



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»**

Μεταπτυχιακή Εργασία

**Χαβδούλας Λεωνίδας**

Διπλωματούχος Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης

**Μεθοδικός Σχεδιασμός Προϊόντος**

**Επιβλέπων:** Δρ. – Μηχανικός Δ. Κουλοχέρης

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2015

## Περίληψη

Η τεχνολογική εξέλιξη και οι αυξημένες ανάγκες της σημερινής κοινωνίας έχουν οδηγήσει στην ανάγκη αγαθών και αντικειμένων πολύ υψηλών προδιαγραφών. Η δημιουργία ενός αντικειμένου, ακόμα και ενός πολύ απλού, ακολουθεί μια μακρά διαδικασία. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την σύλληψη της ιδέας, τον σχεδιασμό και την ανάπτυξή της, την βελτιστοποίηση που προκύπτει από τις δοκιμές του προϊόντος και τελικά την παραγωγή του.

Η διαδικασία της υλοποίησης ενός προϊόντος ξεκινά με την αναγνώριση μιας ανάγκης. Όμως, τα στάδια που αναφέρθηκαν είναι αρκετά πιο σύνθετα, καθώς λαμβάνονται πάντα υπόψη και εξωτερικοί παράγοντες, που μπορεί να είναι οικονομικοί, περιβαλλοντικοί κ.α. Στη συνέχεια, ακολουθεί ο σχεδιασμός του προϊόντος, ένα στάδιο ιδιαίτερα σύνθετο, καθώς πρέπει να ορισθούν σωστά τα προβλήματα που πρόκειται να επιλυθούν, όπως επίσης και οι εργασίες που πρόκειται να πραγματοποιηθούν. Ο σωστός ορισμός των απαραίτητων εργασιών είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς είναι απαραίτητη η συνεργασία πολλών διαφορετικών κλάδων εξειδίκευσης. Εφόσον ορισθούν όλες οι απαραίτητες εργασίες, ακολουθεί το στάδιο της ανάπτυξης, το οποίο έπειτα από δοκιμές και μελέτη δύναται να επαναληφθεί όσες φορές είναι αναγκαίο, ώστε το προϊόν να πληροί τις απαραίτητες προϋποθέσεις, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη και διάφορους εξωγενείς παράγοντες. Όταν τελικά το προϊόν περάσει και από αυτό το στάδιο και παραχθεί μαζικά, εισάγεται πλέον στην αγορά και είναι στη διάθεση των καταναλωτών προς χρήση. Μπορεί το στάδιο της αγοράς να μην αποτελεί τόσο μέρος της εξειδίκευσης ενός μηχανικού, ο κύκλος ζωής όμως ενός προϊόντος δεν τελειώνει όταν αυτό εισέρχεται στην αγορά.

Αναφέρθηκε και προηγουμένως, ότι για κάθε προϊόν λαμβάνονται υπόψη και εξωτερικοί παράγοντες. Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι η επίδρασή του στο περιβάλλον. Η προστασία του περιβάλλοντος δεν εξαρτάται μόνο από τις διαδικασίες κατά την παρασκευή και την χρήση του κάθε προϊόντος, αλλά και από την ανακύκλωση και την περαιτέρω αξιοποίηση του. Με τον τρόπο αυτό κλείνει ο κύκλος ζωής του κάθε προϊόντος.

Η πλήρης αξιοποίηση ενός προϊόντος είναι αποτέλεσμα γνώσης και εμπειρίας των διαδικασιών που ακολουθούνται από έναν μηχανικό, αλλά και από του υπόλοιπους ειδικούς της ομάδας ανάπτυξης και κρίνεται αναγκαία από τις αυξημένες ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας.

## Abstract

Technological development and nowadays increased needs have driven to demand of products with high specifications. The creation of a product, even a simple one, is a long process effort. This process involves the conception of the idea, design and development, optimization arising from product testing and finally production.

The process of manufacturing a product starts by defining one need. Therefore the design stages that were mentioned are way more complicated, because influences such as economical, environmental etc., should always be considered. In the meantime, the design of the product takes place, a stage too complicated, because the problem issues that are going to be solved and the necessary operations that will be done have to be defined properly. The correct definition of the necessary operations is very important and this is why the cooperation of lot of different specializations is needed.

As long as the necessary work is defined, the phase of development follows, which may be repeated until the product meets the necessary requirements, while several external factors must be taken into account. When finally the product passed by this stage and mass-produced, it is introduced in the market and is available to consumers for use. Market processes may not be a part of an engineer's field, but the life cycle of a product does not end when it enters the market.

As it was mentioned before, for each product there are many external factors that have to be taken into account. Environmental protection is not determined only by manufacture's and use's processes, but also by recycling and further utilization. This closes the life cycle of each product.

To succeed the full use of a product, knowledge and experience of the procedures followed by an engineer but also from the other specialists of the development team are critical, necessary by the increased needs of modern society.

Στη Ματίνα

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	2
Abstract .....	3
Περιεχόμενα .....	5
Κατάλογος Σχημάτων .....	7
Κατάλογος Πινάκων.....	10
Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 1 - Θεωρία σχεδιασμού .....	13
1.1 Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος .....	14
1.2 Η ανάπτυξη των τεχνολογικών προϊόντων .....	22
1.3 Μέθοδοι κατασκευής .....	31
Κεφάλαιο 2 - Μεθοδολογία σχεδιασμού.....	56
Κεφάλαιο 3 – Παράδειγμα – Ανάλυση απαιτούμενων προδιαγραφών.....	58
3.1 Παρουσίαση παραδείγματος.....	58
3.2 Περιγραφή λειτουργίας.....	58
3.3 Λίστα προδιαγραφών .....	61
Κεφάλαιο 4 – Προκαταρκτική μελέτη .....	63
Κεφάλαιο 5 - Σχεδιασμός.....	68
5.1 Αναγνώριση προϋποθέσεων, καθορισμός του σχεδιασμού και αποσαφήνιση των χωρικών συνθηκών.....	68
5.2 Πρόχειρος σχεδιασμός και δόμηση των κύριων λειτουργικών στοιχείων – Καθορισμός του σχεδίου και επιλογή των κατάλληλων σχεδίων .....	69
5.3 Αναλυτικός σχεδιασμός των κύριων και δευτερευόντων λειτουργικών στοιχείων .....	70
5.4 Αξιολόγηση βάσει τεχνικών και οικονομικών κριτηρίων και προσδιορισμός του προκαταρκτικού συνολικού σχεδίου .....	72
5.5 Επακόλουθη εξέταση, ανάλυση σφαλμάτων, τελειοποίηση .....	74
Κεφάλαιο 6 - Σχεδιασμός και κατασκευή βάσει του περιβάλλοντος.....	77
6.1 Οργάνωση του κύκλου ζωής για την αξιολόγηση του προϊόντος.....	78
6.2 Στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.....	81
6.3 Παραδείγματα προϊόντων: Αυτοκίνητα και ηλεκτρονικοί υπολογιστές .....	85
6.4 Σχεδιασμός για το περιβάλλον (Design for the Environment - DFE) .....	98
6.5 Παρατηρήσεις σε επίπεδο συστήματος .....	100
Κεφάλαιο 7 – Μέθοδος λειτουργίας σφάλματος και ανάλυσης συνεπειών (FMEA) .....	102

7.1 Γενικές καινοτομίες για την εφαρμογή της μεθόδου FMEA.....	102
7.2 Γενικοί κανόνες για την εκτέλεση της μεθόδου FMEA .....	104
7.3 Διαδικασία.....	105
7.4 Περαιτέρω χρήση των αποτελεσμάτων της μεθόδου λειτουργίας σφάλματος και ανάλυσης συνεπειών (FMA).....	113
<b>Κεφάλαιο 8 – Βελτίωση προϊόντος .....</b>	<b>114</b>
8.1 Ιστορική εξέλιξη – Ιδέα βελτίωσης.....	114
8.2 Νέος σχεδιασμός .....	116
<b>Επίλογος – Συμπεράσματα .....</b>	<b>124</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>125</b>

## Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχήμα 1.1</b> Κύκλος ζωής ενός προϊόντος [3] .....	13
<b>Σχήμα 1.2</b> Κύκλος ζωής ενός προϊόντος – Οι πωλήσεις ως προς το χρόνο [3] .....	14
<b>Σχήμα 1.3</b> Γενική προσέγγιση του σχεδιασμού [3].....	18
<b>Σχήμα 1.4</b> Σταδιακή ανάπτυξη της μαζικής παραγωγής ενός προϊόντος [3] .....	21
<b>Σχήμα 1.5</b> Θέσπιση μιας δομής λειτουργίας διασπώντας την συνολική λειτουργία σε υπολειτουργίες [3].....	23
<b>Σχήμα 1.6</b> Λειτουργική δομή .....	24
<b>Σχήμα 1.7</b> Λειτουργική δομή .....	24
<b>Σχήμα 1.8</b> Λογικές συναρτήσεις για την παρακολούθηση ενός συστήματος λίπανσης ρουλεμάν [3] .....	26
<b>Σχήμα 1.9</b> Εκπλήρωση υποδιαδικασιών μέσω λειτουργικών βασικών αρχών, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί περαιτέρω με τη βοήθεια φυσικών, γεωμετρικών και υλικών χαρακτηριστικών [9.3] ..	27
<b>Σχήμα 1.10</b> Σύζευξη συστήματος [3] .....	29
<b>Σχήμα 1.11</b> Οι αλληλεξαρτήσεις ενός συστήματος, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου [3]	30
<b>Σχήμα 1.12</b> Γενική διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος [3] .....	32
<b>Σχήμα 1.13</b> Μοντέλο προσέγγισης ενός συστήματος [3].....	33
<b>Σχήμα 1.14</b> Συνδυασμός βασικών λύσεων.....	34
<b>Σχήμα 1.15</b> Διαφορετικές αρχές λειτουργίας οι οποίες ικανοποιούν την συνάρτηση αποθήκευσης ενέργειας.....	37
<b>Σχήμα 1.16</b> Λίστα επιλογής [3].....	38
<b>Σχήμα 1.17</b> Σύνδεση άξονα με κόμβο σύνδεσης.....	41
<b>Σχήμα 1.18</b> Βασικοί τομείς ασφαλείας .....	42
<b>Σχήμα 1.19</b> Υποστήριξη πλαισίου μηχανής από μια βάση σκυροδέματος: (α) πολύ άκαμπτη στήριξη λόγω σύντομου μονοπατιού μετάδοσης δύναμης, (β) μεγαλύτερο μονοπάτι μετάδοσης της δύναμης, αλλά παραμένει άκαμπτη η στήριξη, (γ) λιγότερο άκαμπτη στήριξη με έντονη κάμψη παραμόρφωσης, (δ) πιο ευέλικτη στήριξη, (ε) πολύ ευέλικτη στήριξη που μεταφέρει το φορτίο στο ελατήριο [3].....	44
<b>Σχήμα 1.20</b> Στρεπτική παραμόρφωση μεταξύ άξονα και κόμβου σύνδεσης (α) σε αντίθετη κατεύθυνση (β) στην ίδια κατεύθυνση.....	45
<b>Σχήμα 1.21</b> Μηχανισμός κίνησης γερανού (α) άνιση στρεπτική παραμόρφωση, (β) η συμμετρική διάταξη εξασφαλίζει ίση στρεπτική παραμόρφωση, (γ) ασύμμετρη διάταξη με την ίδια παραμόρφωση .....	45
<b>Σχήμα 1.22</b> Θεμελιώδεις λύσεις για την εξισορρόπηση δυνάμεων, που απεικονίζεται μέσω του στροβίλου, ελικοειδών γραναζιών και του κώνου σύμπλεξης.....	46
<b>Σχήμα 1.23</b> Δοχείο πίεσης.....	47
<b>Σχήμα 1.24</b> Αυτό-αντισταθμιστική λύση για πτερύγια ενός κινητήρα: (α) συμβατική λύση, (β) η κλίση των πτερυγίων έχει συμπληρωματική δράση λόγω των πρόσθετων καταπονήσεων που παράγονται από την φυγόκεντρο δύναμη αδράνειας ( $s_b c$ ), οι οποίες αντιτίθενται στις καμπτικές τάσεις που προκαλούνται από την εφαπτόμενη δύναμη ( $s_b T$ ), (γ) διάγραμμα των δυνάμεων που ασκούνται .....	48

<b>Σχήμα 1.25</b> Λύση αυτοπροστασίας σε ελατήρια: (α) – (δ) αλλαγή του μονοπατιού που ασκείται η πίεση. Η φυσιολογική λειτουργία αναστέλλεται ή περιορίζεται κατά την άσκηση υπερβολικού φορτίου.....	48
<b>Σχήμα 1.26</b> Πώμα υπερσυμπιεστή .....	49
<b>Σχήμα 1.27</b> [3] Βαλβίδα με ασταθή μηχανισμό κλεισίματος.....	50
<b>Σχήμα 1.28</b> α – γ Αποστράγγιση ευπαθών στη διάβρωση υλικών (α) σχέδια βάσεων που ευνοείται η διάβρωση (β) λανθασμένη και σωστή διάταξη μεταλλικών τμημάτων (γ) στήριγμα κατασκευασμένο με οπή αποστράγγισης [3].....	52
<b>Σχήμα 1.29</b> α – γ Παραδείγματα αρθρώσεων που έχουν συγκολληθεί: (α) ευπαθείς στη δημιουργία ρωγμών (β) σωστός σχεδιασμός (γ) σωστή συγκόλληση σωλήνων χωρίς ρωγμές, η οποία βελτιώνει την αντοχή απέναντι στη διάβρωση [3] .....	53
<b>Σχήμα 1.30</b> Επιλογές ανακύκλωσης [3].....	55
<b>Σχήμα 3.1</b> Τα υγρά που αναμιγνύονται.....	59
<b>Σχήμα 3.2</b> Η παραβολική πτήση για την επίτευξη έλλειψης βαρύτητας [45].....	60
<b>Σχήμα 4.1</b> Απλοποιημένη λειτουργική δομή.....	63
<b>Σχήμα 4.2</b> Μορφολογικό πλαίσιο.....	64
<b>Σχήμα 4.3</b> Πορεία μέσω του μορφολογικού πλαισίου .....	65
<b>Σχήμα 4.4</b> Απόσπασμα της λίστας αξιολόγησης.....	65
<b>Σχήμα 4.5</b> Βασική λύση .....	67
<b>Σχήμα 5.1</b> Διαθέσιμος (ελεύθερος χώρος) ενός Airbus A300 Novespace.....	68
<b>Σχήμα 5.2</b> Αρχικό σχέδιο ραφιών εργασίας: Μπροστινή, πλαϊνή και συνολική δομή .....	69
<b>Σχήμα 5.3</b> Πιθανές λύσεις για το δεύτερο λειτουργικό στοιχείο: το κυτταρικό δοχείο.....	71
<b>Σχήμα 5.4</b> Δομή κυτταρικού δοχείου .....	72
<b>Σχήμα 5.5</b> Μονάδα βαλβίδας της αντλίας κατά την ανάπτυξη και την συναρμολόγηση .....	72
<b>Σχήμα 5.6</b> Σχέδια των θαλάμων που πραγματοποιούνται τα πειράματα .....	73
<b>Σχήμα 5.7</b> Θάλαμοι πειραμάτων .....	74
<b>Σχήμα 5.8</b> Φρένα στους θαλάμους θέρμανσης.....	76
<b>Σχήμα 6.1</b> Οι υλικές ροές του κύκλου ζωής ενός προϊόντος .....	80
<b>Σχήμα 6.2</b> Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων τοξικών υλικών διάφορων βιομηχανικών κλάδων .....	82
<b>Σχήμα 6.3</b> Η συνολική χρήση ενέργειας στα στάδια ζωής ενός αυτοκινήτου [66] .....	86
<b>Σχήμα 6.4</b> Η επίπτωση των αυτοκινήτων του 1950 και του 1990 στο περιβάλλον .....	87
<b>Σχήμα 6.5</b> Η επίπτωση στο περιβάλλον ενός υπολογιστή των αρχών του 1990, καθώς και μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα.....	93
<b>Σχήμα 7.1</b> Η μέθοδος FMEA χωρισμένη σε υποδιαδικασίες.....	102
<b>Σχήμα 7.2</b> Η μέθοδος FMEA ως μια συνεχόμενη διαδικασία .....	103
<b>Σχήμα 7.3</b> Η τυπική φόρμα της μεθόδου FMEA, με πρόσθετες στήλες τα K και K*, ώστε να λαμβάνονται υπόψη η επιρροή των κοστών στη λήψη αποφάσεων .....	104
<b>Σχήμα 7.4</b> Ένα μικρό προϊόν – επαφή πρίζας (ABB, Baden) .....	105
<b>Σχήμα 7.5</b> Ένα μεγάλο προϊόν - εργαλειομηχανή (A. Breiing, Mikron, Biel).....	105
<b>Σχήμα 7.6</b> Οι σχέσεις μεταξύ αποδοχής, ρίσκου και αξιολόγησης.....	113
<b>Σχήμα 8.1</b> Βασικό μέρος από το μπρίκι και η οπή ασφαλείας για την λαβή .....	117
<b>Σχήμα 8.2</b> Λαβή και δακτύλιος περιστροφής.....	118



