



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σχεδίαση για Συναρμολόγηση και Αποσυναρμολόγηση»

ΠΕΤΡΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΧΑΝΙΑ 2010

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Διπλωματική Εργασία

Σχεδίαση για Συναρμολόγηση και Αποσυναρμολόγηση

Υπό

Πέτρου Μαρία

Εξεταστική επιτροπή:

Πρώτος Εξεταστής (επιβλέπων): Μπιλάλης Νικόλαος

Δεύτερος Εξεταστής: Αντωνιάδης Αριστομένης

Τρίτος Εξεταστής: Μουστάκης Βασίλης

XANIA 2010

Στην οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας, τον κύριο Μπιλάλη Νικόλαο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το σύγχρονο αυτό θέμα και για τη βοήθειά του κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση προϊόντων για συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση.

Για την επίτευξη μιας αποδοτικής συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης θα πρέπει ο σχεδιαστής να ακολουθεί συγκεκριμένες σχεδιαστικές οδηγίες, να αξιολογεί τη σχεδίασή του για να εντοπίζει τα ελαττωματικά σημεία αυτής και να ενσωματώνει τις κατάλληλες βελτιωτικές αλλαγές στα σημεία αυτά. Η δομή της διπλωματικής είναι η ακόλουθη:

Στο *πρώτο κεφάλαιο* γίνεται αναφορά στη σπουδαιότητα της διαδικασίας της σχεδίασης κατά την ανάπτυξη ενός προϊόντος, καθώς και στη σχεδίαση για X-δυνατότητα.

Στο *δεύτερο κεφάλαιο* αναλύεται η διαδικασία της συναρμολόγησης και η σπουδαιότητά της. Γίνεται αναφορά στα τρία διαδοχικά στάδια εκτέλεσης της συναρμολόγησης καθώς επίσης και στις μεθόδους με τις οποίες πραγματοποιείται η διαδικασία.

Το *τρίτο κεφάλαιο* διαπραγματεύεται το θέμα της σχεδίασης για συναρμολόγηση. Γίνεται λεπτομερής παράθεση των σχεδιαστικών οδηγιών που θα πρέπει να ακολουθήσει ο σχεδιαστής, αναλύονται οι διάφοροι μέθοδοι αξιολόγησης της σχεδίασης καθώς και οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για τη βελτίωση της σχεδίασης για συναρμολόγηση.

Στο *τέταρτο κεφάλαιο* αναλύεται η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης και η σπουδαιότητά της. Διακρίνονται τα είδη της αποσυναρμολόγησης και επισημαίνονται οι θετικές επιπτώσεις καθώς και οι τεχνικές δυσκολίες της διαδικασίας.

Στο *πέμπτο κεφάλαιο* αναπτύσσεται το ζήτημα της σχεδίασης για αποδοτική αποσυναρμολόγηση και αναλύονται οι τέσσερις τομείς που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, ώστε ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός να αποδώσει μια αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση.

Στο *έκτο κεφάλαιο* γίνεται λόγος για το μέλλον των προϊόντων μετά την αποσυναρμολόγησης τους. Γίνεται αναφορά στη μέχρι τώρα διαχείριση των αποβλήτων και στα προβλήματα που προκαλούν αυτά στο περιβάλλον. Η λύση στο πρόβλημα είναι η εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων. Αναφέρονται οι γενικές αρχές της εναλλακτικής διαχείρισης.

Στο *έβδομο κεφάλαιο* επισημαίνονται οι επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται στα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα ΗΗΕ και αυτές που περιέχονται στις καθοδικές λυχνίες. Επίσης γίνεται αναφορά και στις αρνητικές επιπτώσεις που έχουν οι ουσίες αυτές στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Στο *όγδοο κεφάλαιο* πραγματοποιείται μια εργαστηριακή εφαρμογή συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης της οθόνης H/Y και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τις διορθωτικές αλλαγές που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν, ώστε να πραγματοποιηθούν αποτελεσματικά οι παραπάνω διαδικασίες.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΕΗΗΕ	Είδη Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού
ΗΗΕ	Ηλεκτρικός και Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός
ΑΗΗΕ	Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΚ	Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο
ΕΟΚ	Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα
ΟΤΑ	Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής
Η/Υ	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
IARC	Διεθνής Οργανισμός Έρευνας Καρκίνου
BDE	Βρωμιούχο Επιβραδυντικό Καύσης
PBB	Πολυβρωμοδιφαινύλιο
PBDE	Πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρας
PBDD	Πολυβρωμοδιβενζοδιοξίνη
PBDF	Πολυβρωμοδιβενζοφουράνιο
PCB	Πολυχλωροδιφαινύλιο
CFC	Χλωροφθοράνθρακας
PVC	Πολυβινυλοχλωρίδιο
EOL	End – Of – Life
CRT	Οθόνη Καθοδικών Ακτίνων

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ	15
2.1 Ορισμός και σπουδαιότητα της διαδικασίας συναρμολόγησης	15
2.2 Τα στάδια εκτέλεσης της διαδικασίας συναρμολόγησης.....	15
2.3 Οι μέθοδοι συναρμολόγησης.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ	19
3.1 Ορισμός.....	19
3.2 Οδηγίες σχεδίασης για τις μεθόδους συναρμολόγησης.....	19
3.2.1 Συναρμολόγηση με το χέρι.....	19
3.2.2 Αυτόματη συναρμολόγηση.....	22
3.2.3 Ρομποτική συναρμολόγηση.....	23
3.3 Μέθοδοι αξιολόγησης της σχεδίασης για συναρμολόγηση.....	24
3.3.1 Η μέθοδος Hitachi.....	24
3.3.2 Η μέθοδος Lucas.....	27
3.3.3 Η μέθοδος Boothroyd – Dewhurst.....	33
3.4 Μέθοδος σχεδιασμού για συναρμολόγηση βασισμένη σε πρότυπες μεθόδους μέτρησης χρόνου (MTM).....	39
3.5 Μέθοδοι βελτίωσης της σχεδίασης για συναρμολόγηση.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ	44
4.1 Ορισμός και σπουδαιότητα της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης.....	44
4.2 Τα είδη αποσυναρμολόγησης.....	44
4.3 Οι θετικές επιπτώσεις της αποσυναρμολόγησης.....	46
4.4 Τεχνικές δυσκολίες αποσυναρμολόγησης.....	48

4.5 Διαφορές συναρμολόγησης – αποσυναρμολόγησης.....	48
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΙΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ...51

5.1 Σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση.....	52
5.1.1 Θεωρία Υποσυνόλων.....	53
5.1.2 Θεωρία Συνδέσμων.....	57
5.1.3 Τα τέσσερα βασικά στάδια του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση.....	60
5.1.4 Οδηγίες σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση.....	61
5.1.5 Υπερδραστήριος σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση βασισμένος σε πρότυπες μεθόδους μέτρησης χρόνου (MTM).....	63
5.1.6 Αξιολόγηση του σχεδιασμού της αποσυναρμολόγησης βασιζόμενη σε οικονομικά κριτήρια.....	66
5.1.7 Μεθοδολογία βελτίωσης του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση.....	67
5.2 Σχεδιασμός ακολουθίας αποσυναρμολόγησης.....	69
5.2.1 Είδη αλγορίθμων.....	70
5.2.2 AND/OR γραφική παράσταση.....	70
5.2.3 Γραμμικός Προγραμματισμός.....	71
5.2.4 Πίνακας Προτεραιοτήτων Αποσυναρμολόγησης.....	71
5.2.5 Δένδρο Προτεραιοτήτων.....	72
5.2.6 Σχεδιασμός της ακολουθίας αποσυναρμολόγησης για προϊόν με ελαττωματικά μέρη.....	73
5.3 Υπολογισμός βάθους αποσυναρμολόγησης.....	74
5.4 Βοηθητικό Λογισμικό Σχεδιασμού Αποσυναρμολόγησης.....	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ...77

6.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα από τη διαχείριση των ΑΗΗΕ.....	78
6.2 Η διαχείριση των ΑΗΗΕ έως σήμερα.....	80
6.2.1 Αποτέφρωση.....	80
6.2.2 Υγειονομική ταφή.....	81

6.2.3	<i>Ανάκτηση ενέργειας.....</i>	83
6.3	Εναλλακτική διαχείριση ΑΗΗΕ.....	83
6.3.1	<i>Γενικές αρχές εναλλακτικής διαχείρισης.....</i>	84
6.3.2	<i>Εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης αποβλήτων συγκεκριμένων ηλεκτρικών συσκευών.....</i>	86
6.3.3	<i>Ανακυκλώσιμα υλικά.....</i>	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ.....		90
7.1	Επικίνδυνες ουσίες στα ΑΗΗΕ.....	90
7.2	Επιδράσεις των επικίνδυνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.....	92
7.2.1	<i>Μόλυβδος.....</i>	92
7.2.2	<i>Κάδμιο.....</i>	93
7.2.3	<i>Υδράργυρος.....</i>	94
7.2.4	<i>Εξασθενές χρώμιο.....</i>	95
7.2.5	<i>PVC.....</i>	96
7.2.6	<i>Βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης.....</i>	96
7.2.7	<i>Βηρύλλιο.....</i>	98
7.2.8	<i>Αμίαντος.....</i>	98
7.3	Επικίνδυνες ουσίες σε καθοδικές λυχνίες.....	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ Η/Υ.....		100
8.1	Διαδικασία συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης οθόνης Η/Υ.....	101
8.2	Συμπεράσματα.....	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....		111
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....		112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία της σχεδίασης προϊόντων είναι μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την ανάπτυξη ενός προϊόντος. Είναι ένας τομέας ο οποίος έχει σημειώσει σημαντική εξέλιξη και βελτίωση στο πέρασμα των χρόνων και αποτελεί αντικείμενο συνεχούς έρευνας και μελέτης εξαιτίας των νέων δεδομένων και δυνατοτήτων που προκύπτουν από τη ραγδαία εξέλιξη των τεχνολογιών. Παλαιότερα η έννοια του προϊόντος ήταν ιδιαίτερα απλουστευμένη και η διαδικασία της σχεδίασής του ήταν μία καθαρά συμβατική διαδικασία. Οι παράγοντες που λαμβάνονταν υπόψη κατά τη σχεδίαση του προϊόντος ήταν οι ακόλουθοι:

- Η μορφή του προϊόντος.
- Η λειτουργία του προϊόντος.
- Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του προϊόντος.
- Η κατεργασία που θα υποστεί το προϊόν, ώστε να λάβει την τελική, ολοκληρωμένη μορφή.

Τις τελευταίες όμως δεκαετίες τα δεδομένα σε αυτόν τον τομέα άλλαξαν. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των Η/Υ και επικοινωνιών, η ευρύτατη χρήση του διαδικτύου και η ανάπτυξη των μέσων μεταφοράς επέφεραν δομικές αλλαγές στο επίπεδο προσδιορισμού της έννοιας του προϊόντος και συνέβαλλαν στην ανάδυση νέων προϊόντων με συνεχώς αυξανόμενη πολυπλοκότητα. Η εξάπλωση της κοινωνίας της πληροφορίας, η παγκοσμιοποίηση και οι νέες ανάγκες και απαιτήσεις που προκύπτουν, ώθησαν τις επιχειρήσεις στο να συνειδητοποιήσουν ότι για να είναι το προϊόν που παράγουν βιώσιμο και ανταγωνιστικό μέσα στην παγκόσμια πλέον αγορά που διακινείται, θα πρέπει να αναθεωρήσουν τις συμβατικές μεθόδους που χρησιμοποιούσαν μέχρι τώρα για τη σχεδίαση αλλά και γενικότερα για την ανάπτυξη των προϊόντων τους. Κατ' επέκταση, έχει αυξηθεί και η απαιτούμενη γνώση που πρέπει να κατέχει ο σχεδιαστής, ώστε να μπορέσει να ανταπεξέλθει στα νέα δεδομένα της αύξησης της πολυπλοκότητας της διαχείρισης της σχεδίασης. Βέβαια η πρωταρχική σκέψη του σχεδιαστή εξακολουθεί να είναι το πώς θα λειτουργήσει σωστά το προϊόν το οποίο σχεδιάζει. Πλέον όμως λαμβάνει υπόψη του ότι το προϊόν αυτό προορίζεται για μαζική παραγωγή και ότι θα πρέπει να είναι ανταγωνιστικό στα νέα δεδομένα της παγκόσμιας αγοράς όπου θα διατεθεί. Για το λόγο αυτό, για τη σχεδίαση ενός προϊόντος, απαιτείται και η συνέργεια του αντίστοιχου τμήματος marketing της επιχείρησης το οποίο παρέχει στο σχεδιαστή όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τις ανάγκες των καταναλωτών, την τάση και τη ζήτηση της αγοράς. Αυτές τις πληροφορίες ο σχεδιαστής οφείλει να τις μελετήσει και να τις ενσωματώσει στη σχεδιάσή του, ώστε το προϊόν που θα σχεδιαστεί να είναι σύγχρονο και σύμφωνο με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του καταναλωτή. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνει υπόψη του ένας σύγχρονος σχεδιαστής κατά τη διαδικασία της σχεδίασης είναι η ποιότητα. Ο σχεδιαστής πρέπει

να επιλέξει τα κατάλληλα υλικά και τον κατάλληλο τρόπο κατασκευής, ώστε να παραχθεί γρήγορα και οικονομικά ένα προϊόν υψηλής ποιότητας, ασφαλές και εύχρηστο.

Οι επιχειρήσεις που αφουγκράστηκαν τα νέα δεδομένα και τις νέες ανάγκες που δημιουργήθηκαν, κατάφεραν να αυξήσουν τα κέρδη τους, προωθώντας στην αγορά προϊόντα ποιοτικά, οικονομικά που ικανοποιούσαν τις απαιτήσεις των καταναλωτών και τη ζήτηση της αγοράς. Υπήρξαν όμως και περιπτώσεις επιχειρήσεων, οι οποίες έχοντας σαν μοναδικό τους σκοπό το κέρδος προχώρησαν στην παραγωγή και προώθηση στην αγορά προϊόντων τα οποία δεν πληρούσαν τις προδιαγραφές ποιότητας. Τα προϊόντα αυτά συχνά τα απέσυραν πριν ολοκληρώσουν τον κύκλο ζωής τους και τα αντικαθιστούσαν με νέα, πιο σύγχρονα δημιουργώντας νέες, πολλές φορές πλασματικές ανάγκες στους καταναλωτές. Η συγκεκριμένη πολιτική των επιχειρήσεων είχε σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση ενός τεράστιου αριθμού απορριμμάτων τα οποία δεν μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν εφόσον κάτι τέτοιο δεν είχε προβλεφθεί κατά τη σχεδιάσή τους. Η επίπτωση που έχουν τα απορρίμματα αυτά στο περιβάλλον είναι καταστροφική και γι' αυτό πλέον, τα τελευταία χρόνια, οι σχεδιαστές κλήθηκαν να εξελίξουν περαιτέρω τη σχεδιάσή τους υιοθετώντας έναν περιβαλλοντικά ευαίσθητο σχεδιασμό. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό αυτό, ο σχεδιαστής επιλέγει τα κατάλληλα υλικά για την κατασκευή του προϊόντος καθώς και τον κατάλληλο τρόπο κατεργασίας και κατασκευής του, ώστε το προϊόν που θα παραχθεί να επιτρέπει την εύκολη επιθεώρηση και συντήρησή του στην περίπτωση που επαναχρησιμοποιηθεί αυτούσιο ή κάποιο εξάρτημά του ή να επιτρέπει την ανακύκλωση των υλικών του ή την ανάκτηση της ενέργειάς του εφόσον έχει ολοκληρωθεί ο κύκλος της ζωής του. Με αυτόν τον τρόπο θα επιτευχθεί σημαντική μείωση των απορριφθέντων προϊόντων, τα οποία είναι επιβλαβή για το περιβάλλον αλλά και για την υγεία του ανθρώπου.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η μέθοδος σχεδίασης για την κατασκευή ενός προϊόντος δεν είναι μία απλή μέθοδος βιομηχανικής κατασκευής. Αντιθέτως, είναι μια ενεργή και αποτελεσματική ενσωμάτωση και συγχώνευση των αναγκών του καταναλωτή και της αγοράς, των υλικών, των κατεργασιών, των μεθόδων συναρμολόγησης - αποσυναρμολόγησης, των αναγκών συντήρησης καθώς και οικονομικών και κοινωνικών αναγκών.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση ενός προϊόντος υπάγονται σε μια ευρύτερη φιλοσοφία σχεδιασμού προϊόντων που ονομάζεται «**Σχεδίαση για X-δυνατότητα**» (Design for X), όπου X-σημαίνει παραγωγή, συναρμολόγηση, αξιοπιστία, συντήρηση, επίπτωση στο περιβάλλον, κλπ. (δηλαδή διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά).

Οι κυριότερες δραστηριότητες που περιλαμβάνει η συγκεκριμένη μέθοδος σχεδίασης προϊόντων είναι οι ακόλουθες¹:

¹ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 13

1. Σαφής γνώση και ενσωμάτωση των αναγκών του καταναλωτή και της αγοράς και σωστή λειτουργία του προϊόντος.
2. Βασική ιδέα σχεδίασης και επιλογή των αρχών σχεδίασης.
3. Προσδιορισμός των υλικών και των μεθόδων κατεργασίας.
4. Ανάλυση της σχεδίασης και των κατεργασιών και τροποποίηση της σχεδίασης.
5. Απαιτήσεις όσον αφορά στην ποιότητα.
6. Ανάλυση των μεθόδων συναρμολόγησης - αποσυναρμολόγησης.
7. Μηχανολογικά μοντέλα και λεπτομερής μηχανολογική σχεδίαση.
8. Οικονομική ανάλυση και εκτίμηση του κόστους παραγωγής.
9. Ανάπτυξη προτύπου.
10. Διεξαγωγή μηχανολογικής εξέτασης και επανασχεδίαση.
11. Βιωσιμότητα σχεδίου.
12. Παραγωγή.
13. Έλεγχος της παραγωγής και της διανομής.

Η διαδικασία σχεδίασης προϊόντων για X-δυνατότητα είναι μια διαδραστική μέθοδος που επιτρέπει τη συνεχή αλληλεπίδραση και τη διαρκή ανάδραση πληροφοριών μεταξύ των σταδίων σχεδίασης. Έτσι ο σχεδιαστής έχει το σημαντικό πλεονέκτημα, ανά πάσα στιγμήν προκύψει κάποιο πρόβλημα ή κάποια έλλειψη στη σχεδίαση του προϊόντος ή στο ίδιο το προϊόν, να επιστρέψει στο αντίστοιχο στάδιο και να κάνει τις απαραίτητες διορθωτικές αλλαγές και βελτιώσεις.

Στην περίπτωση λοιπόν που προκύψουν προβλήματα κατά τη σχεδίαση ενός προϊόντος, η διαδικασία που ακολουθείται για την επίλυσή τους είναι η ακόλουθη²:

1. Διατύπωση του προβλήματος.
2. Ανάλυση του προβλήματος.
3. Εύρεση εναλλακτικών λύσεων.
4. Επιλογή κατάλληλης εναλλακτικής λύσης.
5. Σαφής ορισμός της λύσης.

Με αυτόν τον τρόπο όλες οι απαραίτητες διορθώσεις γίνονται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του προϊόντος και όχι αφού κατασκευαστεί ή κυκλοφορήσει στην αγορά,

² πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 13

γεγονός που γλυτώνει την επιχείρηση από το κόστος επιδιόρθωσης ή απόσυρσης του προϊόντος και συμβάλλει στη διατήρηση της καλής φήμης της στην αγορά.

Δύο από τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά της σχεδίασης για X-δυνατότητα είναι η συναρμολόγηση και η αποσυναρμολόγηση.

Στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθούν εκτενώς τα δύο αυτά είδη σχεδίασης προϊόντων και θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη συμβολή της αποσυναρμολόγησης στην ανάκτηση των προϊόντων, δηλαδή στην επαναχρησιμοποίησή τους και στην ανακύκλωση των υλικών τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

2.1 Ορισμός και σπουδαιότητα της διαδικασίας συναρμολόγησης

Συναρμολόγηση είναι η διαδικασία κατά την οποία, ένα σύνολο από επί μέρους εξαρτήματα συνδυάζονται μεταξύ τους για τον σχηματισμό ενός τελικού, αυτοτελούς προϊόντος.

Το κάθε ένα από τα εξαρτήματα αυτά αποτελεί μια ξεχωριστή οντότητα που σχεδιάζεται και κατασκευάζεται χωριστά από τα υπόλοιπα εξαρτήματα. Ωστόσο, η χρηστικότητα που έχει το κάθε εξάρτημα σαν αυτόνομη μονάδα είναι πολύ μικρή και μόνο αφού συναρμολογηθεί με άλλα εξαρτήματα και συγκροτηθεί ένα ολοκληρωμένο προϊόν έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει τη λειτουργία για την οποία σχεδιάστηκε. Η διαδικασία της σχεδίασης ενός εξαρτήματος είναι μια σημαντική και σύνθετη διαδικασία που καθορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την επιτυχία της συναρμολόγησης και τη λειτουργικότητα του προϊόντος. Κατά τη σχεδίαση ενός εξαρτήματος πρέπει να ληφθούν υπόψη σχεδιαστικοί παράγοντες όπως το σχήμα, το μέγεθος, η ευκαμψία, η θερμική αγωγιμότητα, η αντοχή, η συμβατότητα με άλλα υλικά, έτσι ώστε να κατασκευαστεί ένα εξάρτημα άρτιο, το οποίο θα μπορέσει να συναρμολογηθεί εύκολα και αποτελεσματικά με τα άλλα εξαρτήματα για τη σωστή λειτουργία του τελικού προϊόντος. Η σπουδαιότητα της διαδικασίας της σχεδίασης για συναρμολόγηση έχει καταστήσει τον τομέα αυτό αντικείμενο συνεχούς μελέτης από τους ερευνητές. Από τη δεκαετία του 1980 έχουν αναπτυχθεί πολλές μεθοδολογίες σχεδίασης με τις οποίες εξετάζεται και βελτιστοποιείται η συναρμολόγηση. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα της σχεδίασης ενός εξαρτήματος για συναρμολόγηση, εφόσον ληφθούν υπόψη όλοι εκείνοι οι παράγοντες που είναι απαραίτητοι για μια αποτελεσματική συναρμολόγηση, είναι η επίτευξη σημαντικής μείωσης του χρόνου και του κόστους της διαδικασίας καθώς επίσης και η εξοικονόμηση ανθρωπίνων και υλικών πόρων.

2.2 Τα στάδια εκτέλεσης της διαδικασίας συναρμολόγησης

Η διαδικασία της συναρμολόγησης εκτελείται σε τρία διαδοχικά στάδια, τα οποία είναι τα ακόλουθα³:

- Ανάκληση των εξαρτημάτων από την τροφοδοσία.
- Διαχείριση του εξαρτήματος, λειτουργία που περιλαμβάνει και τον επαναπροσανατολισμό του σε σχέση με τα υπόλοιπα εξαρτήματα.
- Συναρμολογή.

³ πρβλ. Μπιλάλης, Ν., Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, σελ. 10-6

Κάθε μια ανεξάρτητη λειτουργία που εκτελούμε για ανάκληση, διαχείριση και συναρμογή ονομάζεται λειτουργία συναρμολόγησης.

Στο *πρώτο στάδιο* της διαδικασίας της συναρμολόγησης, ανακαλούνται από την τροφοδοσία τα εξαρτήματα εκείνα που θα συναρμολογηθούν, ώστε να συγκροτήσουν το τελικό προϊόν. Η αποθήκευση των εξαρτημάτων γίνεται με διάφορους τρόπους, από την απλή απόθεση σε κουτιά μέχρι και τις τροφοδοτικές μηχανές, δίνοντας μεγάλη προσοχή στο να μη μπερδεύονται τα εξαρτήματα μεταξύ τους.

Στο *δεύτερο στάδιο* της διαδικασίας της συναρμολόγησης, τα εξαρτήματα που έχουν επιλεγεί κατά το προηγούμενο στάδιο τοποθετούνται στην κατάλληλη θέση και προσανατολίζονται κατάλληλα σε σχέση με τα υπόλοιπα, ώστε να συναρμολογηθούν αποτελεσματικά. Για παράδειγμα, μια βίδα για να βιδωθεί σε μία οπή θα πρέπει να ευθυγραμμιστεί με αυτή. Στην περίπτωση που η λειτουργία της συναρμολόγησης πραγματοποιηθεί με το χέρι θα πρέπει να γίνει μελέτη της κίνησης του ανθρώπου που θα πραγματοποιήσει την συναρμολόγηση, να επιλεγούν οι κατάλληλες κινήσεις που θα πρέπει να κάνει καθώς και η πιο κατάλληλη στάση του σώματος που θα πρέπει να υιοθετήσει, ώστε να πραγματοποιήσει άνετα και επιτυχώς την συναρμολόγηση, χωρίς τον κίνδυνο τραυματισμού. Στην περίπτωση της αυτόματης συναρμολόγησης θα πρέπει η κάθε κίνηση του μηχανισμού να έχει προγραμματισθεί με τέτοιον τρόπο, ώστε η συναρμολόγηση να πραγματοποιηθεί με τη βέλτιστη αλληλουχία βημάτων, χρησιμοποιώντας τον ελάχιστο δυνατό αριθμό εξαρτημάτων και συνδέσμων.

Στο *τρίτο στάδιο* της διαδικασίας της συναρμολόγησης, τα επιλεγμένα εξαρτήματα έρχονται σε επαφή, ώστε να συναρμολογηθούν και να αποτελέσουν ένα ενιαίο σύνολο. Η λειτουργία της συναρμογής μπορεί να είναι μία ιδιαιτέρως απλή λειτουργία, όπως το να έλθουν σε επαφή δύο επίπεδες επιφάνειες ή μία πιο πολύπλοκη, όπως το να ενωθούν δύο επιφάνειες με μία βίδα. Πολύ συχνά η λειτουργία της συναρμογής εξαρτημάτων απαιτεί την εισχώρηση ενός εξαρτήματος σε ένα άλλο. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η εισχώρηση ενός άξονα σε μια οπή. Στην περίπτωση αυτή η συναρμογή καλείται και εισχώρηση.

Ο βαθμός ευκολίας με τον οποίον θα πραγματοποιηθεί η συναρμολόγηση εξαρτάται από τον αριθμό των εξαρτημάτων και από την ευκολία με την οποία μεταφέρονται και συναρμολογούνται. Ο βασικός σκοπός κάθε συναρμολόγησης είναι η ελαχιστοποίηση, όσο αυτό είναι δυνατόν, του αριθμού των εξαρτημάτων που πρόκειται να συναρμολογηθούν. Είναι προτιμητέος ένας μικρός αριθμός εξαρτημάτων, τα οποία όμως θα έχουν πολύπλοκη μορφή. Στην περίπτωση αυτή μειώνεται αυτόματα και ο αριθμός των συνδέσμων που απαιτούνται για τη σύνδεση των εξαρτημάτων. Η ευκολία με την οποία συναρμολογούνται τα εξαρτήματα εξαρτάται από τον τρόπο σχεδιάσής τους. Για εύκολη και αποτελεσματική συναρμολόγηση τα εξαρτήματα θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι, ώστε να είναι συμμετρικά από άκρο σε άκρο καθώς και συμμετρικά ή τελείως ασύμμετρα γύρω από τον άξονα εισαγωγής. Η συναρμολόγηση διευκολύνεται περαιτέρω εάν τα

εξαρτήματα σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να συναρμολογούνται όλα με ευθεία κίνηση και όλα από την ίδια κατεύθυνση κάνοντας χρήση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σπασιμάτων, κορδονιών και οδηγών.

2.3 Οι μέθοδοι συναρμολόγησης

Οι οδηγίες που αφορούν στη σωστή σχεδίαση των εξαρτημάτων, ώστε να επιτευχθεί αποτελεσματική και οικονομική συναρμολόγηση, διαφέρουν ανάλογα με το είδος και τον αριθμό των εξαρτημάτων που πρόκειται να συναρμολογηθούν και τη μέθοδο με την οποία θα πραγματοποιηθεί η συναρμολόγηση.

Οι μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί μια συναρμολόγηση είναι οι παρακάτω⁴:

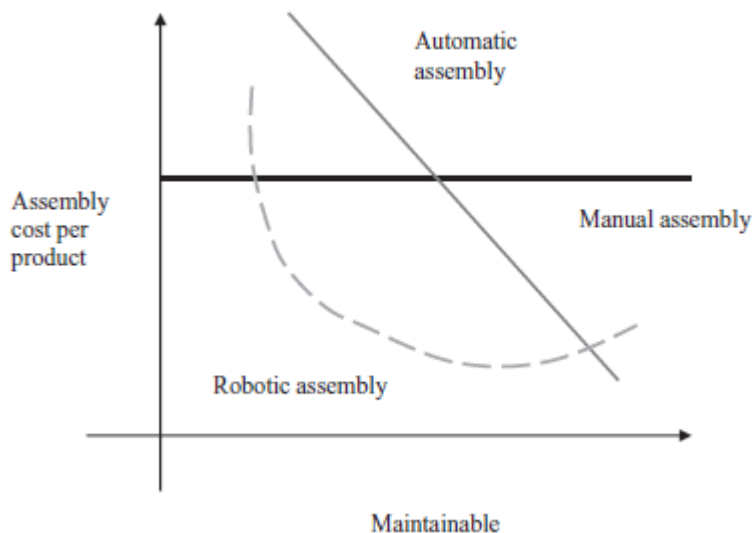
- **Συναρμολόγηση με το χέρι:** είναι η μέθοδος συναρμολόγησης κατά την οποία όλες οι λειτουργίες της συναρμολόγησης πραγματοποιούνται χειρονακτικά, με ή χωρίς την αρωγή απλών εργαλείων, όπως είναι το κατσαβίδι και η πένσα. Τα εργαλεία γενικά χρησιμοποιούνται για να διευκολύνουν τον εργάτη κατά την πραγματοποίηση της συναρμολόγησης. Στη συναρμολόγηση με το χέρι η διαδικασία πραγματοποιείται πάνω σε πάγκους εργασίας όπου μεταφέρονται τα κομμάτια που πρόκειται να συναρμολογηθούν. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο απλή και ευέλικτη μέθοδος συναρμολόγησης με επιπλέον πλεονεκτήματα το σταθερό κόστος ανά μονάδα και τη χαμηλή αρχική επένδυση που απαιτείται για την πραγματοποίησή της. Μειονεκτεί όμως ως προς το εργατικό κόστος, το οποίο είναι υψηλό και ως προς τον περιορισμένο αριθμό κομματιών που μπορούν να παραχθούν.
- **Αυτόματη συναρμολόγηση:** η συγκεκριμένη μέθοδος αναφέρεται συχνά και ως «σταθερός αυτοματισμός». Στη μέθοδο αυτή, για τη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων, χρησιμοποιούνται σύγχρονες, περιστρεφόμενες μηχανές και τροφοδότες τεμαχίων ή ασύγχρονες μηχανές όπου τα τεμάχια τα χειρίζεται μία ανεξάρτητη συσκευή μεταφοράς. Οι συγκεκριμένες μηχανές είναι σχεδιασμένες και κατασκευασμένες να παράγουν ένα μόνο προϊόν και το κόστος ανά μονάδα προϊόντος μειώνεται όσο αυξάνεται ο ρυθμός παραγωγής.
- **Σταθερή ή άκαμπτη αυτοματοποίηση (Detroit-type συναρμολόγηση):** η συγκεκριμένη μέθοδος συναρμολόγησης έχει ως κύριο χαρακτηριστικό τη χρήση μηχανής, η οποία έχει κατασκευαστεί κατά παραγγελία του πελάτη και έχει τη δυνατότητα να συναρμολογεί ένα μόνο συγκεκριμένο προϊόν. Η μέθοδος αυτή απαιτεί υψηλό κεφάλαιο επένδυσης, ενώ όσο αυξάνεται ο

⁴ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 136, 137

ρυθμός παραγωγής τόσο μειώνεται το κλάσμα του κεφαλαίου επένδυσης, προς το συνολικό κόστος κατασκευής. Αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά στοιχεία τις μεθόδους αποτελούν οι πίνακες δεικτών, οι τροφοδότες τεμαχίων και τα αυτόματα χειριστήρια.

- **Ρομποτική συναρμολόγηση:** η συγκεκριμένη μέθοδος είναι κατάλληλη για τα προϊόντα των οποίων ο ρυθμός παραγωγής βρίσκεται μεταξύ εκείνου της συναρμολόγησης με το χέρι και της αυτόματης συναρμολόγησης. Είναι η πιο ευέλικτη μέθοδος συναρμολόγησης και μπορεί να επιτύχει ρυθμούς παραγωγής που προσεγγίζουν αυτούς της αυτόματης. Τα ρομποτικά συστήματα συναρμολόγησης που χρησιμοποιούνται έχουν τη μορφή είτε ενός ρομπότ είτε ενός ρομποτικού κελύφους συναρμολόγησης που διαθέτει πολλούς σταθμούς, στο οποίο όλες οι δραστηριότητες ελέγχονται και συντονίζονται ταυτόχρονα από έναν προγραμματισμένο ελεγκτή ή από έναν υπολογιστή. Η μέθοδος αυτή είναι μια αρκετά δαπανηρή μέθοδος, μειονέκτημα όμως που αντισταθμίζεται από την ευελιξία της η οποία επιτρέπει την συναρμολόγηση πολλών, διαφορετικών προϊόντων.

Το παρακάτω σχήμα⁵ απεικονίζει μια σύγκριση μεταξύ του σχετικού κόστους των τεσσάρων μεθόδων συναρμολόγησης, με τον τύπο και τον ρυθμό παραγωγής τους.



Σχήμα 2.1 Σύγκριση των μεθόδων συναρμολόγησης με βάση τον τύπο, τον ρυθμό παραγωγής και το κόστος.

⁵ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 137

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

3.1 Ορισμός

Σχεδίαση για συναρμολόγηση ορίζεται ως η διαδικασία σχεδιασμού ενός προϊόντος στο σύνολό του καθώς και του κάθε ενός εξαρτήματός του ξεχωριστά που αποσκοπεί στην επίτευξη εύκολης και χαμηλού κόστους συναρμολόγησης. Κατά τη σχεδίαση για συναρμολόγηση ο σχεδιαστής πρέπει να λάβει υπόψη του όλους εκείνους τους παράγοντες που θα καταστήσουν εύκολη και αποτελεσματική την συναρμολόγηση των εξαρτημάτων και ταυτόχρονα λειτουργικό το τελικό προϊόν. Η ανάλυση της σχεδίασης τόσο του προϊόντος όσο και των εξαρτημάτων που το απαρτίζουν είναι πολύ σημαντική και αναγκαία καθώς δίνει τη δυνατότητα, σε περίπτωση που προκύψουν προβλήματα, να εντοπιστούν σε πρώιμο στάδιο του κύκλου ζωής του προϊόντος και να γίνουν άμεσα οι απαραίτητες διορθώσεις. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του κόστους επιδιόρθωσης του σφάλματος.

3.2 Οδηγίες σχεδίασης για τις μεθόδους συναρμολόγησης

Ανάλογα με τη μέθοδο με την οποία θα πραγματοποιηθεί η συναρμολόγηση, ο σχεδιαστής θα πρέπει να τηρήσει ένα σύνολο από οδηγίες που αφορούν στα εξαρτήματα, τους συνδέσμους, τον τρόπο μεταφοράς και τοποθέτησής τους, τον τρόπο χειρισμού τους από τον εργάτη καθώς και τον ενδεικνυόμενο τρόπο συναρμολόγησής τους. Οι οδηγίες αυτές έχουν σκοπό να καταστήσουν την αποσυναρμολόγηση εύκολη, αποτελεσματική και οικονομική.

3.2.1 Συναρμολόγηση με το χέρι

Κατά τη σχεδίαση προϊόντων, τα οποία πρόκειται να συναρμολογηθούν με το χέρι, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες οδηγίες⁶:

- Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια κατά τη διαδικασία της συναρμολόγησης θα πρέπει να εξαλειφθεί η ανάγκη για λήψη αποφάσεων από τον εργάτη που εκτελεί την συναρμολόγηση, συμπεριλαμβανομένων και των τελικών ρυθμίσεων. Με αυτόν τον τρόπο θα απαλειφθεί η υποκειμενικότητα από τη διαδικασία της λήψης αποφάσεων.
- Θα πρέπει να εξασφαλισθεί η εύκολη πρόσβαση στο προϊόν καθώς και η όραση χωρίς περιορισμούς. Η εύκολη πρόσβαση διευκολύνει και επιταχύνει και τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.

⁶ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 137, 138

- Προκειμένου να επιτευχθεί μία όσο το δυνατόν πιο γρήγορη και οικονομική συναρμολόγηση θα πρέπει να εξαλειφθεί η ανάγκη για χρήση εργαλείων συναρμολόγησης ή ειδικών οργάνων μέτρησης, εστιάζοντας στο σχεδιασμό εξαρτημάτων που ευθυγραμμίζονται και τοποθετούνται από μόνα τους και έχουν την δυνατότητα συναρμογής χωρίς τη χρήση διακριτών συνδέσμων.
- Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί όσο το δυνατόν ο συνολικός αριθμός και το είδος των εξαρτημάτων θα πρέπει να προτιμηθεί η χρήση εξαρτημάτων πολλαπλής πρακτικής χρησιμότητας.
- Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση πληθώρας εξαρτημάτων. Εναλλακτικά μπορούν, εφόσον αυτό είναι λειτουργικά εφικτό, να συνδυάζονται δύο ή περισσότερα εξαρτήματα σε ένα.
- Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η εύκολη διαχείριση των εξαρτημάτων από τον σωρό τροφοδοσίας.
- Θα πρέπει να σχεδιάζονται εξαρτήματα τα οποία δεν μπορούν να τοποθετηθούν λανθασμένα.
- Θα πρέπει να αποφεύγεται ή να ελαχιστοποιείται όσο το δυνατόν η ανάγκη της αναπροσαρμογής και του επαναπροσανατολισμού ενός εξαρτήματος κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης. Θα πρέπει να εξασφαλισθεί ότι όλες οι διαδικασίες εισαγωγής είναι απλές και γενικά θα πρέπει να προτιμάται η κατακόρυφη εισαγωγή, δεδομένου ότι η βαρύτητα διευκολύνει την περάτωση της αποστολής.

