και τις φθορές που θα έχουν δημιουργηθεί στο προϊόν.

Μέχρι τώρα έχει ειπωθεί πολλές φορές ότι η αποσυναρμολόγηση δεν είναι η αντίστροφη συναρμολόγηση. Αυτό όμως στην πράξη δεν εφαρμόζεται. Οι εταιρίες κάνουν προσπάθειες για να δημιουργήσουν «έξυπνα» εργαλεία αντίστροφης συναρμολόγησης, δηλαδή εργαλεία τα οποία θα «θυμούνται» την συναρμολόγηση και θα την εφαρμόζουν αντίστροφα. Ακόμη προσπαθούν αυτά τα εργαλεία να προβλέπουν και να λαμβάνουν υπόψη τους τις φθορές των προϊόντων κατά τη διάρκεια ζωής τους. Είναι κατανοητό ότι οι φθορές του προϊόντος κατά τη διάρκεια ζωής του επηρεάζουν τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης. Παρατηρείται τελικά ότι δεν παύουν οι εταιρίες να προχωρούν μέσα από το δρόμο της αντίστροφης συναρμολόγησης.

Οι σχεδιαστές μπορούν να δημιουργήσουν ένα μονοπάτι αποσυναρμολόγησης (αλληλουχία αποσυναρμολόγησης) με τέτοιους τρόπους, έτσι ώστε οι τυχόν φθορές να μην δυσκολεύουν τη διαδικασία. Η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης μπορεί να περιλαμβάνει π.χ.:

- § Δημιουργία νέων συνδέσμων που δεν φθείρονται και που η λύση τους δεν βασίζεται σε μηχανική δύναμη (π.χ. ηλεκτρικοί σύνδεσμοι).

- § Αδιαφορία για πολλούς συνδέσμους που μπορεί να έχουν αλλοιωθεί.
- § Έξυπνες μεθόδους απόσπασης πολύτιμων, επικίνδυνων, ανακυκλώσιμων υποσυνόλων (ενοποίηση τους και απόσπασή τους ακόμα και με μηχανική δύναμη).
- § Το σχεδιασμό για ελεγχόμενες θραύσεις ή τομές σε συγκεκριμένα μέρη ή σημεία που θα είναι εκ κατασκευής ασθενέστερα.
- § Δημιουργία νέων μεθόδων αποσυναρμολόγησης που δεν θα εμποδίζεται από μηχανικές φθορές (ενεργητική αποσυναρμολόγηση, αποσυναρμολόγηση στον χώρο).

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι παρά τις δυσκολίες που υπάρχουν στην μελέτη του Σχεδιασμού για Αποσυναρμολόγηση δεν μπορεί να μην ληφθεί υπόψη ότι μερικές από τις μεγαλύτερες εταιρίες σε διάφορους κλάδους (BMW, HP, ELBO κτλ), χρησιμοποιούν την μέθοδο αυτή και έχουν ωφεληθεί σε διάφορα θέματα. Έχουν για παράδειγμα μειώσει το κόστος του καταναλωτή στη συντήρηση. Ακόμα έχουν αυξήσει το ποσοστό των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν μειώνοντας έτσι το κόστος της παραγωγής.

Για να γίνει όμως η σωστή χρήση του DFD πρέπει να υπάρχει ειδική εκπαίδευση των σχεδιαστών με σεμινάρια και ακόμα εκπαιδευτικές αποστολές στις μεγάλες εταιρίες πχ BMW , MERCENTES όπου εφαρμόζουν το DFD για να έχουν εμπειρικές γνώσεις.

Αυτή τη μέθοδο την χρησιμοποιούν αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες όπως Μεγάλη Βρετανία , Γερμανία , Ιαπωνία , Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ενώ στην Ελλάδα βρίσκεται σε υβριδικό στάδιο λόγω των μηδενικών υποδομών που υπάρχει στον κλάδο της βιομηχανίας.

7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

American Plastic Council, “A Design Guide for Information and Technology Equipment” and graph structural properties of assembly Petri net.” Proc. of IEEE Int’l Conf. on Robotics & Automation, Atlanta, GA, May 1993, pp507-514.

Barg A., “Konzeption einer recyclinggerechten Product- und Produktionsplanung,” Dr.ing. Speech, , WZL, Aachen, January 1991

Beitz W. “Designing for ease of recycling-General approach and industrial applications.” Journal of Engineering Design (4), pp. 11-23. (1993)

Boothroyd G., Alting L., “Design for Assembly and Disassembly”, Annals of the CIRP, Vol.41/2/1992.

Burke D.S., Beiter K. and Ishii K. “Life-cycle design for recyclability, Design Theory & Methodology,” 42, (1992).