<b>Σχήμα 8.3</b> Πάνω μέρος μηχανισμού κλειδώματος.....	119
<b>Σχήμα 8.4</b> Κάτω μέρος μηχανισμού κλειδώματος.....	120
<b>Σχήμα 8.5</b> Το στάδιο όπου εμπλέκονται οι κορυφές του επάνω μέρους (μπλε) με τις κορυφές του κάτω μέρους (γκρι).....	120
<b>Σχήμα 8.6</b> Ο μηχανισμός κλειδώματος, αποτελούμενος από το επάνω μέρος, το κάτω μέρος και το ελατήριο .....	121
<b>Σχήμα 8.7</b> Με το γκρι χρώμα παρατηρούμε το άκρο του κάτω μέρους, που είναι η ασφάλεια που εισέρχεται στην οπή που έχουμε δημιουργήσει στο βασικό “σώμα” του μπρικιού και δεν επιτρέπει την περαιτέρω περιστροφή της λαβής.....	121
<b>Σχήμα 8.8</b> Διακρίνεται το άκρο του επάνω μέρους του μηχανισμού με το οποίο ενεργοποιείται και απενεργοποιείται η ασφάλεια. Πατώντας το, περιστρέφεται ο μηχανισμός που βρίσκεται στο εσωτερικό της λαβής και ανοιγοκλείνει η ασφάλεια .....	122
<b>Σχήμα 8.9</b> Το μπρίκι με την λαβή ρυθμισμένη για αριστερόχειρες.....	122
<b>Σχήμα 8.10</b> Το μπρίκι με την λαβή ρυθμισμένη για δεξιόχειρες .....	123

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1</b> Ανάθεση βαθμολογίας σύμφωνα με την ανάλυση χρησιμότητας και την οδηγία VDI 2225 [3] .....	39
<b>Πίνακας 2</b> Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που εκφράζονται και η σύνδεσή τους με την παραγωγική διαδικασία .....	77
<b>Πίνακας 3</b> Η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ευθύνης ενός προϊόντος .....	81
<b>Πίνακας 4</b> Τυπικές ενεργειακές απαιτήσεις κάποιων συνηθισμένων υλικών.....	83
<b>Πίνακας 5</b> Η εκτίμηση της τοξικότητας κάποιων στοιχείων .....	84
<b>Πίνακας 6</b> Η διαθεσιμότητα πόρων για κάποια στοιχεία [49] .....	84
<b>Πίνακας 7</b> Χαρακτηριστικά των αυτοκινήτων της δεκαετίας του 1950 και του 1990 .....	87
<b>Πίνακας 8</b> Αξιολόγηση του σταδίου προκατασκευής του προϊόντος .....	88
<b>Πίνακας 9</b> Αξιολόγηση του σταδίου κατασκευής του προϊόντος .....	88
<b>Πίνακας 10</b> Αξιολόγηση του σταδίου παράδοσης του προϊόντος.....	89
<b>Πίνακας 11</b> Αξιολόγηση του σταδίου χρήσης του προϊόντος.....	89
<b>Πίνακας 12</b> Αξιολόγηση του σταδίου αποκατάστασης, ανακύκλωσης και απόρριψης .....	90
<b>Πίνακας 13</b> Αξιολόγηση ενός αυτοκινήτου της δεκαετίας του 1950 ως προς το περιβάλλον.....	90
<b>Πίνακας 14</b> Αξιολόγηση ενός αυτοκινήτου της δεκαετίας του 1990 ως προς το περιβάλλον.....	90
<b>Πίνακας 15</b> Κύρια ευρήματα για την κατασκευή ενός τσιπ της μνήμης RAM .....	91
<b>Πίνακας 16</b> Κατάλογος των υλικών που χρησιμοποιούνται σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και σε μια οθόνη καθοδικού σωλήνα (CRT).....	92
<b>Πίνακας 17</b> Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Προκατασκευή .....	94
<b>Πίνακας 18</b> Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Κατασκευή του προϊόντος .....	94
<b>Πίνακας 19</b> Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Συσκευασία και μεταφορά του προϊόντος .....	95
<b>Πίνακας 20</b> Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Χρήση του προϊόντος.....	95
<b>Πίνακας 21</b> Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Αποκατάσταση, ανακύκλωση και απόρριψη του προϊόντος ....	96
<b>Πίνακας 22</b> Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας. Αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ευθύνης των προϊόντων αυτών. ....	96
<b>Πίνακας 23</b> Κατευθυντήριες γραμμές για την ενεργειακή απόδοση [49, 78, 79].....	99
<b>Πίνακας 24</b> Κατευθυντήριες γραμμές για την ανακύκλωση [49, 78, 80] .....	99

## Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός ενός προϊόντος αναφέρεται στην αναγνώριση μιας ανάγκης της κοινωνίας, την σύλληψη της ιδέας, τον σχεδιασμό του κατάλληλου προϊόντος, την παραγωγή του. Είναι σαφές, πως η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα σύνθετη και οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι πολυάριθμοι. Παράλληλα, αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία, καθώς ένα προϊόν επιδρά με το σύστημα που ανήκει και είναι απαραίτητο να σχεδιάζεται με σεβασμό στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με την διαδικασία του σχεδιασμού ενός προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια της, την θεωρία πάνω στην οποία βασίζεται, τους τομείς που επηρεάζει η διαδικασία καθώς και το τελικό προϊόν και τις βελτιώσεις που μπορούν να επιτευχθούν. Τέλος, θα προσεγγίσουμε ένα προϊόν, θα αναγνωρίσουμε κάποια ανάγκη που δεν καλύπτει και θα το βελτιώσουμε βάσει αυτής.

Συνοπτικά:

- Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται η θεωρία σχεδιασμού και αναλύεται ο κύκλος ζωής των προϊόντων ώστε να γίνει κατανοητή η ανάγκη και η σημασία του συνολικού σχεδιασμού ενός προϊόντος.
- Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο διατυπώνεται η μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθηθεί κατά τον σχεδιασμό, ώστε να είναι σαφής ο στόχος, αλλά και να διασφαλιστεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.
- Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα σύνθετο σύστημα, όπου γίνονται πειράματα σε ανθρώπινα κύτταρα. Αναλύεται ο απαιτούμενος τρόπος λειτουργίας, οι υψηλές προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται και οι συνθήκες που πρέπει να επικρατούν, ώστε να πραγματοποιούνται σωστά τα πειράματα.
- Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία της ιδανικής ανάλυσης του συνολικού συστήματος, καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται.
- Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται κατά τον σχεδιασμό ενός προϊόντος, με τη βοήθεια του συστήματος πειραμάτων που προαναφέρθηκε.
- Στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο προσεγγίζεται ο σχεδιασμός των προϊόντων βάσει της περιβαλλοντικής επίπτωσης που έχει το προϊόν, αλλά και η διαδικασία κατασκευής του. Αναλύεται ο κύκλος

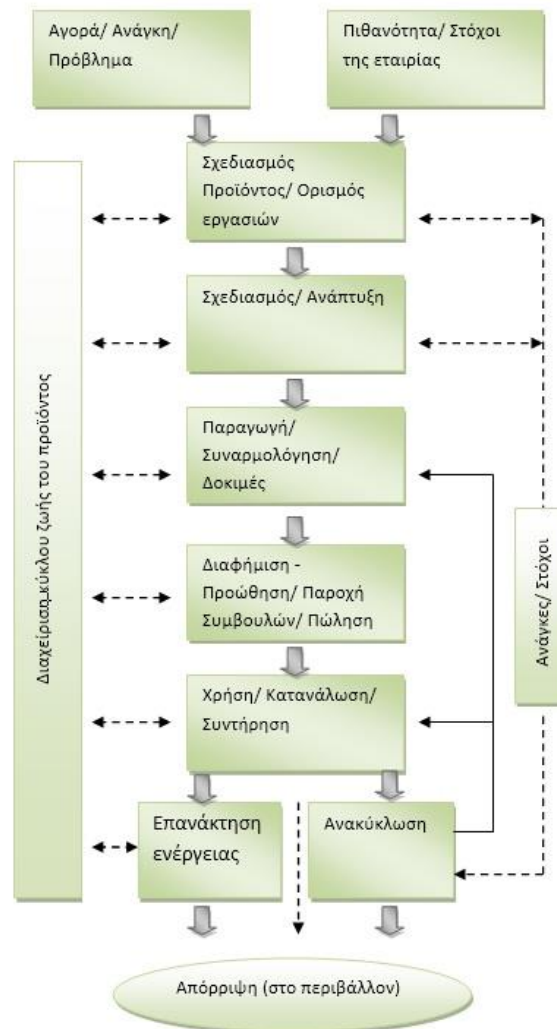
ζωής των προϊόντων και η επίδρασή του κάθε σταδίου στο περιβάλλον. Τέλος, παρουσιάζονται δύο παραδείγματα προϊόντων και η περιβαλλοντική ελάφρυνση που επιτεύχθηκε λόγω διαφορετικού σχεδιασμού και κατασκευής τους.

- Στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύεται μια μέθοδος, η οποία μας επιτρέπει την αναγνώριση πιθανών σφαλμάτων, κυρίως κατά τα αρχικά στάδια του σχεδιασμού.
- Στο 8<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η ιδέα της βελτίωσης ενός αντικειμένου βάσει των αναγκών των καταναλωτών, καθώς και ο σχεδιασμός της ιδέας αυτής.

## Κεφάλαιο 1 - Θεωρία σχεδιασμού

Ο βιομηχανικός σχεδιασμός βασίζεται στον καταμερισμό εργασίας στην βιομηχανία και βάσει αυτού κατασκευάζονται τεχνικά προϊόντα σε διαφορετικά στάδια ζωής. Τα διαφορετικά στάδια ζωής είναι η βάση για τη δουλειά του κατασκευαστή του εκάστοτε προϊόντος, αλλά ταυτόχρονα και του χρήστη του προϊόντος.

Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζονται τα απαραίτητα στάδια ζωής ενός προϊόντος, κατά την παραγωγή και την χρήση του. Για να εξεταστεί περαιτέρω η δομή αυτή, υποδιαιρείται η κάθε φάση του κύκλου ζωής σε ξεχωριστά βήματα. Στην πράξη, αυτό δίνει την δυνατότητα στον μηχανικό να κατηγοριοποιήσει τις απαραίτητες ενέργειες με μεγαλύτερη ακρίβεια.



Σχήμα 1.1 Κύκλος ζωής ενός προϊόντος [3]

## 1.1 Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος

Ο κύκλος ζωής των προϊόντων είναι στενά συνδεδεμένος με τον γενικό κύκλο των υλικών (σχήμα 1.2). Ο κύκλος ξεκινάει με την ιδέα για ένα προϊόν, η οποία προκύπτει από μια ανάγκη της αγοράς των καταναλωτών. Η υλοποίηση της πρώτης φάσης της ζωής του προϊόντος είναι ο σχεδιασμός του. Το αποτέλεσμα είναι ο καθορισμός μιας διαδικασίας που θα αποτελέσει την βάση της δεύτερης φάσης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος: την ανάπτυξη και την κατασκευή.



*Σχήμα 1.2 Κύκλος ζωής ενός προϊόντος – Οι πωλήσεις ως προς το χρόνο [3]*

Στο στάδιο αυτό, η υλοποίηση μιας ιδέας και ο καθορισμός των εργασιών γίνονται σε ξεχωριστά βήματα. Ο κύκλος ζωής συνεχίζεται με την διαδικασία κατασκευής των μερών του προϊόντος, την συναρμολόγηση και τον έλεγχο ποιότητας. Η διαδικασία ολοκληρώνεται από τον κατασκευαστή όταν το προϊόν μεταβαίνει πλέον στο τμήμα διανομής.

Αυτή η φάση του κύκλου ζωής είναι η χρήση του προϊόντος, κάτι το οποίο μπορεί να περιγραφεί και ως χρησιμότητα ή κατανάλωση του προϊόντος. Ταυτόχρονα, πραγματοποιούνται ενέργειες που αφορούν την συντήρηση, οι οποίες αποσκοπούν στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής. Η ανακύκλωση του προϊόντος ακολουθεί την κύρια χρήση του, η οποία οδηγεί σε περαιτέρω χρήση ίδιας ή και διαφορετικής φύσης ή δευτερεύουσας χρήσης με τα ίδια ή και διαφορετικά χαρακτηριστικά. Τα μη

ανακυκλώσιμα υλικά καταλήγουν σε χώρους απορριμμάτων ή καίγονται ώστε να παραχθεί θερμική ενέργεια.

Ο κύκλος ζωής, εκτός από τα υλικά προϊόντα, αφορά και τα προϊόντα λογισμικού. Αυτό εξυπηρετεί τις εταιρίες, ώστε να είναι σε θέση να παρακολουθούν τα προϊόντα τους αλλά και την εξέλιξή τους.

### Οικονομικός κύκλος

Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος δεν μπορεί να μελετηθεί μόνο με όρους που αφορούν την επιτυχία του προϊόντος, των σταδίων ζωής ή των σταδίων κατασκευής και της χρήσης του, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα οικονομικά δεδομένα, τα οποία σχετίζονται με το αντίστοιχο στάδιο το οποίο μελετούμε.

Η ζώνη κέρδους χαρακτηρίζεται από μια φάση ανάπτυξης και μια φάση κορεσμού στην αγορά, προτού έρθει το στάδιο της ύφεσης, όπου θα επέλθει μείωση του εισοδήματος και κατ' επέκταση και του κέρδους. Η επαναφορά των πωλήσεων και του κέρδους, για παράδειγμα μέσω εκπτώσεων ή μέσω προωθητικών ενεργειών, διαρκούν μια μικρή χρονική περίοδο, οπότε αντιλαμβανόμαστε ότι είναι πιο υποσχόμενο να επιτευχθεί άνοδος των καμπύλων ζωής, μέσω της έγκαιρης ανάπτυξης νέων προϊόντων.

### Σχεδιασμός προϊόντος

Οι δύο πρώτες φάσεις στον σχεδιασμό ενός προϊόντος, ο σχεδιασμός του και η ανάπτυξη του, είναι μεταξύ των πιο σημαντικών στο χώρο της βιομηχανίας. Η συνεχής δημιουργία εμπορεύσιμων προϊόντων είναι το βασικό θεμέλιο για την οικονομική επιτυχία μιας εταιρίας. Λόγω των αναπόφευκτων φάσεων πτώσης των υπαρχόντων προϊόντων ή ομάδων προϊόντων, ο συστηματικός σχεδιασμός νέων προϊόντων είναι απαραίτητος [4]. Οι στρατηγικές για τον σχεδιασμό προϊόντων δεν πρέπει να αποτελούν φραγμό για δημιουργικές και καινοτόμες εταιρίες, καθώς και για τους μηχανικούς τους, αλλά θα πρέπει να έχουν θετική επίδραση.

### Βασικές Αρχές

Η βάση για τον σχεδιασμό προϊόντων είναι οι σχέσεις που αναπτύσσονται στην αγορά και εντός του περιβάλλοντος της κάθε εταιρίας. Οι σχέσεις αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν είτε ως εξωτερικές είτε ως εσωτερικές επιρροές.

Οι εξωτερικές επιρροές προέρχονται:

- Από την παγκόσμια οικονομία
- Από την εγχώρια οικονομία (πληθωρισμός)
- Από την νομοθεσία
- Από την αγορά εμπορευμάτων (προμηθευτές)
- Από την έρευνα (από τις προτεραιότητες που τίθενται σε κυβερνητικά χρηματοδοτούμενες έρευνες)
- Από την τεχνολογία (ανακαλύψεις στα μικροηλεκτρονικά και στην τεχνολογία των laser)
- Από την αγορά γενικότερα

Κατανοούμε λοιπόν, ότι οι συνθήκες που επικρατούν στην αγορά είναι πολύ σημαντικές. Όταν η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά είναι πιθανόν να δημιουργηθεί συμφόρηση σε μια παραγωγή, ενώ όταν η ζήτηση είναι μικρότερη από την προσφορά τα προϊόντα πρέπει να είναι ιδιαίτερα επιτυχημένα ώστε να μπορούν να ανταγωνιστούν τα υπόλοιπα προϊόντα.

Άλλοι παράγοντες για την κατανόηση των αγορών είναι:

- Οι οικονομικές περιοχές (εγχώρια αγορά, αγορά εξαγωγών)
- Νέοι παράγοντες για την εταιρία (παρούσα αγορά, νέα αγορά)
- Θέση της εταιρίας στην αγορά (μερίδιο αγοράς, στρατηγική κυριαρχία της εταιρίας, τεχνική αξία των προϊόντων της)

Οι εσωτερικές επιρροές προέρχονται:

- Από την οργάνωση της εταιρίας
- Από το προσωπικό ( διαθεσιμότητα κατάλληλου προσωπικού ανάπτυξης και κατασκευής)
- Οικονομική δύναμη (ευκαιρίες επενδύσεων)
- Από το μέγεθος της εταιρίας
- Από τον στόλο παραγωγής (σε συνδυασμό με συγκεκριμένες τεχνολογίες κατασκευών)