Η τρίτη σχεδιαστική οδηγία που αφορά στην ελαχιστοποίηση της χρήσης διακριτών συνδέσμων είναι μια από τις σημαντικότερες οδηγίες που θα πρέπει να ακολουθήσει ο σχεδιαστής προκειμένου να πραγματοποιηθεί εύκολα και γρήγορα η διαδικασία της συναρμολόγησης καθώς και της αποσυναρμολόγησης. Η χρήση συνδέσμων⁷, όπως είναι οι κοχλίες και οι πείροι, θα πρέπει να ελαχιστοποιείται καθώς αυτού του είδους οι σύνδεσμοι έχουν διάφορα μειονεκτήματα, με πιο χαρακτηριστικά τα ακόλουθα:

- Απαιτούνται πολλά εξαρτήματα για να συναρμολογηθούν, δηλαδή κοχλίας, περικόχλιο, δίσκος και ασφάλεια.
- Απαιτείται τροφοδοσία και αποθήκευση για κάθε είδος.
- Οι περιοχές των συνδέσμων είναι περιοχές συγκέντρωσης τάσεων.

Τα μειονεκτήματα αυτά έχουν καταστήσει επιτακτική την εύρεση μιας αποτελεσματικής εναλλακτικής λύσης όσον αφορά στην αντικατάσταση, όπου αυτό είναι εφικτό, των συνδέσμων. Μια καλή λύση είναι η αντικατάσταση των συνδέσμων από σφικτές προσαρμογές, η οποία όμως μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο για μεγάλες ποσότητες παραγωγής. Στην περίπτωση αυτή το κομμάτι μπορεί να συνδεθεί με ασφάλεια, χωρίς κόπο και οικονομικά, και στη συνέχεια να αποσυναρμολογηθεί χωρίς τον κίνδυνο τραυματισμού και μερικής καταστροφής του. Στην περίπτωση

⁷ πρβλ. Μπιλάλης, Ν., Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, σελ. 10-12

όμως μικρών ποσοτήτων παραγωγής η παραπάνω λύση δεν είναι εφικτή οπότε θα πρέπει ο σχεδιαστής να εξετάσει τη δυνατότητα χρήσης ομοιόμορφων συνδέσμων, οι οποίοι απαιτούν λιγότερους κωδικούς υλικών και λιγότερα εργαλεία για τη συναρμολόγηση. Χαρακτηριστικά⁸, ο αριθμός των συνδέσμων σε μια συναρμολόγηση θα μπορούσε να μειωθεί χρησιμοποιώντας σαν μοναδικό σύνδεσμο βίδες και επιτυγχάνοντας την κατάλληλη εισδοχή τμήματος του ενός εξαρτήματος στο άλλο.

Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια καθώς και ταχύτητα κατά τη διαδικασία της συναρμολόγησης θα πρέπει τα εξαρτήματα να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιείται η ανάγκη εκτεταμένων χειρισμών από τους εργάτες που πραγματοποιούν τη διαδικασία. Για την εκπλήρωση της απαίτησης αυτής θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες οδηγίες⁹:

- Τα εξαρτήματα θα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να έχουν απόλυτη συμμετρία από άκρο σε άκρο καθώς και συμμετρία ως προς τον άξονα περιστροφής, ώστε να μπορούν να εισαχθούν από οποιοδήποτε άκρο είναι επιθυμητό. Εάν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό θα πρέπει να σχεδιάζονται με τη μεγαλύτερη δυνατή συμμετρία, ώστε φέρνοντας ένα εξάρτημα σε μια ειδική θέση ή σε μια ορισμένη κατεύθυνση να μπορεί να εισαχθεί σε ένα άλλο.
- Τα εξαρτήματα θα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να είναι συμμετρικά γύρω από τον άξονα εισαγωγής.
- Εάν δεν είναι εφικτό να ενσωματωθεί η συμμετρία στο σχεδιασμό του προϊόντος θα πρέπει να σχεδιαστεί με απόλυτη ασυμμετρία, ώστε να διευκολυνθεί η προσαρμογή και η εισαγωγή του.
- Θα πρέπει κατά τη σχεδίαση να αποφεύγονται τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων που περιπλέκουν την ανάκτησή τους. Τα χαρακτηριστικά που προκαλούν προβλήματα είναι το μπέρδεμα, το φώλιασμα και η ευελιξία. Κατά το φώλιασμα, τα εξαρτήματα κολλάνε το ένα μέσα στο άλλο και ένας αποτελεσματικός τρόπος να αντιμετωπιστεί είναι είτε η αλλαγή κλίσης των επιφανειών ή η πρόσθεση χαρακτηριστικών που αποτρέπουν το φώλιασμα. Τα εύκαμπτα όμως εξαρτήματα όπως είναι τα στεγανωτικά, οι σωλήνες και οι ακροδέκτες είναι δύσκολο να αντικατασταθούν από το χώρο αποθήκευσης και η μοναδική λύση είναι να χρησιμοποιούνται μόνο τα άκρως απαραίτητα από τα εξαρτήματα αυτά.
- Θα πρέπει η σχεδίαση των εξαρτημάτων να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει μικρή ή μηδενική αντίσταση κατά τη διαδικασία εισαγωγής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί δημιουργώντας στρογγυλεμένα άκρα ή σπασίματα στα άκρα τα οποία διευκολύνουν την συναρμογή των εξαρτημάτων.
- Θα πρέπει να προτιμάται η πυραμιδική μέθοδος συναρμολόγησης εάν κάτι τέτοιο είναι δυνατόν, δηλαδή η χρήση μιας βάσης πάνω στην οποία θα μεταφερθούν, θα τοποθετηθούν, θα προσανατολιστούν και θα δεθούν τα

⁸ πρβλ. Μπιλάλης, Ν., Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, σελ. 10-14

⁹ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 138, 139

υπόλοιπα εξαρτήματα. Η διάταξη γίνεται με βαθμιαία συναρμολόγηση γύρω από έναν άξονα συμμετρίας ή μια γραμμή αναφοράς. Το ιδανικό προϊόν¹⁰ είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς στρώσεων όπου το κάθε εξάρτημα ή υποσυναρμολόγηση τοποθετείται το ένα πάνω από το άλλο. Εάν δεν υπάρχει κοινή βάση, τότε μπορεί να απαιτείται η χρήση περισσοτέρων της μίας ιδιοσυσκευών.

- Θα πρέπει να αποφεύγεται η καθήλωση του τεμαχίου. Εάν κάτι τέτοιο είναι αναπόφευκτο, κατά το σχεδιασμό του τεμαχίου θα πρέπει να προβλεφθεί η ασφάλισή του όσο το δυνατόν πιο σύντομα μετά την εισαγωγή.
- Τα εξαρτήματα θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιον τρόπο ώστε να διευκολύνεται η εγκατάσταση προτού αποσυνδεθούν. Η αποσύνδεση ενός τεμαχίου πριν γίνει η εγκατάστασή του είναι ένα πρόβλημα που απαντάται στη διαδικασία συναρμολόγησης.
- Η χρήση κοινών συνδέσμων αυξάνει το κόστος συναρμολόγησης με την ακόλουθη σειρά: σφικτή συναρμογή, πλαστική κάμψη, στερέωση με γυρωτικό ήλο και βίδωμα. Θα πρέπει ο παράγοντας αυτός να λαμβάνεται υπόψη όταν σχεδιάζονται μέθοδοι ασφάλισης και σύνδεσης για την συγκράτηση δύο ή περισσότερων εξαρτημάτων.

3.2.2 Αυτόματη συναρμολόγηση

Κατά τη σχεδίαση προϊόντων που πρόκειται να συναρμολογηθούν με τη μέθοδο της αυτόματης συναρμολόγησης, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες οδηγίες, οι οποίες είναι σημαντικά διαφορετικές από τις αντίστοιχες της συναρμολόγησης με το χέρι, λόγω της διαφορετικής φύσης των δύο μεθόδων¹¹:

- Προκειμένου να διευκολυνθεί η συναρμολόγηση θα πρέπει να ενσωματωθούν στη σχεδίαση των εξαρτημάτων χαρακτηριστικά που τους δίνουν τη δυνατότητα να ευθυγραμμίζονται και να εγκαθίστανται από μόνα τους. Σημαντική διευκόλυνση παρέχουν επίσης τα στρογγυλεμένα άκρα, οι οδηγοί πείροι, τα μικρά κοιλώματα καθώς και οι οβάλ και κωνικοί κοχλίες.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιείται το μεγαλύτερο και πιο στερεό μέρος σαν βάση πάνω στο οποίο θα τοποθετηθούν, καθέτως, τα υπόλοιπα εξαρτήματα κατά τη συναρμολόγησή τους. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εκμετάλλευση του πλεονεκτήματος της βαρύτητας και διευκολύνεται η διαδικασία της συναρμολόγησης. Η μέθοδος αυτή εξαλείφει την ανάγκη χρήσης μόνιμου προσαρτήματος. Η πιο σωστή λειτουργία της συναρμολόγησης πραγματοποιείται σε διαδοχικά επίπεδα. Εάν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, η συναρμολόγηση θα πρέπει να διαιρεθεί σε υποσυστήματα τα οποία θα ενωθούν στο τελικό στάδιο για να συγκροτήσουν ένα ενιαίο σύστημα.

¹⁰ πρβλ. Μπιλάλης, Ν., Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, σελ. 10-14

¹¹ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 139

- Κατά τη σχεδίαση θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένα υψηλό ποσοστό από πρότυπα μέρη. Η εκκίνηση της διαδικασίας συναρμολόγησης θα πρέπει να γίνεται με συνδέσμους και ροδέλες. Επίσης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται καθιερωμένες ενότητες και υποσυστήματα συναρμολόγησης.
- Θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε τα συναρμολογούμενα μέρη να μην μπλέκονται μεταξύ τους, να μην ενσωματώνεται το ένα μέσα στο άλλο και να μην επικαλύπτει το ένα το άλλο κατά τη διάρκεια της τροφοδοσίας, γιατί τέτοια συμβάντα περιπλέκουν και επιβραδύνουν τη διαδικασία της συναρμολόγησης.
- Θα πρέπει να αποφεύγονται τα εύκαμπτα, τα εύθραυστα και τα τραχέα κομμάτια. Επίσης θα πρέπει να έχει εξασφαλισθεί από τη σχεδίαση ότι τα συναρμολογούμενα εξαρτήματα έχουν επαρκή ισχύ και ακαμψία, ώστε να ανθίστανται επιτυχώς στις δυνάμεις που ασκούνται κατά τη διάρκεια της τροφοδοσίας, της συναρμολόγησης και της χρήσης τους.
- Θα πρέπει να αποφεύγεται η αναπροσαρμογή των συναρμολογούμενων εξαρτημάτων, γιατί τυχόν μετακινήσεις ίσως απαιτούν ένα ξεχωριστό σταθμό εργασίας ή μία επιπλέον μηχανή, γεγονός που αυξάνει το κόστος της συναρμολόγησης.
- Θα πρέπει τα εξαρτήματα να σχεδιάζονται καταλλήλως, ώστε να διευκολύνουν την αυτοματοποίηση καθώς αυτά εισέρχονται και προσαρμόζονται με το σωστό προσανατολισμό στη μηχανή συναρμολόγησης ύστερα από τον ελάχιστο δυνατό χρόνο στον τροφοδότη. Κομμάτια τα οποία είναι συμμετρικά ή εντελώς μη συμμετρικά μπορούν να προσαρμοστούν πιο εύκολα.
- Θα πρέπει τα εξαρτήματα να σχεδιάζονται με χαμηλό κέντρο βάρους, γιατί με τον τρόπο αυτόν τους προσδίδεται μια φυσική κλίση για τροφοδοσία.

3.2.3 Ρομποτική συναρμολόγηση

Κατά τη σχεδίαση προϊόντων που πρόκειται να συναρμολογηθούν με τη μέθοδο της ρομποτικής συναρμολόγησης πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες οδηγίες¹²:

- Θα πρέπει ο αριθμός και το είδος των κομματιών να είναι περιορισμένος. Πολλοί ρομποτικοί χειριστές διαθέτουν υποδεέστερη ικανότητα επανάληψης, γι' αυτόν το λόγο θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία σε χαρακτηριστικά όπως το χείλος ή τα στρογγυλεμένα άκρα.
- Θα πρέπει να εξασφαλίζεται κατά τη σχεδίαση ότι τα εξαρτήματα τα οποία δεν ασφαρίζονται αυτόματα κατά την εισαγωγή, έχουν την ικανότητα να εγκαθίστανται από μόνα τους στη συναρμολόγηση.
- Θα πρέπει όλα τα εξαρτήματα να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να πιαστούν και να εισαχθούν κάνοντας χρήση της ίδιας ρομποτικής λαβίδας. Οι

¹² πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 140

αλλαγές σε εργαλεία και ρομποτικές λαβίδες αποτελούν μια σοβαρή πηγή αντιπαραγωγικότητας.

- Θα πρέπει τα εξαρτήματα να σχεδιάζονται με τέτοιον τρόπο ώστε να επιτρέπουν την κάθετη συναρμολόγηση με τοποθέτηση από πάνω.
- Θα πρέπει τα εξαρτήματα να σχεδιάζονται με τέτοιον τρόπο, ώστε να μην απαιτείται η αναπροσαρμογή τους και να μπορούν να παρουσιαστούν στο ρομποτικό βραχίονα με προσανατολισμό κατάλληλο για άδραγμα και σύσφιξη.
- Θα πρέπει να σχεδιάζονται ανεξάρτητα εξαρτήματα τα οποία θα συμβάλλουν στον εύκολο χειρισμό του κύριου τμήματος. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αποφεύγεται η χρήση κομματιών τα οποία μπερδεύονται και υπάρχει ο κίνδυνος να ενσωματωθεί το ένα στο άλλο καθώς επίσης και κομματιών τα οποία είναι είτε εύκαμπτα, είτε λεπτά, είτε βαριά, είτε υπερβολικά μεγάλα ή μικρά είτε ασταθή.

3.3 Μέθοδοι αξιολόγησης της σχεδίασης για συναρμολόγηση

Ο τρόπος σχεδίασης ενός προϊόντος και των εξαρτημάτων του ποικίλει ανάλογα με τους τομείς στους οποίους θα δώσει μεγαλύτερη έμφαση ο σχεδιαστής και το βαθμό που θα τηρήσει τις εκάστοτε σχεδιαστικές οδηγίες. Επομένως για ένα προϊόν μπορούν να προκύψουν δύο ή περισσότεροι σχεδιασμοί για συναρμολόγηση.

Για να μπορούν δύο διαφορετικοί σχεδιασμοί προϊόντος να αξιολογηθούν αντικειμενικά ως προς την αποδοτικότητά τους στην συναρμολόγηση και να επιλεγεί τελικά ο καλύτερος, έχουν προταθεί από τους ερευνητές διάφορες μέθοδοι αξιολόγησης της σχεδίασης. Στη συνέχεια θα αναλυθούν τρεις από τις πιο σημαντικές μεθόδους αξιολόγησης της σχεδίασης για συναρμολόγηση.

3.3.1 Η μέθοδος Hitachi¹³

Η μέθοδος Hitachi είναι μία από τις πιο σημαντικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της σχεδίασης για συναρμολόγηση. Ο αντικειμενικός σκοπός της μεθόδου αυτής είναι η επίτευξη βελτιώσεων στο σχεδιασμό του προϊόντος, μέσω του προσδιορισμού των ελαττωματικών σημείων της σχεδίασης από όσο το δυνατόν πιο πρώιμο στάδιο.

Η αξιολόγηση με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιεί δύο βασικούς δείκτες, τον δείκτη E και τον δείκτη K.

¹³ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 141, 142

α) Ο δείκτης **E** είναι η βαθμολογία που δίδεται κατά την αξιολόγηση της ικανότητας συναρμολόγησης ενός προϊόντος. Ο δείκτης αυτός κάνει αποτίμηση της ποιότητας της σχεδίασης προσδιορίζοντας κυρίως τη δυσκολία εκτέλεσης των εφαρμογών.

β) Ο δείκτης **K** είναι μία αναλογία του κόστους συναρμολόγησης, ο οποίος παρουσιάζει τα στοιχεία που σχετίζονται με το κόστος αυτό.

Η χρήση των δύο παραπάνω δεικτών αποδεικνύει ότι η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρεί εξίσου σημαντικό το κόστος της συναρμολόγησης όσο και την ποιότητα της σχεδίασης. Είναι η μοναδική μέθοδος αξιολόγησης που δεν είναι απολύτως τεχνική. Αντιθέτως λαμβάνει υπόψη και τον οικονομικό παράγοντα στη σχεδίαση ενός προϊόντος.

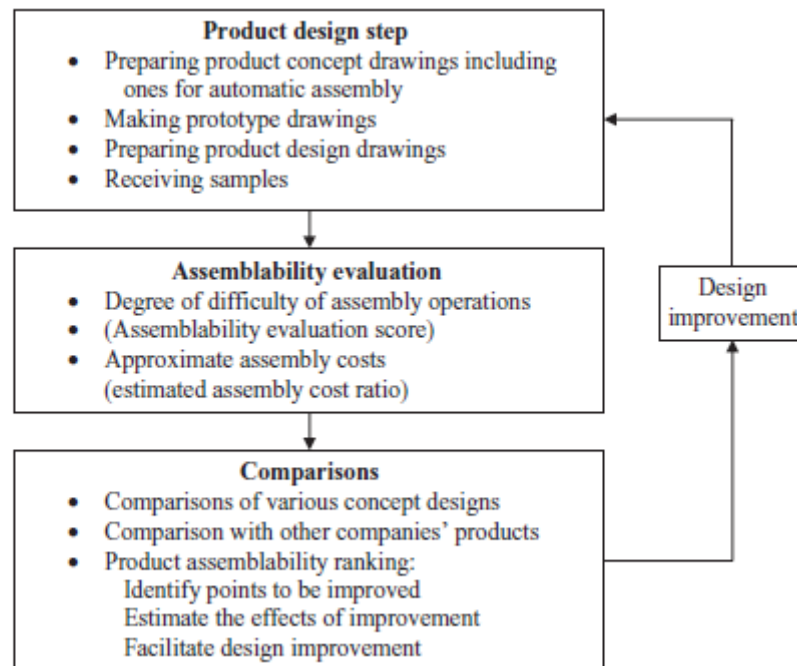
Η διαδικασία της αξιολόγησης περιλαμβάνει μια αλληλουχία βημάτων, τα οποία παρατίθενται ακολούθως:

- Αρχικά, το σύνολο των λειτουργιών που περιλαμβάνει η διαδικασία της συναρμολόγησης ταξινομείται σε είκοσι στοιχειώδη καθήκοντα. Το κάθε καθήκον αφορά αποκλειστικά στις διαδικασίες εισαγωγής και ασφάλισης και όχι σε αυτές του χειρισμού του εξαρτήματος και προσδιορίζεται από ένα σύμβολο ενδεικτικό του περιεχομένου του.
- Στο κάθε ένα από τα στοιχειώδη καθήκοντα καταχωρείται μια βαθμολογία, η οποία εκφράζει το βαθμό δυσκολίας του καθήκοντος. Οι βαθμολογίες αυτές προκύπτουν από τις αναλύσεις που γίνονται στα δεδομένα που λαμβάνονται από τον χώρο παραγωγής. Οι βαθμολογίες επανεξετάζονται και διορθώνονται συνεχώς, ώστε να ανταποκρίνονται στις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στην τεχνολογία και στις μεθόδους συναρμολόγησης και αξιολόγησης της συναρμολόγησης. Τα καθήκοντα αφού λάβουν την κατάλληλη βαθμολογία, ταξινομούνται ιεραρχικά ανάλογα με τη βαθμολογία που έχουν πάρει. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση όλων των καθηκόντων με το καθήκον που έχει λάβει τη χαμηλότερη βαθμολογία. Για παράδειγμα, στο απλό καθήκον της τοποθέτησης ενός αντικειμένου πάνω σε ένα άλλο, δίχως να απαιτείται μεγάλη ακρίβεια κατά την εκτέλεση, εκχωρείται ο βαθμός «0». Αντίθετα σε ένα πιο σύνθετο καθήκον όπως αυτό της κασσιτεροκόλλησης, η οποία είναι μια μέθοδος συναρμολόγησης, εκχωρείται η υψηλότερη βαθμολογία, δηλαδή «20».
- Σε περίπτωση που υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τα στοιχειώδη καθήκοντα, λαμβάνονται σαν συντελεστές και οι βαθμολογίες που έχουν αποδοθεί σε κάθε καθήκον τροποποιούνται αναλόγως.
- Σε περίπτωση που υπάρχουν συνθήκες επαφής, κατάλληλες για το κάθε εξάρτημα, αυτές εκφράζονται κάνοντας χρήση επιπλέον συμβόλων αξιολόγησης της μεθόδου αποσυναρμολόγησης.
- Το σύνολο των βαθμολογιών που αντιστοιχούν σε ένα ανεξάρτητο εξάρτημα τροποποιείται από τους σχετικούς συντελεστές και αφαιρείται από την καλύτερη δυνατή βαθμολογία (100). Με αυτόν τον τρόπο αποδίδεται η

βαθμολογία της αξιολόγησης της συναρμολόγησης που αντιστοιχεί στο κάθε εξάρτημα.

- Η συνολική βαθμολογία που αντιστοιχεί στο προϊόν υπολογίζεται αθροίζοντας τις βαθμολογίες που έχουν δοθεί, κατά την αξιολόγηση της ικανότητας συναρμολόγησης, στα ανεξάρτητα καθήκοντα και διαιρώντας στη συνέχεια το άθροισμα αυτό με τον συνολικό αριθμό των καθηκόντων.
- Γενικά, για τη συγκεκριμένη μέθοδο αξιολόγησης αποδεκτές τιμές για τον δείκτη E θεωρούνται οι τιμές από 80 και πάνω και για τον δείκτη K οι τιμές κοντά στο 0.7.

Ακολουθώς παρατίθεται το διάγραμμα ροής¹⁴ της μεθόδου Hitachi, το οποίο απεικονίζει επιγραμματικά την ακολουθία των βημάτων για την πραγματοποίηση της αξιολόγησης της ικανότητας συναρμολόγησης καθώς και για την πραγματοποίηση των βελτιώσεων στη σχεδίαση.



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα ροής της αξιολόγησης της ικανότητας συναρμολόγησης και της βελτίωσης της σχεδίασης, της μεθόδου Hitachi.

¹⁴ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 141

Το *πρώτο στάδιο* της μεθόδου Hitachi περιλαμβάνει τη σχεδίαση του προϊόντος. Αρχικά, κατά το στάδιο αυτό, γίνεται προετοιμασία των σχεδίων της γενικής ιδέας του προϊόντος συμπεριλαμβανομένων και αυτών για αυτόματη συναρμολόγηση. Αφού ο σχεδιαστής έχει συλλάβει τη γενική ιδέα του προϊόντος και των χαρακτηριστικών του προχωράει στην κατασκευή των σχεδίων των πρωτοτύπων. Τα πρωτότυπα είναι δημιουργήματα τα οποία προσεγγίζουν το πραγματικό προϊόν και δημιουργούνται για δοκιμές και πειράματα. Ακολούθως, πραγματοποιείται η προετοιμασία της σχεδίασης του προϊόντος όπου γίνεται μια λεπτομερέστερη μελέτη του προϊόντος, των εξαρτημάτων από τα οποία θα δομηθεί και των υλικών από τα οποία θα κατασκευαστεί. Στο τέλος του σταδίου αυτού γίνεται η λήψη των δειγμάτων.

Το *δεύτερο στάδιο* της μεθόδου περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ικανότητας συναρμολόγησης. Αρχικά, κατά το στάδιο αυτό, προσδιορίζεται ο βαθμός δυσκολίας των λειτουργιών που περιλαμβάνει η διαδικασία της συναρμολόγησης. Στη συνέχεια, ανάλογα με τη δυσκολία του κάθε καθήκοντος, δίδεται και η αντίστοιχη βαθμολογία σε αυτό. Στο τέλος του σταδίου αυτού πραγματοποιείται μια προσέγγιση του κόστους συναρμολόγησης βάσει του εκτιμώμενου δείκτη του κόστους συναρμολόγησης.

Το *τρίτο στάδιο* περιλαμβάνει τις συγκρίσεις που γίνονται μεταξύ των διαφόρων σχεδιασμών. Αρχικά πραγματοποιούνται συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων ιδεών σχεδίασης για να διαπιστωθεί ποια από τις ιδέες αυτές έχει την προοπτική να αποδώσει ένα προϊόν που θα αποσυναρμολογείται αποτελεσματικά και με χαμηλό κόστος. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται συγκρίσεις με ανταγωνιστικά προϊόντα άλλων επιχειρήσεων για να διαπιστωθούν τυχόν παραλείψεις που έχουν γίνει κατά τη σχεδίαση και να ενσωματωθούν σε αυτή. Εάν κατά την πραγματοποίηση του βήματος αυτού διαπιστωθεί ότι όντως παρόμοια προϊόντα άλλων επιχειρήσεων είναι ανώτερα από το προϊόν που έχει σχεδιασθεί, τότε αποφασίζεται σε ποιους τομείς θα πραγματοποιηθούν οι βελτιωτικές αλλαγές και ο σχεδιαστής επιστρέφει στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας για να τις ενσωματώσει στη σχεδίαση. Το τελευταίο βήμα του σταδίου αυτού περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ικανότητας συναρμολόγησης του προϊόντος. Η αξιολόγηση αυτή γίνεται με τον προσδιορισμό των σημείων που χρειάζονται βελτίωση, με την εκτίμηση των επιπτώσεων που θα έχουν οι βελτιώσεις αυτές και με τη διευκόλυνση της πραγματοποίησής τους. Αν στο βήμα αυτό αποφασιστεί ότι είναι αναγκαίο να γίνουν αλλαγές σε συγκεκριμένα σημεία που υστερούν, ο σχεδιαστής επιστρέφει στο πρώτο στάδιο όπου και πραγματοποιεί τις αλλαγές αυτές. Στη συνέχεια ακολουθεί τη διαδικασία όπως περιγράφηκε παραπάνω.

3.3.2 Η μέθοδος Lucas¹⁵

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 από την εταιρία Lucas, στη Μεγάλη Βρετανία. Βασίζεται σε μια βαθμονομημένη κλίμακα, η οποία

¹⁵ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 142, 143, 144

παρέχει μια εκτίμηση της δυσκολίας που συναντάται στην πραγματοποίηση της συναρμολόγησης. Συγκεκριμένα βασίζεται σε τρεις αυτόνομες και διαδοχικές αναλύσεις, οι οποίες απεικονίζονται και περιγράφονται αποτελεσματικά με σειριακά διαγράμματα ροής.

Για την πραγματοποίηση αυτής της μεθόδου αξιολόγησης της ικανότητας συναρμολόγησης ενός προϊόντος, ο σχεδιαστής ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- Προσδιορισμός της σχεδίασης του προϊόντος.
- Ανάλυση του προϊόντος.
- Λειτουργική ανάλυση (πρώτη ανάλυση της μεθόδου Lucas): πήγαινε πίσω στο βήμα 2 εάν η ανάλυση εμφανίζει προβλήματα.
- Ανάλυση τροφοδοσίας (δεύτερη ανάλυση της μεθόδου Lucas).
- Ανάλυση τοποθέτησης (τρίτη ανάλυση της μεθόδου Lucas).
- Αξιολόγηση.
- Επέστρεψε στο βήμα 2 εάν η ανάλυση εμφανίζει προβλήματα.

Η *λειτουργική ανάλυση* αποτελεί το πρώτο μέρος της συγκεκριμένης μεθόδου αξιολόγησης της ικανότητας συναρμολόγησης. Κατά τη λειτουργική ανάλυση τα εξαρτήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα εξαρτήματα εκείνα που εκτελούν μία βασική λειτουργία, είναι δηλαδή πρωταρχικής σημασίας. Τα εξαρτήματα αυτά θεωρούνται απαραίτητα για τη δόμηση του τελικού προϊόντος και ονομάζονται Α εξαρτήματα. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα μη βασικά εξαρτήματα, όπως είναι για παράδειγμα οι σύνδεσμοι, τα οποία ονομάζονται Β εξαρτήματα.

Η αποδοτικότητα της σχεδίασης συμβολίζεται «DE» και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$DE = A / (A+B) * 100$$

Ο στόχος είναι η αποδοτικότητα να φθάνει τουλάχιστον το 60%.

Η *ανάλυση τροφοδοσίας* αποτελεί το δεύτερο μέρος της μεθόδου Lucas. Το αντικείμενο της ανάλυσης αυτής είναι τα προβλήματα που σχετίζονται με τον χειρισμό των εξαρτημάτων και των υποσυστημάτων, προτού αυτά προστεθούν στο σύστημα συναρμολόγησης. Η τιμή που λαμβάνει ο δείκτης της ανάλυσης αυτής εξαρτάται από παράγοντες όπως το βάρος του εξαρτήματος, οι δυσκολίες χειρισμού του και η προσαρμογή του.

Ο δείκτης τροφοδοσίας/χειρισμού συμβολίζεται «F/H» και υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{F/H δείκτης} = (\text{δείκτης χειρισμού/τροφοδοσίας}) / (\text{αριθμό βασικών εξαρτημάτων})$$

Ο στόχος είναι ο δείκτης να λάβει την τιμή 2.5.

Η *ανάλυση προσαρμογής* έχει πολλά κοινά στοιχεία με την ανάλυση τροφοδοσίας. Η τιμή 1.5 είναι μια επιθυμητή τιμή για τον δείκτη προσαρμογής για κάθε συναρμολόγηση. Ωστόσο υπάρχει μεγαλύτερη διακύμανση στις τιμές που λαμβάνουν οι δείκτες προσαρμογής σε σχέση με αυτές που λαμβάνουν οι δείκτες τροφοδοσίας. Ένας συνολικός δείκτης προσαρμογής που έχει λάβει την τιμή 2.5 είναι ένας επιθυμητός δείκτης.

Ο τύπος με τον οποίον υπολογίζεται ο δείκτης προσαρμογής είναι ο ακόλουθος:

$$\text{Δείκτης προσαρμογής} = (\text{συνολικός δείκτης προσαρμογής}) / (\text{αριθμό βασικών εξαρτημάτων})$$

Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας 3.1, ο οποίος αποτελεί ένα εγχειρίδιο για την ανάλυση των χειρισμών της μεθόδου Lucas. Από τον πίνακα αυτόν υπολογίζεται ο δείκτης χειρισμού, αθροίζοντας τις τιμές που λαμβάνει σε κάθε μία από τις κατηγορίες A,B,C και D. Η πρώτη κατηγορία αφορά στο βάρος και το μέγεθος του εξαρτήματος, η δεύτερη στις δυσκολίες που παρουσιάζει το εξάρτημα κατά το χειρισμό του, η τρίτη στον προσανατολισμό και η τέταρτη στον περιστροφικό προσανατολισμό του εξαρτήματος.

Πίνακας 3.1¹⁶

Ανάλυση χειρισμών της μεθόδου Lucas

Lucas Manual Handling Analysis (Handling Index= $A+B+C+D$)	
	Score
A. Size and weight of part	
Very small, requires tools	1.5
Convenient, hands only	1
Large and/or heavy, requires more than one hand	1.5
Large and/or heavy, requires hoist or two people	3
B. Handling difficulties	
Delicate	0.4
Flexible	0.6
Sticky	0.5
Tangible	0.8
Severely nesting	0.7
Sharp or abrasive	0.3
Untouchable	0.5
Gripping problem, slippery	0.2
No handling difficulties	0
C. Orientation of part	
Symmetrical, no orientation required	0
End to end, easy to see	0.1
End to end, not visible	0.5
D. Rotational orientation of part	
Rotational symmetry	0
Rotational orientation, easy to see	0.2
Rotational orientation, hard to see	0.4

Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας 3.2, ο οποίος αποτελεί ένα εγχειρίδιο για την ανάλυση της προσαρμογής της μεθόδου Lucas. Από τον πίνακα αυτόν υπολογίζεται αντίστοιχα ο δείκτης προσαρμογής, αθροίζοντας τις τιμές που λαμβάνει σε κάθε μία από τις κατηγορίες A,B,C,D,E και F. Η πρώτη κατηγορία αφορά στην τοποθέτηση και στην ασφάλιση του εξαρτήματος, η δεύτερη στην κατεύθυνση κατά την οποία πραγματοποιείται η διαδικασία και η τρίτη στην εισαγωγή του εξαρτήματος. Ακολούθως η τέταρτη κατηγορία αφορά στην πρόσβαση και στην οπτική, η πέμπτη στην ευθυγράμμιση και η έκτη στη δύναμη που απαιτείται για την εισαγωγή του εξαρτήματος.

¹⁶ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 144

Πίνακας 3.2¹⁷

Ανάλυση προσαρμογής της μεθόδου Lucas

Lucas Manual Fitting Analysis (Fitting Index= $A+B+C+D+E+F$)

	Score
A. Part placing and fastening	
Self-holding orientation	1.0
Requires holding	2.0
Plus one of the following:	
Self-securing (i.e., snaps)	1.3
Screwing	4.0
Riveting	4.0
B. Process direction	
Straight line from above	0
Straight line not from above	0.1
Not a straight line	1.6
Bending	4.0
C. Insertion	
Single insertion	0
Multiple insertions	0.7
Simultaneous multiple insertions	1.2
D. Access and/or vision	
Direct	0
E. Alignment	
Easy to align	0
Difficult to align	0.7
F. Insertion force	
No resistance to insertion	0
Resistance to insertion	0.6
Restricted	1.5

Το τελευταίο μέρος της μεθόδου Lucas είναι ο υπολογισμός του κόστους κατασκευής του κάθε εξαρτήματος. Το κόστος κατασκευής είναι ιδιαίτερος σημαντικό γιατί μπορεί να επηρεάσει την απόφαση που θα πάρει ο σχεδιαστής σχετικά με το υλικό από το οποίο θα κατασκευαστεί το εξάρτημα και τη μέθοδο που θα ακολουθηθεί για την κατασκευή του. Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει μια καλή εκτίμηση του κόστους κατασκευής.

Οι τιμές που λαμβάνει κάθε ένας από τους ακόλουθους συντελεστές προκύπτουν από κατάλληλους πίνακες.

¹⁷ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 145

Ο δείκτης του κόστους κατασκευής ενός εξαρτήματος δίδεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$M_i = R_c P_c + M_c, \text{ όπου}$$

$R_c = C_c C_{mp} C_s$ (C_t ή C_f) είναι το σχετικό κόστος.

C_c = παράγοντας πολυπλοκότητας.

C_{mp} = παράγοντας υλικού.

C_s = ελάχιστη διατομή.

C_t = παράγοντας αντοχής, ή C_f = παράγοντας αποπεράτωσης (οποιοσδήποτε είναι μεγαλύτερος).

P_c = κόστος διαδικασίας.

$M_c = V C_{mt}$, W_c είναι το κόστος υλικού.

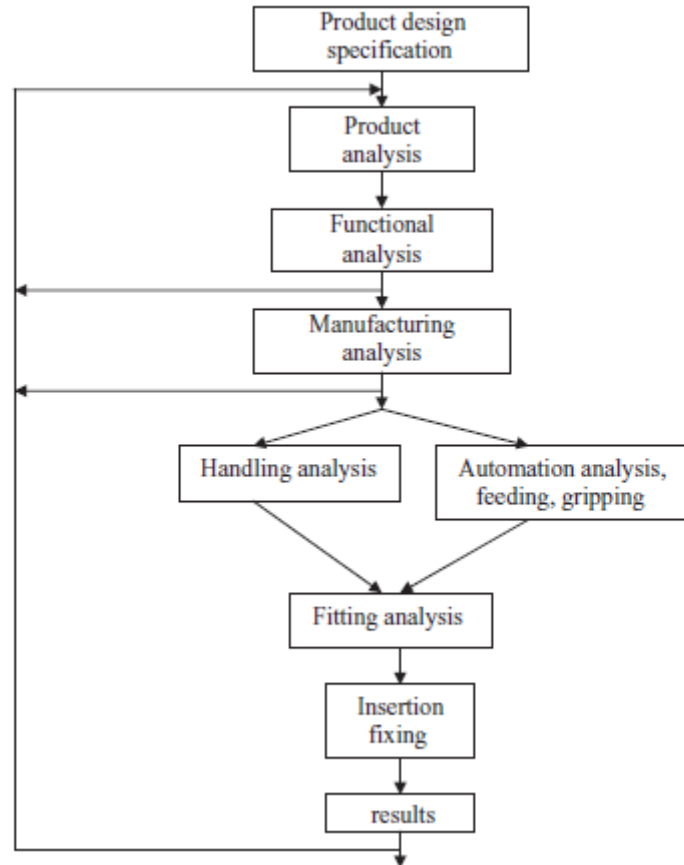
i = ισχύς (mm^3).

C_{mt} = κόστος υλικού.

W_c = συντελεστής σπατάλης.

Ακολούθως παρατίθεται το διάγραμμα ροής¹⁸ της ακολουθίας της συναρμολόγησης, για τη μέθοδο αξιολόγησης της σχεδίασης για συναρμολόγηση Lucas.

¹⁸ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 142



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα ροής της αλληλουχίας συναρμολόγησης της μεθόδου Lucas.

3.3.3 Η μέθοδος Boothroyd - Dewhurst^{19 20}

Η συγκεκριμένη μέθοδος αξιολόγησης της σχεδίασης για συναρμολόγηση στηρίζεται σε έναν υπαρκτό σχεδιασμό, ο οποίος αξιολογείται και βελτιώνεται επαναληπτικά. Η μεθοδολογία αυτή αποσκοπεί στην εκπλήρωση των παρακάτω σκοπών:

- Στην ελαχιστοποίηση του αριθμού των εξαρτημάτων που θα χρησιμοποιηθούν στην συναρμολόγηση.
- Στον προσδιορισμό της κατάλληλης μεθόδου συναρμολόγησης.