Can T.H. and Sanderson A.C. “AND/OR net representation for robotic task sequence planning.” IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics-Part C: Application and Review (v28, n2, May 1998), pp204-218.

Crowther Philip “Design for disassembly” (Crowther-RAIA-1999.pdf)

Crowther Philip “Design for disassembly” (Crowther-RAIA-2005.pdf)

Cser I., Schwartz n., Istvan Z., Linkopings University, “Design for Disassembly Systems...for Systemized System Development”, “Life Cycle Analysis and Eco-design Aspects for Cleaner Products.

“Design for Manufacture and Assembly (DFMA) ME 183” September 12, 2005.

Dewhurst P. “Design for disassembly”, Boothroyd Dewhurst Inc.(1993)

Dewhurst Peter “Design for disassembly” report #63 October 1992 (pdf)

Dowie T. “A disassembly and optimisation methodology for design”, PhD Thesis, Manchester Metropolitan University.(1995)

Dowie T. and Simon M. “Disassembly and recycling analysis of a cylinder vacuum cleaner,” Technical Report DDR/TR11, Manchester Metropolitan University. (Mar 1994)

Dowie T. and Simon M. “Disassembly and recycling analysis of telephones”, Technical Report DDR/TR9, Manchester Metropolitan University.(Nov 1993)

Dowie T. “Disassembly and recycling comparison of a Hoover Turbopower 1000 and Electrolux Z1490”, Technical Report DDR/TR20, Manchester Metropolitan University.(1995)

Dowie T. “Estimation of disassembly times”, Technical Report DDR/TR15, Manchester Metropolitan University.(Oct 1994)

Dowie-Bhamra, T., “Design for Disassembly”, Διαθέσιμο στο Beardsley B., Parulian A., Berners D. and Kroll E. “Product evaluation for ease of Disassembly, Texas A & M University, 1993

Fiksel J., “Design for the Environment: An integrated systems approach”, IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Virginia, IEEE.(1993)

Fiksel, J. “Design for Environment: Creating Eco-Efficient Products and Processes. “ New York: McGraw-Hill. (1996)

Fleischmann M., Bloemhof-Ruwaard J.M., Dekker R., Van der Laan E., van Nunena J.A.E.E., and van Wassenhove L.N. “Quantitative models for reverse logistics: A review.” European Journal of Operational Research (v103, nl, Nov. 16, 1997), pp1-17.

Galantucci L. M., Percoco G. & Spina R. “Assembly and Disassembly by using Fuzzy Logic & Genetic Algorithms”, pp.67 - 74, International Journal of Advanced Robotic Systems, Volume 1 Number 2 (2004), ISSN 1729-8806

Geiger D. and Zussman E. “Probabilistic reactive disassembly planning.” Annals of the CIRP (v45, n1), pp49-52. (1996)

Grogan, P. “Auto wreckers.” Biocycle (05, n86). (1994)

Gungor A. and Gupta S.M. "Disassembly line balancing." Proc. of Northeast Decision Science Institute Conf., pp193-195. (1999a)

Gungor A. and Gupta S.M. "Disassembly sequence planning for complete disassembly in product recovery." Proc. of Northeast Decision Sciences Institute Conf, Boston, March 25-27, pp250252. (1998b)

Gungor A. and Gupta S.M. "Disassembly sequence planning for products with defective parts in product recovery." Computers and Industrial Engg. (05), pp 161-164. (1998a)

Gungor A. and Gupta S.M. "Issues in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery: A Survey." Computer and Industrial Engg. (An Int'l Journal) (06, n4). (1999c)

Harjula T., Rapoza B., Knight W.A., Boothroyd G., "Design for Disassembly and the Enviroment", Annals of the CIRP, Vol 45/1/1996

Hartmann H. and Baumann M., "Cost-model for assembly," Overhead foils send by WZL, Aachen, (1991)

Homem de Mello L.S. and Sanderson A.C. "AND/OR graph representation of assembly plans." IEEE Trans. on Robotics & Automation (v6, n2), pp188-199. (1990)

Homem de Mello, L.S. and Sanderson, A.C. "A correct and complete algorithm for the generation of mechanical assembly sequences." IEEE Trans. on Robotics & Automation (v7, n2), pp228-240. (1991)

Inaba A., Suzuki T., and Okuma S. "Feasibility of disassembly tasks considering a posture of a subassembly using genetic algorithm." Proc. of IEEE/ASME Int'l Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, Tokyo, June 1997, pp79-84. (1997)

Ishii K., "Material Selection Issues in Design for Recyclability" Proceedings of the Second International Conference on Ecobalance, Tsukuba, Japan, pp.435-440 (November 1996)