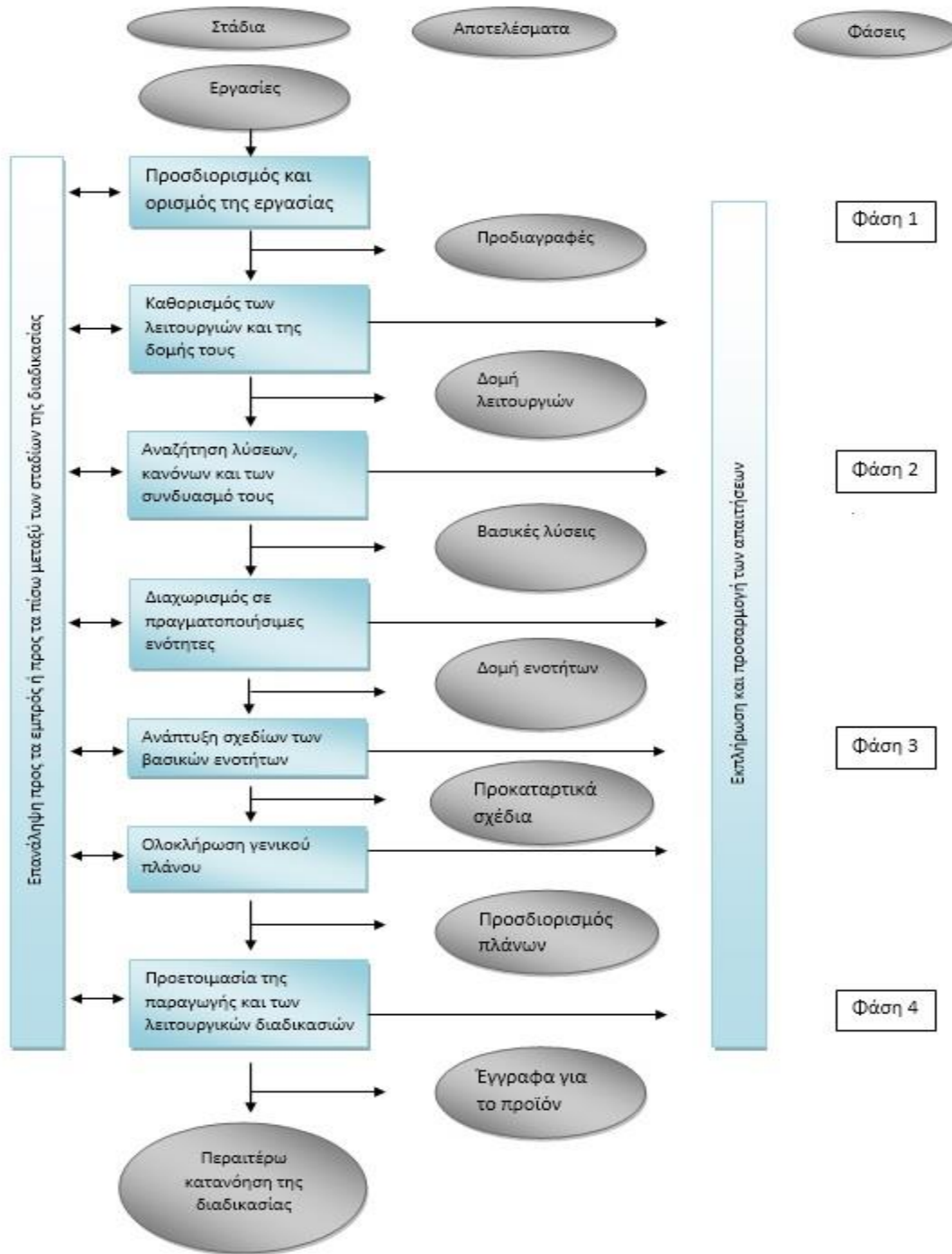


- Από το πρόγραμμα παραγωγής (σε συνδυασμό με εξαρτήματα/ υλικά που μπορούν να υιοθετηθούν)
- Από την τεχνογνωσία (ανάπτυξη, μάρκετινγκ και εμπειρία στα προϊόντα)
- Από την διοίκηση (διαχείριση έργου)

### Ανάπτυξη προϊόντος

Γενική προσέγγιση: Η δεύτερη φάση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος είναι η ανάπτυξη και η κατασκευή του. Για να είναι πιο σωστά δομημένη, η φάση αυτή διαχωρίζεται σε περαιτέρω ξεχωριστά στάδια. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται σε γενικές μεθόδους επίλυσης ή μεθόδους εργασίας και είναι ένα βασικό εργαλείο για τον μηχανικό στην ανάπτυξη ενός προϊόντος. Τα ξεχωριστά στάδια της ανάπτυξης είναι η βάση για άλλες δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα η προετοιμασία του προγράμματος που θα ακολουθηθεί ή ο σχεδιασμός του κόστους της ανάπτυξης του προϊόντος. Επίσης, με αυτό τον τρόπο ο μηχανικός δύναται να γνωρίζει σε ποιο στάδιο της διαδικασίας βρίσκεται (σχήμα 1.3).

Παρά την πληθώρα των διαφορετικών προϊόντων που μπορεί να κληθεί κάποιος να αναπτύξει, υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα γενικό διάγραμμα ροής, με τα διαφορετικά στάδια εργασίας τροποποιημένα κατάλληλα ανάλογα με την περίπτωση. Η προσέγγιση αυτή ξεκινά συγκεκριμενοποιώντας και ορίζοντας επ' ακριβώς την εργασία που πρόκειται να εκτελεστεί, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για εργασίες που αφορούν τον σχεδιασμό νέων προϊόντων. Η βάση για αυτό είναι να προσδιοριστούν οι εργασίες που έχουν ξεχωριστές ανάγκες και οι οποίες προκύπτουν κατά τον σχεδιασμό του προϊόντος. Από την πληθώρα των προϋποθέσεων που έχουν οριστεί, ο μηχανικός πρέπει να αναγνωρίσει τα προβλήματα που δύναται να προκύψουν και να τα διατυπώσει. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας λίστας προϋποθέσεων που πρέπει να καλύπτονται, η οποία αποκαλείται λίστα προδιαγραφών. Η λίστα αυτή δεν αποτελεί μόνο την τεχνική, αλλά και την νομική βάση για όλα τα υπόλοιπα βήματα που θα ακολουθήσουν.



**Σχήμα 1.3** Γενική προσέγγιση του σχεδιασμού [3]

Στο επόμενο στάδιο φάση σχηματίζονται οι λειτουργικές δομές, οι οποίες αναπαριστούν την γενική ιδέα της λύσης και οι οποίες εφαρμόζονται σταδιακά στη συνέχεια.

Η έρευνα λοιπόν συνεχίζεται με την αναζήτηση αρχών των λύσεων που αφορούν βασικές υπολειτουργίες. Για μηχανολογικά προϊόντα, οι υπολειτουργίες αυτές βασίζονται σε φυσικά

φαινόμενα και στην θεμελιώδη υλοποίησή τους με τη βοήθεια των γεωμετρικών χαρακτηριστικών καθώς και των χαρακτηριστικών των εκάστοτε υλικών.

Οι αρχές τις κάθε λύσης αναπαρίστανται με τη βοήθεια ενός μορφολογικού πλαισίου, ενώ την ίδια στιγμή για κάθε βασική υπολειτουργία θα πρέπει να επιλύονται τρεις με τέσσερις το πολύ αρχές, οι οποίες αφορούν την λύση. Με τη βοήθεια του μορφολογικού πλαισίου, η σύνδεση των ξεχωριστών αρχών που διέπουν κάθε λύση οδηγούν σε μια αποτελεσματική δομή. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση δεν είναι σύνηθες να επιλύονται παραπάνω από τρεις αποτελεσματικές δομές. Οι δομές που παράγονται με την διαδικασία αυτή συγκρίνονται μεταξύ τους με κατάλληλους μηχανισμούς αξιολόγησης. Συνεπώς, το αποτέλεσμα της διαδικασίας αξιολόγησης είναι να δοθεί το “πράσινο φως” για την περαιτέρω μελέτη και παρακολούθηση μιας βασικής λύσης. Η βασική λύση στη συνέχεια διαιρείται σε ρεαλιστικές ενότητες και με τον τρόπο αυτό οδηγούμαστε σε μια δομή, όπου είναι πλέον δυνατός ο λειτουργικός σχεδιασμός, καθώς και ο καθορισμός των σχεδιαστικών προτεραιοτήτων, προτού συγκεκριμενοποιηθεί το στάδιο της εντατικής εργασίας. Επιπροσθέτως, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω στάδια της διαδικασίας, όπως η παραγωγή του προϊόντος, η ευκολία στην συναρμολόγηση, η ευκολία στην διατήρηση, η ανακύκλωση του, λαμβάνοντας υπόψη επίσης την πιθανότητα το προϊόν να είναι μέρος ενός άλλου προϊόντος τελικά. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία μιας συναρμολογούμενης δομής.

Ο σχεδιασμός σχετικών συναρμολογούμενων δομών λαμβάνει χώρα στο επόμενο βήμα, όπου καθορίζονται τα εξαρτήματα, ο τρόπος συναρμολόγησης και οι απαραίτητες συνδέσεις.