Για την εκπλήρωση των παραπάνω σκοπών η μέθοδος βασίζεται σε δύο αρχές. Πρώτον, στην εφαρμογή συγκεκριμένων κριτηρίων σε κάθε εξάρτημα, ώστε να καθοριστεί εάν θα πρέπει να διαχωριστεί από τα υπόλοιπα και να μην χρησιμοποιηθεί

¹⁹ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 144, 145, 146

²⁰ πρβλ. Μπιλάλης, Ν., Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, σελ. 10-24, 10-25, 10-26, 10-27, 10-28, 10-29

στη συναρμολόγηση. Δεύτερον, στην εκτίμηση του κόστους που σχετίζεται με τη διαχείριση και τη συναρμολόγηση του κάθε εξαρτήματος, χρησιμοποιώντας την κατάλληλη διαδικασία συναρμολόγησης.

Η ακολουθία των βημάτων της μεθόδου είναι η εξής:

- Επέλεξε μία μέθοδο συναρμολόγησης για το κάθε εξάρτημα.
- Ανέλυσε τα εξαρτήματα για τις δεδομένες μεθόδους συναρμολόγησης.
- Τελειοποίησε τον σχεδιασμό, διορθώνοντας τα σφάλματα που εντοπίζονται κατά την ανάλυση.
- Επέστρεψε πίσω στο βήμα 2, έως ότου η ανάλυση αποδώσει ένα σχεδιασμό ικανοποιητικό.

Η ανάλυση των εξαρτημάτων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο φύλλο εργασίας. Για τον υπολογισμό του χρόνου που απαιτείται για τη διαχείριση του εξαρτήματος χρησιμοποιούνται πίνακες και διαγράμματα. Η διαχείριση του εξαρτήματος περιλαμβάνει τη φυσική μεταφορά του και τον προσανατολισμό του από το σημείο αποστολής μέχρι το σημείο που εκτελείται η συναρμολόγηση. Ο κάθε πίνακας βασίζεται σε έναν διψήφιο κωδικό, ο οποίος με τη σειρά του βασίζεται στο μέγεθος, το βάρος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξαρτήματος.

Οι χρόνοι που απαιτούνται για τις διαδικασίες χειρισμού και εισαγωγής του εξαρτήματος είναι συνάρτηση συγκεκριμένων, βασικών παραμέτρων του εξαρτήματος. Κάθε μία από τις παραμέτρους αυτές επηρεάζει άμεσα τη διαδικασία της συναρμολόγησης και την απλοποιεί ή την περιπλέκει. Οι πιο σημαντικές παράμετροι είναι οι ακόλουθες:

- Μέγεθος εξαρτήματος.
- Πάχος εξαρτήματος.
- Βάρος εξαρτήματος.
- Η τάση του εξαρτήματος για φώλιασμα.
- Η τάση του εξαρτήματος για μπέρδεμα.
- Ευθραυστότητα του εξαρτήματος.
- Ευελιξία του εξαρτήματος.
- Ολισθηρότητα του εξαρτήματος.
- Κολλώδες του εξαρτήματος.
- Η ανάγκη χρήσης και των δύο χεριών κατά τη συναρμολόγηση.
- Η ανάγκη χρήσης εξειδικευμένων εργαλείων σύσφιγξης κατά τη συναρμολόγηση.
- Η ανάγκη για ορατότητα χωρίς περιορισμούς για την υλοποίηση της συναρμολόγησης.
- Η ανάγκη μηχανολογικής βοήθειας για την υλοποίηση της συναρμολόγησης.

Στο φύλλο εργασίας καταγράφονται επίσης λειτουργίες που δεν περιλαμβάνονται στη διαδικασία της συναρμολόγησης, όπως για παράδειγμα ο επιπλέον χρόνος που απαιτείται για την επανατοποθέτηση της συναρμολόγησης. Στη συνέχεια όλα τα εξαρτήματα αξιολογούνται βάσει των παρακάτω κριτηρίων, τα οποία καθορίζουν εάν ένα εξάρτημα είναι πραγματικά απαραίτητο για τη διαδικασία συναρμολόγησης:

- Εάν το εξάρτημα κινείται σχετικά με ένα άλλο εξάρτημα.
- Εάν οι ιδιότητες του υλικού του εξαρτήματος είναι απαραίτητες.
- Εάν το εξάρτημα χρειάζεται να αποτελέσει μία αυτοτελή οντότητα για χάρη της συναρμολόγησης.

Ακολουθώς αξιολογείται η λίστα που περιλαμβάνει το σύνολο των εξαρτημάτων, ώστε να καθοριστεί ο ελάχιστος αριθμός των εξαρτημάτων που είναι θεωρητικώς αναγκαία για τη διαδικασία της συναρμολόγησης. Ο αριθμός αυτός συμβολίζεται N_m .

Ο πίνακας που παρατίθεται στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της συναρμολόγησης με τη μέθοδο Boothroyd - Dewhurst.

Πίνακας 3.3²¹

Η μέθοδος Boothroyd – Dewhurst, για την αξιολόγηση της σχεδίασης για συναρμολόγηση

A	B	C	D	E	F	G	H	I	Name of Assembly
Part ID	Number of Consecutive Identical Operations	2-Digit Handling Code	Manual Handling Time per Part	2-Digit Insertion Code	Manual Insertion Time per Part	Operation Time (BD+F)	Operation Cost	Essential Part?	
Totals:						$T_n =$	$C_n =$	$N_n =$	

Με βάση τη συναρμολόγηση αναιρούμε ένα-ένα τα εξαρτήματα και τα καταγράφουμε στην πρώτη στήλη. Ο αριθμός 1 αποδίδεται στα εξαρτήματα τα οποία είναι απαραίτητα για τη συναρμολόγηση, ενώ ο αριθμός 0 στα εξαρτήματα τα οποία δεν ανήκουν στα βασικά εξαρτήματα της συναρμολόγησης.

Στη δεύτερη στήλη καταγράφουμε το πόσες φορές εκτελείται κάθε λειτουργία για το εξάρτημα που χρησιμοποιούμε.

Στην τρίτη στήλη καταγράφουμε τον διψήφιο κωδικό για κάθε εξάρτημα, ο οποίος προσδιορίζει τον απαιτούμενο χρόνο διαχείρισης του εξαρτήματος. Ο κωδικός αυτός βασίζεται στην αξονική συμμετρία γύρω από τον κάθετο άξονα και στην εκ

²¹ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 147

περιστροφής συμμετρία γύρω από τον άξονα περιστροφής. Επίσης ο κωδικός αυτός λαμβάνει υπόψη του το μέγεθος, το πάχος καθώς και άλλους παράγοντες του εξαρτήματος οι οποίοι σχετίζονται με την απόσυρσή του από την τροφοδοσία. Ο υπολογισμός των στοιχείων διαχείρισης (στήλες C και D) γίνεται με τη βοήθεια των παρακάτω πινάκων:

Πίνακας 3.4²²

Υπολογισμός χρόνου συναρμολόγησης με το χέρι

		Parts easy to grasp and manipulate										Parts present handling difficulties									
		Thickness > 2 mm					Thickness ≤ 2 mm					Thickness > 2 mm					Thickness ≤ 2 mm				
		Size > 15 mm	6 mm < Size ≤ 15 mm	Size < 6 mm	Size > 6 mm	Size ≤ 6 mm	Size > 15 mm	6 mm < Size ≤ 15 mm	Size < 6 mm	Size > 6 mm	Size ≤ 6 mm	Size > 15 mm	6 mm < Size ≤ 15 mm	Size < 6 mm	Size > 6 mm	Size ≤ 6 mm	Size > 15 mm	6 mm < Size ≤ 15 mm	Size < 6 mm	Size > 6 mm	Size ≤ 6 mm
One Hand Parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools	$(\alpha + \beta) < 360^\circ$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$360^\circ \leq (\alpha + \beta) < 540^\circ$	1	1.5	1.8	2.3	2.1	2.6	2.3	2.6	3.1	3	3.4	3.1	3.4	3.9	3.7	4.2	3.9	4.2	4.7	4.5
	$360^\circ \leq (\alpha + \beta) < 720^\circ$	2	1.8	2.1	2.6	2.4	2.9	2.6	2.9	3.4	3.2	3.7	3.4	3.7	4.2	4	4.7	4.4	4.7	5.2	5
	$(\alpha + \beta) = 720^\circ$	3	2	2.3	2.7	2.5	3	2.7	2.7	3.5	3.3	4	3.7	3.7	4.2	4	4.7	4.4	4.7	5.2	5
One Hand with Grasping Aids Parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools		Parts need tweezers for grasping and manipulation										Parts require optical magnification for manipulation									
		Parts can be manipulated without optical magnification					Parts require optical magnification for manipulation					Parts need standard tool other than tweezers					Parts need special tool for grasping and manipulation				
		Parts easy to grasp and manipulate					Parts present handling difficulties					Parts easy to grasp and manipulate					Parts present handling difficulties				
		Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm	Thickness > 0.25 mm
Two Hands for Manipulation Parts severely nest or large or too flexible but can be grasped and lifted by one hand (with the use of grasping tools if required)	$\alpha = 180^\circ$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$\beta = 360^\circ$	4	3.5	6.9	4.4	7.6	5.6	8.4	6.4	8.6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	5	4	7.3	4.8	8	6	8.8	6.8	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	$\beta = 360^\circ$	6	4.8	8.1	5.6	8.8	6.8	9.6	7.6	9.8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Two Hands Required for Large Sizes Two hands required for grasping and transporting parts		Parts present no additional handling difficulties										Parts present additional handling difficulties (i.e., sticky, delicate, slippery, etc.)									
		$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$					$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$				
		Size > 15 mm	6 mm < Size ≤ 15 mm	Size < 6 mm	Size > 6 mm	Size ≤ 6 mm	Size > 15 mm	6 mm < Size ≤ 15 mm	Size < 6 mm	Size > 6 mm	Size ≤ 6 mm	Size > 15 mm	6 mm < Size ≤ 15 mm	Size < 6 mm	Size > 6 mm	Size ≤ 6 mm	Size > 15 mm	6 mm < Size ≤ 15 mm	Size < 6 mm	Size > 6 mm	Size ≤ 6 mm
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Two Hands Required for Large Sizes Two hands required for grasping and transporting parts		8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.8	5	5.3	5.9	6.4	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
		Parts can be handled by one person without mechanical assistance										Parts do not severely nest or angle and are not flexible									
		Part weight < 10 lb					Part weight > 10 lb					Parts easy to grasp and manipulate					Parts present other handling difficulties				
		Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties	Parts easy to grasp and manipulate	Parts present other handling difficulties
Two Hands Required for Large Sizes Two hands required for grasping and transporting parts	$\alpha \leq 180^\circ$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$\alpha = 360^\circ$	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9
	$\alpha \leq 180^\circ$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$\alpha = 360^\circ$	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9

Σε αντιστοιχία με τον υπολογισμό των στοιχείων διαχείρισης του εξαρτήματος γίνεται και ο υπολογισμός των στοιχείων εισαγωγής του στην συναρμολόγηση. Στην πέμπτη στήλη καταγράφεται ο διψήφιος κωδικός που αντιστοιχεί στο κάθε εξάρτημα και στην έκτη στήλη ο χρόνος που αντιστοιχεί στη διαδικασία εισαγωγής του κάθε εξαρτήματος στην συναρμολόγηση. Ο υπολογισμός των στοιχείων εισαγωγής (στήλες E και F) γίνεται και σε αυτήν την περίπτωση με τη βοήθεια πινάκων, οι οποίοι παρατίθενται ακολούθως.

²² Πηγή: Μπιλάλης, Ν., Μελέτη και ανάπτυξη Προϊόντων, σελ. 10-26

Πίνακας 3.5²³

Υπολογισμός χρόνου τοποθέτησης εξαρτήματος σε συναρμολόγηση

Parts Added but not Secured Immediately		After assembly no holding down required to maintain orientation and location				Holding down required during subsequent processes to maintain orientation and location			
		Easy to align and position during assembly		Not easy to align or position during assembly		Easy to align and position during assembly		Not easy to align or position during assembly	
		No resistance to insertion	Resistance to insertion	No resistance to insertion	Resistance to insertion	No resistance to insertion	Resistance to insertion	No resistance to insertion	Resistance to insertion
Addition of any part where the part itself or any other part is being finally secured immediately Part not associated but (including fasteners) can easily reach the desired location Part not associated but (including fasteners) can easily reach the desired location Due to obstructed access or restricted vision Due to obstructed access and restricted vision	0	0	1	2	3	4	5	6	7
	1	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5
	2	3	4	5	6	8	9	9	10
Parts Secured Immediately Addition of any part where the part itself and/or any other part is being finally secured immediately Part and associated fasteners (including fasteners) can easily reach the desired location and the fastener can be inserted easily Due to obstructed access or restricted vision Due to obstructed access and restricted vision	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Separate Operation Assembly process where all add parts are in place	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Ο παραπάνω πίνακας ξεχωρίζει το πώς τα εξαρτήματα εισάγονται στην συναρμολόγηση καθώς και το πώς ασφαρίζονται ή δένονται σε αυτήν μετά την εισαγωγή. Επιπλέον σε κάθε ένα τμήμα εκτιμάται ο βαθμός πολυπλοκότητας της διαδικασίας εισαγωγής, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν εμπόδια που μπορεί να υπάρχουν στην όραση ή τη δυσκολία στην πρόσβαση του εξαρτήματος.

Στην έβδομη στήλη καταγράφεται ο ολικός χρόνος συναρμολόγησης ο οποίος υπολογίζεται αθροίζοντας τις στήλες D και F, δηλαδή τους χρόνους διαχείρισης και εισαγωγής. Το άθροισμα πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των επαναλήψεων που έχει καταγραφεί στη δεύτερη στήλη (B) του πίνακα.

Στην όγδοη στήλη καταγράφεται το κόστος λειτουργίας, το οποίο είναι προσεγγιστικό και προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της στήλης G επί το μέσο αποδεκτό κόστος της λειτουργίας.

Στην ένατη στήλη καταχωρείται ο θεωρητικός αριθμός των εξαρτημάτων της συναρμολόγησης που προκύπτει από την αξιολόγηση που πραγματοποιεί η ομάδα σχεδίασης στα υπάρχοντα εξαρτήματα. Η διαδικασία αυτή εμπεριέχει έναν υψηλό βαθμό υποκειμενικότητας και εξαρτάται από την κρίση του σχεδιαστή ποια εξαρτήματα θα θεωρήσει απαραίτητα για την πραγματοποίηση της συναρμολόγησης ώστε να τα χρησιμοποιήσει και ποια όχι, ανάλογα με την γενική ιδέα που έχει για το τελικό προϊόν.

²³ Πηγή: Μπιλάλης, Ν., Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, σελ. 10-27

Τέλος, προσθέτοντας τις στήλες G, H και I προκύπτει η θεωρητική απόδοση της σχεδίασης.

Η μέθοδος αυτή τεκμαίρει ότι ο ιδανικός χρόνος για τη συναρμολόγηση ενός εξαρτήματος είναι τρία δευτερόλεπτα. Δεδομένης αυτής της προϋπόθεσης, ο βαθμός απόδοσης της σχεδίασης μπορεί να υπολογιστεί από τον εξής τύπο:

$$\text{Βαθμός απόδοσης σχεδίασης} = (3s * N_m) / T_m$$

Η συγκεκριμένη μέθοδος αξιολόγησης της σχεδίασης για συναρμολόγηση είναι μια ιδιαίτερος χρονοβόρα μέθοδος εξαιτίας των περίπλοκων λεπτομερειών που περιλαμβάνει η διαδικασία της ανάλυσης. Για το λόγο αυτό, έχει αναπτυχθεί ένα πακέτο λογισμικού που συμβάλλει στην επιτάχυνση της διαδικασίας.

Το αποτέλεσμα της ένατης στήλης αποτελεί έναν ιδιαίτερος χρήσιμο οδηγό για τη διαδικασία της επανασχεδίασης του προϊόντος. Μετά την επανασχεδίαση ακολουθείται η ίδια διαδικασία για να επιτευχθεί, εάν αυτό είναι δυνατόν, περαιτέρω απλοποίηση της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης.

Για την επανασχεδίαση οι στρατηγικές που μπορούν να ακολουθηθούν είναι οι εξής:

- Δοκιμή και έλεγχος του κατά πόσο είναι το κάθε εξάρτημα απαραίτητο στη συναρμολόγηση ως ξεχωριστό εξάρτημα.
- Απαλοιφή των μηχανικών συνδέσμων.
- Απαλοιφή των εξαρτημάτων που είναι μονωτικά σε συνδέσεις.
- Σχεδίαση πολύ-λειτουργικών εξαρτημάτων εκμεταλλευόμενοι διαδικασίες παραγωγής near-net-shape, όπως έγχυση πλαστικών σε καλούπια, σφυρηλάτηση ή χύτευση.
- Απαλοιφή χαρακτηριστικών ή λειτουργιών που δεν προσφέρουν καμία αξία στον πελάτη.

Η διαδικασία ενοποίησης εξαρτημάτων και λειτουργιών σε ένα μόνο εξάρτημα μπορεί να δίνει πολύπλοκα εξαρτήματα, αλλά πρέπει να εξεταστεί σε συνδυασμό με τις κατάλληλες τεχνολογίες παραγωγής. Παράλληλα αυτή η ενοποίηση μπορεί να προσφέρει σε μια εταιρεία άλλα προτερήματα, όπως:

- Διαδικασίες συναρμολόγησης εκτελούνται από τις διαδικασίες παραγωγής των εξαρτημάτων.
- Η ποιότητα του προϊόντος βελτιώνεται καθώς προσδιορίζεται από τις διαδικασίες παραγωγής και όχι από την ποιότητα της συναρμολόγησης.
- Μπορεί να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να καθιστά τη συναρμολόγηση εύκολη, εξασφαλίζοντας:
 - Εισαγωγή από το πάνω μέρος της συναρμολόγησης.
 - Ότι το εξάρτημα ευθυγραμμίζεται από μόνο του χωρίς να απαιτεί κάποιο αναπροσανατολισμό.

- Συναρμολόγηση με μία μόνο γραμμική κίνηση.
- Ασφάλιση άμεσα μετά την εισαγωγή.

Πέραν αυτών των χαρακτηριστικών είναι απαραίτητο να μεγιστοποιείται η συμμετρία των εξαρτημάτων ή να τονίζεται μια προφανής ασυμμετρία. Αυτό θα έχει μεγάλη επίδραση στην διαδικασία διαχείρισης των εξαρτημάτων.

Η συγκεκριμένη μέθοδος αξιολόγησης έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνει τον συνολικό αριθμό των ανεξάρτητων τεμαχίων. Αυτό όμως συνεπάγεται την αύξηση της πολυπλοκότητας του κομματιού. Ένα πολύπλοκο κομμάτι παρουσιάζει δυσκολίες τόσο στην κατασκευή όσο και στην αποσυναρμολόγηση του.

3.4 Μέθοδος σχεδιασμού για συναρμολόγηση βασισμένη σε πρότυπες μεθόδους μέτρησης χρόνου (MTM)²⁴

Σε μία μέθοδο σχεδίασης για συναρμολόγηση λαμβάνονται υπόψη άνθρωποι, σχεδιαστικοί και οικονομικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τη διαδικασία της συναρμολόγησης. Κατά τη σχεδίαση, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες λειτουργίες συναρμολόγησης επισημαίνονται, καταγράφονται και περιγράφονται λεπτομερώς, και η κάθε μία από αυτές υποδιαιρείται σε βασικά, στοιχειώδη καθήκοντα. Στην πραγματικότητα ένα μικρό ποσοστό από αυτά τα καθήκοντα συμβάλλει ουσιαστικά στην πραγματοποίηση της συναρμολόγησης. Τα εναπομείναντα καθήκοντα συνιστούν ενέργειες όπως η προσέγγιση και το πιάσιμο ενός εργαλείου.

Η μέθοδος σχεδίασης για συναρμολόγηση που έχει ως βασικό κριτήριο τη μέτρηση του χρόνου συναρμολόγησης, έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό την απόδοση βαθμολογίας σε κάθε ένα από τα καθήκοντα που απαρτίζουν μια λειτουργία συναρμολόγησης. Η μέθοδος αυτή θεωρεί σαν βασικό καθήκον το απλούστερο καθήκον της συναρμολόγησης. Το καθήκον αυτό είναι η εισαγωγή ενός αντικειμένου που πιάνεται εύκολα, χωρίς την απαίτηση άσκησης μεγάλης δύναμης από τον εργάτη, κατά τη συναρμολόγηση με το χέρι. Αρχικά βαθμολογείται το βασικό καθήκον και η συνολική βαθμολογία που θα προκύψει αντιστοιχεί σε χρόνο συναρμολόγησης. Στη συνέχεια βαθμολογούνται τα καθήκοντα των πιο συχνά εκτελέσιμων λειτουργιών της διαδικασίας συναρμολόγησης.

Ο πίνακας που παρατίθεται στη συνέχεια απεικονίζει το σύστημα αξιολόγησης μιας μεθόδου σχεδίασης που βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου συναρμολόγησης. Στο απλούστερο καθήκον έχει καταχωρηθεί ο βαθμός 73, ο οποίος αντιστοιχεί σε διάρκεια περίπου δύο δευτερολέπτων. Οι υπόλοιπες βαθμολογίες έχουν εκχωρηθεί βάσει λεπτομερούς μελέτης των πιο κοινών λειτουργιών συναρμολόγησης.

²⁴ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 149, 151

Πίνακας 3.6²⁵

Σύστημα αξιολόγησης για την αριθμητική ανάλυση της συναρμολόγησης

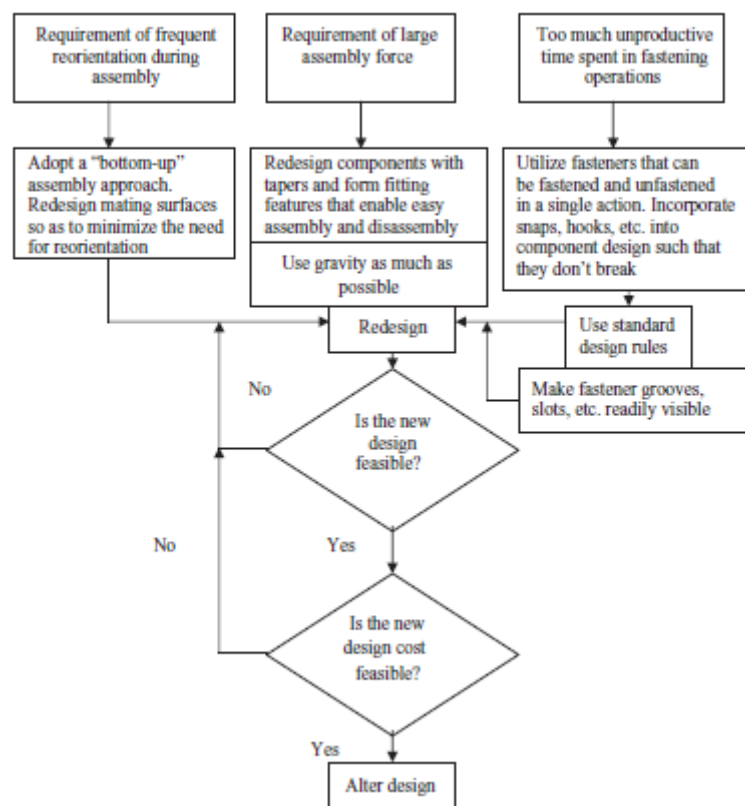
Design Attribute/Feature	Design Parameters	Score	Interpretation
Assembly force			
Straight line motion, no exertion of pressure	Push operations by hand	0.5	Little effort required
		1	Moderate effort required
		2	Large effort required
Straight line and twisting motion without pressure	Twisting and push operations by hand	1	Little effort required
		2	Moderate effort required
		4	Large amount of effort required
Straight line motion with exertion of pressure	Intersurface friction or wedging	2	Little effort required
		2.5	Moderate effort required
Straight line and twisting motions with exertion of pressure	Intersurface friction or wedging	4	Large effort required
		2.5	Little effort required
		3	Moderate effort required
Twisting motions with pressure exertion	Material stiffness	5	Large effort required
		2.5	Little effort required
		4	Moderate effort required
Material handling			
Component/fastener size	Component dimensions (very large or very small)	6	Large effort required
		2	Easily grasped
		3.5	Moderately difficult to grasp
	Magnitude of weight	4	Difficult to grasp
		2	Light (<7.5 lb)
Component/fastener symmetry	Symmetric components easy to handle	2.5	Moderately heavy (<17.5 lb)
		3	Very heavy (<27.5 lb)
		0.8	Light and symmetric
		1.2	Light and semi-symmetric
		1.4	Light and asymmetric
		2	Moderately heavy, symmetric
		2.2	Moderately heavy, semi-symmetric
		2.4	Moderately heavy, asymmetric
		4.4	Heavy and symmetric
		4.6	Heavy and semi-symmetric
5	Heavy and asymmetric		
Requirement of tools for assembly			
Exertion of force		1	No tools required
		2	Common tools required
		3	Specialized tools required
Exertion of torque		1	No tools required
		2	Common tools required
		3	Specialized tools required
Accessibility of joints/grooves			
Dimensions	Length, breadth, depth, radius, angle made with surface	1	Shallow, broad fastener recesses; large, readily visible slot or recess in case of snap fits
		1.6	Deep, narrow fastener recesses, obscure slot or recess in case of snap fits
		2	Very deep, very narrow fastener recesses, slot for prying open snap fits difficult to locate
Location	On plane surface	1	Groove location allows easy access.
	On angular surface	1.6	Groove location difficult to access; some manipulation required
	In a slot	2	Groove location very difficult to access
	On vertical surface	1.5	Some manipulation required against gravity
Positioning	Symmetry	1	Groove location allows easy access
	Asymmetry	1.5	No accuracy required
		2	Some accuracy required
Level of accuracy required to position the tool		5	High accuracy required
		1.5	No accuracy required
		2	Some accuracy required
		5	High accuracy required

²⁵ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 150

3.5 Μέθοδοι βελτίωσης της σχεδίασης για συναρμολόγηση

Όλες οι προαναφερθείσες μέθοδοι αξιολόγησης έχουν σκοπό να εντοπίσουν την πιο αποτελεσματική μέθοδο σχεδίασης για συναρμολόγηση, να προσδιορίσουν τα ελαττωματικά σημεία της σχεδίασης αυτής και να προχωρήσουν στην εφαρμογή βελτιωτικών αλλαγών προκειμένου να επιτευχθεί μια εύκολη και οικονομική συναρμολόγηση.

Το παρακάτω διάγραμμα²⁶ δείχνει κάποια από τα πιο συνηθισμένα χαρακτηριστικά σχεδίασης ενός προϊόντος που χρειάζονται βελτίωση και προτείνει τρόπους εφαρμογής των βελτιώσεων αυτών.



Σχήμα 3.3 Βελτίωση των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, ώστε να καθίσταται εύκολη η συναρμολόγηση.

²⁶ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 151

Εάν είναι αναγκαίος ο συχνός αναπροσανατολισμός κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης θα πρέπει ο σχεδιαστής να προχωρήσει σε κάποιες ενέργειες, ώστε αυτό το χαρακτηριστικό να μην σταθεί εμπόδιο στην πραγματοποίηση μιας αποτελεσματικής συναρμολόγησης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο σχεδιαστής μπορεί να υιοθετήσει την προσέγγιση «βάση - κορυφή» στη σχεδιάσή του, δηλαδή τα εξαρτήματα να τοποθετηθούν κατακόρυφα, το ένα πάνω στο άλλο, χρησιμοποιώντας μια κοινή βάση. Επιπλέον μπορεί να επανασχεδιάσει τις αντικριστές επιφάνειες, ώστε να ελαχιστοποιήσει την ανάγκη για αναπροσανατολισμό.

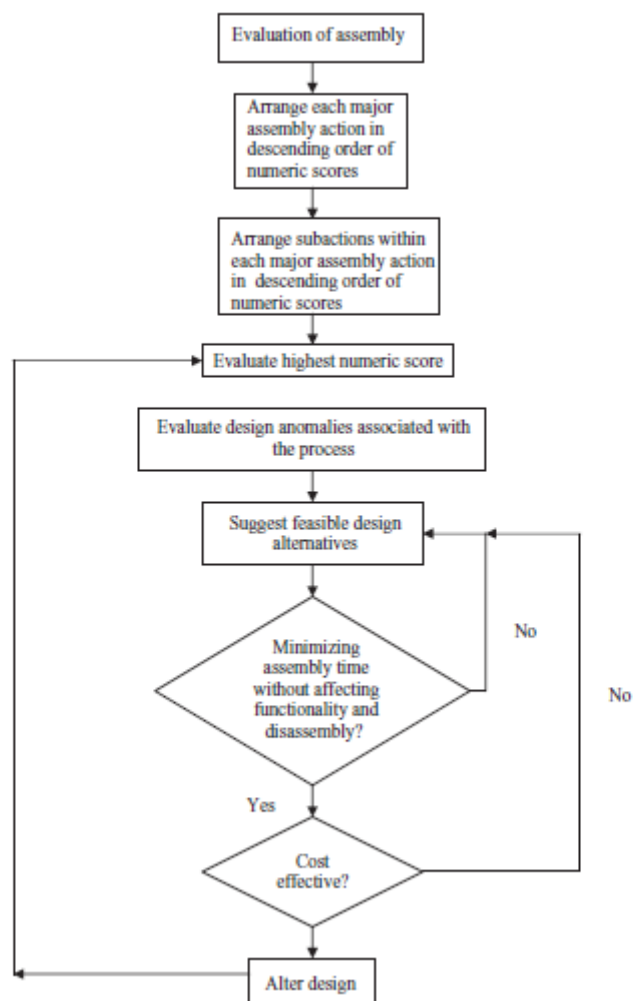
Εάν απαιτείται η άσκηση μεγάλης δύναμης για την συναρμολόγηση των εξαρτημάτων, ο σχεδιαστής μπορεί να επανασχεδιάσει τα εξαρτήματα μειώνοντας τη διάμετρό τους και να διαμορφώσει τα χαρακτηριστικά της προσαρμογής τους έτσι ώστε να διευκολύνεται η εύκολη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση. Μια πολύ αποτελεσματική λύση για μια εύκολη συναρμολόγηση είναι η εκμετάλλευση της βαρύτητας.

Εάν το χαρακτηριστικό που χρειάζεται βελτίωση είναι ο μη παραγωγικός χρόνος που ξοδεύεται στις λειτουργίες στερέωσης και ασφάλισης των εξαρτημάτων, ο σχεδιαστής μπορεί να χρησιμοποιήσει συνδέσμους οι οποίοι ασφαλίζονται και απασφαλίζονται με μία απλή κίνηση καθώς και να ενσωματώσει στη σχεδίαση του εξαρτήματος γάντζους, έτσι ώστε να μην σπάνε. Επίσης θα πρέπει να εφαρμόζει καθιερωμένους κανόνες σχεδίασης και να καθιστά κατά τη σχεδιάσή του τις εγκοπές των συνδέσμων εύκολα ορατές.

Εφόσον ο σχεδιαστής εντοπίσει τις κατάλληλες διορθωτικές αλλαγές που πρέπει να κάνει στην κάθε περίπτωση, ακολούθως τις ενσωματώνει στη σχεδιάσή του. Εάν η νέα, βελτιωμένη σχεδίαση που θα προκύψει είναι υλοποιήσιμη και το κόστος της εφικτό, τότε ο σχεδιαστής προχωράει στην αλλαγή της σχεδίασης. Αλλιώς μελετάει εκ νέου το σχέδιο έως ότου αυτό να πληροί τα δύο παραπάνω κριτήρια.

Η μέθοδος που ακολουθείται για την εφαρμογή των απαραίτητων βελτιώσεων στη σχεδίαση ενός προϊόντος για συναρμολόγηση αναπαρίσταται στο παρακάτω διάγραμμα²⁷.

²⁷ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 152



Σχήμα 3.4 Μεθοδολογία για τη βελτίωση της σχεδίασης για συναρμολόγηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

4.1 Ορισμός και σπουδαιότητα της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης

Η αποσυναρμολόγηση είναι η διαδικασία της συστηματικής απομάκρυνσης των επιθυμητών μερών από ένα συναρμολογημένο σύνολο εξασφαλίζοντας ότι δεν φθείρονται τα μέρη και δεν προκαλείται ζημιά στις ιδιότητές τους λόγω της διαδικασίας.²⁸

Πρακτικά η αποσυναρμολόγηση μπορεί να οριστεί ως η ελεγχόμενη διαδικασία που στοχεύει στον, με οποιονδήποτε τρόπο, διαχωρισμό και ανάκτηση επιθυμητών υποσυνόλων του προϊόντος.

Η αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις όπως η συντήρηση, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακατασκευή ή και η ανακύκλωση των εξαρτημάτων. Ιδίως τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της μόλυνσης της ατμόσφαιρας και της καταστροφής του περιβάλλοντος η σχεδίαση για αποσυναρμολόγηση έχει γίνει ακόμη πιο επιτακτική και αναγκαία. Οι σημαντικές επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον τα βιομηχανικά και οικιακά απόβλητα, η συνεχής μείωση των χώρων υγειονομικής ταφής, η αυξανόμενη έλλειψη σε φυσικούς πόρους καθώς και το αυξανόμενο κόστος αυτών, η συνεχής παραγωγή καταναλωτικών αγαθών και ο σύντομος κύκλος ζωής τους είναι κάποιοι από τους λόγους που έχουν καταστήσει αναγκαία την επαναχρησιμοποίηση και ανακατασκευή των εξαρτημάτων καθώς και την ανακύκλωση των υλικών από τα οποία αποτελούνται τα εξαρτήματα αυτά. Επίσης η ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία έχει γίνει πιο αυστηρή έχοντας ως σκοπό να καταστήσει τους μηχανικούς πιο υπεύθυνους όσον αφορά στη διάθεση των απορριμμάτων. Η νέα αυτή τάση στη σχεδίαση των προϊόντων έχει σημαντικά οφέλη τόσο για τον κατασκευαστή όσο και για το περιβάλλον.

4.2 Τα είδη αποσυναρμολόγησης

Ο ακόλουθος διαχωρισμός στα είδη αποσυναρμολόγησης γίνεται ανάλογα με το επίπεδο ανάκτησης που επιτυγχάνεται:

1. **Μερικώς καταστροφική** είναι η αποσυναρμολόγηση η οποία πραγματοποιείται με καταστροφή των συνδέσμων ή επιλεγμένων εξαρτημάτων (για παράδειγμα με οξυγονοκοπή, κοπή με laser) προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός του σχεδιαστή.
2. **Καταστροφική** είναι η αποσυναρμολόγηση η οποία πραγματοποιείται με μη ελεγχόμενη καταστροφή της δομής του προϊόντος (για παράδειγμα ο τεμαχισμός). Αυτός ο τρόπος βέβαια δεν μπορεί να ενταχθεί στον ορισμό της

²⁸ πρβλ. Gupta, S.M., Operations planning Issues..., σελ. 59

αποσυναρμολόγησης, εφόσον δεν είναι ελεγχόμενος και δεν ανακτώνται υποσύνολα. Συγκεκριμένα αναφέρεται σαν ακραία περίπτωση της αποσυναρμολόγησης.

3. **Μη καταστροφική** είναι η αποσυναρμολόγηση η οποία πραγματοποιείται χωρίς να καταστραφεί κανένα υποσύνολο του προϊόντος (για παράδειγμα λύνοντας βίδες, αποσυνδέοντας συνδέσμους).

Μια μη καταστροφική αποσυναρμολόγηση ανάλογα με την έκτασή της, μπορεί να χωριστεί στις εξής δύο κατηγορίες²⁹:

- **Ολική αποσυναρμολόγηση** είναι η διαδικασία αποσυναρμολόγησης κατά την οποία το προϊόν, στο σύνολό του, αποσυναρμολογείται στα συστατικά του στοιχεία. Από οικονομικής απόψεως, αυτού του είδους η αποσυναρμολόγηση ενδέχεται να μην είναι υλοποιήσιμη εξαιτίας ορισμένων περιοριστικών παραγόντων όπως είναι ο χρόνος, οικονομικοί παράγοντες ή η παρουσία επικίνδυνων υλικών.
- **Επιλεκτική αποσυναρμολόγηση** είναι η διαδικασία αποσυναρμολόγησης κατά την οποία ένα πολύπλοκο προϊόν αποσυναρμολογείται σε λιγότερο σύνθετα υποσυστήματα. Τα υποσυστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα για περαιτέρω αποσυναρμολόγηση, η διαδικασία όμως προχωράει μέχρι ένα επιθυμητό «βάθος» που εκτιμάται ότι αξίζει. Έχει υπολογισθεί ότι η περαιτέρω αποσυναρμολόγηση δεν ωφελεί ιδιαίτερα το περιβάλλον και αυξάνει δυσανάλογα το κόστος. Η επιλεκτική αποσυναρμολόγηση πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην προκληθούν βλάβες στα εξαρτήματα.

Η μερικώς καταστροφική ή η καταστροφική αποσυναρμολόγηση έχει ως σκοπό³⁰ την ανάκτηση των υλικών (ανακύκλωση) ή την επίτευξη πρόσβασης σε άλλα συστατικά μέρη του προϊόντος. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το ξήλωμα του καλύμματος μιας συσκευής για εισχώρηση στο εσωτερικό της.

Η επιλεκτική αποσυναρμολόγηση των προϊόντων συμβάλλει στην υλοποίηση των ακόλουθων αντικειμενικών σκοπών³¹:

1. Επιτρέπει τη συντήρηση και την επισκευή των εξαρτημάτων καθιστώντας εύκολη την πραγματοποίηση και όλων των σχετικών, με τη συντήρηση και επισκευή, λειτουργιών όπως είναι για παράδειγμα η διατήρηση, η δυσλειτουργία, η διάγνωση και η επισκευή.
2. Επιτρέπει σε υποσυστήματα που έχουν ήδη αποσυναρμολογηθεί να συμμετέχουν στη συναρμολόγηση νέων προϊόντων. Τα συγκεκριμένα υποσυστήματα που έχουν αποσυναρμολογηθεί με μη καταστροφική,

²⁹ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 156

³⁰ πρβλ. Lambert, A.J.D., Life – Cycle Chain Analysis including Recycling, σελ. 5

³¹ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 156

επιλεκτική αποσυναρμολόγηση βρίσκονται σε κατάσταση που τους επιτρέπει να επαναχρησιμοποιηθούν, γεγονός που συμβάλλει στη βελτιστοποίηση του κόστους της διαδικασίας.