Jensen A.A. et.al, "Final report: Life Cycle Assesment (LCA). A guide to approaches, experiences and information sources" Report to the European Environment Agency, Copenhagen concerning Service Contract no. 300/SER/9600235/96/gb1.lca, 1997

Jovane F., Alting L., Armillotta A., Eversheim W., Feldmann K., Seliger G. and Roth N., "A key issue in product life cycle: disassembly, Annals of the CIRP" 42(2).!1993)

Kahmeyer M. and Leicht T. "Dismantling facilitated, Kunststoffe German Plastics" 81(12). (1991)

Kalisvaart S., Remmerswaal J., "The MET points Method- a new single figure environmental performance indicator", Proc. of Integrating Impact Assessment into LCA, SETAC, Brussels, October 1994

Kopacek P. and Kronreif G. "Semi-automated robotized disassembly of personal computers." Proc. of IEEE Int'l Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'96), Hawaii, Nov. 1996, pp567-572.

Lee K. and Gadh R. "Computer aided design-for-disassembly: A destructive approach." Concurrent Product and Process Engg. (ASME MED-v1/DE-v85), pp237-249. (1995)

Meacham A., Uzsoy R., and Venkatadri U. "Optimal disassembly configurations for single and multiple products." Journal of Manufacturing Systems (v18, n5), pp31-322. (1999)

Meier B. "Breaking down an arms buildup: Dismantling and recycling weapons." New York Times (late New York edition), ppD I D2. (1993)

MengChu Zhou, Dept. of Electrical & Computer Engineering, New Jersey Institute of Technology, Newark, New Jersey, USA.

Moore K.E., Gungor A., and Gupta S.M. "Petri net approach to disassembly process planning." Computers and Industrial Engg. (v35, n1-2), pp165-168. (1998a)

Navin-Chandra D. (1991). "Design for environment ability. 3rd Int'l Conf. on Design Theory and Methodology", ASME, Miami, FL, pp 119-125. Scheuring J., Bras, B., and Lee K.M. (1994).

Reggie Caudill, "Multi-lifecycle Engineering Research Center," New Jersey Institute of Technology, Newark, New Jersey, USA

Schmaus T. and Kahmeyer M. "Design for disassembly - challenge of the future", DFMA 1992, RI, USA, BDI.(1992)

Seliger G. and Krause F.L., "Private Communicationes," Technische Universitat, Berlin, (1991)

Simon M , "Design for Dismantling," Professional Engineering, Nov. 1991

Spath D., Weule H., "The Utilization of Hypermedia-Based Information Systems for Developing Recyclable Products and for disassembly Planning", Annals of the CIRP, Vol.43/1/1994

Srinivasan H. and Gadh R. "Selective disassembly: Representation and comparative analysis of wave propagation abstractions in sequence planning." Proc. of IEEE Int'l Symp. on Assembly and Task Planning, Porto, Portugal, July 1999, pp129-134. (1999)

Subramani A.K. and Dewhurst P. "Automatic generation of product disassembly sequences." "On algebraic" Annals of the CIRP (v40, n1)(1991), ppl 15-118. Suzuki, T.; Kanehara T., Inaba A.; and Okuma S. (1993).

Tang Y, Zhou M.C., Zussman E., and Caudill R. "Disassembly modeling, planning, and application: A review." Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics & Automation (v3), San Francisco, CA, April 2000, pp2197-2202.

Thomas J.P., Nissanke N., and Baker K.D. "A hierarchical Petri net framework for the representation and analysis of assembly." IEEE Trans. on Robotics & Automation (v12, n2), pp268-279. (1996)

Tsai-Yen Li and Hsuan Chang "Design for maintenance by constrained motion " (asme95.pdf)

Tzafestas A.G.; Anthopoulos A., Katevas N., and Spyropoulou E. “Architecture and implementation of an autonomous car-disassembly system.” Systems Analysis, Modeling, Simulation (v29), pp 129-149. (1997)

Wang M. H., Johnston M.R. and Dutta S.,” Design for the Environment: An imperative concept in concurrent engineering”, CE & CALS, Washington.(1993)

Warnecke H.J., and Steinhilper R. “Designing products with built-in reconditioning features,” Proceeding of Design Engineering Conference, Birmingham, 1983.

Wittenberg G., “Life after death for consumer products, Assembly Automation”, 12(2). (1992).

Δημόπουλος Παναγιώτης, Μηχ. Μηχανικός “Ανακύκλωση Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού. Η Πρόκληση της Αποσυναρμολόγησης”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, 2004.

Καραμπάτσου Βασιλική, Δρ. Μηχ. Μηχανικός “Συντήρηση Μηχανολογικού Εξοπλισμού”, ΑΤΕΙ Πάτρας, 2008.