Ειδικότερα, το βήμα αυτό περιλαμβάνει τις παρακάτω διαδικασίες: διαδικαστικούς υπολογισμούς, ανάλυση παραμορφώσεων και τάσεων, σχεδιαστική μελέτη, όπως επίσης και ελέγχους που αφορούν την σχεδίαση και την συναρμολόγηση. Σε αυτή τη φάση, θεωρείται ότι οι διαδικασίες του βήματος αυτού δεν αποτελούν προδιαγραφές σχετιζόμενες με την παραγωγή, αλλά των χαρακτηριστικών της σχεδιαστικής δομής και της οικονομικής μελέτης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι ένα προσχέδιο της συνολικής ιδέας του προϊόντος.

Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει τον σχεδιασμό άλλων λειτουργικών στοιχείων, τα οποία είναι εξαρτώμενα από άλλα βασικότερα, όπως για παράδειγμα ο σχεδιασμός υποεξαρτημάτων, καθώς και ο συνδυασμός τους στο συνολικό σχέδιο. Για τον σχεδιασμό των στοιχείων αυτών είναι απαραίτητη μια πληθώρα υπολογισμών, μεθόδων επιλογής, καταλόγων υλικών, πρότυπων και διαδικασιών, όπως επίσης είναι απαραίτητη πολλές φορές και η αγορά άλλων αντικειμένων, ώστε να είναι δυνατός ο

υπολογισμός του κόστους. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ο συνολικός σχεδιασμός ενός προϊόντος.

Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας είναι η προετοιμασία των λειτουργιών που αφορούν την εκτέλεση και την λειτουργία, την ανάπτυξη δηλαδή εγγράφων, που θα συμπεριλαμβάνουν την λίστα όλων των εξαρτημάτων για την κατασκευή, αλλά και την συναρμολόγησή τους, όπως επίσης και την δημιουργία του εγχειριδίου χρήσης και των προδιαγραφών συντήρησης. Με τον τρόπο αυτό έχουν δημιουργηθεί πλήρως τα απαραίτητα έγγραφα που αφορούν το προϊόν.

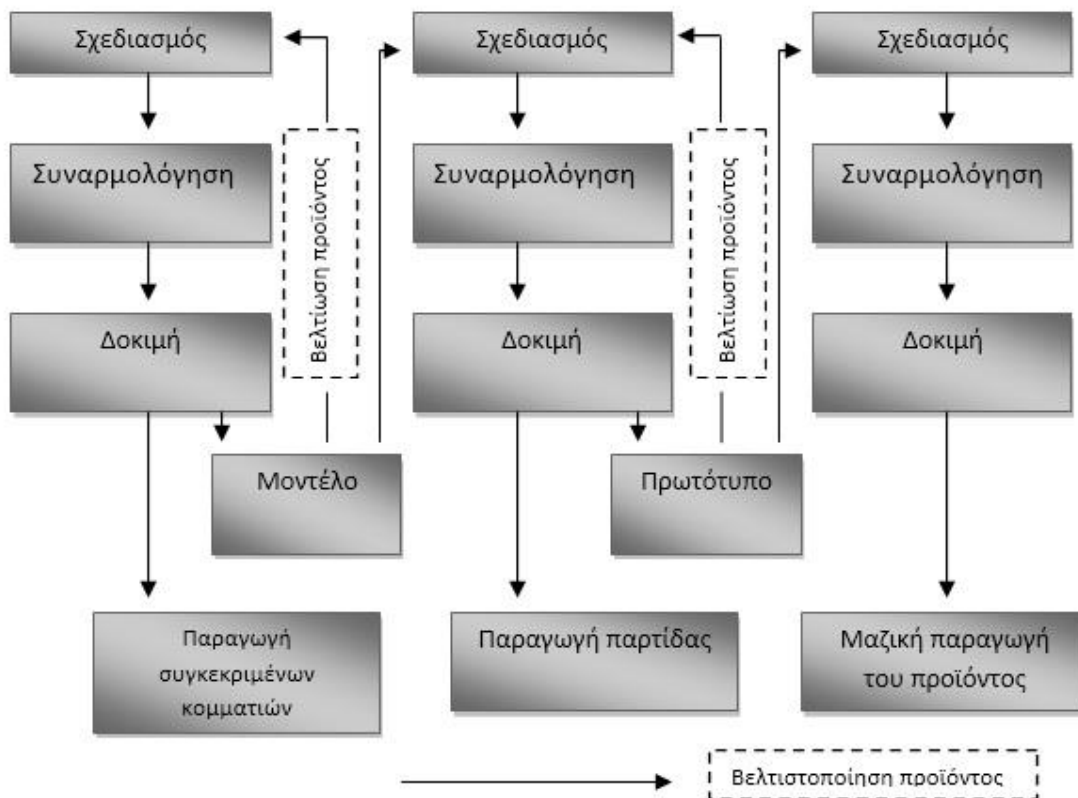
Στην πράξη, πολλά από τα στάδια της ανάπτυξης ενός προϊόντος συχνά συνδυάζονται, είτε για οργανωτικούς λόγους είτε για λόγους που σχετίζονται με τις απαραίτητες εργασίες. Ειδικότερα, στον μηχανολογικό σχεδιασμό οι τρεις πρώτοι τομείς αναφέρονται ως στάδιο διαμόρφωσης της ιδέας, οι επόμενοι τρεις ως στάδιο προσχεδίου και ο τελευταίος ως φάση προετοιμασίας.

### Προσδιορισμός Προϊόντος

Η γενική προσέγγιση πρέπει να τροποποιείται ανάλογα με το περιβάλλον εργασίας ή και με τα προϊόντα, όπου εμπλέκονται διαφορετικοί τομείς εξειδίκευσης. Στόχος είναι η διερεύνηση των αντίστοιχων τεχνικών εργασιών ξεχωριστά, αλλά ταυτόχρονα και συντονισμένα. Με τον τρόπο αυτό προσεγγίζονται για παράδειγμα προϊόντα του τομέα της βιοϊατρικής, όπου η ιατρική, η βιολογία, η μηχανολογία και η ηλεκτρολογία αποτελούν μέρη της ανάπτυξης αυτών. Ο σχεδιασμός του μηχανολογικού μέρους, η ανάπτυξη των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και η ανάπτυξη του απαραίτητου λογισμικού λαμβάνουν χώρα ανεξάρτητα, από ειδικούς του κάθε τομέα.

Ενώ η προετοιμασία των απαραίτητων προδιαγραφών και των λειτουργικών δομών γίνονται με βάση το συνολικό προϊόν, τα υπόλοιπα βήματα χωρίζονται σε παράλληλα αναπτυξιακά “μονοπάτια”, με τους ειδικούς του κάθε τομέα να βρίσκονται σε στενή συνεργασία. Για αυτό τον λόγο είναι χρήσιμο, μετά από την υλοποίηση μεγάλων τμημάτων της διαδικασίας, να γίνεται σύνοψη των αποτελεσμάτων της εργασίας (να ορίζεται για παράδειγμα η γενική δομή και να παρουσιάζονται στη συνέχεια τα μεμονωμένα σχέδια εργασίας), ώστε να είναι δυνατός ο εντοπισμός προβλημάτων συνεργασίας και να επιτυγχάνεται ο ομογενοποιημένος σχεδιασμός του προϊόντος. Στην περίπτωση ανάπτυξης νέων προϊόντων πρέπει να ακολουθούνται όλα τα στάδια, αλλά τα στάδια δύο και τρία (σχήμα 1.3) συχνά παραλείπονται, καθώς εκτελούνται σε άλλη φάση της ανάπτυξης. Ομοίως, σε περιπτώσεις τροποποίησης κατασκευών παραλείπονται τα στάδια τέσσερα και πέντε.

Η επίβλεψη και / ή ο ανασχεδιασμός των σταδίων ανάπτυξης, όπου θεωρήθηκαν απαραίτητοι, έχουν αποδειχθεί θετικοί. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα της εργασίας δεν κρίνονται ικανοποιητικά, τα ξεχωριστά στάδια της εργασίας επαναλαμβάνονται. Για προϊόντα μαζικής παραγωγής, όπως για παράδειγμα τα εξαρτήματα μιας μηχανής ή οι οικιακές συσκευές, ο έλεγχος της γενικής διαδικασίας υλοποίησης, όταν το προϊόν βρίσκεται στο τελικό του στάδιο, εμπεριέχει μεγάλο οικονομικό ρίσκο. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.4, είναι σύνηθες για τέτοια προϊόντα να μεταβάλλεται ο κύκλος ανάπτυξης και παραγωγής αρκετές φορές, ώστε τελικά να βρεθούν τα ευάλωτα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό επιτυγχάνεται με δοκιμές αρχικά στα λειτουργικά και εργαστηριακά δείγματα και στη συνέχεια, αν είναι απαραίτητο, στα πιλοτικά αλλά και σε ενδιάμεσα στάδια κατά την διαδικασία παραγωγής τους. Με τον τρόπο αυτό, τα προϊόντα βελτιστοποιούνται και επανασχεδιάζεται η τελική διαδικασία παραγωγής τους.