3. Επιτρέπει την αφαίρεση των εξαρτημάτων προτού απελευθερωθούν τα υπόλοιπα επιθυμητά εξαρτήματα.
4. Επιτρέπει στα εξαρτήματα που έχουν αποσυναρμολογηθεί να είναι διαθέσιμα για ανακύκλωση των υλικών τους.
5. Επιτυγχάνεται αύξηση της καθαρότητας των υλικών με την αφαίρεση των ακάθαρτων συστατικών.
6. Επιτυγχάνεται συμμόρφωση με τους κανονισμούς εκείνους που υπαγορεύουν την αφαίρεση συγκεκριμένων εξαρτημάτων, υλικών και ουσιών όπως για παράδειγμα λάδια μηχανής ή λιπαντικά, για λόγους ασφαλείας και προστασίας του περιβάλλοντος.

Ο σκοπός κάθε είδους αποσυναρμολόγησης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους της διαδικασίας καθώς και η αυτοματοποίησή της.

4.3 Οι θετικές επιπτώσεις της αποσυναρμολόγησης

Οι θετικές επιπτώσεις της αποσυναρμολόγησης μπορούν να διαχωριστούν σε περιβαλλοντικές και οικονομικές.

1. Περιβαλλοντικές

Η αποσυναρμολόγηση μπορεί να βοηθήσει το περιβάλλον με τους εξής τρόπους:

- Επέκταση της ζωής των προϊόντων.

Αφού θα μπορεί να επιτευχθεί ανετότερη πρόσβαση στα υποσύνολα θα διευκολυνθεί η επισκευή, γεγονός που θα αυξήσει και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.

- Καθαρότερη ανάκτηση υλικών (αυξάνει την απόδοση της ανακύκλωσης).

Όταν τα διάφορα συστατικά εξαρτήματα αποσυναρμολογούνται είναι εύκολο στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί διαχωρισμός και κατάταξη των υλικών, ώστε όταν ανακυκλωθούν να υπάρχει μεγαλύτερη ομοιογένεια. Αυτό θα αναβαθμίσει τα δευτερογενή υλικά και θα αυξήσει την αξία τους. Επομένως δεν θα χρειάζεται να αναμειγνύονται με πρωτογενή για να μειώσουν το ποσοστό των ακαθαρσιών. Τα υλικά που έως τώρα θάβονταν λόγω δυσκολίας διαχωρισμού θα μπορούν πλέον να διαχωρίζονται από την αποσυναρμολόγηση. Έτσι θα αυξηθεί ο αριθμός των προϊόντων που προορίζονται για ανακύκλωση.

- Ανάκτηση συνόλων (επαναχρησιμοποίηση).

Η αποσυναρμολόγηση είναι ο μοναδικός τρόπος για την επίτευξη επαναχρησιμοποίησης των εξαρτημάτων. Το κατά πόσο μπορεί να είναι εφικτό και από την πλευρά του κόστους ανακύκλωσης θα εξαρτηθεί από τον μελλοντικό σχεδιασμό της όλης διαδικασίας.

- Επιτρέπει την απομάκρυνση και απομόνωση των επικίνδυνων ουσιών.

2. Οικονομικές

Η αποσυναρμολόγηση επιδρά όμως και στον οικονομικό τομέα με τους εξής τρόπους³²:

- Διακοπή παραγωγής ενός προϊόντος.

Σε περίπτωση που διακοπεί ξαφνικά η παραγωγή ενός προϊόντος το αποτέλεσμα είναι η συγκέντρωση ενός πλήθους από ανεπιθύμητα συναρμολογημένα σύνολα. Η αποσυναρμολόγηση όμως των υποσυνόλων αυτών μπορεί να οδηγήσει στην ανάκτηση πολύτιμων εξαρτημάτων τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε άλλα προϊόντα που βρίσκονται στο στάδιο της παραγωγής. Τα εξαρτήματα που περισσεύουν μπορούν να ανακυκλωθούν, να πωληθούν ή να αποθηκευτούν για μελλοντική χρήση.

- Μείωση χρόνου παραγωγής.

Κάποια από τα προϊόντα που βρίσκονται στη διαδικασία της ανακύκλωσης ενδέχεται να περιέχουν σπάνια εξαρτήματα ή σύνολα που είναι χρήσιμα και για την παραγωγή άλλων προϊόντων. Η αποσυναρμολόγηση αυτών των προϊόντων και η απόσπαση των συνόλων που είναι αναγκαία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του πρότυπου χρόνου των νέων προϊόντων.

- Διευκολύνει την επισκευή.

Εφόσον μπορεί να επιτευχθεί ανετότερη πρόσβαση στα υποσύνολα θα διευκολύνεται και η επισκευή τους. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για τη συγκρότηση νέων προϊόντων.

³² πρβλ. Gupta, S.M., Operations planning Issues..., σελ. 59

4.4 Τεχνικές δυσκολίες αποσυναρμολόγησης

Παρόλη την επέκταση της αυτόματης τεχνολογίας και της χρήσης των ρομπότ σε αρκετές βιομηχανικές εφαρμογές η αποσυναρμολόγηση δεν έχει καταφέρει να αποδεσμευτεί εντελώς από τη χειρωνακτική εργασία. Στη συνέχεια παρατίθενται οι σημαντικότεροι λόγοι^{33 34} που καθιστούν δύσκολη την αποσυναρμολόγηση στα λεγόμενα «ιστορικά προϊόντα»:

- Η τεράστια ποικιλία διαφορετικών τύπων προϊόντων και συνδέσμων.
- Οι σύνδεσμοι που επιλέγονται για απλή συναρμολόγηση και ασφαλείς συνδέσεις συχνά είναι μη λυόμενοι και δύσκολα προσβάσιμοι.
- Η μεγάλη ποικιλία των υλικών που χρησιμοποιούνται για οικονομία και βέλτιστη επίδοση έχει σαν συνέπεια το δύσκολο διαχωρισμό τους. Επίσης ένα μεγάλο ποσοστό από αυτά δεν ανακυκλώνονται.
- Η διαφορετική κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα προϊόντα που πρόκειται να ανακυκλωθούν. Κάποια από αυτά έχουν υποστεί φθορές, σπασίματα ή περιέχουν ακαθαρσίες.
- Η πολύπλοκη δομή κατασκευής των προϊόντων. Πολλά προϊόντα είναι κατάλληλα για συναρμολόγηση και ακατάλληλα για αποσυναρμολόγηση.
- Η έλλειψη κατασκευαστικών στοιχείων για άντληση πληροφοριών και δεδομένων για τη γεωμετρία των προϊόντων, την κατασκευαστική τους δομή αλλά και την κατάστασή τους.
- Η αδυναμία πρόβλεψης του χρόνου που θα επιστραφούν τα προϊόντα, δηλαδή αν θα επιστραφούν κατά το τέλος της διάρκειας ζωής τους ή αποσυρθούν νωρίτερα.
- Οι κίνδυνοι και οι συνέπειες της άσκησης των καθηκόντων της αποσυναρμολόγησης χειρωνακτικά.

Οι δυσκολίες αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα:

- Τη χαμηλή απόδοση και παραγωγικότητα της ανακύκλωσης.
- Το υψηλό κόστος, το οποίο είναι δυσανάλογο με τα έσοδα.

4.5 Διαφορές συναρμολόγησης – αποσυναρμολόγησης^{35 36}

Γενικά υπάρχει μία σύγχυση γύρω από την έννοια της αποσυναρμολόγησης, η οποία θεωρείται συχνά ως η αντίστροφη διαδικασία της συναρμολόγησης. Κάτι τέτοιο

³³ πρβλ. Uhlmann, E., A pilot system for the diasassembly..., σελ. 453

³⁴ πρβλ. Jovane, F., A key issue in Product Life Cycle: Disassembly, σελ. 652

³⁵ πρβλ. Seliger, G., Recycling and Disassembly, σελ. 7

³⁶ πρβλ. Wiendahl, H. – P., A general approach to disassembly planning and control, σελ.720

βεβαίως είναι αναληθές και μάλιστα οι δύο αυτές διαδικασίες έχουν και αρκετά διαφορετικά σημεία. Ορισμένα από αυτά παρατίθενται ακολούθως:

- Ενώ οι σχεδιαστές της συναρμολόγησης γνωρίζουν το κάθε εξάρτημα από το οποίο αποτελείται το προϊόν, τον αριθμό τους και την κατάστασή τους, ο σχεδιαστής της αποσυναρμολόγησης βρίσκεται προ απροόπτων. Πρώτον, σε πολλές περιπτώσεις προϊόντων, οι πληροφορίες που έχει ο σχεδιαστής στη διάθεσή του κατά την αποσυναρμολόγηση σχετικά με τη δομή της κατασκευής του προϊόντος είναι ελάχιστες. Δεύτερον, η χρήση φθείρει τα εξαρτήματα και μεταβάλλει τις ιδιότητές τους δυσκολεύοντας τη διαδικασία. Επιπλέον σε πολλά προϊόντα αντιμετωπίζονται συχνά απρόβλεπτες μετατροπές από τους χρήστες. Επομένως είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν τα ίδια εργαλεία και οι ίδιες μέθοδοι με αυτές που χρησιμοποιούνται στη συναρμολόγηση.
- Η συναρμολόγηση πρέπει να επιτευχθεί μέχρι το τελευταίο εξάρτημα, ώστε να συγκροτηθεί ένα λειτουργικό προϊόν, πράγμα 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), ενώ πολλά εξάγονται (εξαρτήματα). Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι στην πρώτη διαδικασία δεν έχουμε απρόβλεπτες αποκλίσεις στις πρώτες ύλες (εξαρτήματα) ενώ στη δεύτερη δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την εισροή πρώτων υλών («απορριπτόμενων συσκευών»).
- Η ποικιλία των προϊόντων στην αποσυναρμολόγηση είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στην συναρμολόγηση επομένως και των συνδετικών στοιχείων. Αυτό δημιουργεί και την ανάγκη για πιο αναπτυγμένο εξοπλισμό.
- Όλες οι παραπάνω αβεβαιότητες στην αποσυναρμολόγηση οδηγούν σε πολύ μεγαλύτερες αποκλίσεις των πρότυπων χρόνων από ότι στη συναρμολόγηση. Επίσης δεν είναι εύκολη η δημιουργία διαγραμμάτων εργασίας. Επομένως τα αποτελέσματα είναι αβέβαια.

Ωστόσο η σχεδίαση για αποσυναρμολόγηση είναι ένας τομέας που εξελίσσεται και βελτιώνεται συνεχώς. Επομένως υποθέτοντας έναν μελλοντικό κατάλληλο σχεδιασμό προκύπτουν κάποιοι παράγοντες που καθιστούν την αποσυναρμολόγηση πιο εύκολη από τη συναρμολόγηση:

- Οι θέσεις και οι προσανατολισμοί των εξαρτημάτων είναι γνωστές από την αρχή της διαδικασίας αφήνοντας περιθώρια για μεγαλύτερο βαθμό εντολών.
- Τα εξαρτήματα που δεν έχουν κάποια μελλοντική χρηστική αξία μπορούν να τραυματιστούν ή ακόμη και να καταστραφούν. Επομένως απαιτείται λιγότερη ακρίβεια κατά τους χειρισμούς. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται χρόνος.

- Με την επαναχρησιμοποίηση των υποσυνόλων μειώνεται το κόστος ανακύκλωσης. Βέβαια η αγορά δεν είναι ακόμη ώριμη για ανακτημένα εξαρτήματα οπότε περιοριζόμαστε στην ανάκτηση των υλικών.³⁷

Στον πίνακα³⁸ που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διαφορές συναρμολόγησης αποσυναρμολόγησης:

Πίνακας 4.1

Διαφορές συναρμολόγησης - αποσυναρμολόγησης

System characteristics	Assembly	Disassembly
Demand	dependent	dependent
Demand sources	single	multiple
Forecasting requirements	single end item	multi-item
Planning horizon	product life-cycle	indefinite
Design orientation	design for assembly	design for disassembly
Facilities and capacity planning	straightforward	intricate
Manufacturing system	dynamic and constrained	dynamic and constrained
Operations complexity	moderate	high
Flow process	convergent	divergent
Direction of material flow	forward	reverse
Inventory by-products	none	potentially numerous
Availability of scheduling tools	numerous	none

³⁷ πρβλ. Jovane, F., A key issue in Product Life Cycle: Disassembly, σελ. 651

³⁸ πρβλ. Gupta, S.M., Issues in environmentally conscious manufacturing..., σελ. 828

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΙΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

Ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός για να αποδώσει μια αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση θα πρέπει να λάβει υπόψη τους τέσσερις ακόλουθους τομείς ταυτοχρόνως. Οι παρακάτω τομείς δεν είναι της ίδιας αξίας ούτε το ίδιο αποδοτικοί, πρέπει όμως να αναφερθούν και να αναλυθούν για να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα:

- **Σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση³⁹**

Αυτός είναι ο κύριος κορμός για την αποσυναρμολόγηση. Ο τομέας αυτός έχει σαν στόχο τον κατάλληλο σχεδιασμό του προϊόντος, ώστε η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης του να είναι όσο το δυνατόν αποδοτικότερη. Το αντικείμενο του τομέα αυτού είναι η κατασκευαστική δομή των εξαρτημάτων, τα είδη των συνδέσμων και η πολυπλοκότητά τους καθώς και η δημιουργία συνόλων.

Οι ακόλουθοι τρεις τομείς είναι βοηθητικοί.

- **Σχεδιασμός ακολουθίας αποσυναρμολόγησης⁴⁰**

Κατά την αποσυναρμολόγηση ενός προϊόντος η απομάκρυνση των εξαρτημάτων μπορεί να επιτευχθεί με διαφορετικές αλληλουχίες (ακολουθίες). Στόχος της έρευνας είναι να εντοπίσει τη βέλτιστη ακολουθία αποσυναρμολόγησης. Επειδή ο συνδυασμός όλων των δυνητικών ακολουθιών είναι αρκετά μεγάλος, έχουν δημιουργηθεί αλγόριθμοι οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα, σταθμίζοντας κάποια κριτήρια, να αναδεικνύουν τη βέλτιστη ακολουθία.

- **Υπολογισμός βάθους αποσυναρμολόγησης⁴¹**

Ο τομέας αυτός αποτελεί συνέχεια της προηγούμενης μεθόδου, της βέλτιστης ακολουθίας. Συγκεκριμένα αποτελεί το τέλος της ακολουθίας. Ο τομέας αυτός εντοπίζει το οριακό σημείο μετά το οποίο δεν αξίζει να συνεχιστεί η αποσυναρμολόγηση διότι οι θετικές επιπτώσεις που θα έχει στο περιβάλλον δεν θα μπορούν να αντισταθμίσουν το υψηλό κόστος της διαδικασίας.

- **Σχεδιασμός βοηθητικού λογισμικού για αποσυναρμολόγηση⁴²**

Όλοι οι παραπάνω τομείς και οι παράμετροί τους είναι δύσκολο να ληφθούν υπόψη ταυτόχρονα στον αρχικό σχεδιασμό. Επομένως είναι αναγκαία η δημιουργία κατάλληλου λογισμικού που θα βοηθάει τον σχεδιαστή και θα υποστηρίζει τη σχεδιάσή του, συγκρίνοντας όλες τις εναλλακτικές επιλογές και αναδεικνύοντας τη βέλτιστη λύση. Ωστόσο ο σχεδιαστής δεν παύει να είναι αυτός που θα πρωτοπορήσει και θα καινοτομήσει.

³⁹ Στην Αγγλική: Design For Disassembly (DFD)

⁴⁰ Στην Αγγλική: DFD sequence

⁴¹ Στην Αγγλική: DFD leveling ή DFD depth

⁴² Στην Αγγλική: DFD software

5.1 Σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση^{43 44 45}

Ο σκοπός της αποσυναρμολόγησης είναι να επιτευχθεί, με το μικρότερο δυνατό κόστος, ένας αποτελεσματικός διαχωρισμός του προϊόντος σε τρεις ουσιαστικά κατηγορίες υποσυνόλων: για επισκευή, ανακύκλωση και ταφή. Η ελαχιστοποίηση του κόστους επιτυγχάνεται με έξυπνους συνδέσμους και κατάλληλα υποσύνολα. Η θεωρία των υποσυνόλων και των κατάλληλων συνδέσεων είναι η απάντηση στο πρόβλημα της αποσυναρμολόγησης.

Τα υποσύνολα έχουν συναρμολογηθεί με μελέτη και ακολουθούν μια συγκεκριμένη δομή. Κατά τον σχεδιασμό λοιπόν του προϊόντος ο σχεδιαστής θα πρέπει να έχει στο νου του και τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης και ακολουθώντας τα βήματά της να λαμβάνει τις κατάλληλες αποφάσεις. Δηλαδή έτσι όπως η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης ξεκινάει με ένα προϊόν ολόκληρο και διαδοχικά φτάνει στα επιμέρους στοιχεία του, έτσι και ο σχεδιασμός πρέπει να κινείται από έξω προς τα μέσα. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά επίπεδα αποσυναρμολόγησης και ο στόχος είναι η μείωση της πολυπλοκότητάς τους.

Επίσης ο σχεδιασμός θα πρέπει να δίνει ιδιαίτερη σημασία στα εργαλεία, αφού με αυτά κυρίως πραγματοποιείται η αποσυναρμολόγηση. Παρόλη όμως τη σπουδαιότητα των εργαλείων ο σχεδιαστής δεν θα πρέπει να εγκλωβίζεται σε αυτά. Θα πρέπει να προωθεί νέες, ολοκληρωμένες προτάσεις συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης. Η ιδέα αυτή αποτελεί μια πρόκληση για τον νέο σχεδιαστή ο οποίος καλείται να ανακαλύψει νέες μεθόδους συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης, ώστε να μειωθεί το κόστος της διαδικασίας.

Αρχικά ο σχεδιαστής θα πρέπει να αποφασίσει πώς θέλει να δει το προϊόν αποσυναρμολογημένο. Πώς δηλαδή τα διάφορα υποσύνολά του θα μοιράζονται στις τρεις κατηγορίες. Αφού ολοκληρώσει με αυτό το στάδιο θα περάσει στο επόμενο στάδιο, αυτό των συνδέσμων. Στο στάδιο αυτό θα πρέπει να αποφασίσει και να επιλέξει τους κατάλληλους συνδέσμους για να επιτύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα κατά την αποσυναρμολόγηση των εξαρτημάτων.

Το στάδιο των συνόλων είναι το κοινά αποδεκτό, δηλαδή δεν εξαρτάται από τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης που θα χρησιμοποιήσουμε. Για τους συνδέσμους, αντιθέτως, οι αποφάσεις δεν μπορούν να ληφθούν ανεξάρτητα από τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης. Είναι δύο τομείς που αναπτύσσονται ταυτόχρονα και οποιαδήποτε μονομερής ανάπτυξη δεν αποδίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

⁴³ πρβλ. Gupta, S.M., Operations planning Issues..., 1994, σελ. 60

⁴⁴ πρβλ. Chen, Rosy C., A Cost-Benefit Analysis Model..., σελ. 505

⁴⁵ πρβλ. Seliger, G., Recycling and Disassembly..., σελ. 12

5.1.1 Θεωρία υποσυνόλων

Η θεωρία υποσυνόλων χωρίζεται σε κατηγορίες που αφορούν στη δομή του προϊόντος, από τη γενική προς την πιο λεπτομερή:

1. Κατασκευαστική δομή

- i. Ο σχεδιασμός του προϊόντος πρέπει να έχει σαν στόχο την επίτευξη μιας απλής κατασκευαστικής δομής, δηλαδή να ελαχιστοποιεί τον αριθμό των «βημάτων» αποσυναρμολόγησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενοποίηση, όσο το δυνατόν, των επί μέρους κατασκευαστικών στοιχείων.
- ii. Θα πρέπει να διευκολύνεται η προσβασιμότητα των συνόλων για να υπάρχει η δυνατότητα εισχώρησης των εργαλείων.
- iii. Θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα καλής ορατότητας των υποσυνόλων για να διευκολύνεται η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης και για να πραγματοποιείται πιο αποτελεσματικά.

2. Τυποποίηση υποσυνόλων

Δύο από τις πιο χαρακτηριστικές μέθοδοι ανάπτυξης μιας παραγωγής είναι οι ακόλουθες⁴⁶:

- Σχεδιασμός οικογενειών σπονδυλωτών συνόλων (ΟΣΣ)
Ο σχεδιασμός ΟΣΣ έχει ως αντικείμενο την τυποποίηση μονάδων κατασκευής σε επίπεδο βιομηχανίας, ώστε συνδυαζόμενες και συναρμολογούμενες μεταξύ τους να δημιουργούν οικογένειες συνόλων (προϊόντων).
- Σχεδιασμός σειρών κατασκευής (ΣΚ)
Ο σχεδιασμός ΣΚ έχει ως αντικείμενο τη δημιουργία μηχανολογικών προϊόντων τα οποία ενώ έχουν όλα την ίδια αρχή λειτουργίας διαφέρουν ως προς το μέγεθος τους. Η κλιμάκωση του μεγέθους τους έχει γίνει με συστηματικό τρόπο. Τα διάφορα μεγέθη των προϊόντων αυτών διαφέρουν μόνο ποσοτικά ως προς τα χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας και απόδοσής τους. Επίσης διαφέρουν ως προς τις διαστάσεις τους και τις εξαρτώμενες από αυτές, συναφείς παραμέτρους όπως το βάρος, ο όγκος, το κόστος κατασκευής. Ο σχεδιασμός ΣΚ αποτελεί μια εξειδικευμένη περίπτωση του σχεδιασμού ΟΣΣ.

Από τις δύο παραπάνω μεθόδους εκείνη που ανταποκρίνεται σε μεγαλύτερο βαθμό στις απαιτήσεις της αποσυναρμολόγησης είναι ο

⁴⁶ πρβλ. Σφαντζικόπουλος, Μ., Σχεδιασμός Μηχανολογικών Κατασκευών ΙΙ, σελ. 69

σχεδιασμός ΟΣΣ. Οι σχεδιαστές έχουν δώσει ιδιαίτερη έμφαση στην τυποποίηση των επί μέρους στοιχείων των προϊόντων. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τυποποίηση είναι τα ακόλουθα:

- Μείωση της ποικιλίας των εξαρτημάτων και απλοποίηση της κατασκευαστικής δομής.
- Μείωση των τρόπων και των εργαλείων αποσυναρμολόγησης.
- Μείωση του κόστους και του χρόνου αποσυναρμολόγησης.

Επίσης σημαντικά είναι τα οφέλη που προσφέρει στο σχεδιασμό για επιδιόρθωση.

3. *Εύκολα αποσπώμενα σύνολα*

Μία από τις σημαντικότερες εναλλακτικές δυνατότητες αποκατάστασης ενός προϊόντος είναι η ανακύκλωσή του. Στην περίπτωση της αποσυναρμολόγησης για ανακύκλωση είναι ιδιαίτερος σημαντικό ορισμένες κατηγορίες υποσυνόλων να αποσπώνται και να απομονώνονται εύκολα. Είναι επομένως επιθυμητό τα επικίνδυνα, τα πολύτιμα και τα ανακυκλώσιμα υποσύνολα και υλικά καθώς και το κέλυφος να είναι εύκολα αποσπώμενα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι θα πρέπει να καταβάλλεται η ελάχιστη προσπάθεια αποσυναρμολόγησης για τις παραπάνω κατηγορίες υποσυνόλων σε σχέση με αυτή που καταβάλλεται για τις υπόλοιπες. Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί ότι η διαδικασία αποσυναρμολόγησης σε κάθε επίπεδο δεν λαμβάνει υπόψη της μόνο τα υποσύνολα που βρίσκονται σε αυτό αλλά και των επόμενων που εμπεριέχονται σε αυτό. Επομένως τα πολύτιμα υποσύνολα θα πρέπει να αποσπώνται γρήγορα, ώστε να αυξάνονται οι επιλογές για τα εναπομείναντα.

4. *Στήριξη περαιτέρω επεξεργασίας υποσυνόλων*

Από τα σημαντικότερα οφέλη μιας αποτελεσματικής αποσυναρμολόγησης είναι η αποκατάσταση των αποσπώμενων υποσυνόλων τα οποία μπορούν να ανακτηθούν ή να διαχωριστούν στα υλικά τους και να ανακυκλωθούν μετά το πέρας της διαδικασίας. Για να επιτευχθεί όμως αυτό θα πρέπει τα υποσύνολα να σχεδιαστούν με τις κατάλληλες, για τον σκοπό αυτό, προδιαγραφές και η διαδικασία να πραγματοποιηθεί με ιδιαίτερη προσοχή. Είναι προφανές ότι θα πρέπει αρχικά να γίνεται μια αξιολόγηση και να δίνεται προτεραιότητα στα πιο πολύτιμα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα⁴⁷ αποτελεί ο τρόπος στήριξης των διαφόρων στοιχείων στις ηλεκτρονικές πλακέτες. Οι σχεδιαστές μελετούν τρόπο συγκόλλησης των στοιχείων έτσι ώστε μετά το τέλος της ζωής τους, με τη χρήση της θερμότητας, να λειώνει η κόλληση και τα στοιχεία να

⁴⁷ πρβλ. ΕΣΔΚΝΑ, Συλλογικό Σύστημα Εναλλακτικής Διαχείρισης..., σελ. 5-36

διαχωρίζονται αποτελεσματικά. Ο σχεδιαστής επομένως θα πρέπει να παρακολουθεί τις εξελίξεις των τεχνολογιών και να συμβαδίζει με αυτές, ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο αποτέλεσμα.

5. Περιεχόμενο υποσυνόλων

Είναι πολύ σημαντικό το μέγεθος και το περιεχόμενο των υποσυνόλων, γιατί όσο πιο μεγάλα και ομογενή είναι, τόσο λιγότερη προσπάθεια απαιτείται για την αποσυναρμολόγησή τους. Επίσης σε κάθε υποσύνολο θα πρέπει να χρησιμοποιούμε όσο το δυνατόν λιγότερα υλικά, ώστε να μειώνουμε το έργο της αποσυναρμολόγησης. Εάν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά υλικά θα πρέπει τουλάχιστον να είναι συμβατά μεταξύ τους στην επεξεργασία της ανακύκλωσης. Επίσης είναι χρήσιμο να μπορούν να διαχωριστούν εύκολα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους, όπως με χρώματα ή κωδικούς.

Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει τα βασικά στοιχεία της θεωρίας υποσυνόλων.

Πίνακας 5.1

Θεωρία Υποσυνόλων

Θεωρία Υποσυνόλων	
1. Κατασκευαστική δομή	• Μείωση πολυπλοκότητας • Ενοποίηση όγκων-υποσυνόλων • Προσβασιμότητα • Ορατότητα
2. Τυποποίηση υποσυνόλων (σειρές-οικογένειες)	• Διαφορετικά μεγέθη συσκευών • Παρόμοιες λειτουργίες
3. Εύκολα Αποσπώμενα	• Κέλυφος • Επικίνδυνα υλικά • Πολύτιμα υποσύνολα • Ανακτηθέντα υποσύνολα • Ανακυκλώσιμα υλικά
4. Στήριξη Περαιτέρω επεξεργασίας υποσυνόλων	• Προτεραιότητα στα πολύτιμα • Προσπάθεια ανώδυνης απόσπασης • Στήριξη τεχνικών ανάκτησης
5. Περιεχόμενο Υποσυνόλων	• Λίγα διαφορετικά υλικά • Μαζί τα συμβατά υλικά • Χαρακτηρισμός υλικών

5.1.2 Θεωρία συνδέσμων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η θεωρία των συνδέσμων δεν είναι ανεξάρτητη της αποσυναρμολόγησης αλλά εντάσσεται σε μια γενικότερη μελέτη της μεθόδου και του τρόπου αποσυναρμολόγησης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται περιληπτικά δύο διακριτά είδη μεθόδων αποσυναρμολόγησης:

1. *Η μέθοδος 3-αξονικής αυτόματης αποσυναρμολόγησης*

Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στη δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών και προϋποθέσεων και στην επιλογή των κατάλληλων εργαλείων, ώστε μία συσκευή να μπορεί να αποσυναρμολογηθεί αυτόματα από 3-αξονικά ρομπότ. Τα ρομπότ αυτά θα πρέπει να είναι ικανά να προσεγγίζουν την συσκευή, να εντοπίζουν τους συνδέσμους και να τους λύνουν. Για το λόγο αυτό θα πρέπει οι σύνδεσμοι που θα χρησιμοποιηθούν να είναι οι κατάλληλοι, ώστε να διευκολύνουν το έργο της αποσυναρμολόγησης από τα ρομπότ. Θα πρέπει λοιπόν οι σύνδεσμοι που θα χρησιμοποιηθούν να αντέχουν στη φθορά και τη διάβρωση (για παράδειγμα οι ανοξείδωτοι σύνδεσμοι). Θα πρέπει επίσης οι μη λύόμενοι σύνδεσμοι να αντικατασταθούν από λύομενους καθώς επίσης να δημιουργηθούν νέοι, πιο εύκολα λύομενοι σύνδεσμοι.

2. *Μέθοδος αποσυναρμολόγησης στον χώρο*

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια σύγχρονη καινοτομία και προέκυψε από την ανάγκη για αποσυναρμολόγηση στο τέλος της ζωής των προϊόντων. Αποτελεί μια ανατροπή στα μέχρι τώρα δεδομένα που χρησιμοποιούσαν οι σχεδιαστές για την αποσυναρμολόγηση, οι οποίοι τώρα καλούνται να αναπτύξουν τις κατάλληλες μεθόδους και έξυπνες ενέργειες για το κάθε προϊόν ξεχωριστά, ώστε στο τέλος της ζωής του να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, η αποσυναρμολόγηση στο χώρο θα μπορούσε να οριστεί ως η αποσυναρμολόγηση κατά την οποία οι σύνδεσμοι μπορούν να λυθούν εκ του μακρόθεν, ανεξάρτητα από το πού βρίσκονται. Ένας τρόπος να πραγματοποιηθεί μια τέτοιου είδους αποσυναρμολόγηση είναι με τη χρήση της θερμότητας, η οποία όταν εφαρμόζεται ενεργοποιεί τους συνδέσμους και λύνονται με μεγάλη ευκολία. Από τις παραπάνω παρατηρήσεις προκύπτει ότι η μέθοδος αυτή είναι η μοναδική μη καταστροφική αποσυναρμολόγηση.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται κάποια βασικά σημεία των δύο μεθόδων.

Πίνακας 5.2
Θεωρία 3-αξονικής αποσυναρμολόγησης

Θεωρία Συνδέσμων	
Αυτόματη τριαξονική Αποσυναρμολόγηση	
1. Δημιουργία – Χρήση νέων συνδέσμων	• Αντικατάσταση μη λυόμενων • Αντικατάσταση βίδας, κ.α. • Αποφυγή δύσκολων κινήσεων (π.χ. περιστροφή) • Αποφυγή χρήσης εξειδικευμένων εργαλείων
2. Δομή των συνδέσμων	• Προσβασιμότητα • Ορατότητα • Εντοπισμός σημείων χωρισμού • Αποφυγή ανάγκης ταυτόχρονης λύσης πολλών συνδέσμων
3. Μείωση της ποικιλίας τους	• Σε όλο το προϊόν • Στο ίδιο επίπεδο • Σε γειτονικά υποσύνολα
4. Εύκολα λύομενοι σύνδεσμοι	• Εξωτερικό κέλυφος • Επικίνδυνα υλικά / υποσύνολα • Πολύτιμα υλικά / υποσύνολα • Ανακυκλώσιμα υλικά / υποσύνολα
5. Ελαχιστοποίηση Ενέργειας αποσυναρμολόγησης	• Υποστήριξης Εργαλείων • Λογισμικού • Επεξεργασίας

Πίνακας 5.3

Θεωρία αποσυναρμολόγησης στο χώρο

Θεωρία Συνδέσμων	
Αυτόματη Αποσυναρμολόγηση στον χώρο Έξυπνες ενέργειες	
1. Δημιουργία – Χρήση νέων συνδέσμων	• Αντικατάσταση μη λυόμενων • Αντικατάσταση βίδας, κ.α. • Ειδικές συγκολλήσεις • Σύνδεσμοι Μίας χρήσης (στο τέλος ζωής) • Σημεία ελεγχόμενης κοπής για γρήγορη εισχώρηση
2. Δομή των συνδέσμων	Δεν είναι αναγκαία: • Προσβασιμότητα • Ορατότητα • Εντοπισμός σημείων χωρισμού • Επιθυμία ταυτόχρονης λύσης πολλών συνδέσμων
3. Μείωση της ποικιλίας τους	• Σε όλο το προϊόν • Στο ίδιο επίπεδο • Σε γειτονικά υποσύνολα
4. Εύκολα λύσιμοι σύνδεσμοι	• Εξωτερικό κέλυφος • Επικίνδυνα υλικά / υποσύνολα • Πολύτιμα υλικά / υποσύνολα • Ανακυκλώσιμα υλικά / υποσύνολα
5. Ελαχιστοποίηση Ενέργειας αποσυναρμολόγησης	• Υποστήριξης Διαδικασίας • Επεξεργασίας - Διαχωρισμού

5.1.3 Τα τέσσερα βασικά στάδια του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση

Εάν η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης λαμβάνεται υπόψη από τα πρώτα στάδια σχεδιασμού ενός προϊόντος, είναι αναγκαίο να γίνει ένας αναλυτικός σχεδιασμός της διαδικασίας αυτής. Η αφετηρία είναι μια δεδομένη ομάδα προϊόντων η οποία πρόκειται να αποσυναρμολογηθεί. Η κάθε ομάδα έχει συγκεκριμένα, κοινά χαρακτηριστικά τα οποία συγκεντρώνονται σε κατηγορίες.

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας της αποσυναρμολόγησης αποτελείται από τα τέσσερα ακόλουθα στάδια⁴⁸:

- **Ανάλυση προϊόντος**

Η ανάλυση ενός προϊόντος έγκειται στον προσδιορισμό της τελικής του αξίας. Η αξία ενός προϊόντος προκύπτει κατά το στάδιο της αποσυναρμολόγησης του και συνίσταται από την προοπτική επαναχρησιμοποίησής του, ανάκτησης της αξίας του, από τον προσδιορισμό των πιθανών κινδύνων καθώς και της υπάρχουσας τεχνολογίας ανακύκλωσής του. Είναι απαραίτητο να καταστεί σαφής η κατάσταση της υπάρχουσας τεχνολογίας ανακύκλωσης, μιας και όλες οι ακόλουθες διαδικασίες ανακύκλωσης εξαρτώνται από τον παράγοντα αυτό.

- **Ανάλυση συναρμολόγησης**

Είναι εξαιρετικής σημασίας να γίνει κατανοητό πώς έχει συναρμολογηθεί ένα προϊόν προκειμένου να μπορέσει να επιτευχθεί η αποσυναρμολόγησης του. Εάν ο σχεδιαστής γνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένα τα εξαρτήματα και τα είδη των συνδέσμων που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι πιο εύκολο να σχεδιάσει την αποσυναρμολόγηση του προϊόντος. Η σχεδίαση αυτή συνίσταται από τον καθορισμό των εργαλείων, του απαραίτητου χρόνου και αριθμού προσωπικού που είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση της αποσυναρμολόγησης καθώς και του μεγέθους της δύναμης που πρέπει να ασκηθεί από τον εργάτη. Σημαντικό είναι επίσης να γνωρίζει ο σχεδιαστής ποια είναι τα πιο πολύτιμα, σε επίπεδο λειτουργικότητας, εξαρτήματα. Η ανάλυση της συναρμολόγησης περιλαμβάνει μια ανάλυση των συνδετικών στοιχείων, της ιεραρχίας των εξαρτημάτων και της ακολουθίας της συναρμολόγησης.

- **Χρησιμοποίηση, τρόπος και ανάλυση αποτελέσματος**

Τα περισσότερα προϊόντα αποσυναρμολογούνται αφού έχουν χρησιμοποιηθεί, οπότε είναι φυσικό να έχουν υποστεί μια φυσιολογική φθορά από τη χρήση. Ο τρόπος με τον οποίον έχουν χρησιμοποιηθεί τα προϊόντα καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το είδος των ανεπιθύμητων αλλαγών που έχουν υποστεί τα χαρακτηριστικά τους. Οι αλλαγές αυτές δεν είχαν ληφθεί υπόψη κατά τον αρχικό σχεδιασμό του προϊόντος και η γνώση τους βοηθάει τους σχεδιαστές

⁴⁸ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 156, 157

να προβλέψουν και να ενσωματώσουν στη σχεδιάσή τους όλα τα απρόοπτα ενδεχόμενα που μπορεί να ανακύψουν στο μέλλον.

- **Καθορισμός της στρατηγικής αποσυναρμολόγησης**

Ο καθορισμός της στρατηγικής αποσυναρμολόγησης ενός προϊόντος είναι σύμφωνος προς το βασικό λόγο για τον οποίον πραγματοποιείται η αποσυναρμολόγηση. Εάν για παράδειγμα είναι επιθυμητό να ανακυκλωθεί το προϊόν σε επίπεδο υλικών, τότε η αποσυναρμολόγηση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί προσεχτικά, ώστε να μην καταστραφεί το κομμάτι και να μην υποστούν αλλαγές οι ιδιότητες των υλικών του. Εάν είναι σημαντικές μόνο οι εντατικές ιδιότητες των εξαρτημάτων, τότε μπορεί να πραγματοποιηθεί μια καταστροφική αποσυναρμολόγηση, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία. Εάν όμως είναι επιθυμητό να επαναχρησιμοποιηθούν συγκεκριμένα εξαρτήματα του προϊόντος, συνήθως επιλέγονται αυτά με τη μεγαλύτερη λειτουργικότητα, τότε πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός τους από τη βασική δομή του κομματιού, ώστε να μην υποστεί αλλαγές το σύνολο τόσο των εντατικών όσο και των εκτατικών χαρακτηριστικών του. Στην περίπτωση αυτή επομένως είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί μια μη καταστροφική αποσυναρμολόγηση.