**Σχήμα 1.4** Σταδιακή ανάπτυξη της μαζικής παραγωγής ενός προϊόντος [3]

## **1.2 Η ανάπτυξη των τεχνολογικών προϊόντων**

Η κατασκευή τεχνολογικών προϊόντων χαρακτηρίζεται από διάφορες γενικές σχέσεις, οι οποίες και καθορίζουν τα διαφορετικά επίπεδα ανάπτυξης ενός προϊόντος. Οι σχέσεις αυτές αναλύονται παρακάτω.

### Λειτουργικές σχέσεις

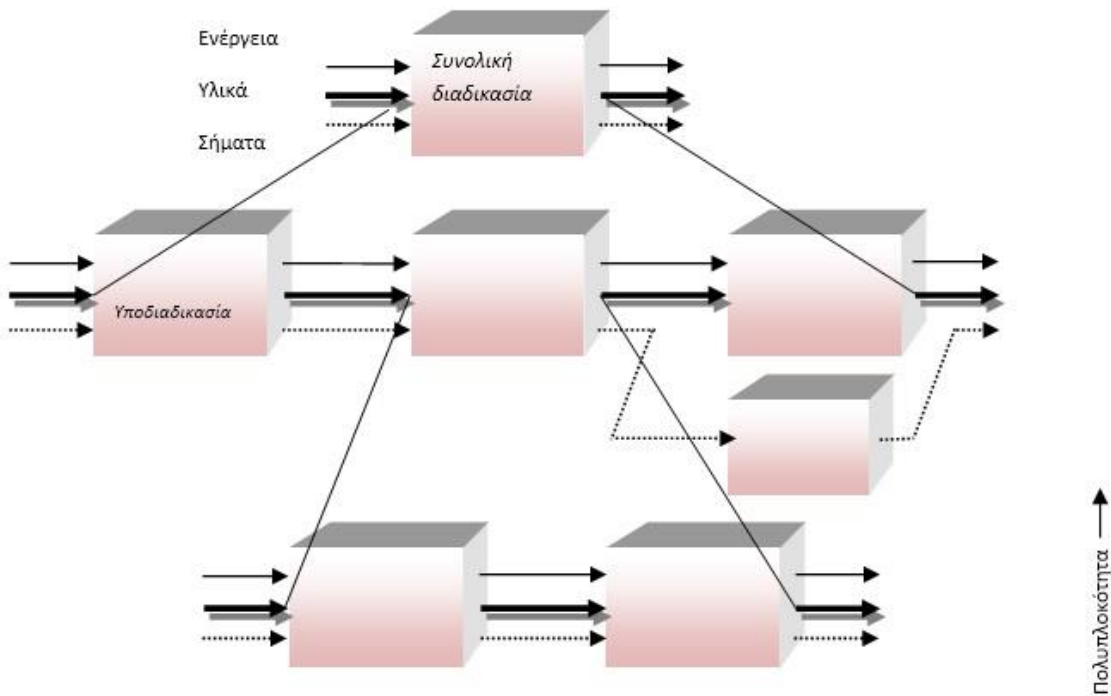
Με τον όρο αυτό, εννοούμε την σχέση μεταξύ του οποιουδήποτε δεδομένου εισαγωγής και δεδομένου εξαγωγής σε ένα σύστημα, με σκοπό να πραγματοποιηθεί ένας στόχος ή μια εργασία.

Στην περίπτωση των τεχνολογικών προϊόντων ή συστημάτων οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου είναι είτε μεταβλητές που αφορούν την ενέργεια, είτε τα υλικά των προϊόντων, είτε μεταβλητές σημάτων, που ουσιαστικά μεταφέρουν την οποιουδήποτε είδους απαραίτητη για το προϊόν πληροφορία.

Η τελική ή οι τελικές λειτουργίες είναι πιο ασαφείς και αφορούν περισσότερο στο πως επηρεάζεται η ανάπτυξη ενός προϊόντος από τον γενικότερο προγραμματισμό και ανάθεση των απαραίτητων εργασιών. Οδηγούν λοιπόν στην ανάπτυξη νέων προϊόντων μέσω των απαιτούμενων σχεδίων και προγράμματος.

Σύμφωνα με το σχήμα 1.5 υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ:

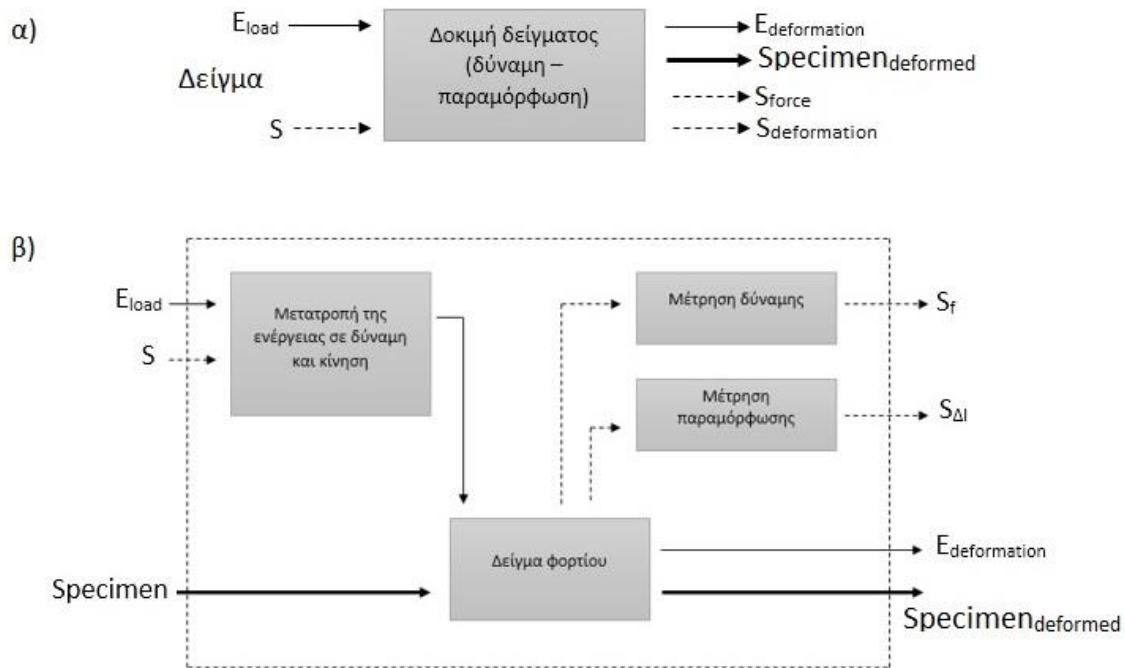
Της συνολικής διαδικασίας, που περιγράφει όλες τις εργασίες που αφορούν ένα προϊόν ή ένα σύστημα το οποίο πρέπει να σχεδιαστεί και τις επιμέρους διαδικασίες στις οποίες υποδιαιρείται η συνολική ώστε να είναι ευκολότερη η επίτευξη της. Ο τρόπος που θα πραγματοποιηθεί η υποδιαίρεση εξαρτάται από το πόσο σύνθετο είναι το εκάστοτε προϊόν, τις γνώσεις που υπάρχουν για την επίλυση του κάθε υποπροβλήματος, καθώς και το εάν υπάρχουν υπολειτουργίες οι οποίες θεωρούνται νέες.