5.1.4 Οδηγίες σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση

Υπάρχει μια πληθώρα από οδηγίες σχετικά με τον σχεδιασμό για αποσυναρμολόγηση. Η ουσία όμως όλων αυτών των οδηγιών είναι ότι κατά τη σχεδίαση θα πρέπει να επιτευχθεί περιορισμός της ανομοιότητας του προϊόντος στο ελάχιστο, ομαδοποίηση των παανομοιότυπων υλικών και χρήση αρθρωτής κατασκευής.

Στη συνέχεια παρατίθενται συγκεντρωμένες και ταξινομημένες κάποιες από τις πιο σημαντικές οδηγίες σχεδίασης για αποσυναρμολόγηση⁴⁹:

- **Για την ελαχιστοποίηση της εργασίας αποσυναρμολόγησης:**

1. Εάν είναι δυνατόν, όμοια στοιχεία να τοποθετούνται στην ίδια ομάδα.
2. Θα πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο η μεταβλητότητα των υλικών, ώστε να εξασφαλίζεται στη διαδικασία υψηλό επίπεδο σταθερότητας.
3. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται, όσο αυτό είναι δυνατόν, συμβατά υλικά, ώστε να διευκολύνεται η αποσυναρμολόγηση.
4. Εάν είναι αναγκαία η χρήση επιβλαβών υλικών λόγω της λειτουργικότητάς τους, είναι προτιμητέο να ομαδοποιούνται σε υποσυστήματα έτσι ώστε να

⁴⁹ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 158, 159

είναι πιο εύκολη και γρήγορη η απαλλαγή από αυτά μετά το πέρας της διαδικασίας.

5. Θα πρέπει εξαρτήματα τα οποία είναι είτε πολύτιμα, είτε κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση, είτε επιβλαβή, να είναι προσιτά, ώστε η πρόσβαση σε αυτά να είναι εύκολη. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται χρόνος και απαιτείται λιγότερος κόπος για την προσέγγιση του εξαρτήματος.

- **Για την επίτευξη προβλέψιμης δομής του προϊόντος:**

1. Θα πρέπει να αποφεύγονται οι συνδυασμοί διαβρωτικών υλικών γιατί εξαιτίας της φύσης τους να προκαλούν διάβρωση και να υφίστανται αποκόλληση, δυσκολεύουν την επίτευξη μιας αποτελεσματικής και καθαρής αποσυναρμολόγησης.

2. Θα πρέπει για τους παραπάνω λόγους να προστατεύονται οι υποσυναρμολογήσεις από τη διάβρωση.

- **Για την επίτευξη εύκολης αποσυναρμολόγησης:**

1. Θα πρέπει τα σημεία εναπόθεσης να είναι εύκολα στην πρόσβαση.
2. Θα πρέπει οι σύνδεσμοι να μπορούν να καταστρέφονται και να μετακινούνται εύκολα.
3. Θα πρέπει ο αριθμός των συνδέσμων να είναι ο ελάχιστος δυνατός, ώστε να εξοικονομείται χρόνος και προσπάθεια για την αποσυναρμολόγησή τους.
4. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται εύκολη πρόσβαση στα σημεία που πρόκειται να διαχωριστούν, να υποστούν θραύση ή να κοπούν.
5. Γενικά στην αποσυναρμολόγηση θα πρέπει η μετακίνηση των εξαρτημάτων να ακολουθεί μια σαφή, ξεκάθαρη πορεία. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται οι σύνθετες και περίπλοκες μετατοπίσεις.
6. Θα πρέπει να αποφεύγεται η εισαγωγή μεταλλικών εξαρτημάτων σε πλαστικά εξαρτήματα. Κάτι τέτοιο αυξάνει την πολυπλοκότητα του κομματιού και την ανομοιότητα των υλικών, καθιστώντας αναγκαίες πιο περίπλοκες μετατοπίσεις κατά τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.

- **Για την επίτευξη εύκολης διαχείρισης:**

1. Θα πρέπει μία τουλάχιστον επιφάνεια να είναι ελεύθερη και διαθέσιμη για άδραγμα.
2. Θα πρέπει να αποφεύγονται τα εύκαμπτα και ευλύγιστα εξαρτήματα, γιατί μπορεί να μετακινήσουν, να κάμψουν, να στρέψουν και γενικά να προκαλέσουν προβλήματα στην αποσυναρμολόγηση.

3. Εάν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν τοξικές ουσίες θα πρέπει να παρέχονται σε στεγανοποιημένες συσκευές, ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος που μπορεί να προκαλέσουν στην ανθρώπινη υγεία.

- **Για την επίτευξη εύκολου διαχωρισμού:**

1. Θα πρέπει να αποφεύγεται οποιαδήποτε δευτερεύουσα διαδικασία επίχρισης και επικάλυψης, όπως για παράδειγμα η διαδικασία του βαφίματος. Τέτοιες διαδικασίες εμποδίζουν τη μετακίνηση των εξαρτημάτων και την πρόσβαση σε αυτά.
2. Θα πρέπει τα διαφορετικά υλικά να σηματοδοτούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ξεχωρίζει η μία κατηγορία από την άλλη και να μην προκαλείται σύγχυση κατά την αποσυναρμολόγηση του προϊόντος.
3. Θα πρέπει να αποφεύγονται τα εξαρτήματα και τα υλικά που είναι πιθανόν να προκαλέσουν ζημιά στο μηχανικό εξοπλισμό.

- **Για τη μείωση της μεταβλητότητας:**

1. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται πρότυπα εξαρτήματα και υποσυστήματα.
2. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται μικρή ποικιλία από συνδέσμους. Μεγάλη ποικιλία συνδέσμων απαιτεί μεγάλη ποικιλία εργαλείων, μηχανισμών τοποθέτησης, υψηλή κατάρτιση και δεξιότητες του εργάτη καθώς και καλή προετοιμασία των επιφανειών.

5.1.5 Υπερδραστήριος σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση βασισμένος σε πρότυπες μεθόδους μέτρησης χρόνου⁵⁰

Ένα μεγάλο μέρος της έρευνας σχετικά με τον σχεδιασμό για αποσυναρμολόγηση έχει εστιάσει στην ανάπτυξη αλγορίθμων, οι οποίοι έχουν ως σκοπό τη βελτιστοποίηση της αλληλουχίας αποσυναρμολόγησης. Οι αλγόριθμοι όμως είναι ένα θεωρητικό εργαλείο το οποίο δεν μπορεί να προσεγγίσει αποτελεσματικά το πρόβλημα του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση. Το γεγονός ότι πάνω από το 70% του κόστους του κύκλου ζωής ενός προϊόντος εξακριβώνεται κατά το στάδιο του σχεδιασμού του, καθιστά αναγκαία την επίτευξη ενός πιο δραστήριου σχεδιασμού προϊόντος για αποσυναρμολόγηση. Ο σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση, βασισμένος σε πρότυπες μεθόδους μέτρησης χρόνου, είναι μία σύγχρονη μέθοδος σχεδιασμού που δίνει μεγάλη σημασία στον ανθρώπινο παράγοντα κατά τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης, σε αντίθεση με τις πιο συμβατικές μεθόδους. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη της ένα σύνολο άλλων παραγόντων, οι πιο σημαντικοί από τους οποίους παρατίθενται ακολούθως:

⁵⁰ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 165, 166

- Το βάρος του εξαρτήματος.
- Το μέγεθος του εξαρτήματος.
- Το σχήμα του εξαρτήματος.
- Η συχνότητα επανάληψης των καθηκόντων αποσυναρμολόγησης, βασιζόμενη στον αριθμό των όμοιων προϊόντων που αποσυναρμολογούνται μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο.
- Οι απαιτήσεις σε προσωπικό.
- Οι απαιτήσεις για σωστή στάση του σώματος.
- Οι απαιτήσεις στη διαχείριση των υλικών.
- Η ανάγκη για προετοιμασία των εξαρτημάτων, η οποία περιλαμβάνει διαδικασίες όπως το καθάρισμα και την αφαίρεση των γράσων.

Όπως προαναφέρθηκε, ένας μεγάλος αριθμός ανθρωπίνων παραγόντων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη καθώς η αποσυναρμολόγηση είναι μια διαδικασία, μεγάλο μέρος της οποίας, πραγματοποιείται χειρωνακτικά.

Ο σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση βασισμένος σε πρότυπες μεθόδους μέτρησης του χρόνου ακολουθεί την ίδια διαδικασία με τον αντίστοιχο της συναρμολόγησης που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες λειτουργίες αποσυναρμολόγησης καταγράφονται και περιγράφονται λεπτομερώς. Στη συνέχεια η κάθε λειτουργία υποδιαιρείται σε βασικά, στοιχειώδη καθήκοντα. Μόνο ένα μικρό ποσοστό των καθηκόντων αυτών είναι στην πραγματικότητα υπεύθυνα για τη διεξαγωγή της αποσυναρμολόγησης. Τα υπόλοιπα καθήκοντα συνιστούν ενέργειες όπως είναι η πρόσβαση στα εργαλεία και το άδραγμα αυτών και η προετοιμασία και το καθάρισμα των εξαρτημάτων πριν την έναρξη της διαδικασίας.

Πίνακας 5.4⁵¹

Σύστημα αξιολόγησης για αριθμητική ανάλυση αποσυναρμολόγησης

Design Attribute	Design Feature	Design Parameters	Score	Interpretation
Disassembly force	Straight line motion without exertion of pressure	Push-pull operations with hand	0.5	Little effort required
			1	Moderate effort required
			3	Large amount of effort required
	Straight line and twisting motion without pressure	Twisting and push-pull operations with hand	1	Little effort required
			2	Moderate effort required
			4	Large amount of effort required
	Straight line motion with exertion of pressure	Intersurface friction or wedging	2.5	Little effort required
			3	Moderate effort required
			5	Large amount of effort required
	Straight line and twisting motions with exertion of pressure	Intersurface friction or wedging	3	Little effort required
			3.5	Moderate effort required
			5.5	Large amount of effort required
Material handling	Twisting motions with pressure exertion	Material stiffness	3	Little effort required
			4.5	Moderate effort required
			6.5	Large amount of effort required
	Component size	Component dimensions (very large or very small)	2	Easily grasped
			3.5	Moderately difficult to grasp
			4	Difficult to grasp
		Magnitude of weight	2	Light (<7.5 lb)
			2.5	Moderately heavy (<17.5 lb)
			3	Very heavy (<27.5 lb)
	Component symmetry	Symmetric components easy to handle	0.8	Light, symmetric
			1.2	Light, semi-symmetric
			1.4	Light, asymmetric
			2	Moderately heavy, symmetric
			2.2	Moderately heavy, semi-symmetric
			2.4	Moderately heavy, asymmetric
			4.4	Heavy, symmetric
			4.6	Heavy, semi-symmetric
			5	Heavy, asymmetric

Πίνακας 5.4 (συνέχεια)⁵²

Design Attribute	Design Feature	Design Parameters	Score	Interpretation
Requirement of tools for disassembly	Exertion of force		1	No tools required
			2	Common tools required
			3	Specialized tools required
	Exertion of torque		1	No tools required
			2	Common tools required
			3	Specialized tools required
Accessibility of joints and grooves	Dimensions	Length, breadth, depth, radius, angle made with surface	1	Shallow, broad fastener recesses; large, readily visible slot/recess in snap fits
			1.6	Deep, narrow fastener recesses; obscure slot/recess in snap fits
			2	Very deep, very narrow fastener recesses; slot for prying open snap fits difficult to locate
	Location		1	Groove location allows easy access
			1.6	Groove location is difficult to access; some manipulation required
			2	Groove location very difficult to access
Positioning	Level of accuracy required to position the tool	Symmetry	1.2	No accuracy required
			2	Some accuracy required
			5	High accuracy required
		Asymmetry	1.6	No accuracy required
			2.5	Some accuracy required
			5.5	High accuracy required

⁵¹ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 169

⁵² Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 170

5.1.6 Αξιολόγηση του σχεδιασμού της αποσυναρμολόγησης βασιζόμενη σε οικονομικά κριτήρια⁵³

Το κόστος της διαδικασίας της αποσυναρμολόγησης είναι μια σημαντική παράμετρος, η οποία πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά τη σχεδίαση. Αρκετοί ερευνητές ασχολήθηκαν με το ζήτημα αυτό. Ακολουθώς θα παρουσιαστούν συνοπτικά κάποιες από τις πιο χαρακτηριστικές θεωρίες.

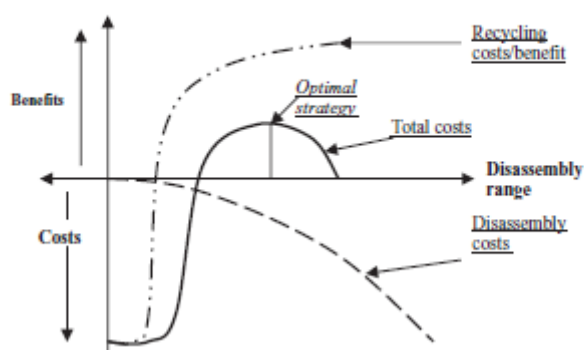
Οι **Feldmann, Traunter** και **Meedt** (1999) ασχολήθηκαν με το θέμα του κόστους της αποσυναρμολόγησης. Θεώρησαν ότι το συχνά υψηλό κόστος της αποσυναρμολόγησης μπορεί εν μέρει να δικαιολογηθεί από τα οφέλη που προσφέρει η ανακύκλωση των εξαρτημάτων και των υλικών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό για αποσυναρμολόγηση, ώστε κατά την πραγματοποίησή της να μην προκληθούν ζημιές στα εξαρτήματα και να μην αλλοιωθούν τα χαρακτηριστικά των υλικών τους, ώστε να μπορούν να ανακυκλωθούν αποτελεσματικά. Το κόστος της ανακύκλωσης καθώς και τα πλεονεκτήματά της διαφέρουν από υλικό σε υλικό που ανακτάται.

Οι **de Ron** και **Penev** (1995) θεώρησαν ότι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης είναι η προστιθέμενη αξία στο προϊόν ή στα υλικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους, το κόστος και το κέρδος που προκύπτει από την αποσυναρμολόγηση και οι κυρώσεις που επιβάλλονται για την χρήση βλαβερών, για την υγεία, υλικών όταν αυτά δεν απομακρύνονται εντελώς. Επίσης το κόστος λειτουργίας εξακολουθεί να είναι από τα πιο σημαντικά ζητήματα που απασχολούν τους κατασκευαστές.

Για να υπολογιστεί η οικονομική αξία των εξαρτημάτων μετά το τέλος – της - ζωής τους χρησιμοποιείται η τεχνική που εισήγαγε ο **Lee (2001)**. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί συμβατικές πρακτικές για να προσδιορίσει ένα κόστος ετερόκλητο, το άθροισμα δηλαδή του κόστους συλλογής και του κόστους επεξεργασίας. Το κόστος αυτό διαδοχικά χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η αξία άλλων οντοτήτων, όπως για παράδειγμα η αξία επαναχρησιμοποίησης, η αξία ανακατασκευής, βασικές και δευτερεύουσες αξίες ανακύκλωσης, η αξία αποτέφρωσης και το κόστος της υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων.

Στο ακόλουθο διάγραμμα απεικονίζεται ο ρόλος των οικονομικών παραγόντων στον καθορισμό μιας βέλτιστης ανακύκλωσης και στρατηγικής αποσυναρμολόγησης.

⁵³ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ.163



Σχήμα 5.1 Καθορισμός της βέλτιστης στρατηγικής ανακύκλωσης και αποσυναρμολόγησης.⁵⁴

Οι Ron και Penev (1995) σχεδίασαν μια στρατηγική αποσυναρμολόγησης η οποία βασίζεται στην οικονομική ισχύ της διαδικασίας. Ως πρώτο βήμα, η στρατηγική περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της αξίας του προϊόντος. Η αξία αυτή εκφράζεται ως η διαφορά μεταξύ των ακόλουθων αθροισμάτων: πρώτον του κέρδους από τα εξαρτήματα που αποσυναρμολογούνται και από τα υλικά που ανακυκλώνονται και δεύτερον του κόστους μεταφοράς. Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τη διαπίστωση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται το προϊόν, εφόσον απορριφθεί. Εάν το προϊόν δεν έχει αχρηστευθεί εντελώς λειτουργικά, τότε είναι δυνατόν με την κατάλληλη συντήρηση να επανέλθει σε λειτουργία, καταβάλλοντας την ελάχιστη προσπάθεια. Αυτό προτείνεται όταν το προϊόν βρίσκεται στη δεύτερη φάση του κύκλου ζωής του. Η συντήρηση συνιστάται εάν η εκμεταλλεύσιμη αξία του προϊόντος, αφού έχει υποστεί το κόστος αποσυναρμολόγησης, υπερβαίνει τα αναμενόμενα από την αποσυναρμολόγηση έσοδα.

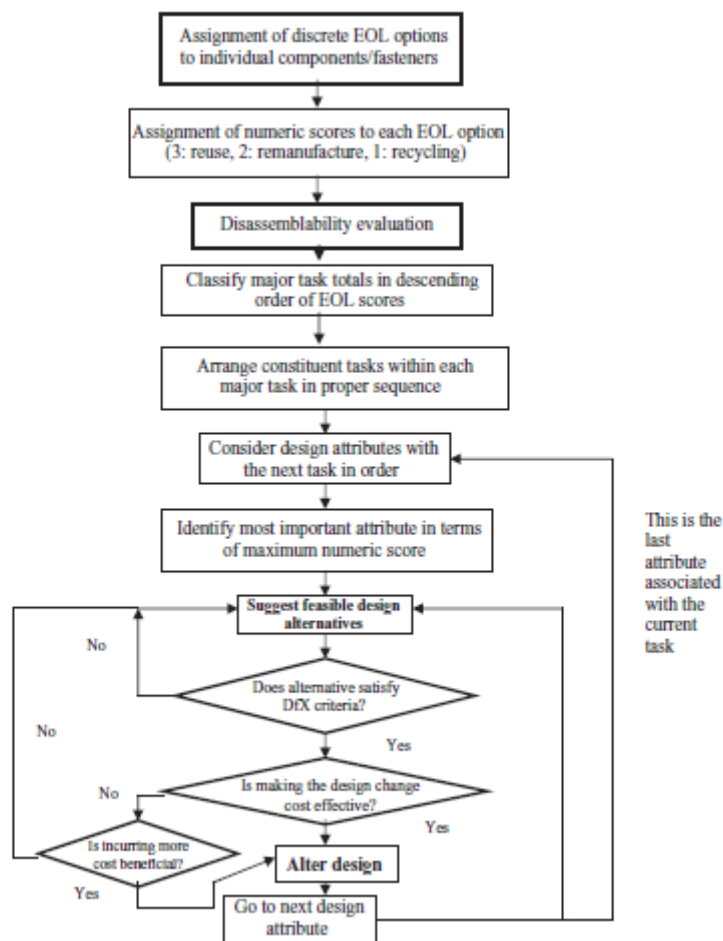
Γενικά, αρκετοί αντικειμενικοί στόχοι αξιολογήθηκαν κάνοντας χρήση οικονομικών οδηγιών. Τέτοιοι στόχοι είναι η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, η ελαχιστοποίηση του ελλείμματος ή η μεγιστοποίηση της περίσσειας καθώς και η ελαχιστοποίηση του χρόνου αποσυναρμολόγησης.

5.1.7 Μεθοδολογία βελτίωσης του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση

Εφόσον ολοκληρωθεί η σχεδίαση για αποσυναρμολόγηση και αξιολογηθεί ως προς την αποτελεσματικότητά της, τότε θα πρέπει ο σχεδιαστής να αποφασίσει ποιες βελτιωτικές αλλαγές χρειάζεται να πραγματοποιήσει και να τις ενσωματώσει στη σχεδιάσή του. Για το λόγο αυτό η σχεδίαση θα πρέπει να είναι ευέλικτη και να επιτρέπει την επέμβαση του σχεδιαστή, εκ των υστέρων, για την πραγματοποίηση

⁵⁴ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 163

των αλλαγών αυτών. Το ακόλουθο διάγραμμα ροής αναπαριστά μια μεθοδολογία για τη βελτίωση της σχεδίασης για αποσυναρμολόγηση.



Σχήμα 5.2 Μεθοδολογία για τη βελτίωση της σχεδίασης για αποσυναρμολόγηση.⁵⁵

Αρχικά δίδονται στο κάθε εξάρτημα ή στον κάθε σύνδεσμο εναλλακτικές δυνατότητες για τον τρόπο αξιοποίησης μετά το τέλος της ζωής του και αφού αποσυναρμολογηθεί. Σε κάθε μία εναλλακτική δυνατότητα αποδίδεται μια βαθμολογία. Εάν το αντικείμενο επαναχρησιμοποιηθεί μετά το τέλος της αποσυναρμολόγησης, εκχωρείται η βαθμολογία 3. Εάν ανακατασκευαστεί εκχωρείται η βαθμολογία 2 και αν ανακυκλωθεί η βαθμολογία 1. Ακολούθως πραγματοποιείται αξιολόγηση της αποσυναρμολόγησης και το σύνολο των κύριων καθηκόντων ταξινομείται σε φθίνουσα σειρά, ανάλογα με τη βαθμολογία που έχει λάβει. Έπειτα διευθετούνται σε κατάλληλη ακολουθία τα καθήκοντα που απαρτίζουν τα κύρια αυτά καθήκοντα και μελετούνται τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά με το επόμενο καθήκον. Ανάλογα με τη βαθμολογία που έχουν λάβει προσδιορίζονται τα

⁵⁵ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 176

πιο σημαντικά χαρακτηριστικά, αυτά δηλαδή που έχουν λάβει τη μέγιστη βαθμολογία. Ο σχεδιαστής σε αυτό το στάδιο καλείται να προτείνει εφικτές εναλλακτικές λύσεις σχεδίασης. Εάν η εναλλακτική λύση που θα προτείνει ικανοποιεί τα κριτήρια της σχεδίασης για Χ-δυνατότητα και η αλλαγή που προτίθεται να ενσωματώσει στη σχεδίαση κάνει εφικτό το κόστος αποσυναρμολόγησης, τότε ο σχεδιαστής προχωράει στην αλλαγή της σχεδίασης, όπου βελτιώνει το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό και προχωράει στη μελέτη του επόμενου. Εάν η εναλλακτική λύση δεν ικανοποιεί τα κριτήρια της σχεδίασης για Χ-δυνατότητα, τότε καλείται να προτείνει μια άλλη εναλλακτική λύση που θα ικανοποιεί τα κριτήρια αυτά. Όταν βρεθεί αυτή η λύση, για να εφαρμοστεί, θα πρέπει να ελεγχθεί εάν κάνει εφικτό το κόστος αποσυναρμολόγησης. Εάν δεν ικανοποιεί το κριτήριο αυτό, τότε γίνεται ο έλεγχος εάν η δημιουργία είναι πιο αποδοτική. Εάν δεν είναι, ο σχεδιαστής επιστρέφει στο στάδιο που προτείνει επιπλέον εναλλακτικές λύσεις και ακολουθεί την ίδια διαδικασία μέχρι να βρει τη λύση εκείνη που θα ικανοποιεί όλα τα απαραίτητα κριτήρια και να την ενσωματώσει στη σχεδίαση. Εάν η δημιουργία είναι πιο αποδοτική, τότε προχωράει στην αλλαγή της σχεδίασης και ακολούθως εξετάζει το επόμενο σχεδιαστικό χαρακτηριστικό.

5.2 Σχεδιασμός ακολουθίας αποσυναρμολόγησης

Η αποσυναρμολόγηση ενός συνόλου μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες αλληλουχίες των στοιχείων του προϊόντος (ακολουθίες). Ο τομέας του σχεδιασμού της ακολουθίας αποσυναρμολόγησης έχει μελετηθεί εκτενώς από τους ερευνητές. Ένα μεγάλο τμήμα της ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας ασχολείται με τη δημιουργία αλγορίθμων οι οποίοι θα έχουν την δυνατότητα, σταθμίζοντας κάποια κριτήρια, να αναδεικνύουν τη βέλτιστη ακολουθία. Είναι ένας τομέας που βρίσκεται συνεχώς υπό εξέλιξη και βελτίωση καθώς είναι ένα δύσκολο θέμα αν αναλογιστεί κανείς ότι ο αριθμός των ακολουθιών αυξάνεται εκθετικά με τον αριθμό των προς αποσυναρμολόγηση τεμαχίων.

Ο σχεδιασμός της αλληλουχίας της αποσυναρμολόγησης είναι ένα πρόγραμμα από καθήκοντα, το οποίο εκκινεί με το προϊόν το οποίο πρόκειται να αποσυναρμολογηθεί και τερματίζει όταν όλα τα επιθυμητά εξαρτήματα που απαρτίζουν το προϊόν είναι πλέον αποσυναρμολογημένα (Gungor and Gupta, 1998). Ο σχεδιασμός της αλληλουχίας αποσυναρμολόγησης έχει ως βασικό σκοπό τη βελτιστοποίηση της αποκατάστασης του προϊόντος μέσω της ελαχιστοποίησης του κόστους της διαδικασίας, της μεγιστοποίησης των υλικών που αποκαθίστανται και της ελαχιστοποίησης του χρόνου αποσυναρμολόγησης. Για να επιτύχει τους παραπάνω στόχους χρησιμοποιεί μαθηματικές τεχνικές όπως γραμμικό προγραμματισμό, δυναμικό προγραμματισμό και γραφήματα.

5.2.1 Είδη αλγορίθμων

Στόχος των αλγορίθμων είναι να εντοπίσουν την βέλτιστη ακολουθία αποσυναρμολόγησης. Η χρήση τους προϋποθέτει τη μετατροπή των κατασκευαστικών σχεδίων σε γραφικές παραστάσεις (όπως είναι τα διαγράμματα συνδέσμων) και σε λογικές εκφράσεις (όπως είναι οι σχέσεις προτεραιότητας), οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό όλων των εφικτών υποσυνόλων. Τα εφικτά υποσύνολα είναι μεταξύ τους συνδεδεμένα και αποσπώσιμα από το σύνολο. Αν γνωρίζουμε τον τρόπο με τον οποίον είναι συνδεδεμένα τα υποσύνολα αυτά και έχουμε όλες τις πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που μπορούν να αποσπαστούν, μπορούμε να προχωρήσουμε στη δημιουργία γραφικών παραστάσεων. Από τις τελευταίες εξάγουμε όλες τις πιθανές ακολουθίες αποσυναρμολόγησης.

Η βέλτιστη ακολουθία αποσυναρμολόγησης μπορεί να υπολογισθεί με μαθηματικές μεθόδους προγραμματισμού (π.χ. γραμμικές), μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η αντιστοίχιση των ενεργειών αποσυναρμολόγησης με το αντίστοιχο κόστος, και των υποσυνόλων με τα έσοδα που θα επιφέρουν. Για κάθε εναλλακτική ακολουθία συγκρίνεται το συνολικό κόστος της αποσυναρμολόγησης με τα αντίστοιχα έσοδα που αποφέρει η διαδικασία. Η καταλληλότερη αλληλουχία αποσυναρμολόγησης είναι εκείνη που δημιουργεί το μέγιστο καθαρό κέρδος, υποκείμενη σε συγκεκριμένους περιορισμούς. Στη βιβλιογραφία των ακολουθιών αποσυναρμολόγησης διακρίνονται δύο βασικές προσεγγίσεις:

1. **Η μηχανολογική προσέγγιση (mechanical approach)**, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στα μηχανολογικά σύνολα (όπως κιβώτια ταχυτήτων) και προέρχεται από τις μελέτες της συναρμολόγησης.
2. **Το δένδρο προτεραιοτήτων (hierarchical tree)**, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό (όπως Η/Υ) και προέρχεται από τον χειρισμό των υλικών (Bill of Materials), που εφαρμόζεται Προγραμματισμός Υλικών Πόρων (Material Resource Planning).

Ακολούθως θα αναλυθούν ορισμένοι από τους πιο σημαντικούς αλγορίθμους και γραφικές παραστάσεις που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της βέλτιστης ακολουθίας αποσυναρμολόγησης.

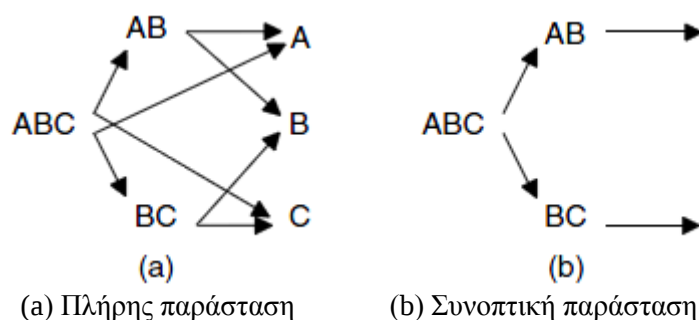
5.2.2 AND/OR γραφική παράσταση

Η AND/OR γραφική παράσταση παρουσιάζει τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης, αναπαριστώντας τα υποσύνολα που δημιουργούνται και όχι τους συνδέσμους που λύνονται. Οι σχέσεις προτεραιότητας που λαμβάνονται υπόψη είναι οι εξής:

Σχέση AND: Υπάρχει μεταξύ ενός στοιχείου K-1 και K-2 σε σχέση με ένα K-3, όταν και το K-1 και το K-2 πρέπει να απομακρυνθούν πριν το K-3.

Σχέση OR: Υπάρχει μεταξύ ενός στοιχείου K-1 και K-2 σε σχέση με ένα K-3, όταν είτε το K-1 είτε το K-2 πρέπει να απομακρυνθούν πριν το K-3.

Σχήμα 5.3 AND/OR γραφική παράσταση.⁵⁶



5.2.3 Μαθηματικός προγραμματισμός

Για να βρεθεί η βέλτιστη ακολουθία αποσυναρμολόγησης είναι αναγκαία η μοντελοποίηση της AND/OR γραφικής παράστασης. Μια AND/OR γραφική παράσταση μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας τον μαθηματικό προγραμματισμό. Το βασικό εργαλείο του γραμμικού προγραμματισμού είναι ο «πίνακας μεταβάσεων». Μέσω του πίνακα αυτού μπορούν να συνυπολογιστούν τα έσοδα και το κόστος της αποσυναρμολόγησης και να εξαχθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα, ώστε να εντοπιστεί η βέλτιστη ακολουθία της διαδικασίας. Ένας πίνακας μεταβάσεων έχει την εξής δομή:

Οι γραμμές του πίνακα συμβολίζουν τα υποσύνολα και οι στήλες του πίνακα τις ενέργειες αποσυναρμολόγησης.

Τα στοιχεία του πίνακα ισούνται με -1, όταν ένα υποσύνολο (γονέας) καταστρέφεται, και με 1 όταν ένα υποσύνολο δημιουργείται (παιδί). Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του πίνακα είναι μηδέν. Το μέγεθος του πίνακα δεν ορίζεται μόνο από τους μαθηματικούς υπολογισμούς όλων των δυνατών συνδυασμών αλλά και από την κατασκευαστική δομή του συνόλου που δημιουργεί πολλούς περιορισμούς. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς αυτούς, μειώνεται αισθητά το μέγεθος του πίνακα και διευκολύνεται η διαδικασία της βελτιστοποίησης. Ο πίνακας, δηλαδή, είναι η έκφραση των εφικτών υποσυνόλων της AND/OR γραφικής παράστασης.

5.2.4 Πίνακας Προτεραιοτήτων Αποσυναρμολόγησης

Ο πίνακας προτεραιοτήτων αποσυναρμολόγησης - ΠΠΑ (disassembly precedence matrix) είναι ένας πιο ανεπτυγμένος πίνακας σε σχέση με τον πίνακα μεταβάσεων, γιατί εκτός του ότι εκφράζει τις AND/OR σχέσεις, λαμβάνει υπόψη και τους

⁵⁶ Πηγή: Lambert, A.J.D., Disassembly Modeling for Assembly, Maintenance..., σελ. 125

περιορισμούς στην κίνηση (σε ποια κατεύθυνση εμποδίζεται η αποσυναρμολόγηση ενός στοιχείου και από ποιο στοιχείο). Ο ΠΠΑ δηλαδή παρουσιάζει τις γεωμετρικές προτεραιότητες μεταξύ των στοιχείων σε ένα σύνολο. Ένας πίνακας προτεραιοτήτων αποσυναρμολόγησης έχει την εξής δομή:

Οι γραμμές και οι στήλες του πίνακα προτεραιοτήτων συμβολίζουν τα στοιχεία του συναρμολογημένου συνόλου. Τα στοιχεία μπορεί να ισούνται:

0, το τεμάχιο g δεν προηγείται από το h
 $A_{gh} = 1$, το τεμάχιο g προηγείται και από το h
 d , το τεμάχιο g προηγείται είτε από το h

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι όταν ένα στοιχείο γραμμής g πρέπει οπωσδήποτε να αφαιρεθεί για να ελευθερωθεί στοιχείο στήλης h , τότε ισούται με 1. Έχει παρατηρηθεί, όμως, ότι τα στοιχεία των σχέσεων OR βρίσκονται στον ίδιο άξονα d . Γι' αυτό όταν δύο διαφορετικά στοιχεία γραμμών (g_1, g_2) εμποδίζουν ένα στοιχείο στήλης h και πρέπει να αφαιρεθεί το ένα από τα δύο (σχέση OR), τότε το αντίστοιχα σημεία του πίνακα ισούνται με d .

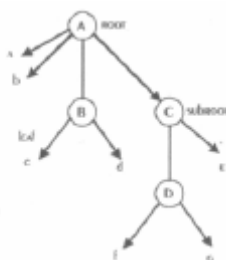
5.2.5 Δένδρο Προτεραιοτήτων

Το δένδρο προτεραιοτήτων είναι η αντίστροφη διαδικασία του MRP (Material Requirement Planning). Το MRP είναι ένα σύνολο διαδικασιών που μετατρέπει μία συγκεκριμένη απαίτηση για ένα προϊόν σε ένα σχέδιο απαιτήσεων για πρώτες ύλες, εξαρτήματα και υποσύνολα που αποτελούν το προϊόν. Ένα από τις βασικά του εργαλεία είναι το BOM (Bill of Materials). Το BOM είναι ένα δένδρο δομής που περιλαμβάνει όλα τα επιμέρους στοιχεία με σειρά προτεραιότητας. Ξεκινά από τα επιμέρους στοιχεία και καταλήγει στο ολοκληρωμένο προϊόν.

Το αντίστροφο του BOM είναι το δένδρο προτεραιοτήτων της αποσυναρμολόγησης. Ξεκινά από την ρίζα (το προϊόν) και χωρίζεται σε υποσύνολα (υπόριζες). Τα φύλλα είναι τα μεμονωμένα εξαρτήματα που δεν μπορούν να αποσυναρμολογηθούν περαιτέρω. Για να αποσυναρμολογηθεί ένα στοιχείο πρέπει να έχει αποσυναρμολογηθεί η υπόριζά του.

Το δένδρο προτεραιοτήτων είναι ένα ιδιαίτερος χρήσιμο εργαλείο για την εύρεση της βέλτιστης ακολουθίας αποσυναρμολόγησης στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα. Τα ΗΗΕ αποτελούνται από σύνολα που μπορεί να είναι και περαιτέρω αξιοποιήσιμα (π.χ. σκληροί δίσκοι, οδηγοί δισκετών, ηλεκτρονικές πλακέτες κτλ.) και επειδή το δένδρο προτεραιοτήτων τονίζει τα υποσύνολα, είναι ο καλύτερος αλγόριθμος. Ο στόχος κατά την κατασκευή του δέντρου προτεραιοτήτων είναι να χωριστούν με επιτυχία τα υποσύνολα. Το χαρακτηριστικό λοιπόν του δένδρου προτεραιοτήτων δεν είναι ο μεγάλος αριθμός διαφορετικών ακολουθιών, αφού είναι σχεδόν προφανής η ακολουθία που πρέπει να αποσπαστούν τα διάφορα υποσύνολα, αλλά η αναζήτηση του βάθους αποσυναρμολόγησης. Στόχος είναι δηλαδή να βρεθεί

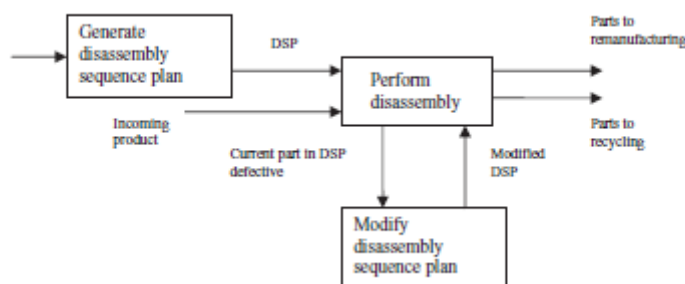
το σημείο μέχρι το οποίο είναι συμφέρουσα η πραγματοποίηση της διαδικασίας της αποσυναρμολόγησης.



Σχήμα 5.4 Δένδρο Προτεραιοτήτων.⁵⁷

5.2.6 Σχεδιασμός της ακολουθίας αποσυναρμολόγησης για προϊόν με ελαττωματικά μέρη

Κατά τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης ο βαθμός αβεβαιότητας που εμφανίζεται είναι υψηλός εξαιτίας του πλήθους των παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να επιτευχθεί μια αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση. Οι Gungor και Gupta για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της αβεβαιότητας, πρότειναν μια μεθοδολογία για τον σχεδιασμό της αλληλουχίας αποσυναρμολόγησης προϊόντων με ελαττωματικά μέρη. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή, οποιεσδήποτε αλλαγές στο σχεδιασμό της αλληλουχίας αποσυναρμολόγησης (DSPs) θα πρέπει να ενσωματώνονται, ώστε να είναι δυνατόν να εντοπιστούν και στη συνέχεια να αντιμετωπιστούν οι παράγοντες εκείνοι που οδηγούν στην αβεβαιότητα.



Σχήμα 5.5 Χειρισμός αβεβαιότητας στο σχεδιασμό της αλληλουχίας της αποσυναρμολόγησης.⁵⁸

⁵⁷ Πηγή: Lambert, A. J. D., Disassembly sequencing: A survey, σελ. 3740

⁵⁸ Πηγή: Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 162

5.3 Υπολογισμός βάθους αποσυναρμολόγησης

Το βάθος της αποσυναρμολόγησης οριοθετεί την έκταση της διαδικασίας, το σημείο δηλαδή μέχρι το οποίο πραγματοποιείται η αποσυναρμολόγηση. Η βασική παράμετρος που καθορίζει το βάθος της αποσυναρμολόγησης είναι το όφελος που προκύπτει από τη διαδικασία. Το όφελος υπολογίζεται ως η διαφορά του κέρδους από τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης (ανακτημένα υποσύνολα, τεμάχια, υλικά, μείωση κόστους διάθεσης κτλ.) μείον το κόστος αποσυναρμολόγησης.

Ο υπολογισμός ωστόσο του βάθους της αποσυναρμολόγησης δεν είναι εύκολη διαδικασία εξαιτίας της εμπλοκής πολλών παραμέτρων στον καθορισμό του συνολικού οφέλους. Ακολουθώντας θα αναφερθούν ενδεικτικά ορισμένες δυσκολίες που συναντώνται:

1. Η αποσυναρμολόγηση είναι μια σειρά διαδοχικών ενεργειών. Μια ενέργεια μπορεί να μην προσφέρει κάποια ιδιαίτερη αξία στην αποσυναρμολόγηση, αλλά μπορεί να είναι απαραίτητη η πραγματοποίησή της για να προχωρήσει η διαδικασία σε άλλες σημαντικότερες ενέργειες. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η αφαίρεση του κελύφους των συσκευών. Επομένως το όφελος κάθε ενέργειας δεν μπορεί να εκτιμηθεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες ενέργειες. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο η εκτίμηση του κόστους των ακολουθιών αποσυναρμολόγησης να προσφέρει ολοκληρωμένα αποτελέσματα, ικανά προς σύγκριση. Επίσης είναι πολύ σημαντική η έλλειψη προτεραιοτήτων μεταξύ των αποσπώμενων μερών. Είναι δηλαδή επιθυμητό τα διάφορα υποσύνολα να βρίσκονται σε όσο το δυνατόν λιγότερα επίπεδα αποσυναρμολόγησης. Με αυτόν τον τρόπο δεν περιορίζεται η αποσυναρμολόγηση σε συγκεκριμένες ακολουθίες και ενέργειες αλλά υπάρχει η δυνατότητα επιλογής διαφορετικών ακολουθιών, ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη που θα αποφέρει το μεγαλύτερο όφελος.
2. Θα πρέπει τα οφέλη που προκύπτουν από την αποσυναρμολόγηση να είναι σωστά εκτιμημένα. Αυτό όμως απαιτεί πολύ καλή γνώση της αγοράς και της αξίας που αντιστοιχεί στα ανακτημένα υποσύνολα και υλικά. Επίσης παίζουν σημαντικό ρόλο τα γενικότερα περιβαλλοντικά οφέλη καθώς και η μείωση του κόστους διάθεσης ή εναλλακτικής διαχείρισης.
3. Σε κάθε προϊόν το βάθος αποσυναρμολόγησης είναι μια σύνθετη παράμετρος. Κάθε προϊόν αποτελείται από υποσύνολα που διαχωρίζονται και το κάθε ένα από αυτά πρέπει να αποσυναρμολογηθεί ως προς το δικό του βάθος. Η διαδικασία εκκινεί από τη ρίζα του δέντρου που είναι το προϊόν και συνεχίζει στα επιμέρους κλαδιά. Θα πρέπει να εκτιμηθεί το μήκος όλων των κλαδιών.

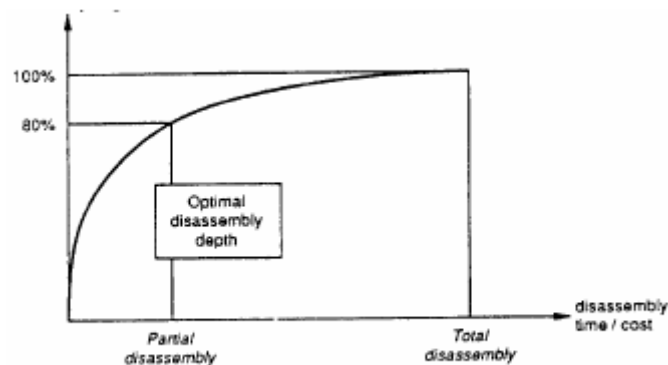
Η θεωρία υποσυνόλων και συνδέσμων που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ανταποκρίνεται εύστοχα στις απαιτήσεις των παραπάνω δυσκολιών καθώς στοχεύει

στον κατάλληλο σχεδιασμό για εύκολο εντοπισμό και διαχωρισμό των επιθυμητών υποσυνόλων και στην όσο το δυνατόν μείωση του επιθυμητού βάθους, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος αποσυναρμολόγησης.

Ακολούθως επισημαίνονται⁵⁹ ορισμένες τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις που ορίζουν το βάθος αποσυναρμολόγησης:

1. Απομάκρυνση αναγκαίων εξαρτημάτων για τη συνέχιση της διαδικασίας (π.χ. κέλυφος, σύνδεσμοι).
2. Απομάκρυνση μερών για τεχνικούς λόγους (π.χ. καλώδια).
3. Απομάκρυνση των επικίνδυνων ουσιών.
4. Σύλλογή των πολύτιμων μερών.
5. Απομάκρυνση μερών για τη μείωση του υπολείμματος τεμαχισμού (π.χ. εσωτερική επένδυση αυτοκινήτων).

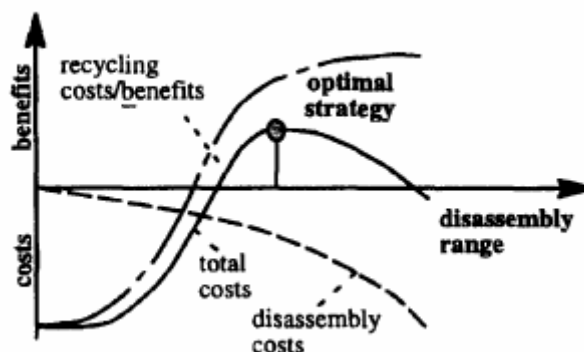
Είναι κατανοητό ότι από ένα σημείο και πέρα, το οποίο συνιστά το βέλτιστο βάθος αποσυναρμολόγησης, η αποσυναρμολόγηση γίνεται μη συμφέρουσα. Αυτό παρουσιάζουν και οι δύο επόμενες γραφικές παραστάσεις.



Σχήμα 5.6 Γραφική παράσταση βάθους – κόστους.⁶⁰

⁵⁹ πρβλ. Lambert, A.J.D., Life-Cycle Chain Analysis..., σελ. 12

⁶⁰ Πηγή: Jovane, F., A key issue in Product Life Cycle: Disassembly, σελ. 656



Σχήμα 5.7 Γραφική παράσταση βάθους – κόστους.⁶¹

5.4 Βοηθητικό λογισμικό σχεδιασμού αποσυναρμολόγησης

Είναι προφανές ότι όλοι οι παραπάνω κανόνες επιβαρύνουν πολύ τον φόρτο του σχεδιαστή. Ο βασικός σκοπός ενός σχεδιαστή είναι να δημιουργήσει ένα προϊόν λειτουργικό που θα αντέχει στον ανταγωνισμό και θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις των καταναλωτών. Όλα τα υπόλοιπα παρότι σημαντικά και υψηλής προτεραιότητας, όπως είναι ο σχεδιασμός για το περιβάλλον, δεν παύουν να αποτελούν στην ουσία το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα πρέπει να κινείται ο σχεδιαστής.

Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν κατάλληλα λογισμικά προγράμματα^{62 63}, τα οποία οργανώνουν όλο τον παραπάνω φόρτο πληροφοριών και υποστηρίζουν τον σχεδιαστή στην επιλογή της βέλτιστης σχεδιαστικής λύσης.

Τα προγράμματα αυτά ουσιαστικά βοηθούν τον σχεδιαστή να πετύχει τους ακόλουθους στόχους:

- Κατάλληλη κατασκευαστική δομή προϊόντος, υποδεικνύοντας τα αδύναμα σημεία αποσυναρμολόγησης.
- Επιλογή των κατάλληλων συνδέσμων.
- Υπολογισμός του χρόνου και του κόστους αποσυναρμολόγησης.
- Υπολογισμός του ποσοστού που δύναται να ανακυκλωθεί το προϊόν.
- Υπολογισμός του κόστους τέλους ζωής του προϊόντος.
- Επιλογή της βέλτιστης λύσης.

Έχουν ήδη κυκλοφορήσει στην αγορά τέτοιου είδους προγράμματα, βρίσκονται όμως σε πρωτογενές ακόμη στάδιο αφού δεν έχουν αποφασιστεί οι γενικότερες τάσεις σχεδιασμού. Ωστόσο αποτελούν ένα ιδιαίτερος χρήσιμο εργαλείο για τον σχεδιαστή.

⁶¹ Πηγή: Feldmann, K., Innovative Disassembly Strategies based on..., σελ. 161

⁶² πρβλ. Rosemann, B., Design for Recycling...

⁶³ πρβλ. Rosemann, B., Sustainable development as a basis...

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

Όπως αναλύθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένας από τους βασικούς σκοπούς της σχεδίασης για αποσυναρμολόγηση είναι η επίτευξη μιας αποτελεσματικής αποσυναρμολόγησης, ώστε μετά το πέρας της διαδικασίας το προϊόν, τα κομμάτια, τα εξαρτήματα καθώς και τα υλικά τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί να είναι σε θέση να αποκατασταθούν.

Η **αποκατάσταση** έχει ως αντικείμενο την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων που στέλνονται για διάθεση (ταφή), ανακτώντας υλικά (ανακύκλωση), εξαρτήματα ή ολόκληρα προϊόντα (επαναχρησιμοποίηση) από τα απορριπτόμενα προϊόντα. Σύμφωνα με τους νόμους συμπεριλαμβάνεται και η αποτέφρωση (ανάκτηση ενέργειας).

Στο παρών κεφάλαιο θα ασχοληθούμε συγκεκριμένα με τα απόβλητα που προέρχονται από τον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά είδη (ΗΗΕ) χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλους τους τομείς της ζωής μας, όπου η επίδρασή τους είναι επιβλητική. Η εκρηκτική ανάπτυξη των ΗΗΕ οφείλεται πρώτα απ' όλα στη συνεχή τεχνολογική πρόοδο, στις εταιρείες που προωθούν στην αγορά νέα μοντέλα αλλά και στην απαίτηση των καταναλωτών για διαρκώς νέα και καινοτόμα προϊόντα. Η παραγωγή ειδών ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της βιομηχανικής παραγωγής. Η πρόοδος της τεχνολογίας στον τομέα των ΗΗΕ έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη απόσυρση και τελικά «αχρήστευση» προϊόντων και συσκευών πολύ πριν ολοκληρωθεί η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής τους. Ως αποτέλεσμα έχουμε έναν τεράστιο όγκο αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), τα οποία αποτελούν σήμερα μία από τις κρισιμότερες κατηγορίες αποβλήτων.



Εικόνα 6.1 Όγκος αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

6.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα από τη διαχείριση των ΑΗΗΕ

Το πρόβλημα που προκύπτει από την παραγωγή ΑΗΗΕ σχετίζεται τόσο με τη σπατάλη πρώτων υλών και ενέργειας όσο και με τους περιβαλλοντικούς κινδύνους κατά τη διάθεσή τους. Τα πιο σημαντικά προβλήματα που προκύπτουν από τη διαχείριση των ΑΗΗΕ είναι τα ακόλουθα:

1. Σπατάλη πρώτων υλών και ενέργειας.

Για την παραγωγή του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού δεσμεύονται σημαντικές ποσότητες πρώτων υλών, κάποιες από τις οποίες είναι πολύτιμες, χρησιμοποιούνται αρκετά χημικά προϊόντα και καταναλώνονται σημαντικές ποσότητες ενέργειας. Εξαιτίας της αχρήστευσης των ΗΗΕ πριν ολοκληρώσουν τον κύκλο της ζωής τους, οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η ενέργεια που σπαταλήθηκε σε όλα τα στάδια παραγωγής του προϊόντος χάνονται μια για πάντα. Επομένως τα απόβλητα του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον καθώς πλέον τα αποθέματα σε πρώτες ύλες και ενέργεια είναι περιορισμένα, και εξαιτίας της περαιτέρω ρύπανσης που προκαλεί η παραγωγή νέων προϊόντων που έρχονται να αντικαταστήσουν τα απορριφθέντα.

2. Έλλειψη χώρων ταφής.

Ο συνεχώς αυξανόμενος όγκος των ΑΗΗΕ και ο περιορισμένος αριθμός χώρων υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ), δεν επιτρέπουν πλέον την ταφή όλων αυτών των προϊόντων που απορρίπτονται. Θα πρέπει να βρεθεί μια εναλλακτική λύση όσον αφορά στη διαχείριση του απορριφθέντος ΗΗΕ, περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον.

3. Η συνολική οικολογική επιβάρυνση σε απόβλητα.

Η «οικολογική επιβάρυνση σε απόβλητα»⁶⁴, δηλαδή η συνολική ποσότητα αποβλήτων που προκύπτουν για την παραγωγή ενός προϊόντος, π.χ. ενός Η/Υ ή μιας τηλεόρασης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την ποσότητα αποβλήτων που παράγονται από την απόρριψη των προϊόντων όταν ολοκληρώσουν τον κύκλο ζωής τους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η συνολική οικολογική επιβάρυνση που προκαλεί ένα υπολογιστής, ο οποίος ζυγίζει 30 κιλά και τα απόβλητά του φτάνουν έως και τα 1500 κιλά, αν υπολογιστούν τα απόβλητα που παράγονται καθ' όλο τον κύκλο ζωής του (από την εξόρυξη πρώτων υλών μέχρι την απόρριψη στα «σκουπίδια»).

4. Επικίνδυνες ουσίες στα ΑΗΗΕ.

Πολλά από τα προβλήματα που συναντώνται στο περιβάλλον και στην υγεία και προκαλούνται από τη διαχείριση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού συνδέονται με την ύπαρξη επικίνδυνων ουσιών στα προϊόντα αυτά. Έκαστο ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό προϊόν αποτελείται από συνδυασμό πολλαπλών δομικών μονάδων. Οι βασικές δομικές μονάδες που είναι κοινές στα ΗΗΕ είναι: πλακέτες συναρμολόγησης τυπωμένων κυκλωμάτων, καλώδια και σύρματα, πλαστικά τα οποία περιέχουν επιβραδυντικά φλόγας, διακόπτες και μεταλλάκτες υδραργύρου, είδη που χρησιμοποιούνται σε οθόνες όπως οι λυχνίες καθοδικών ακτινών και οι οθόνες υγρών κρυστάλλων, συσσωρευτές και ηλεκτρικά στοιχεία, μέσα αποθήκευσης δεδομένων, ελαφρές γεννήτριες, πυκνωτές, αντιστάσεις και ρωστήρες, αισθητήρες και σύνδεσμοι.

Μεταξύ των ουσιών που περιλαμβάνουν τα συγκεκριμένα δομικά, οι πλέον προβληματικές από περιβαλλοντική σκοπιά είναι τα βαρέα μέταλλα, όπως ο υδράργυρος, το κάδμιο και το χρώμιο, οι αλογονωμένες ουσίες, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFC), πολυχλωροδιφαινύλια (PCB), χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) και τα βρωμιούχα επιβραδυντικά καθώς επίσης και ο αμιάντος και το αρσενικό.

Θα πρέπει να επισημανθεί, στο σημείο αυτό, ότι η χρήση όλων των παραπάνω ουσιών δυσχεραίνει γενικά τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, οποιαδήποτε διαδικασία εναλλακτικής διαχείρισης κι αν επιλεγεί. Απαιτείται ειδική επεξεργασία για την εξουδετέρωσή τους, γεγονός που αυξάνει το κόστος της διαδικασίας υπέρογκα.

⁶⁴ πρβλ. Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 47, σελ. 27-28

6.2 Η διαχείριση των ΑΗΗΕ έως σήμερα

Η έως τώρα ακολουθούμενη πρακτική, όσον αφορά στη διαχείριση των αποβλήτων μετά το τέλος της ζωής τους, δεν είναι ικανή να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα και τους κινδύνους που σχετίζονται με τα απόβλητα αυτά. Η τύχη των αποβλήτων μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους βρίσκεται στις εξής επιλογές: αποτέφρωση, διάθεση (ταφή) και ανάκτηση ενέργειας. Μεγάλο ποσοστό των ΑΗΗΕ εκτιμάται ότι καταλήγει για αποτέφρωση, ταφή ή ανάκτηση ενέργειας χωρίς να υποστεί επεξεργασία. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη συγκέντρωση, στους χώρους ταφής και καύσης, πολύτιμων πρώτων υλών αλλά και επικινδύνων αποβλήτων και ουσιών.

6.2.1 Αποτέφρωση⁶⁵

Η αποτέφρωση των ΑΗΗΕ σε ειδικά διαμορφωμένες εγκαταστάσεις έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα ή παρακρατούνται στην τέφρα των μονάδων. Τα ΑΗΗΕ περιέχουν μεγάλη ποσότητα PVC, το οποίο αποτελεί περίπου το 20% των πλαστικών. Υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις ότι το PVC δεν ενδείκνυται για αποτέφρωση εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας και της επικινδυνότητας των καυσαερίων που παράγονται κατά την αποτέφρωση. Μελέτες έχουν δείξει ότι κατά την υγειονομική ταφή του το PVC ενδέχεται να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Σήμερα ανακυκλώνονται πολύ μικρές ποσότητες αποβλήτου PVC από τα ΑΗΗΕ. Παρόλο που έχουν εκδοθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση οδηγίες σχετικά με τις οριακές επιτρεπόμενες τιμές εκπομπής ρύπων κατά την αποτέφρωση των αποβλήτων, θα πρέπει να βρεθούν πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων, οι οποίες να μην στηρίζονται μόνο στην εφαρμοζόμενη, κατά το τελικό στάδιο, τεχνολογία. Μια τέτοια λύση μπορεί να είναι η χωριστή συλλογή και η επεξεργασία συγκεκριμένων κατηγοριών αποβλήτων, όπως τα ΑΗΗΕ, η οποία συμβάλλει στο να είναι καθαρότερα τα αστικά απόβλητα καθώς και στη μείωση των εκπομπών που προκύπτουν λόγω της αποτέφρωσης ή της τήξης των ΑΕΕΗ, λόγω της περιεκτικότητάς τους σε βαρέα μέταλλα και αλογονούχες ουσίες.

Επίσης μεγάλη σημασία στην αποτέφρωση των ΑΗΗΕ έχει και η παραμένουσα τέφρα. Η είσοδος μικρών ποσοτήτων ΑΗΗΕ σε εγκαταστάσεις καύσης έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή συγκέντρωση βαρέων και άλλων μετάλλων στη σκουριά, τα παραγόμενα καυσαέρια και τα φίλτρα των μονάδων. Εάν σταματήσει η αποτέφρωση μαζί με άλλα απόβλητα συγκεκριμένων οικιακών συσκευών, μπορεί να επιτευχθεί περιορισμός της περιεκτικότητας της τέφρας σε βλαβερά μέταλλα σε τέτοιο βαθμό, ώστε η τελική τέφρα να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί κατά ασφαλή τρόπο για το περιβάλλον.

⁶⁵ πρβλ. Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 47, σελ. 31



Εικόνα 6.2 Αποτεφρωτήρας

6.2.2 Υγειονομική ταφή

Η υγειονομική ταφή σε ΧΥΤΑ διαφέρει σημαντικά από την κλασσική έννοια της ταφής σε χωματερή.

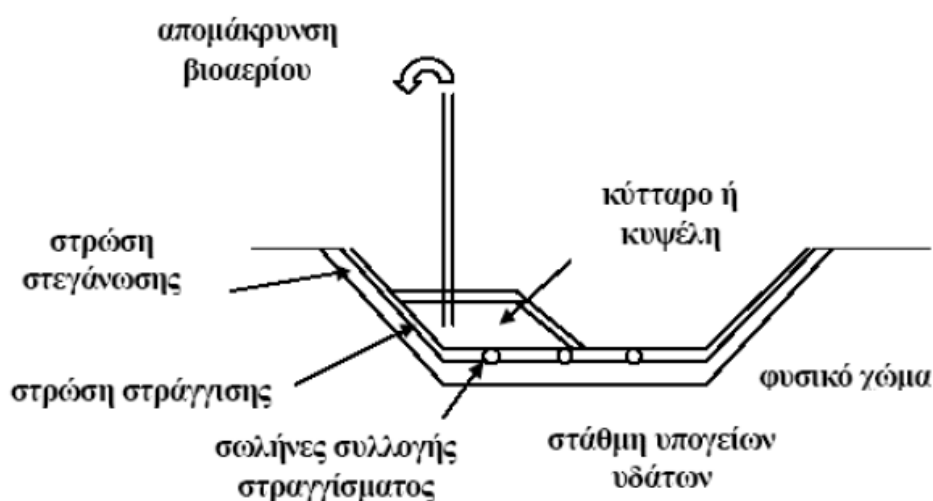


Εικόνα 6.3 Παλαιού τύπου χωματερές.

Οι σύγχρονοι χώροι υγειονομικής ταφής πρέπει να πληρούν υψηλές προδιαγραφές και να μεταχειρίζονται τα απόβλητα καταλλήλως, ανάλογα με την επικινδυνότητά τους. Η πλήρωση των προδιαγραφών αυτών αυξάνει πολύ το κόστος διάθεσης για τα κοινά απόβλητα και υπερβολικά πολύ για τα επικίνδυνα⁶⁶. Το γεγονός αυτό συνιστά και μια πίεση προς τους αρμόδιους να ανακυκλώνουν τα προϊόντα τους σε όσο μεγαλύτερο ποσοστό γίνεται, ώστε να μειώνεται όσο το δυνατόν η τελική ποσότητα αποβλήτων που προορίζεται για διάθεση. Η υγειονομική ταφή των ΑΗΗΕ σε χώρους που δεν πληρούν τις απαραίτητες τεχνικές προδιαγραφές και τα κατάλληλα πρότυπα για το περιβάλλον έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω της παρουσίας πολλών επιμέρους και σε ένα ποσοστό επικίνδυνων ουσιών στα απόβλητα αυτά. Εξαιτίας του ότι κανένας χώρος υγειονομικής ταφής δεν είναι πλήρως υδατοστεγής καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, δεν μπορεί να αποκλειστεί η περίπτωση διαρροής βαρέων μετάλλων και επικίνδυνων χημικών ουσιών από τα ΑΗΗΕ στο υπέδαφος και τα υπόγεια ύδατα.

Τα κύρια προβλήματα δηλαδή στους χώρους υγειονομικής ταφής προέρχονται από την απόπλυση και την εξαέρωση των επικίνδυνων ουσιών. Μερικά παραδείγματα αποτελούν η απόπλυση του υδραργύρου κατά την καταστροφή ορισμένων τμημάτων ΗΗΕ (π.χ. διακόπτες κυκλωμάτων), η καταστροφή πυκνωτών που περιέχουν PCB καθώς και η διαρροή τοξικών ουσιών στο έδαφος και στα υπόγεια ύδατα από την ταφή πλαστικών υλικών με βρωμιούχους επιβραδυντές φλόγας ή πλαστικών υλικών που περιέχουν κάδμιο.

Επιπλέον, σοβαρό πρόβλημα αποτελεί το ενδεχόμενο εκδήλωσης πυρκαγιάς σε χώρο υγειονομικής ταφής. Σε μια τέτοια περίπτωση υπάρχει ο κίνδυνος να προκληθούν εκπομπές βαρέων μετάλλων ή άλλων χημικών ενώσεων.



Σχέδιο 6.1 Σύγχρονο σχέδιο ΧΥΤΑ.

⁶⁶ πρβλ. Jovane, F., A key Issue in Product Life Cycle: Disassembly, σελ. 651

6.2.3 Ανάκτηση ενέργειας

Η ανάκτηση ενέργειας είναι το τελευταίο στάδιο της εναλλακτικής διαχείρισης. Μετά από αυτό το στάδιο οτιδήποτε περισσεύει προορίζεται για διάθεση. Η ανάκτηση ενέργειας είναι αποτέφρωση σε ειδικές εγκαταστάσεις που μας επιτρέπουν να εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια που εκλύεται από την καύση. Είναι η τελευταία επιλογή που μας απομένει για να εκμεταλλευτούμε με κάποιο τρόπο τα απόβλητα.

6.3 Εναλλακτική διαχείριση των ΑΗΗΕ

Όλα τα παραπάνω προβλήματα που σχετίζονται με την αποκατάσταση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού κατέστησαν επιτακτική την εξεύρεση νέων τρόπων εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων, οι οποίοι θα συμβάλλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών κινδύνων καθώς και στη διευκόλυνση της διαδικασίας παραγωγής νέων προϊόντων.

Ως «εναλλακτική διαχείριση» ορίζεται η οποιαδήποτε αξιοποίηση των ΑΗΗΕ, δηλαδή ανακύκλωση ή ανάκτηση ενέργειας. Η ταφή και η αποτέφρωση (χωρίς ανάκτηση ενέργειας) δεν αποτελούν επιλογές της εναλλακτικής διαχείρισης.

Πιο συγκεκριμένα, την εναλλακτική διαχείριση συνιστούν οι εργασίες συλλογής, παραλαβής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης και αξιοποίησης (ανακύκλωσης και ανάκτησης ενέργειας) των ΑΗΗΕ ή/και των κατασκευαστικών τους στοιχείων και των συναρμολογημένων μερών αυτών, συμπεριλαμβανομένων και των αναλώσιμων, ώστε μετά την επαναχρησιμοποίηση ή την επεξεργασία τους αντίστοιχα να επιστραφούν στο ρεύμα της αγοράς.

Ακολούθως θα παρατεθούν οι ορισμοί της ανάκτησης, της ανακύκλωσης και της ανάκτησης ενέργειας, ώστε να γίνουν πιο σαφείς οι διαδικασίες αυτές.

«*Ανάκτηση*» θεωρείται οποιαδήποτε επεξεργασία των αποβλήτων προσδίδει κάποιο όφελος, δηλαδή ταυτίζεται με την αξιοποίηση. Η ανάκτηση είναι είτε ανακύκλωση είτε ανάκτηση ενέργειας.

«*Ανακύκλωση*» είναι η επανεπεξεργασία, στο πλαίσιο της παραγωγικής διαδικασίας, των αποβλήτων υλικών για τους σκοπούς που αρχικά είχαν σχεδιαστεί ή για άλλους σκοπούς, εξαιρουμένης εντούτοις της ανάκτησης ενέργειας.

«*Ανάκτηση ενέργειας*» είναι η εναλλακτική διαδικασία διαχείρισης, η οποία χαρακτηρίζεται από τη χρήση καυσίμων αποβλήτων ως μέσων παραγωγής θερμικής ενέργειας με άμεση καύση με ή χωρίς άλλα απόβλητα.

6.3.1 Γενικές αρχές⁶⁷ εναλλακτικής διαχείρισης

Η εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού βασίζεται στις ακόλουθες αρχές:

1. Στην αρχή της πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων⁶⁸ από τη διαχείριση του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, με τη μείωση του συνολικού όγκου και των επικίνδυνων συστατικών τους.

Ο πρώτος στόχος της πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων είναι η μείωση του συνολικού τους όγκου που προορίζεται για διάθεση (ταφή). Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει από το στάδιο του σχεδιασμού και της παραγωγής του νέου εξοπλισμού να λαμβάνονται υπόψη οι εναλλακτικές της επισκευής, της πιθανής αναβάθμισης, της επαναχρησιμοποίησης και κυρίως της ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ.

Γενικά οι προτεραιότητες για το τέλος της ζωής του προϊόντος ταξινομούνται με την ακόλουθη σειρά⁶⁹:

1. Αποφυγή απόρριψης.
2. Ανάκτηση του συνολικού προϊόντος.
3. Ανάκτηση υποσυνόλων και εξαρτημάτων.
4. Ανάκτηση υλικών.
5. Ανάκτηση ενέργειας.
6. Αποτέφρωση.
7. Υγειονομική ταφή.

Αρχικά θα πρέπει να δίδεται προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση ολόκληρων των συσκευών που προορίζονται για απόσυρση, των κατασκευαστικών τους στοιχείων, των συναρμολογούμενων μερών τους και των αναλώσιμων. Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή ή προτιμητέα η επαναχρησιμοποίηση, τα ΑΗΗΕ θα πρέπει να υποβάλλονται σε αξιοποίηση κατά την οποία θα πρέπει να επιτυγχάνεται υψηλό επίπεδο ανακύκλωσης. Αυτό θα επιτευχθεί εάν οι κατασκευαστές λάβουν δραστικά μέτρα σχετικά με τα υλικά τα οποία επιλέγουν για την παραγωγή των προϊόντων τους. Αρχικά θα πρέπει να περιοριστεί η χρήση επικίνδυνων ουσιών στα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Θα πρέπει να επιλέγονται ουσίες και υλικά ασφαλέστερα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να ανακυκλωθούν αποτελεσματικότερα. Με αυτόν τον τρόπο θα μειωθούν σημαντικά και οι κίνδυνοι για την υγεία των εργαζομένων στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης και θα αποφευχθεί και η ανάγκη διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων. Επίσης οι κατασκευαστές προϊόντων θα πρέπει, σε συνεργασία με τους κατασκευαστές υλικών και κατασκευαστικών στοιχείων, να ενσωματώνουν αυξανόμενη ποσότητα ανακυκλωμένου υλικού στα νέα προϊόντα προκειμένου να αναπτύσσονται οι αγορές για ανακυκλώσιμα υλικά.

⁶⁷ πρβλ. Προεδρικό διάταγμα, άρθρο 7

⁶⁸ πρβλ. Προεδρικό διάταγμα, άρθρο 8

⁶⁹ πρβλ. Stevels, Ab., Lessons learned from 10 years take-back and recycling, σελ. 1

2. Η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει».

Ο κύριος υπεύθυνος για τα προϊόντα, από το στάδιο του σχεδιασμού τους έως και την απόσυρσή τους καθώς και για τις επιπτώσεις που έχουν τα απόβλητά τους, είναι ο παραγωγός. Επομένως οι παραγωγοί των ΑΗΗΕ είναι αυτοί που επιβαρύνονται με το κόστος της ανακύκλωσης. Ο κύριος λόγος είναι ότι εκείνος που αποκομίζει το κέρδος και ταυτόχρονα συμβάλλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος, πρέπει να πληρώνει και τις συνέπειες που προκαλεί το προϊόν που προωθεί στην αγορά. Μόνο με τη μέθοδο αυτή θα μπορέσουν να υπάρξουν βελτιωτικές αλλαγές και να ευαισθητοποιηθούν οι παραγωγοί, ώστε να λάβουν δραστικές αποφάσεις και να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα ριζικά, από το στάδιο της σχεδίασης και της παραγωγής.

3. Η ευθύνη των εμπλεκόμενων φορέων.

Σύμφωνα με την αρχή αυτή εκτός από την σημαντική ευθύνη που έχουν οι παραγωγοί, συνυπεύθυνοι είναι επίσης και οι υπόλοιποι εμπλεκόμενοι, στην παραγωγή του προϊόντος, φορείς. Αυτό συνεπάγεται ότι εξίσου σημαντική ευθύνη, όσον αφορά στην εναλλακτική διαχείριση των άλλων προϊόντων, έχουν οι προμηθευτές των πρώτων υλών, οι συσκευαστές, οι εισαγωγείς, οι διανομείς. Ένας επιπλέον σημαντικός φορέας όσον αφορά στη διαχείριση των δημοτικών αποβλήτων είναι η Τοπική Αυτοδιοίκηση.

4. Ενημέρωση των χρηστών⁷⁰.

Όπως προαναφέρθηκε, το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης όσον αφορά στην εναλλακτική διαχείρισή του προϊόντος έχουν οι παραγωγοί και όλοι οι σχετικοί με την παραγωγή φορείς. Όμως εξίσου σημαντική ευθύνη έχουν και οι καταναλωτές του προϊόντος, καθώς είναι οι τελευταίοι που έρχονται σε επαφή με το προϊόν πριν την απόσυρσή του. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να παρέχεται, από τους αρμόδιους φορείς, η κατάλληλη ενημέρωση στους χρήστες των προϊόντων σχετικά με το ποια προϊόντα και συσκευασίες υπόκεινται σε εναλλακτική διαχείριση. Η ενημέρωση αυτή συνήθως δίδεται με ειδική σήμανση. Έτσι οι τελικοί χρήστες θα είναι σε θέση να επιστρέφουν τον εξοπλισμό που προορίζεται για απόσυρση, χωρίς επιβάρυνση, σε δημοτικά σημεία συλλογής που καθορίζονται από τους ΟΤΑ σε συνεργασία με τα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ή σε καταστήματα λιανικού εμπορίου και σε εξειδικευμένα καταστήματα και super markets με την αγορά νέου, ισοδύναμου τύπου με τον παρεχόμενο εξοπλισμό.

Η τήρηση όλων των παραπάνω αρχών εναλλακτικής διαχείρισης και η εφαρμογή των προτάσεών τους θα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των ΑΗΗΕ που προορίζονται για διάθεση, στη μείωση της σπατάλης φυσικών πόρων καθώς και στην εξασφάλιση σημαντικής μείωσης των κινδύνων για την υγεία και το περιβάλλον.

⁷⁰ πρβλ. Προεδρικό διάταγμα, άρθρο 11

6.3.2 Εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης αποβλήτων συγκεκριμένων ηλεκτρικών συσκευών.

Η γενική ιδέα για τη διαχείριση των Αποβλήτων Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Ειδών είναι η δημιουργία κέντρων επεξεργασίας, στα οποία θα πραγματοποιείται η επεξεργασία και η αποσυναρμολόγησή τους. Υπάρχουν δύο εναλλακτικές επιλογές για την επεξεργασία των Αποβλήτων Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Ειδών:

- Η επιδιόρθωση και η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων ή η αποσυναρμολόγηση και επαναχρησιμοποίηση των διαφόρων εξαρτημάτων τους.
- Η ανάκτηση/ανακύκλωση υλικών και ενέργειας.

Τα εξαρτήματα που απαρτίζουν ένα βιομηχανικό προϊόν, έχουν διαφορετική βαρύτητα όσον αφορά στην οικονομική και περιβαλλοντική επιβάρυνση, που επιφέρει τελικά το προϊόν. Σύμφωνα με τον νόμο του Pareto⁷¹ («κανόνας 80/20»), για το μεγαλύτερο μέρος (περίπου 80%) της οικονομικής και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλεί ένα προϊόν ΗΗΕ, είναι υπεύθυνο ένα πολύ μικρό ποσοστό (περίπου 20%) του συνόλου των εξαρτημάτων. Για τον λόγο αυτό, οι παραγωγοί βιομηχανικών προϊόντων θα πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίζουν τα εξαρτήματα που αποφέρουν το μέγιστο όφελος, κατά την ορθή διαχείριση του προϊόντος στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η διαχείριση των εξαρτημάτων να είναι περισσότερο στοχευμένη και επομένως, αποτελεσματική.

Στην συνέχεια θα αναλυθούν οι διάφορες εναλλακτικές επιλογές σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων συγκεκριμένων ηλεκτρικών συσκευών και των εξαρτημάτων τους⁷².

1. Συσκευές με Οθόνες

Οι καθοδικές λυχνίες είναι επιστρωμένες με μεγάλα ποσοστά μολύβδου, ενώ περιέχουν και άλλα υλικά όπως φώσφορο (περίπου 3 γραμμάρια). Η έλλειψη του κατάλληλου τρόπου διαχείρισης καθώς και συστημάτων συλλογής, σε ευρωπαϊκή κλίμακα, των χρησιμοποιημένων καθοδικών λυχνιών (CTRs), είναι το κύριο πρόβλημα στην ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων ανακύκλωσης.

Όπου υπάρχουν προγράμματα ανακύκλωσης, οι οθόνες οδηγούνται σε μια ξεχωριστή μονάδα αποσυναρμολόγησης όπου απομακρύνονται τα πλαστικά τμήματα, τα μεταλλικά και οι πλακέτες. Τα ηλεκτρόδια απελευθερώνονται αμέσως μόλις απομακρυνθούν από τις οθόνες. Αφού γίνει διαχωρισμός της λυχνίας από το υπόλοιπο γυάλινο τμήμα που έχει την επίστρωση, διαχωρίζονται τα μέταλλα από το μολυβωμένο γυαλί. Το γυαλί στη συνέχεια κονιορτοποιείται, υφίσταται επεξεργασία και εξετάζεται σχολαστικά για την παρουσία ξένων σωμάτων. Το γυαλί μπορεί

⁷¹ πρβλ. Moussiopoulos, N., Decision-making on the alternatives for the end-of-life management...

⁷² πρβλ. Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 40, σελ. 16-18

μετέπειτα να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία γυαλιού. Η επαναχρησιμοποίηση γυάλινων τμημάτων στην παραγωγή καινούριων λυχνιών δεν ήταν δυνατή σε βιομηχανική κλίμακα μέχρι το τέλος του 1999. Από το 1999 όμως, το γυαλί που περιέχει οξείδιο του μολύβδου σε ποσοστό μεγαλύτερο από 25% μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή καινούριων καθοδικών λυχνιών. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα πρέπει αρχικά τα γυάλινα τμήματα να καθαριστούν, να τεμαχιστούν και να απομακρυνθούν τα μεταλλικά κομμάτια από αυτά.

Η προηγούμενη διαδικασία της ανάμειξης γυαλιού ως πρόσθετο στην τήξη μολύβδου, πλέον χρησιμοποιείται ελάχιστα, όπως για παράδειγμα στις χαλασμένες λυχνίες. Το μέταλλο πωλείται ως «σκραπ».

2. Πλακέτες

Οι περισσότερες πλακέτες και σκληροί δίσκοι μπορούν να μεταπωληθούν ως ανεξάρτητα κομμάτια εφόσον είναι σε καλή κατάσταση και αντιστοιχούν σε τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ακόμα. Οι πλακέτες που έχουν αχρηστευτεί και δεν είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθούν, μπορούν να κονιορτοποιηθούν με στόχο να ανακτηθούν τα υλικά από τα οποία αποτελούνται (fiber-glass, μέταλλα και πολύτιμα μέταλλα). Η ανακύκλωσή τους όμως αντιμετωπίζει προβλήματα εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού πλαστικού που περιέχουν και λόγω της ύπαρξης, στα πλαστικά, επιβραδυντών καύσης με βάση το βρώμιο.

Οι πλακέτες κατασκευάζονται από θερμοσκληρυντικά πλαστικά, όπως εποξικές ρητίνες, με υαλώδεις ίνες ως υλικό του σκελετού. Τα διάφορα άλλα στοιχεία, όπως ημιαγωγοί, αντιστάσεις, πυκνωτές, που βρίσκονται στις πλακέτες είναι ενωμένα με κράματα μολύβδου και άλλων βαρέων μετάλλων. Τα μέταλλα που βρίσκονται στις πλακέτες είναι ενωμένα με κράματα μολύβδου και άλλων βαρέων μετάλλων. Τα μέταλλα που βρίσκονται στις πλακέτες, όπως χαλκός, άργυρος, χρυσός, παλλάδιο και λευκόχρυσος μπορούν να ανακτώνται πιο εύκολα λόγω της οικονομικής τους αξίας. Σύμφωνα με αναλύσεις, η περιεκτικότητα κατά βάρος του μολύβδου είναι 0.14% στις πλακέτες και 0.1% σε ολόκληρο το μετατροπέα.

3. Πλαστικά Υλικά

Τα πλαστικά περιβλήματα διαχωρίζονται από τον υπόλοιπο ηλεκτρονικό εξοπλισμό και αφαιρούνται από αυτά κάποια υλικά, όπως οι ετικέτες και το μονωτικό υλικό.

Δυστυχώς, τα παλιά πλαστικά περιβλήματα δεν ταιριάζουν σε καινούριους υπολογιστές και γι' αυτό δεν επαναχρησιμοποιούνται. Προς το παρόν, αυτά τα πλαστικά είναι δύσκολο να πωληθούν, επειδή περιέχουν ανομοιογενή υλικά που δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν και να διαχωριστούν καθώς και μερικά πρόσθετα όπως επιβραδυντές καύσης, με βάση το βρώμιο, που δυσχεραίνουν την ανακύκλωση. Κάποια από τα πλαστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επιστρώσεις δρόμων. Γίνονται προσπάθειες για να βρεθούν και άλλες μέθοδοι διάθεσης αυτών των πλαστικών, όπως κατασκευή δαπέδων, νέων περιβλημάτων υπολογιστών και

τμημάτων αυτοματισμού. Η εταιρεία Siemens χρησιμοποιεί τέτοια πλαστικά για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας.

Τα μικρά πλαστικά εξαρτήματα που βρίσκονται στο εσωτερικό του υπολογιστή είναι συνήθως κατασκευασμένα από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE). Αυτό κάνει πιο εύκολη την απομάκρυνσή τους, τον τεμαχισμό και την επεξεργασία τους. Θα πρέπει να γίνεται σωστός διαχωρισμός, ώστε να μην αναμιγνύονται με άλλα υλικά (π.χ. μέταλλα) ή με άλλα πλαστικά. Ακόμα και μια μικρή ποσότητα ξένης ουσίας μπορεί να αχρηστεύσει ολόκληρο το τμήμα της παραγωγής. Εάν το βασικό πλαστικό περιέχει ξένο σώμα, αυτά μπορούν να διαχωριστούν με υδροσκοπική μέθοδο εξαιτίας της διαφορετικής πυκνότητάς τους. Η μηχανική ανακύκλωση των πλαστικών εξακολουθεί να θεωρείται μέχρι σήμερα ως μία αποτελεσματική μέθοδος διαχείρισης αυτών των υλικών. Αυτό όμως συμβαίνει μόνο για ένα τμήμα των πλαστικών αποβλήτων, τα οποία είναι σχετικά εύκολο να διαχωριστούν σε μικρά κομμάτια. Επιπλέον, τα πλαστικά που ανακυκλώνονται με μηχανικό τρόπο πρέπει να απορροφηθούν από την αγορά και να είναι ανταγωνιστικά, από ποιοτική και οικονομική άποψη, με αυτά που έχουν φτιαχτεί από παρθένες πρώτες ύλες. Η επεξεργασία πλαστικών που περιέχουν διαφορετικά είδη μπορεί να γίνει σε υπάρχουσες βιομηχανίες πλαστικών. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν τα απόβλητα πλαστικών στη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα, ως καύσιμο υλικό, πρέπει να ληφθεί υπόψη τόσο η θερμογόνος ενέργειά τους όσο και πιθανές εκπομπές ρύπων.

4. Επιβραδυντές Καύσης

Χρησιμοποιούνται περίπου στο 13% των πλαστικών των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών για να επιτύχουν τις προδιαγραφές των προϊόντων. Σύμφωνα με τη Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος της Ε.Ε., ένα από τα βασικά εμπόδια στην ανακύκλωση πλαστικών είναι η πιθανή παραγωγή διοξινών και φουρανίων, από συγκεκριμένους βρωμιούχους επιβραδυντές καύσης.

5. Βίδες, συνδέσεις και μικρά μεταλλικά τμήματα

Τα εξαρτήματα αυτά ταξινομούνται και ο διαχωρισμός τους γίνεται με μαγνήτη σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα υλικά. Τα μεταλλικά εξαρτήματα πωλούνται ως «σκραπ».

6.3.3 Ανακύκλωση υλικών

Εφόσον τα διάφορα υλικά από τα ηλεκτρονικά είδη διαχωριστούν, έχουν την δυνατότητα στη συνέχεια να ανακυκλωθούν. Κάποια υλικά ανακυκλώνονται ευκολότερα και κάποια άλλα δυσκολότερα. Τα υλικά αυτά αναλύονται ακολούθως⁷³:

⁷³ πρβλ. Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 40, σελ. 16-18

1. Σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα

Τα μέταλλα αυτά είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο μπρούτζος και ο ψευδάργυρος. Μπορούν να ανακυκλωθούν σχετικά εύκολα αφού αποσυναρμολογηθούν και γίνει διαχωρισμός τους.

2. Διάφορα ατσάλινα τμήματα

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά σε διάφορα κατασκευαστικά έργα.

3. Υλικά συσκευασίας

Αρχικά γίνεται διαχωρισμός των υλικών σε κατηγορίες, όπως χαρτόνι, χρησιμοποιημένο χαρτί, ξύλο και πολυστυρένιο. Στη συνέχεια τα υλικά αυτά ενσωματώνονται στην παραγωγική διαδικασία.

4. Πλαστικά

Πρόκειται για πλαστικά που ανήκουν στην ίδια κατηγορία με αυτά που χρησιμοποιούνται για τα περιβλήματα. Τα πλαστικά αυτά διαχωρίζονται χειρωνακτικά ή από ένα φασματογράφο, ελαττώνονται σε όγκο και κατόπιν κονιορτοποιούνται. Προτού οδηγηθούν προς ανακύκλωση, θα πρέπει πρώτα να απομακρυνθούν όλες οι ταμπέλες και τα μεταλλικά αντικείμενα. Τα πλαστικά που παράγονται στη συνέχεια συνήθως περιέχουν ποσοστό 25% περίπου ανακυκλωμένων υλικών.

5. Καλώδια

Η επεξεργασία των καλωδίων γίνεται από ειδικευμένες εταιρείες. Αφού τεμαχιστούν και κονιορτοποιηθούν, γίνεται διαχωρισμός του χαλκού από το πλαστικό. Ο χαλκός ανακυκλώνεται και μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για τις βιομηχανίες. Τα περιβλήματα των καλωδίων αποτελούνται από διάφορων ειδών πλαστικά και από ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών πρόσθετων, γεγονός που καθιστά την ανακύκλωσή τους ιδιαίτερα δύσκολη. Τελικά τα υλικά αυτά είτε καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, είτε καίγονται. Σοβαρά προβλήματα ρύπανσης προκύπτουν από την καύση πλαστικού PVC.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένα μεγάλο ποσοστό των προβλημάτων που προκαλούνται στο περιβάλλον και στην υγεία του ανθρώπου οφείλεται στις επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται στα απόβλητα του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν και θα αναλυθούν οι επικίνδυνες αυτές ουσίες και θα παρουσιαστούν οι επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

7.1 Επικίνδυνες ουσίες στα ΑΗΗΕ

Από τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων ερευνών που πραγματοποιήθηκαν, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι υψηλά ποσοστά επικίνδυνων ουσιών⁷⁴ περιέχονται σε αναλογικά λίγα τμήματα των συσκευών όπως:

Υδράργυρος: χρησιμοποιείται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% σε μπαταρίες και αισθητήρες. Υπολογίζεται ότι το 22% του υδραργύρου που καταναλώνεται ετησίως, σε παγκόσμιο επίπεδο, χρησιμοποιείται σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Μόλυβδος: ποσοστό πάνω από 90% χρησιμοποιείται σε μπαταρίες και μικρότερο σε κράματα PBAs, λάμπες φωτισμού και φθορισμού.

Κάδμιο: ποσοστό πάνω από 90% χρησιμοποιείται στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

Εξασθενές χρώμιο: χρησιμοποιείται ως αντιδιαβρωτικό κυρίως στα ψυκτικά συστήματα των ψυγείων.

PCB: το 90% αυτών χρησιμοποιείται στους πυκνωτές. Ανήκουν στην κατηγορία των ρύπων που θεωρούνται ως Επίμονοι Οργανικοί Ρύποι.

Βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης (Πέντε-, Οκτα και Δέκα-BDE): το 80% αυτών χρησιμοποιείται στις πλακέτες, τα καλώδια και τα πλαστικά καλύμματα των υπολογιστών, ενώ ένα μικρό ποσοστό χρησιμοποιείται στις τηλεοράσεις και τις οικιακές συσκευές της κουζίνας.

TBBA: το 90% αυτών χρησιμοποιείται στα PBAs, PWBs και στα συστατικά τους.

Χλωροπαραφίνες: το 90% χρησιμοποιείται στα καλώδια PVC.

⁷⁴ πρβλ. Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 47, σελ. 29-30

Άλλα υλικά που περιέχονται στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές και επιδρούν στο περιβάλλον:

Άργυρος, βηρύλλιο, κάδμιο, αμίαντος, βάριο και αντιμόνιο

Χαλκός: τα μικρά απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών αποτελούν την πηγή του 40% του χαλκού που περιέχεται στην τελική τέφρα από την καύση στερεών αστικών αποβλήτων στην Ολλανδία. Η αυξημένη περιεκτικότητα σε χαλκό στη σκουριά των εγκαταστάσεων καύσης δημιουργεί προβλήματα στη χρήση της ως οικοδομικό υλικό κατά τρόπο φιλικό στο περιβάλλον.

PCN: χρησιμοποιείται για τον εμποτισμό των χάρτινων περιβλημάτων των καλωδίων και στους πυκνωτές.

Υγροί κρύσταλλοι: περισσότερο από 2000 συστατικά, πολλά εκ των οποίων είναι δηλητηριώδη, μπορούν να σχηματίσουν υγρούς κρυστάλλους.

Οπτικά υλικά: ίνδιο, γάλλιο, αρσενικό και κάδμιο

Κράμα χαλκού - βηρυλλίου

Υψηλής θερμοκρασίας αγωγοί που περιέχουν υδράργυρο

Εκπομπές φθοροχλωρανθράκων από ψυγεία, κλιματιστικά και μονωτικά υλικά. Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, πρέπει να εξαιρεθεί η χρήση φθοροχλωρανθράκων που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον και συμβάλλουν στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου».

Η σοβαρότητα των επιπτώσεων που έχουν στο περιβάλλον οι παραπάνω ουσίες εξαρτάται από την τοξικότητά τους και από τις ποσότητες που απελευθερώνονται στο περιβάλλον κατά τη διαχείριση των αποβλήτων.

Για την καλύτερη ανάλυση του προβλήματος πρέπει να υπολογιστούν:

- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διάθεση των παραπάνω ποσοτήτων.
- Οι ποσότητες των επικίνδυνων υλικών που περιέχονται στα προϊόντα που κυκλοφορούν στην αγορά.

7.2 Επιδράσεις των επικίνδυνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον⁷⁵

Ακολουθώς αναλύονται οι ουσίες που περιέχονται στα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα εξαρτήματα των προϊόντων, οι οποίες προκαλούν βλάβες στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

7.2.1. Μόλυβδος

Ο μόλυβδος υπάρχει στη φύση και χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την κατασκευή διάφορων προϊόντων εδώ και πολλά χρόνια, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του. Χρησιμοποιείται στις περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές. Κράματα κασσίτερου - μολύβδου χρησιμοποιούνται για την ένωση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, γιατί έχουν μεγάλη ελαστικότητα και αντοχή. Το καλάνι συγκόλλησης (solder) μολύβδου - κασσίτερου μιας πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος αποτελεί περίπου το 4 με 6% κ.β. αυτής, συνεπώς ο μόλυβδος αντιπροσωπεύει περίπου το 2-3% του βάρους της.

Οι τηλεοράσεις, οι οθόνες των υπολογιστών και άλλα προϊόντα (γνωστά ως καθολικές λυχνίες ή CRTs) έχουν γυαλί για την προστασία των χρηστών από την έκθεση σε ακτινοβολία. Η ποσότητα μολύβδου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ηλεκτρονικών αντιστοιχεί περίπου στο 0.5% της συνολικής ποσότητας μολύβδου που χρησιμοποιείται για όλες μαζί τις χρήσεις.

Η κύρια ανησυχία και μέριμνα όσον αφορά στο μόλυβδο έγκειται στην πιθανή διαφυγή του στο περιβάλλον, μέσω των στραγγισμάτων, λόγω της απόθεσης - ταφής του στο έδαφος, με συνέπεια τη ρύπανση υπόγειων υδροφορέων. Επίσης έγκειται και στο γεγονός ότι η επεξεργασία του μεταλλικού μολύβδου προκαλεί το σχηματισμό ενώσεών του, οι οποίες κατατάσσονται ως επικίνδυνες.

Ο μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει βλάβη τόσο στο κεντρικό όσο και στο περιφερικό νευρικό σύστημα του ανθρώπου. Επιπτώσεις έχουν επίσης παρατηρηθεί στο ενδοκρινολογικό σύστημα, το κυκλοφοριακό και τα νεφρά. Οι έγκυοι γυναίκες, τα έμβρυα, τα βρέφη και τα παιδιά ηλικίας μέχρι 6 ετών είναι οι πλέον ευπρόσβλητες ομάδες (Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας 1995, 1996). Στο περιβάλλον ο μόλυβδος συσσωρεύεται και έχει υψηλή τοξικότητα, ενώ προκαλεί χρόνιες βλάβες στα φυτά, τα ζώα και τους μικροοργανισμούς (ΟΟΣΑ, Παρίσι, 1993). Επιπλέον, ο μόλυβδος έχει πιθανώς καρκινογόνο δράση στον άνθρωπο, ενώ υπάρχουν σχετικές ενδείξεις από πειράματα σε ζώα. Υπολογίζεται ότι ο μόλυβδος, από τα απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών, αντιπροσωπεύει το 50% περίπου των εισροών μολύβδου στους αποτεφρωτές.

Βάσει της Οδηγίας 67/548/ΕΟΚ για την ταξινόμηση, τη συσκευασία και την

⁷⁵ πρβλ. Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 40, σελ. 6-8

επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών, όπως τροποποιήθηκε (ΕΕΙ. 196/16.8.1967, σ 1) οι ενώσεις του μολύβδου ταξινομούνται στις κατηγορίες:

- R 20/22 Βλαβερό όταν εισπνέεται και σε περίπτωση κατάποσης.
- R 33 Κίνδυνος αθροιστικών επιδράσεων.

7.2.2 Κάδμιο

Το κάδμιο και κάποιες από τις ενώσεις του χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών ΗΗΕ:

- Το μεταλλικό κάδμιο χρησιμοποιείται ως τμήμα του υλικού του αρνητικού ηλεκτροδίου στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni-Cd), για την επικάλυψη μεταλλικών επιφανειών σιδήρου, χάλυβα, κραμάτων τιτανίου και άλλων κραμάτων μη σιδηρούχων μετάλλων, καθώς και ως στοιχείο ανάμιξης σε κράματα ειδικών εφαρμογών π.χ. κράματα συγκόλλησης (soldering brazing alloys).
- Το οξείδιο του καδμίου (CdO) χρησιμοποιείται συχνά ως τμήμα του υλικού του αρνητικού ηλεκτροδίου στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, στις στρατιωτικών εφαρμογών μπαταρίες Ag-Cd, καθώς και στα ειδικά κράματα αργύρου-οξειδίου του καδμίου.
- Το θειούχο κάδμιο (CdS) χρησιμοποιείται σε κόκκινα, πορτοκαλί και κίτρινα πιγμέντα για πλαστικά, κεραμικά και υάλινα υλικά και υαλώματα. Επίσης, βρίσκει εφαρμογή στους φωσφόρους οθονών ακτίνων – X, ως φωσφορίζον υλικό σε παλαιούς τύπους καθοδικών λυχνιών, ημιαγωγούς, ανιχνευτές καπνού και φωτοβολταϊκά συστήματα.

Επίσης το κάδμιο χρησιμοποιείται στους ανιχνευτές υπερύθρου, καθώς και ως σταθεροποιητής σε πλαστικά υλικά. Αν και οι χρησιμοποιούμενες ανά κατασκευαστικό στοιχείο ΗΗΕ ποσότητες καδμίου είναι μικρές, αναφέρεται ότι η, σύμφωνα με εκτιμήσεις, απόρριψη 315.000.000 Η/Υ στις ΗΠΑ το χρονικό διάστημα 1997-2004 επέφερε απόρριψη σχεδόν 747 τόνων καδμίου στο περιβάλλον. Ακόμη αναφέρεται ότι σε ΑΗΗΕ οφείλεται το 9% των ολικών ποσοτήτων καδμίου των αστικών στερεών αποβλήτων, όπου όμως το 95% αυτών των ποσοτήτων καδμίου οφείλεται σε απόβλητες μπαταρίες (κυρίως επαναφορτιζόμενες) και το 0.1% σε καθοδικές λυχνίες. Σημειώνεται ότι η χρήση καδμίου στον ΗΗΕ απαγορεύεται από την 1η Ιουλίου 2006 σύμφωνα με την οδηγία 2002/95/ΕΚ ενώ υπάρχει και τροποποίηση σύμφωνα με την οποία επιτρέπεται η χρήση του ως ποσοστό 0.01% κ.β. για ομοιογενή υλικά. Τέλος, σύμφωνα με την οδηγία 2002/96/ΕΚ επιβάλλεται ρητά η αφαίρεση των μπαταριών από το ρεύμα των υπόλοιπων ΑΗΗΕ.

Το κάδμιο συσσωρεύεται στον ανθρώπινο οργανισμό και ιδίως στα νεφρά, τα οστά και το αίμα. Οι ενώσεις του καδμίου έχουν καταχωρηθεί στις τοξικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν μόνιμες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία. Οι βασικές

δυσμενείς επιπτώσεις που έχουν αναφερθεί είναι νεφρική δυσλειτουργία, διαταραχές στις αυξητικές ορμόνες, βλάβες στο σκελετό και αναπαραγωγικές ανεπάρκειες. Το κάδμιο απορροφάται από την αναπνοή και από τα τρόφιμα. Λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής του (10-30 χρόνια ο χρόνος υποδιπλασιασμού του), το κάδμιο μπορεί να συσσωρευτεί σε ποσότητες οι οποίες προκαλούν συμπτώματα δηλητηρίασης. Σε περίπτωση παρατεταμένης έκθεσης στο χλωριούχο κάδμιο είναι πιθανή η πρόκληση καρκίνου. Υπάρχουν υπόνοιες για καρκίνο του ήπατος, των πνευμόνων και του προστάτη. Ο Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) έχει κατατάξει το κάδμιο στις καρκινογόνες για τον άνθρωπο ουσίες (κατηγορία I κατά IARC).

Βάσει της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ για την ταξινόμηση, τη συσκευασία και την επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών, όπως τροποποιήθηκε (ΕΕΙ. 196/16.8.1967, σ 1) οι ενώσεις του καδμίου ταξινομούνται στις κατηγορίες:

- R 23/25 Βλαβερό όταν εισπνέεται και σε περίπτωση κατάποσης.
- R 33 Κίνδυνος αθροιστικών επιδράσεων.
- R 40 Πιθανοί κίνδυνοι μονίμων επιδράσεων.

7.2.3 Υδράργυρος

Ο υδράργυρος περιέχεται στους μικρούς λαμπτήρες ορισμένων ηλεκτρονικών προϊόντων, όπως φορητοί υπολογιστές, ψηφιακές κάμερες και επίπεδες οθόνες. Προς το παρόν δεν υπάρχει στην αγορά κάποιο άλλο προϊόν που να μπορεί να τους αντικαταστήσει. Η ποσότητα του υδραργύρου στους λαμπτήρες είναι πολύ μικρή και μετράται συνήθως σε μικρογραμμάρια.

Οι λαμπτήρες υδρογόνου ελαττώνουν την ποσότητα της ενέργειας που χρησιμοποιούν οι φορητοί υπολογιστές. Οι κύριες πηγές εκπομπών υδραργύρου στο περιβάλλον είναι οι σταθμοί καύσης άνθρακα (87%). Ένα ποσοστό εκπομπών υδραργύρου της τάξης του 0.1% οφείλεται σε ηλεκτρονικές συσκευές.

Ο ανόργανος υδράργυρος που διαχέεται στο νερό μετατρέπεται σε μεθυλιωμένο υδράργυρο στα ιζήματα. Η μορφή αυτή του υδραργύρου μπορεί να συσσωρευτεί εύκολα στα έμβια όντα. Συγκεντρώνεται μέσω της τροφικής αλυσίδας, π.χ. μέσω της κατανάλωσης ψαριών που έχουν επιβαρυνθεί με την τοξική αυτή ουσία. Ο μεθυλιωμένος υδράργυρος προκαλεί χρόνιες επιπτώσεις και βλάβες στον εγκέφαλο και ειδικότερα στα τμήματα που ελέγχουν την όραση, το συντονισμό και την ισορροπία. Στις εγκύους μπορεί να περάσει μέσω του πλακούντα στο έμβρυο, με κίνδυνο το παιδί να γεννηθεί με σοβαρές διαταραχές, όπως βλάβες εγκεφάλου, διανοητικές διαταραχές κλπ.

Βάσει της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ για την ταξινόμηση, τη συσκευασία και την επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών, όπως τροποποιήθηκε (ΕΕΙ. 196/16.8.1967, σ 1) οι ενώσεις του υδραργύρου ταξινομούνται στις κατηγορίες:

- R 23/24/25 Βλαβερό όταν εισπνέεται, σε επαφή με το δέρμα και σε περίπτωση κατάποσης.
- R 33 Κίνδυνος αθροιστικών επιδράσεων.

Βάσει της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ για την ταξινόμηση, τη συσκευασία και την επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών, όπως τροποποιήθηκε (ΕΕΙ. 196/16.8.1967, σ 1) τα αλκάλια του υδραργύρου και οι ενώσεις υδραργύρου ταξινομούνται στις κατηγορίες:

- R 26/27/28 Πολύ τοξικό όταν εισπνέεται, σε επαφή με το δέρμα και σε περίπτωση κατάποσης.
- R 33 Κίνδυνος αθροιστικών επιδράσεων.

7.2.4 Εξασθενές χρώμιο

Το εξασθενές χρώμιο έχει χρησιμοποιηθεί από τη βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών στην επιχρωμίωση μεταλλικών επιφανειών ως αναστολέας διάβρωσης (corrosion inhibitor) μη επεξεργασμένων και γαλβανισμένων πλακών χάλυβα, ως υλικό ηλεκτρικής θωράκισης (electrical shielding material) για φύλλα συγκεκριμένων μετάλλων, καθώς και ως σκληρυντής (hardener) χαλύβδινων περιβλημάτων. Βρίσκει επίσης εφαρμογή ως χρωστική ουσία σε πιγμέντα, καθώς και ως πρόσθετο για προστασία από τη διάβρωση σε συστήματα κυκλοφορούντος ύδατος, π.χ. απορροφητικές αντλίες και εναλλάκτες θερμότητας σε ψυγεία και καταψύκτες βιομηχανικών εφαρμογών. Αν και οι χρησιμοποιούμενες ανά κατασκευαστικό στοιχείο – εξάρτημα ΗΗΕ ποσότητες είναι μικρές, εκτιμάται ότι η απόρριψη 315.000.000 Η/Υ στις ΗΠΑ για το χρονικό διάστημα από 1997-2004 απέφερε σχεδόν 450 τόνους εξασθενούς χρωμίου στο περιβάλλον. Σημειώνεται ότι η χρήση καδμίου στον ΗΗΕ απαγορεύεται από την 1η Ιουλίου 2006 σύμφωνα με την οδηγία 2002/95/ΕΚ ενώ υπάρχει και τροποποίηση σύμφωνα με την οποία επιτρέπεται η χρήση του ως ποσοστό 0.1% κ.β. για ομοιογενή υλικά ενώ στο παράρτημα της οδηγίας αναφέρεται επίσης ότι εξαιρείται η χρήση του ως αντιδιαβρωτικού στο ψυκτικό σύστημα από ανθρακούχο χάλυβα ψυγείων απορρόφησης.

Το εξασθενές χρώμιο διέρχεται εύκολα από τις κυτταρικές μεμβράνες με αποτέλεσμα να απορροφάται εύκολα προκαλώντας διάφορες τοξικές επιδράσεις στα κύτταρα. Για αυτό το λόγο οι βιομηχανικές χώρες σήμερα αντιμετωπίζουν το εξασθενές χρώμιο ως μια ιδιαίτερα επικίνδυνη ουσία για το περιβάλλον. Έρευνες έχουν δείξει ότι οδηγεί στην αύξηση αλλεργιών, όπως η ασθματική βρογχίτιδα. Θεωρείται γονιδοτοξικό, ύποπτο για βλάβες στο DNA. Οι ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου θεωρούνται τοξικές και για το περιβάλλον. Κατά την αποτέφρωση αποβλήτων που περιέχουν

εξασθενές χρώμιο το μέταλλο εξαερώνεται εύκολα, ενώ μπορεί να εκλυθεί εύκολα και από τους χώρους ταφής των αποβλήτων αν δεν είναι καλά στεγανοποιημένοι.

Βάσει της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ για την ταξινόμηση, τη συσκευασία και την επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών, όπως τροποποιήθηκε (ΕΕΙ. 196/16.8.1967, σ 1) οι ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου ταξινομούνται στις κατηγορίες:

- Καρκινογόνος, κατηγορία 2.
- R 49: Μπορεί να προκαλέσει καρκίνο όταν εισπνέεται.
- R 43: Μπορεί να προκαλέσει ευαισθητοποίηση σε επαφή με το δέρμα.
- R 50/53: Πολύ τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς, μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον.

7.2.5 PVC

Το PVC χρησιμοποιείται κατά κόρον από τη βιομηχανία ΗΗΕ, αποτελώντας το 26% των χρησιμοποιούμενων πλαστικών υλικών. Τα τελευταία χρόνια η χρήση του τείνει να μειωθεί καθώς αντικαθίσταται από άλλα υλικά. Παρά το γεγονός αυτό, στα ΑΗΗΕ περιέχεται ακόμα ένας πολύ μεγάλος όγκος PVC, ο οποίος και αυξάνει λόγω της συνεχούς αύξησης του όγκου τους. Χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικών καλωδίων καθώς και πλαισίων – περιβλημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Το PVC περιέχεται σε υψηλό ποσοστό στα πλαστικά τμήματα των αποβλήτων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών. Υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις που υποστηρίζουν την άποψη ότι η καύση πλαστικού PVC μετατρέπει τα αέρια της αποτέφρωσης σε τοξικά (εκλύονται διοξίνη και φουράνια). Επιπλέον, οι απώλειες πλαστικοποιητών και ειδικά των φθαλικών ενώσεων, κατά την υγειονομική ταφή του PVC, αναγνωρίζεται ότι ενδέχεται να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον.

7.2.6 Βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης

Τα βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης (Πέντε-, Οκτα και Δέκα- BDE) χρησιμοποιούνται τακτικά πλέον, κατά τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών προϊόντων, ως μέσο πυροπροστασίας: στις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, σε κατασκευαστικά στοιχεία, όπως είναι οι διατάξεις σύνδεσης, σε πλαστικά καλύμματα συσκευών καθώς και σε καλώδια. Κυρίως χρησιμοποιούνται στις πλακέτες των υπολογιστών και στα καλώδια σε συγκεντρώσεις 5-30% κατά βάρος. Οι κυριότεροι επιβραδυντές που χρησιμοποιούνται είναι οργανικές ουσίες που περιέχουν άτομα χλωρίου ή βρωμίου. Οι βρωμιούχοι επιβραδυντές αποτελούν το 75% όλων των επιβραδυντών.

Ένα από τα κύρια εμπόδια όσον αφορά στην ανακύκλωση του πλαστικού κλάσματος των αποβλήτων από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές είναι ο κίνδυνος

σχηματισμού διοξινών και φουρανίων από ορισμένα βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης.

Έχει αποδειχθεί ότι οι πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDE) σχηματίζουν τα τοξικά πολυβρωμοδιβενζοφουράνια (PBDD) κατά τη διαδικασία εξώθησης, που αποτελεί σημαντικό στάδιο της διαδικασίας ανακύκλωσης του πλαστικού.

Σε μονάδες ανακύκλωσης πλαστικών με πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDE) διαπιστώθηκε υψηλή συγκέντρωση αυτών των χημικών στο αίμα των εργαζομένων.

Ορισμένες επιστημονικές παρατηρήσεις συγκλίνουν υπέρ της άποψης ότι αυτές οι χημικές ουσίες ενδέχεται να διαταράσσουν την ενδοκρινική λειτουργία. Η Γερμανική βιομηχανία έχει σταματήσει, ως συνέπεια αυτού, την παραγωγή των χημικών αυτών ουσιών από το 1986. Η Εθνική Επιθεώρηση Χημικών Ουσιών της Σουηδίας προτείνει την απαγόρευση των πολυβρωμοδιφαινυλίων (PBB). Στην Αυστρία έχει απαγορευθεί από το 1993 η χρήση των πολυβρωμοδιφαινυλίων (PBB).

Ο χαλκός επίσης, λειτουργεί καταλυτικά κατά την καύση των επιβραδυντικών καύσης, αυξάνοντας την ποσότητα διοξινών και φουρανίων που εκλύονται. Αυτό προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία, δεδομένου ότι η αποτέφρωση βρωμιούχων επιβραδυντών καύσης σε θερμοκρασίες 600-800 βαθμών Κελσίου ενδέχεται να οδηγήσει στη δημιουργία των πιο τοξικών μορφών διοξίνης και φουρανίων- πολυβρωμοδιβενζοδιοξινών (PBBD) και πολυβρωμοδιβενζοφουρανίων (PBDF).

Οι ουσίες PBB, πέντα-, οκτα- και δέκα BDE δεν ταξινομούνται βάσει της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ για την ταξινόμηση, τη συσκευασία και την επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών, όπως τροποποιήθηκε (ΕΕΙ. 196/16.8.1967).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο είχε ήδη ξεκινήσει η προσπάθεια περιορισμού ή και εξάλειψης των επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται σε ορισμένα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα. Μόλυβδος, υδράργυρος, κάδμιο, εξασθενές χρώμιο, πολυβρωμοδιφαινυλίου (PBB) και πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDE) είναι μερικές από τις επικίνδυνες ή / και τοξικές ουσίες στις οποίες έχει εστιασθεί η προσοχή.

Την τελευταία δεκαετία έχει ενταθεί η προσπάθεια περιορισμού και εξάλειψης επικίνδυνων ουσιών και με νομοθετικές πρωτοβουλίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ένα χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα είναι η Οδηγία 94/62/ΕΚ «για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασίας» καθώς και η Οδηγία 91/157/ΕΟΚ «για τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές που περιέχουν ορισμένες επικίνδυνες ουσίες» (και όπως τροποποιήθηκε από την Οδηγία 98/101/ΕΚ).

Με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής έχει ξεκινήσει εδώ και καιρό η σύνταξη της Πρότασης Οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών στα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (έγγραφο 500PC0347(02)).

7.2.7 Βηρύλλιο

Το βηρύλλιο είναι ένα ελαφρύ, σκληρό, θερμικά και ηλεκτρικά αγωγίμο, μη-μαγνητικό μέταλλο, κατάλληλο για πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών. Κράματα βηρυλλίου – χαλκού χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές συνδέσεις, στις οποίες επιθυμείται η δυνατότητα συνεχούς σύνδεσης – αποσύνδεσης και ακριβώς για αυτόν τον λόγο δεν απαιτείται μόνιμη συγκόλληση.

Οι συνδέσεις αυτές είναι συχνά καλυμμένες με χρυσό, έτσι ώστε να αποτρέπεται ο επιφανειακός σχηματισμός οξειδίου του χαλκού και η επακόλουθη διαμόρφωση ενός μη-αγωγίμου ηλεκτρικά στρώματος. Οι εφαρμογές του μεταλλικού βηρυλλίου περιλαμβάνουν ακόμα πλαίσια, πλακέτες κυκλωμάτων για αεροδιαστημικές εφαρμογές, περιστρεφόμενους καθρέπτες εκτυπωτών laser, παράθυρα γεννητριών ακτίνων - Χ και ανιχνευτές ερευνητικών και ιατρικών εφαρμογών.

Το οξείδιο του βηρυλλίου επίσης χρησιμοποιείται και ως προστατευτικό υλικό για συσκευές η χρήση των οποίων συνεπάγεται την παραγωγή θερμότητας, λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας, χαμηλής διηλεκτρικής σταθεράς και ηλεκτρικής αγωγιμότητας και χημικής του αδράνειας και στα διπολικά τρανζίστορ επαφής.

Όσον αφορά στο μεταλλικό βηρύλλιο, αποτελεί ένα από τα τοξικότερα μέταλλα και κίνδυνο για την υγεία αν δημιουργηθεί σκόνη ή καπνός από υλικά που το περιέχουν κυρίως σε εγκαταστάσεις παραγωγής ή ανακύκλωσης ΗΗΕ. Για τον λόγο αυτό προτείνεται τα κατασκευαστικά στοιχεία που περιέχουν βηρύλλιο να διαχωρίζονται από το υπόλοιπο ρεύμα των ΑΗΗΕ.

Το βηρύλλιο θεωρείται καρκινογόνο για τον άνθρωπο, λόγω της δυνατότητας ανάπτυξης καρκίνου του πνεύμονα μέσω της εισπνοής σκόνης ή καπνού. Επίσης μπορεί να προκαλέσει διάφορες δερματικές παθήσεις. Τέλος, ακόμα και χρόνια μετά την παύση της έκθεσης σε βηρύλλιο ενδέχεται η ανάπτυξη των παραπάνω ασθενειών στον ανθρώπινο οργανισμό.

7.2.8 Αμίαντος

Ο αμίαντος χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν σε συσκευές όπως τα ηλεκτρικά σίδερα, οι τοστιέρες, κ.α. Αποτελούσε επίσης συστατικό σε κάποιες θερμάστρες και άλλα αντικείμενα, τα οποία εκμεταλλεύονταν τις θερμομονωτικές του ιδιότητες. Οι σύγχρονες συσκευές ΗΗΕ δεν περιέχουν αμίαντο, ενώ σήμερα τα προϊόντα που περιέχουν αμίαντο επισημαίνονται κατάλληλα και έχει απαγορευτεί η χρήση των πλέον επικίνδυνων μορφών του. Πάντως δεδομένου ότι σε κάποιες χώρες δεν έχουν απαγορευτεί ή έστω ρυθμιστεί οι πωλήσεις προϊόντων που περιέχουν αμίαντο, είναι πολύ πιθανό να περιέχεται αμίαντος σε εισαγόμενα από χώρες εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης προϊόντα. Επίσης αν π.χ. μια συσκευή θέρμανσης είναι αρκετά παλιά (έχει παραχθεί πριν το 1985) η παρουσία αμιάντου σε αυτήν πρέπει να θεωρείται δεδομένη.

Όσον αφορά στην επικινδυνότητά του, είναι αποδεδειγμένα καρκινογόνος για τον άνθρωπο λόγω της γεωμετρίας των ινών του και της μεγάλης ανθεκτικότητας στη δομή του. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι ο κίνδυνος πρόκλησης καρκίνου του πνεύμονα για καπνιστές είναι δεκαπλάσιος από αυτόν για μη-καπνιστές όταν και οι δύο εκτίθενται στα ίδια επίπεδα αμιάντου για το ίδιο χρονικό διάστημα.

7.3 Επικίνδυνες ουσίες σε καθοδικές λυχνίες

Οι καθοδικές λυχνίες (cathode ray tubes, CRTs) οθονών υπολογιστών και τηλεοράσεων περιέχουν μια ποικιλία επικίνδυνων, για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, ουσιών όπως μόλυβδος, κάδμιο, υδράργυρος, βάριο, αργίλιο, αντιμόνιο, φωσφόρους, κ.α.

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των κυριότερων επικίνδυνων ουσιών των CRTs για τις οποίες δεν έγινε αναφορά στην προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου καθώς και του μολύβδου που περιέχεται σε μια οθόνη CRT⁷⁶.

Περιεχόμενο σε μόλυβδο: Ανά CRT περιέχονται κατά μέσο όρο 0.5 ως 5 κιλά μολύβδου ο οποίος χρησιμοποιείται σε διάφορα τμήματά της (π.χ. στο γυάλινο πλαίσιο – panel και το καλάνι συγκόλλησης – solder). Γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποτρέπεται η εκπομπή – έκλυσή τους στο έδαφος, το νερό ή την ατμόσφαιρα εξαιτίας λανθασμένων επιλογών κατά τη διαχείρισή τους, μετά το τέλος της χρήσιμης ζωής τους. Το παραπάνω γεγονός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους οι CRT κατατάσσονται στα απολύτως επικίνδυνα απόβλητα.

Βάριο: Το βάριο είναι ένα σχετικά μαλακό αργυρόλευκο μέταλλο, το οποίο χρησιμοποιείται στο εμπρόσθιο τμήμα των CRTs. Αναφορικά με την επικινδυνότητά του, έρευνες έχουν δείξει ότι η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε αυτό προκαλεί μεταξύ άλλων βλάβες στην καρδιά, το συκώτι και τη σπλήνα καθώς και μυϊκή αδυναμία. Επίσης, μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για την εκτίμηση των επιπτώσεων από την χρόνια έκθεση σε αυτό, μελέτες όμως σε πειραματόζωα έχουν δείξει ότι μπορεί να προκαλέσει υπέρταση και καρδιακή δυσλειτουργία.

Φώσφοροι: Αποτελούν ομάδα ανόργανων αλάτων τα οποία εκπέμπουν φως χαρακτηριστικών μηκών κύματος δεχόμενα δέσμη ηλεκτρονίων και χρησιμοποιούνται ως επίχρισμα στο εσωτερικό του πλαισίου των έγχρωμων οθονών CRT τηλεοράσεων και Η/Υ. Περιέχουν βαρέα μέταλλα και άλλα υλικά όπως κάδμιο, ψευδάργυρος, βανάδιο, ύτριο, σελήνιο, ευρώπιο, κ.α. οπότε και θεωρούνται σε σημαντικό βαθμό τοξικές ενώσεις.

⁷⁶ πρβλ. King County Solid Waste Division, Flat Panel Displays: End of Life Management Report, Final Report, 2007

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ Η/Υ

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν λεπτομερώς οι διαδικασίες συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης ενός προϊόντος καθώς και η διαδικασία σχεδίασής του, που θα συμβάλλει στην αποτελεσματική και οικονομική πραγματοποίηση των παραπάνω διαδικασιών.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν οι λειτουργίες συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης μιας οθόνης ηλεκτρονικού υπολογιστή. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχτηκε μια οθόνη παλαιότερης τεχνολογίας, η οποία βασίζεται σε καθοδικό σωλήνα.



Εικόνα 8.1 Οθόνη Η/Υ

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας θα πρέπει να σημειωθεί ότι πραγματοποιήθηκε μια εργαστηριακή εφαρμογή σε οθόνη υπολογιστή, η οποία όμως στηρίχτηκε σε πολύ μεγάλο ποσοστό σε αντίστοιχη εφαρμογή που συναντάται στη βιβλιογραφία, κυρίως όσον αφορά στην ακολουθία και στους χρόνους πραγματοποίησης των καθκόντων. Ο σκοπός της εργαστηριακής εφαρμογής που πραγματοποιήθηκε δεν ήταν η επίτευξη μιας αποτελεσματικής συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης, το οποίο θα ήταν αδύνατον λόγω έλλειψης της απαραίτητης γνώσης, ειδίκευσης και τεχνολογίας, αλλά ο εντοπισμός των σημείων εκείνων που δυσκολεύουν και καθυστερούν τις διαδικασίες αυτές. Ο εντοπισμός και η καταγραφή των σημείων αυτών, θα βοηθήσει τον εκάστοτε σχεδιαστή να ενσωματώσει στη σχεδίασή του τις απαραίτητες βελτιωτικές αλλαγές που θα πρέπει να

πραγματοποιηθούν, ώστε να επιτευχθεί τελικώς μια αποτελεσματική συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση.

8.1 Διαδικασία συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης οθόνης H/Y

Το πρώτο βήμα πριν από την έναρξη της διαδικασίας συναρμολόγησης είναι η καταγραφή των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται μια οθόνη υπολογιστή, του αριθμού τους καθώς και του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα εξαρτήματα αυτά. Στη συνέχεια καθορίζονται τα βήματα που ακολουθούνται για την πραγματοποίηση της διαδικασίας συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης, τα οποία καταγράφονται σε ειδικούς πίνακες. Σύμφωνα με την προτεινόμενη από τη βιβλιογραφία μέθοδο, τα καθήκοντα της συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης αξιολογούνται ακολούθως από έναν αριθμητικό δείκτη αξιολόγησης της ικανότητας συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης. Μετά το τέλος της διαδικασίας αυτής, ο σχεδιαστής είναι σε θέση να εξάγει ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με το ποια είναι τα καθήκοντα εκείνα που δυσκολεύουν την πραγματοποίηση της διαδικασίας και να προχωρήσει στην επανασχεδίαση του προϊόντος, εφαρμόζοντας τις απαραίτητες αλλαγές.

Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας, στον οποίον έχουν καταγραφεί τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται μια οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Πίνακας 8.1

Εξαρτήματα Οθόνης Υπολογιστή

Νούμερο	Όνομα Εξαρτήματος	Υλικό Εξαρτήματος	Ποσότητα
1	Πίσω Βίδα	Χαλκός	4
2	Βίδες PCB (πλακέτας)	Χαλκός	2
3	Βίδες CRT	Χαλκός	4
4	CRT/PCB συναρμολόγηση	Κράμα	1
5	Πίσω Κάλυμμα	Πλαστικό	1
6	Περιστρεφόμενη Βάση	Πλαστικό	1
7	Σύστημα Περιστροφής	Πλαστικό	1

8	Βραχίονας σε μορφή λαβίδας	Κράμα	1
9	Κάμψη Καλωδίων	Κράμα	1
10	Βίδες Συγκράτησης	Χαλκός	2
11	Κύριο Καλώδιο	Χαλκός	1
12	Ρυθμιστικά Κουμπιά	Πλαστικό	4
13	Βίδες συγκράτησης PCB	Χαλκός	4
14	Εγκοπή Συγκράτησης CRT	Αλουμίνιο	1
15	Εγκοπές Συγκράτησης (κλιπ)	Αλουμίνιο	4
16	Εγκοπές Συγκράτησης (κλιπ)	Πλαστικό	4
	πίσω πίνακα		
17	Συναρμολόγηση PCB	Κράμα	1
18	Πίσω Πίνακας	Πλαστικό	1
19	CRT (καθοδικός σωλήνας)	Κράμα	1

Στη συνέχεια τα εξαρτήματα αυτά θα συναρμολογηθούν σταδιακά, με τη βοήθεια ή όχι κατάλληλων εργαλείων, ώστε να συγκροτήσουν τελικώς την οθόνη του υπολογιστή.

Όπως αναφέρθηκε, η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των καθηκόντων της συναρμολόγησης και της αποσυναρμολόγησης έχει ως βασικό εργαλείο έναν αριθμητικό δείκτη αξιολόγησης της ικανότητας συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης. Ο αριθμητικός αυτός δείκτης είναι μια συνάρτηση διαφόρων σχεδιαστικών παραμέτρων, οι οποίες άμεσα ή έμμεσα επηρεάζουν τη διαδικασία συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης ενός προϊόντος. Σε κάθε μία από τις παραμέτρους αυτές εκχωρείται μία βαθμολογία, η οποία είναι ανάλογη της ευκολίας επίτευξής της.

Για τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης οι πιο σημαντικές παράμετροι αναλύονται ακολούθως⁷⁷:

⁷⁷ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 167

- **Βαθμός προσβασιμότητας των εξαρτημάτων και των συνδέσμων.**

Η εύκολη πρόσβαση των εξαρτημάτων και των συνδέσμων αποτελεί βασική προϋπόθεση για μια γρήγορη και αποδοτική αποσυναρμολόγηση. Όσο λιγότερο προσβάσιμο είναι ένα εξάρτημα ή ένας σύνδεσμος, τόσο πιο υψηλή βαθμολογία λαμβάνει.

- **Το ποσόν της δύναμης ή της ροπής στρέψης που απαιτείται για την αποσυναρμολόγηση των εξαρτημάτων ή τη λύση των συνδέσμων.**

Όσο μικρότερο είναι το ποσό της δύναμης που απαιτείται, τόσο καλύτερη είναι η σχεδίαση. Το ποσόν της απαιτούμενης προσπάθειας για την πραγματοποίηση ενός καθήκοντος είναι ευθέως ανάλογο της βαθμολογίας που εκχωρείται σε αυτό.

- **Απαιτήσεις σχετικά με την υιοθέτηση της κατάλληλης στάσης του σώματος του χειριστή, κατά την πραγματοποίηση των καθηκόντων της χειροκίνητης αποσυναρμολόγησης.**

Η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται κατεξοχήν στο εργαστήριο, χειροκίνητα με την αρωγή ή όχι απλών εργαλείων, από τον εργάτη. Κάποιες από τις λειτουργίες αποσυναρμολόγησης απαιτούν από τον εργάτη να υιοθετήσει μη φυσικές στάσεις του σώματός του, οι οποίες δυσχεραίνουν την πραγματοποίηση της αποσυναρμολόγησης και ενδέχεται να προκαλέσουν τον τραυματισμό του. Η υιοθέτηση μιας μη φυσικής στάσης του σώματος είναι ένας από τους παράγοντες που ευθύνονται για την εκδήλωση στατικής μυϊκής κόπωσης. Το ζήτημα αυτό λαμβάνει ακόμη μεγαλύτερη σημασία εξαιτίας της υψηλής συχνότητας των καθηκόντων αποσυναρμολόγησης. Για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη μέθοδος, στη βαθμολογία συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης λαμβάνει υπόψη και κάποιες επιπρόσθετες ανοχές εφαρμογής.

- **Προσδιορισμός των παγίδων ρύπου.**

Ο παράγοντας αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός και οι λόγοι είναι προφανείς. Ένα προϊόν, κατά τη διάρκεια της χρήσης του από τους καταναλωτές, είναι αναπόφευκτο να συσσωρεύσει ακαθαρσίες. Για το λόγο αυτό απαιτείται μια συγκεκριμένη προετοιμασία πριν την έναρξη της διαδικασίας, η οποία περιλαμβάνει τον καθαρισμό των εξαρτημάτων και την αφαίρεση των γράσων από αυτά, γεγονός που θα διευκολύνει σημαντικά την αποσυναρμολόγηση. Εμπειρικά δεδομένα επιτρέπουν τον εύκολο εντοπισμό των παγίδων ρύπου στο στάδιο της σχεδίασης, έτσι ώστε να επανασχεδιαστούν τα εξαρτήματα και να επιτευχθεί μια πιο αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση.

- **Σχεδιαστικοί παράγοντες όπως το βάρος, το σχήμα και το μέγεθος των εξαρτημάτων που αποσυναρμολογούνται.**

Ο παράγοντας αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης, ειδικά στην περίπτωση που απαιτεί τη χρήση ειδικών, βοηθητικών προσαρτημάτων ή επιπλέον αριθμό εργατών για την πραγματοποίηση της αποσυναρμολόγησης. Ένα παράδειγμα αποτελεί η τηλεόραση 25 ιντσών.

Εξαιτίας του βάρους και του μεγέθους, πρέπει να προνοηθεί από το στάδιο της σχεδίασης ότι κάποιοι χειρισμοί θα πραγματοποιηθούν από περισσότερους από έναν εργάτες.

Το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιούμε για την αξιολόγηση της διαδικασίας συναρμολόγησης είναι ο πίνακας του συστήματος αξιολόγησης για αριθμητική ανάλυση της συναρμολόγησης (Πίνακας 3.6). Στον πίνακα αυτόν έχουν καταγραφεί οι σχεδιαστικές παράμετροι που επηρεάζουν τη διαδικασία της συναρμολόγησης καθώς και οι τιμές που λαμβάνει ο αριθμητικός δείκτης για την κάθε μία σχεδιαστική παράμετρο. Ο δείκτης είναι βασισμένος στο χρόνο.

Η κάθε μία από τις βαθμολογίες που εκχωρείται στις σχεδιαστικές παραμέτρους μπορεί να πολλαπλασιαστεί με επιπρόσθετες, προκαθορισμένες ανοχές εφαρμογής που αφορούν στη στάση του σώματος και στο είδος των κινήσεων του εργάτη κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της διαδικασίας, την κόπωση και τις απαιτήσεις σε προσωπικό.

Οι ανοχές εφαρμογής για τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τις διαδικασίες συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 8.2⁷⁸

Ανοχές εφαρμογής για τις διαδικασίες συναρμολόγησης, αποσυναρμολόγησης και συντήρησης

Percentage Multipliers	
Posture allowances	
Sitting down	0%
Standing up	2%
Bending down	5%
Lying down	3%
Crouching	5%
Stretching	8%
Squatting	8%
Motions allowances	
Normal motions	0%
Limited motions	5%
Awkward motions	5%
Motions with confined limbs	10%
Motions with confined body	10%
Personnel allowances	
One extra worker	100%
Two extra workers	200%
Each additional worker	$(200 + 100x)\%$, x = number of additional workers
Visual fatigue allowances	
Intermittent attention	1%
Continuous attention	5%
Fixed focus	10%

⁷⁸ πρβλ. Mital, A., Product Development – A Structured Approach to..., σελ. 171

Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας που απεικονίζει τη λειτουργία συναρμολόγησης της οθόνης ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Η διαδικασία της συναρμολόγησης πραγματοποιείται σε 8 στάδια. Στο κάθε στάδιο συναρμολογείται και ένα εξάρτημα ή υποσύστημα της οθόνης. Το κάθε στάδιο περιλαμβάνει έναν αριθμό συγκεκριμένων καθηκόντων τα οποία πρέπει να εκτελεστούν με την καθορισμένη από τη σχεδίαση ακολουθία, ώστε να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά και γρήγορα η διαδικασία της συναρμολόγησης. Το κάθε ένα καθήκον εξετάζεται αναφορικά με την κάθε μία σχεδιαστική παράμετρο που επηρεάζει τη διαδικασία συναρμολόγησης και στη συνέχεια καταχωρείται η κατάλληλη τιμή του δείκτη αξιολόγησης η οποία λαμβάνεται από τον αντίστοιχο πίνακα. Στην περίπτωση που μία σχεδιαστική παράμετρος δεν σχετίζεται με ένα καθήκον, δεν καταχωρείται προφανώς καμία βαθμολογία.

Αντίστοιχα, για τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης χρησιμοποιείται ο πίνακας 5.4, από τον οποίο λαμβάνονται οι τιμές του αριθμητικού δείκτη αξιολόγησης της αποσυναρμολόγησης για την κάθε μία σχεδιαστική παράμετρο που επηρεάζει τη διαδικασία.

Ο δείκτης είναι βασισμένος στο χρόνο.

Η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης της οθόνης πραγματοποιείται σε 9 στάδια. Στο κάθε στάδιο αποσυναρμολογούνται τα υποσυστήματα που συγκροτούν την συναρμολόγηση καθώς και το κάθε ένα εξάρτημα ξεχωριστά. Το κάθε στάδιο περιλαμβάνει έναν αριθμό συγκεκριμένων καθηκόντων, τα οποία όπως και στη διαδικασία της συναρμολόγησης πρέπει να εκτελεστούν σύμφωνα με την προκαθορισμένη από τη σχεδίαση ακολουθία για να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης. Το κάθε ένα καθήκον εξετάζεται αναφορικά με τις σχεδιαστικές παραμέτρους που επηρεάζουν την αποσυναρμολόγηση και στη συνέχεια καταχωρείται σε αυτό η κατάλληλη τιμή του δείκτη, όπως λαμβάνεται από τον αντίστοιχο πίνακα του συστήματος αξιολόγησης.

8.2 Συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε, ο σκοπός της εργαστηριακής εφαρμογής ήταν να εντοπιστούν τα καθήκοντα εκείνα τα οποία δυσκολεύουν και καθυστερούν τις διαδικασίες της συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης.

Στη διαδικασία συναρμολόγησης της οθόνης του H/Y, τα καθήκοντα που λαμβάνουν την υψηλότερη βαθμολογία είναι:

1. Η κάμψη των κλιπ συγκράτησης κατά τη συναρμολόγηση της πλακέτας PCB.
2. Η κάμψη των κλιπ συγκράτησης στη συναρμολόγηση του πίσω πίνακα.

Στη διαδικασία αποσυναρμολόγησης, τα καθήκοντα που λαμβάνουν την υψηλότερη βαθμολογία είναι:

1. Η κάμψη της κεντρικής εγκοπής (κλιπ).
2. Η κάμψη των κλιπ συγκράτησης κατά τη μετακίνηση του πίσω πίνακα.

Εφόσον εντοπιστεί το καθήκον εκείνο που δυσκολεύει και καθυστερεί τις παραπάνω διαδικασίες, ιδιαίτερα χρήσιμο είναι να εντοπιστεί, για το συγκεκριμένο καθήκον, και η κατηγορία αξιολόγησης που λαμβάνει την υψηλότερη βαθμολογία. Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η βαθμολογία που λαμβάνει μια κατηγορία αξιολόγησης, τόσο ευνοϊκότερες είναι οι συνθήκες να εντοπιστούν τα ελαττωματικά σημεία της σχεδίασης που αφορούν στην κατηγορία αυτή. Για παράδειγμα, στην απλή λειτουργία του ξεβιδώματος εάν η κατηγορία «προσβασιμότητα» λάβει μία υψηλή βαθμολογία, αυτό υποδηλώνει ότι το προϊόν έχει σχεδιαστεί με τρόπο τέτοιο που παρεμποδίζεται η εύκολη πρόσβαση στους συνδέσμους. Ο εντοπισμός του ελαττώματος αυτού δίνει τη δυνατότητα επανασχεδίασης του προϊόντος, βελτιώνοντας το συγκεκριμένο σημείο που δυσκολεύει τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης.

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ξοδεύεται πολύς χρόνος στην κάμψη των κλιπ συγκράτησης. Έχει χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός κλιπ συγκράτησης, τα οποία δυσκολεύουν και καθυστερούν τις διαδικασίες συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης.

Επομένως μια ενδεικνυόμενη **βελτιωτική αλλαγή** που θα μπορούσε να εφαρμοστεί στην επανασχεδίαση του προϊόντος, είναι μία από τις ακόλουθες εναλλακτικές επιλογές:

1. Η αντικατάσταση των τεσσάρων κλιπ συγκράτησης που χρησιμοποιούνται για την συγκράτηση της πλακέτας με δύο κλιπ.
2. Η χρήση σφικτής συναρμογής.

Με αυτόν τον τρόπο οι διαδικασίες της συναρμολόγησης και της αποσυναρμολόγησης θα πραγματοποιηθούν αποτελεσματικότερα, γρηγορότερα και με μικρότερο κόστος.

Πίνακας 8.3

Διαδικασία συναρμολόγησης οθόνης Η/Υ

Περιγραφή Καθήκοντος	Σύνολο	Δύναμη Συναρμολόγησης			Χειρισμός Υλικού		
		Τριβή εσωτερικών επιφανειών	Σφίνωμα εσωτερικών επιφανειών	Ακαμψία Υλικού	Μέγεθος εξαρτήματος	Βάρος εξαρτήματος	Συμμετρία εξαρτήματος
1.Συναρμολόγηση πίσω πίνακα							
α.Τοποθέτηση του πίσω πίνακα στη θέση του	10.92	-	2	-	2	2	1.2
β.Κάμψη 1ου κλιπ συγκράτησης	22.55	-	-	6	3.5	2	1.4
γ.Κάμψη 2ου κλιπ συγκράτησης	22.55	-	-	6	3.5	2	1.4
δ.Κάμψη 3ου κλιπ συγκράτησης	22.55	-	-	6	3.5	2	1.4
ε.Κάμψη 4ου κλιπ συγκράτησης	22.55	-	-	6	3.5	2	1.4
2.Συναρμολόγηση PCB							
α.Προσαρμογή PCB	12.1	-	2.5	-	2	2	0.8
β.Κάμψη 1ου κλιπ συγκράτησης	24	-	-	6	4	2	0.8
γ.Κάμψη 2ου κλιπ συγκράτησης	24	-	-	6	4	2	0.8
δ.Κάμψη 3ου κλιπ συγκράτησης	24	-	-	6	4	2	0.8
ε.Κάμψη 4ου κλιπ συγκράτησης	24	-	-	6	4	2	0.8
στ.Βίδωμα 1ης βίδας συγκράτησης PCB	16.17	2	-	-	4	2	0.8
ζ. Βίδωμα 2ης βίδας συγκράτησης PCB	16.17	2	-	-	4	2	0.8
η. Βίδωμα 3ης βίδας συγκράτησης PCB	16.17	2	-	-	4	2	0.8
θ. Βίδωμα 4ης βίδας συγκράτησης PCB	16.17	2	-	-	4	2	0.8
3.Προσαρμογή CRT/PCB συναρμολόγησης							
α.Βίδωμα 1ης βίδας PCB	15.12	2	-	-	2	2	0.8
β.Βίδωμα 2ης βίδας PCB	15.12	2	-	-	2	2	0.8
γ.Βίδωμα 1ης βίδας CRT	15.12	2	-	-	2	2	0.8
δ.Βίδωμα 2ης βίδας CRT	15.12	2	-	-	2	2	0.8
ε.Βίδωμα 3ης βίδας CRT	15.12	2	-	-	2	2	0.8
στ.Βίδωμα 4ης βίδας CRT	15.12	2	-	-	2	2	0.8
ζ.Στερέωμα του βραχίονα με μορφή λαβίδας	13.03	-	3	-	2	2	1.4
η.Στερέωμα της κάμψης καλωδίων	12.42	-	3	-	2	2	0.8
4.Προσαρμογή κύριου καλωδίου							
α.Προσαρμογή κύριου καλωδίου	17.47	-	3	-	4	2.5	2.2
β.Τοποθέτηση 1ης βίδας συγκράτησης	15.12	2	-	-	2	2	0.8
γ.Τοποθέτηση 2ης βίδας συγκράτησης	15.12	2	-	-	2	2	0.8
5.Συναρμολόγηση πίσω καλύμματος							
α.Μετακίνηση πίσω καλύμματος	15.43	-	3	-	3.5	2	1.2
β.Βίδωμα 1ης πίσω βίδας	15.12	2	-	-	2	2	0.8
γ.Βίδωμα 2ης πίσω βίδας	15.12	2	-	-	2	2	0.8
δ.Βίδωμα 3ης πίσω βίδας	15.12	2	-	-	2	2	0.8
ε.Βίδωμα 4ης πίσω βίδας	15.12	2	-	-	2	2	0.8
6.Συναρμολόγηση συστήματος περιστροφής							
α.Προσαρμογή συστήματος περιστροφής	18.16	-	-	4	3.5	2	1.2
β.Προσαρμογή περιστρεφόμενης υποστήριξης	10.92	-	2	-	2	2	1.2
7.Συναρμολόγηση περιστρεφόμενης βάσης							
α.Προσαρμογή περιστρεφόμενης βάσης	11.51	-	2	-	2	2	1.2
β.Περιστροφή της βάσης γύρω από το σύστημα περιστροφής	13.53	-	4	-	2	2	1.2
8.Συναρμολόγηση ρυθμιστικών κουμπιών							
α.Προσαρμογή 1ου ρυθμιστικού κουμπιού	11	-	2	-	2	2	0.8
β.Προσαρμογή 2ου ρυθμιστικού κουμπιού	11	-	2	-	2	2	0.8
γ.Προσαρμογή 3ου ρυθμιστικού κουμπιού	11	-	2	-	2	2	0.8
δ.Προσαρμογή 4ου ρυθμιστικού κουμπιού	11	-	2	-	2	2	0.8
Συνολική Βαθμολογία	611.81						

Πίνακας 8.3 (συνέχεια)

Εργαλεία		Προσιτότητα και Τοποθέτηση			Ανοχές			
Άσκηση δύναμης	Άσκηση στρέψης	Διαστάσεις	Θέση	Ακρίβεια στην τοποθέτηση του εργαλείου	Ανοχή θέσης	Ανοχή κινήσεων	Ανοχή προσωπικού	Ανοχή εποπτικής κούρασης
1	-	1	-	1.2	-	-	-	5%
3	-	1.6	1	2	-	-	-	10%
3	-	1.6	1	2	-	-	-	10%
3	-	1.6	1	2	-	-	-	10%
3	-	1.6	1	2	-	-	-	10%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	5%
3	-	2	2	2	-	-	-	10%
3	-	2	2	2	-	-	-	10%
3	-	2	2	2	-	-	-	10%
3	-	2	2	2	-	-	-	10%
-	2	1.6	1	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	1	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	1	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	1	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
1	-	1	1	1.5	-	-	-	1%
1	-	1	1	1.5	-	-	-	1%
1	-	1.6	1	2	-	-	-	1%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	1	1	1	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
2	-	1.6	1	2	-	-	-	5%
1	-	1	-	1.2	-	-	-	5%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	1%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	1%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	-
1	-	1	1	1.2	-	-	-	-
1	-	1	1	1.2	-	-	-	-
1	-	1	1	1.2	-	-	-	-

Πίνακας 8.4

Διαδικασία αποσυναρμολόγησης οθόνης Η/Υ

Περιγραφή Καθήκοντος	Σύνολο	Δύναμη Αποσυναρμολόγησης			Χειρισμός Υλικού		
		Τριβή εσωτερικών επιφανειών	Σφήνωμα εσωτερικών επιφανειών	Ακαμψία Υλικού	Μέγεθος εξαρτήματος	Βάρος εξαρτήματος	Συμμετρία εξαρτήματος
1.Αποσυναρμολόγηση πίσω πίνακα							
α.Περιστροφή της βάσης γύρω από το σύστημα περιστροφής	13.53	-	4	-	2	2	1.2
β.Απόσπαση της περιστρεφόμενης βάσης	11.5	-	2	-	2	2	1.2
2.Αποσυναρμολόγηση πίσω καλύμματος							
α.Ξεβίδωμα 1ης πίσω βίδας	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
β.Ξεβίδωμα 2ης πίσω βίδας	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
γ.Ξεβίδωμα 3ης πίσω βίδας	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
δ.Ξεβίδωμα 4ης πίσω βίδας	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
ε.Μετακίνηση πίσω καλύμματος	15.43	-	3	-	3.5	2	1.2
3.Αποσυναρμολόγηση CRT/PCB συναρμολόγησης							
α.Ξεβίδωμα 1ης βίδας συγκράτησης PCB	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
β.Ξεβίδωμα 2ης βίδας συγκράτησης PCB	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
γ.Ξεβίδωμα 3ης βίδας συγκράτησης PCB	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
δ.Ξεβίδωμα 4ης βίδας συγκράτησης PCB	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
ε.Ξεβίδωμα 1ης βίδας CRT	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
στ.Ξεβίδωμα 2ης βίδας CRT	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
ζ.Ξεβίδωμα 3ης βίδας CRT	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
η.Ξεβίδωμα 4ης βίδας CRT	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
θ.Μετακίνηση CRT/PCB συναρμολόγησης	18.9	-	3	-	4	2.5	2.4
4.Μετακίνηση CRT							
α.Μετακίνηση βραχίονα σε μορφή λαβίδας	13.13	-	3	-	2	2	1.4
β.Μετακίνηση κάμψης καλωδίων	12.52	-	3	-	2	2	0.8
γ.Μετακίνηση CRT	17.47	-	3	-	4	2.5	2.2
5.Μετακίνηση κύριου καλωδίου							
α.Μετακίνηση 1ης βίδας συγκράτησης	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
β.Μετακίνηση 2ης βίδας συγκράτησης	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
γ.Μετακίνηση κύριου καλωδίου	17.47	-	3	-	4	2.5	2.2
6.Μετακίνηση ρυθμιστικών κουμπιών							
α.Ξεβίδωμα 1ης βίδας	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
β.Ξεβίδωμα 2ης βίδας	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
γ.Ξεβίδωμα 3ης βίδας	15.64	2.5	-	-	2	2	0.8
δ.Μετακίνηση 1ου ρυθμιστικού κουμπιού	11.55	-	2	-	2	2	0.8
ε.Μετακίνηση 2ου ρυθμιστικού κουμπιού	11.55	-	2	-	2	2	0.8
στ.Μετακίνηση 3ου ρυθμιστικού κουμπιού	11.55	-	2	-	2	2	0.8
ζ.Μετακίνηση 4ου ρυθμιστικού κουμπιού	11.55	-	2	-	2	2	0.8
7.Μετακίνηση PCB συναρμολόγησης							
α.Ξεβίδωμα 1ης βίδας PCB	17.74	3	-	-	3.5	2	0.8
β.Ξεβίδωμα 2ης βίδας PCB	17.74	3	-	-	3.5	2	0.8
γ.Αφαίρεση κεντρικής εγκοπής	25.08	-	-	6.5	4	2	0.8
δ.Μετακίνηση PCB συναρμολόγησης	11.97	-	2	-	2	2	1.2
8.Μετακίνηση συστήματος περιστροφής							
α.Ξεσφήνωμα της υποστήριξης του συστήματος περιστροφής	19.21	-	-	4.5	3.5	2	1.2
β.Μετακίνηση συστήματος περιστροφής	10.92	-	2	-	2	2	1.2
9.Μετακίνηση πίσω πίνακα							
α.Κάμψη 1ου κλιπ συγκράτησης	23.65	-	-	6.5	3.5	2	1.4
β.Κάμψη 2ου κλιπ συγκράτησης	23.65	-	-	6.5	3.5	2	1.4
γ.Κάμψη 3ου κλιπ συγκράτησης	23.65	-	-	6.5	3.5	2	1.4
δ.Κάμψη 4ου κλιπ συγκράτησης	23.65	-	-	6.5	3.5	2	1.4
ε.Μετακίνηση πίσω πίνακα	10.92	-	2	-	2	2	1.2
Συνολική Βαθμολογία	640.21						

Πίνακας 8.4 (συνέχεια)

Εργαλεία		Προσιτότητα και Τοποθέτηση			Ανοχές			
Άσκηση δύναμης	Άσκηση στρέψης	Διαστάσεις	Θέση	Ακρίβεια στην τοποθέτηση του εργαλείου	Ανοχή θέσης	Ανοχή κινήσεων	Ανοχή προσωπικού	Ανοχή εποπτικής κούρασης
1	-	1	1	1.2	-	-	-	1%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	1%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	1	1	1	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
1	-	1.6	1	2.5	-	-	-	5%
1	-	1	1	1.6	-	-	-	1%
1	-	1	1	1.6	-	-	-	1%
1	-	1.6	1	2	-	-	-	1%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
1	-	1.6	1	2	-	-	-	1%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	5%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	5%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	5%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
-	2	1.6	2	2	-	-	-	5%
3	-	2	2	2.5	-	-	-	10%
1	-	1	1	1.2	-	-	-	5%
2	-	1.6	1	2.5	-	-	-	5%
1	-	1	-	1.2	-	-	-	5%
3	-	1.6	1	2.5	-	-	-	10%
3	-	1.6	1	2.5	-	-	-	10%
3	-	1.6	1	2.5	-	-	-	10%
3	-	1.6	1	2.5	-	-	-	10%
1	-	1	-	1.2	-	-	-	5%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ο βασικός στόχος ενός σχεδιαστή προϊόντων ήταν και εξακολουθεί να είναι η δημιουργία ενός λειτουργικού και ποιοτικού προϊόντος, το οποίο θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των καταναλωτών και θα αντέχει στον ανταγωνισμό της αγοράς. Όλα τα υπόλοιπα που αναφέρθηκαν αποτελούν ουσιαστικά το περιβάλλον μέσα στο οποίο οφείλει να κινείται ο σχεδιαστής.

Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, θα πρέπει ο σχεδιαστής να λάβει υπόψη του και να εφαρμόσει πιστά όλες τις οδηγίες που αφορούν στη σχεδίαση, εισάγοντας όμως παράλληλα καινοτομίες σε αυτήν. Μόνο με αυτόν τον τρόπο μπορούν να δημιουργηθούν προϊόντα εξελιγμένα και καινοτόμα, τα οποία θα κυριαρχήσουν μέσα στην ανταγωνιστική, παγκόσμια αγορά. Επίσης, θα πρέπει ο σχεδιαστής να καταστήσει τον σχεδιασμό ευέλικτο σε παρεμβάσεις και διορθωτικές αλλαγές, έτσι ώστε τα ελαττωματικά σημεία που θα εντοπιστούν κατά την αξιολόγηση της σχεδίασης να μπορούν να διορθωθούν άμεσα και αποτελεσματικά, χωρίς να προκαλέσουν προβλήματα και να καθυστερήσουν την ολοκλήρωση της διαδικασίας.

Παρόλα αυτά όμως, ένας σύγχρονος σχεδιαστής δεν επιτρέπεται να υποτιμά την αξία της αποκατάστασης των προϊόντων μετά το τέλος της ζωής τους. Οι θετικές επιπτώσεις που έχει άλλωστε η εναλλακτική διαχείριση κυρίως στο περιβάλλον αλλά και στο κόστος της διαδικασίας, είναι πολύ σημαντικές. Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντική είναι η μέριμνα του σχεδιαστή σχετικά με τα υλικά και τις ουσίες που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του προϊόντος. Θα πρέπει να γίνουν σημαντικές προσπάθειες ώστε να μειωθεί, όσο το δυνατόν, η χρήση ουσιών που είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραπάνω παραμέτρους, ένας σχεδιαστής είναι σε θέση να δημιουργήσει ένα προϊόν που θα ανταποκρίνεται στον αρχικό του στόχο. Ένα προϊόν χρήσιμο για τον καταναλωτή και ταυτόχρονα φιλικό για το περιβάλλον.

Αυτή είναι η πρόκληση πλέον για τον σύγχρονο σχεδιαστή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Δημόπουλος, Π., Ανακύκλωση Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού. Η πρόκληση της Αποσυναρμολόγησης, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2004.
2. Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α., Επτα ΕΠΕ, Σύστημα Συλλογικής Εναλλακτικής Διαχείρισης ΑΗΗΕ στην Ελλάδα, Αθήνα, 2003.
3. Μπιλάλης, Ν., Μελέτη και Ανάπτυξη Προϊόντων, Χανιά, 2005.
4. Νικολούδης, Κ., Βαφειάδης, Λ., Πλαίσιο και Κανόνες Διαχείρισης Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού. Αναλυτική περιγραφή διαδικασίας σε οθόνες CRT, Πτυχιακή Εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Χανιά, 2008.
5. Σκουπίδια και Ανακύκλωση, τεύχη 40 και 47, Αθήνα, 2001-2003.
6. Σφαντζικόπουλος, Μ., Σχεδιασμός Μηχανολογικών Κατασκευών ΙΙ, Αθήνα, 2002.

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Chen, R.W., Navin-Chandra, D., Prinz, F.B.: A Cost-Benefit Analysis Model of Product Design for Recyclability and its Application. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology – Part A*, Vol. 17, No. 4, 1994, p. 505.
2. Feldmann, K., Trautner, S. and Meedt, O.: Innovative Disassembly Strategies based on Flexible Partial Destructive Tools. *Annual Reviews in Control* 23 (1999), p. 161.
3. Gupta, S.M., Brennan, L. and Taleb, K.N.: Operations Planning Issues in an Assembly/Disassembly Environment. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 14, No. 9, 1994, pp. 59-60.
4. Gupta, S.M., Gungor, A.: Issues in environmentally conscious manufacturing and Product recovery: a survey. *Computers & Industrial Engineering* 36 (1999), p. 828.
5. Jovane, F., Feldmann, K., Alting, L., Armillotta, A., Eversheim, W., Seliger, G., Roth, N.: Keynot Papers. A Key Issue in Product Life Cycle: Disassembly. *Annals of the CIRP*, Vol. 42/2/1993, pp. 651-652, p. 656.
6. King County Solid Waste Division, Flat Panel Displays: End of Life Management Report, Final Report, 2007.

7. Lambert, A.J.D.: Disassembly sequencing: a survey. *Int. j. prod. res.*, vol. 41, no. 16, 2003, p. 3740.
8. Lambert, A.J.D.: Life-Cycle Chain Analysis including Recycling. *J. Sarkis (ed.), 2001, Greener Manufacturing and Operations. Sheffield: Greenleaf Publishing, 2001, p. 5, p. 12.*
9. Lambert, A.J.D., Gupta, S.M.: Disassembly Modeling for Assembly, Maintenance, Reuse, and Recycling, 2005, p. 125.
10. Mital, A., Desai, A., Subramanian, A., Mital, Aashi: Product Development – A Structured Approach to Consumer Product Development, Design and Manufacture, 2007, pp. 12-13, pp. 135-177.
11. Moussiopoulos, N., Koroneos, C., Achillas, Ch., Bouzakis, K-D., Michailidis, N., Iakovou, E., et al.: Decision-making on the alternatives for the end-of-life management of electrical and electronic equipment. In: Proceedings of the 6th international symposium: going green CARE INNOVATION, 2006.
12. Rosemann, B., Meerkamm, H., Schweiger, W.: Sustainable Development as a Basis for the Reduction of Waste, pp. 1-18.
13. Rosemann, B., Meerkamm, H., Trautner, St., Feldmann, K.: Design for Recycling, Recycling Data Management and optimal End-of-Life Planning based on Recycling-Graphs. *International Conference on Engineering Design*, 1999.
14. Seliger, G., Hentschel, C., Kriwet, A.: Recycling and Disassembly – Legal Burden or Strategic Opportunity? *Second Workshop of Assembly Automation and Future Outlook of Production Systems*, Tokyo, 1993, p. 7, p. 12.
15. Stevels, A., Boks, C.: Lessons learned from 10 years take-back and recycling. *Proceedings of the 7th CIRP International Seminar on Life Cycle Engineering*, Tokyo, Japan, November 27-29, 2000, p. 1.
16. Uhlmann, Eck., Seliger, G., Haertwig, J.-P., Keil, Th.: A pilot system for the disassembly of home appliances using new tools and concepts, The third world Congress on Intelligent Manufacturing Process & Systems, Cambridge, MA – June 28-30, 2000, p. 453.
17. Wiendahl, H.P., Seliger, G., Perlewitz, H. and Buerkner, S.: A general approach to disassembly planning and control. *Production Planning & Control*, 1999, Vol. 10, No. 8, p. 720.