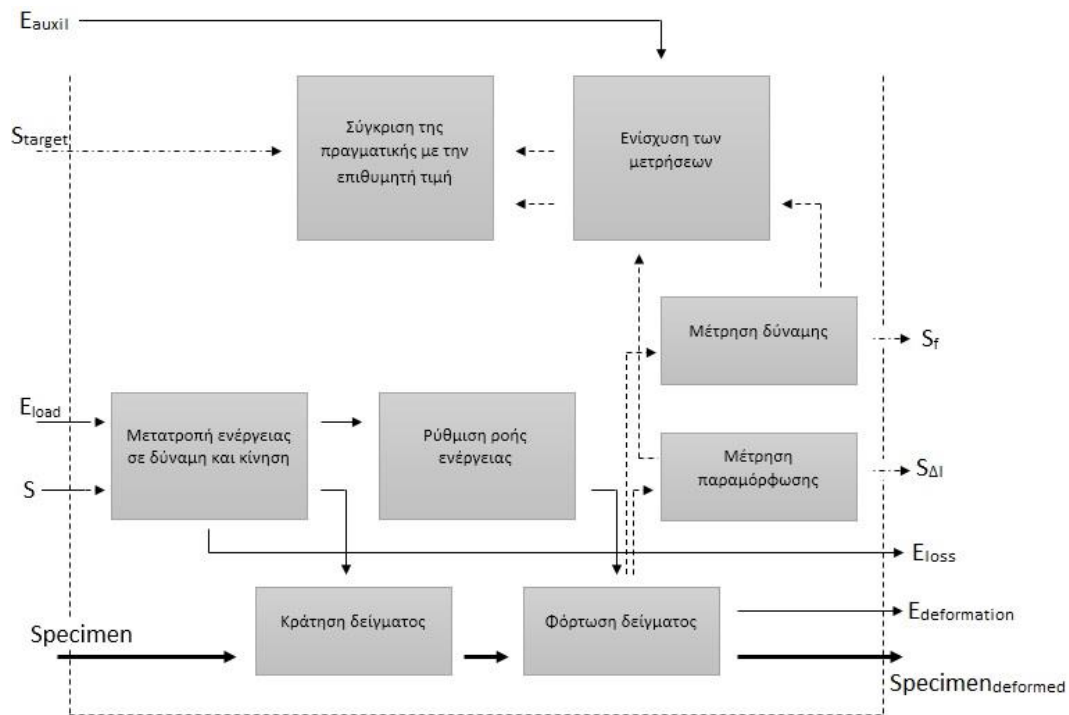
**Σχήμα 1.5** Θέσπιση μιας δομής λειτουργίας διασπώντας την συνολική λειτουργία σε υπολειτουργίες [3]

Όλες οι υπολειτουργίες που έχουν οριστεί, υπόκεινται σε μια δομή, όπου ο μεταξύ τους συσχετισμός καθορίζεται από λογικές ή φυσικές σχέσεις. Στα σχήματα 1.6 και 1.7 φαίνεται η λειτουργική δομή, που μόλις αναφέρθηκε, μιας μηχανής που ελέγχει την ελαστικότητα [3]. Η κύρια λειτουργία της είναι ο προσδιορισμός της πίεσης που ασκείται σε ένα δοκίμιο, καθώς και ο υπολογισμός της παραμόρφωσης που πραγματοποιείται. Η μεταφορά από τα δεδομένα εισόδου στα δεδομένα εξόδου και / ή η επεξεργασία των μεταβλητών που αφορούν την ενέργεια, το υλικό και το ηλεκτρονικό σήμα αναπαρίστανται ως “ όγκος ενέργειας “, “ όγκος υλικού “ και “ όγκος ή ροή σήματος “. Οι διάφοροι όγκοι ή αλλιώς ροές συμβαίνουν ταυτόχρονα, ενώ παράλληλα ένας ή περισσότεροι από αυτούς τους όγκους υπερισχύει / υπερισχύουν των υπολοίπων και είναι αυτός / αυτοί που θα καθορίσει / καθορίσουν το τελικό προϊόν. Η ροή, η οποία και υπερισχύει, χαρακτηρίζεται ως κύρια ροή ή κύριος όγκος. Όλες οι ροές έχουν ως μοναδικό στόχο να την εκπλήρωση του τελικού προϊόντος, που σημαίνει ότι “εργάζονται“ παράλληλα, ανεξάρτητα του ποια είναι η κύρια. Αν υποθέσουμε λοιπόν, ότι σε ένα σύστημα ο “ όγκος υλικού “ είναι αυτός που καθορίζει το προϊόν, ταυτόχρονα ο “ όγκος ενέργειας “ κατευθύνει τη διαδικασία, ενώ η “ ροή σήματος “ υλοποιεί την διαδικασία ελέγχου. Οι δευτερεύουσες ροές συμπληρώνουν την κύρια ροή, λειτουργούν υποστηρικτικά και σχετίζονται έμμεσα με την εκτελεστική διαδικασία του προϊόντος, καθώς δεν είναι άμεση απόρροια των βασικών διαδικασιών

της κατανομής των εργασιών. Η βάση των συμπληρωματικών ροών είναι η εύρεση λύσεων για τις βασικές διαδικασίες.



Σχήμα 1.6 Λειτουργική δομή



Σχήμα 1.7 Λειτουργική δομή



Είναι κατανοητό, ότι δεν υφίσταται ροή υλική ή σήματος χωρίς την ροή ενέργειας, ακόμα και αν η ενέργεια που χρειάζεται είναι πολύ μικρή και μπορεί να είναι εύκολα παραγόμενη. Παρ' όλα αυτά, ροή ενέργειας μπορεί να υφίσταται χωρίς να είναι απαραίτητη υλική ροή (παράδειγμα οι συσκευές μετρήσεων).

### Συγκεκριμένες συναρτήσεις

*Λογικές συναρτήσεις:* Οι δισθενής ή δυαδικές μεταβλητές συχνά παίζουν ρόλο κατά τον σχεδιασμό και την περιγραφή τεχνολογικών συστημάτων ως:

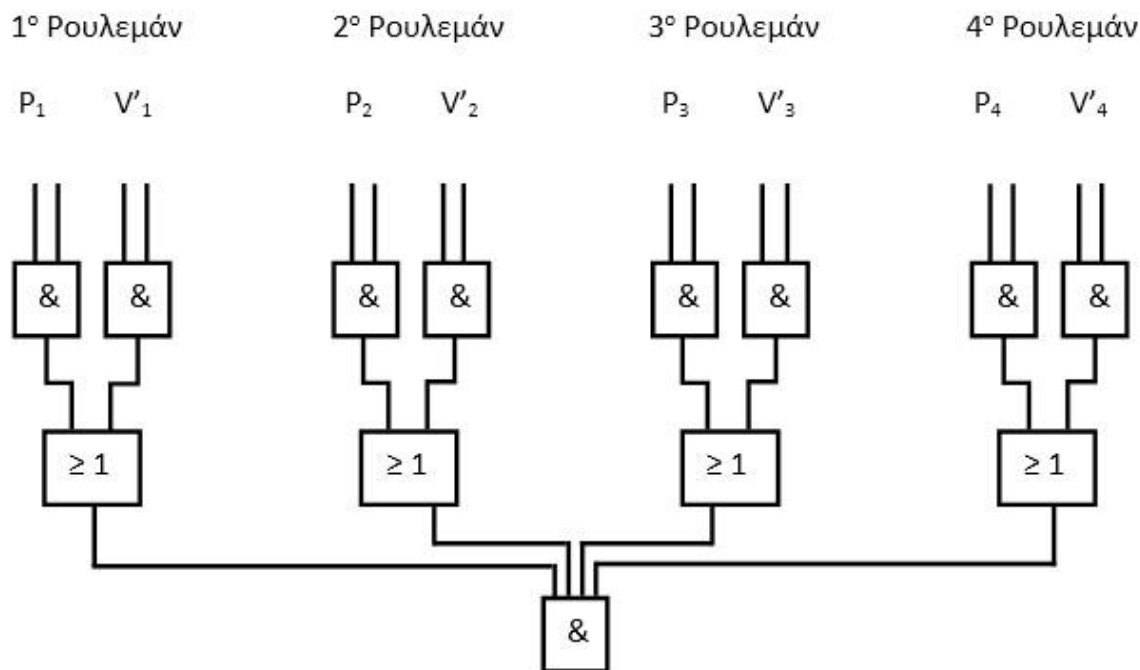
Συνθήκες (πραγματοποιείται – δεν πραγματοποιείται)

Δηλώσεις (αληθές – ψευδές)

Θέσεις διακόπτη (ανοικτό – κλειστό)

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος, που αντιλαμβάνεται τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των δυαδικών μεταβλητών, είναι γνωστός ως λογικός σχεδιασμός. Χρησιμοποιεί μαθηματικές λογικές δηλώσεις, όπως στην άλγεβρα Boole, βάσει των θεμελιωδών τελεστών “και”, “ή”, καθώς και των τελεστών άρνησης (and, or, not) [3]. Χρησιμοποιώντας συνδυασμούς της άλγεβρας Boole, μπορούν να σχεδιαστούν πολύπλοκα κυκλώματα, που αυξάνουν την ασφάλεια του ελέγχου και των συστημάτων αναφοράς.

Στο σχήμα 1.8 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από ένα σύστημα παρακολούθησης λίπανσης ρουλεμάν, όπου η ονομαστικές και οι πραγματικές τιμές, η παρακολούθηση πίεσης και ροής συνδέονται με τον τελεστή “και”. Ταυτόχρονα τα σήματα εξόδου παρακολούθηση πίεσης και ροής συνδέονται με τον τελεστή “ή”, ενώ όλα τα ρουλεμάν συνδέονται με τελεστές “και” ώστε να παρακολουθούνται αποτελεσματικά και να είναι έτοιμη η μηχανή.

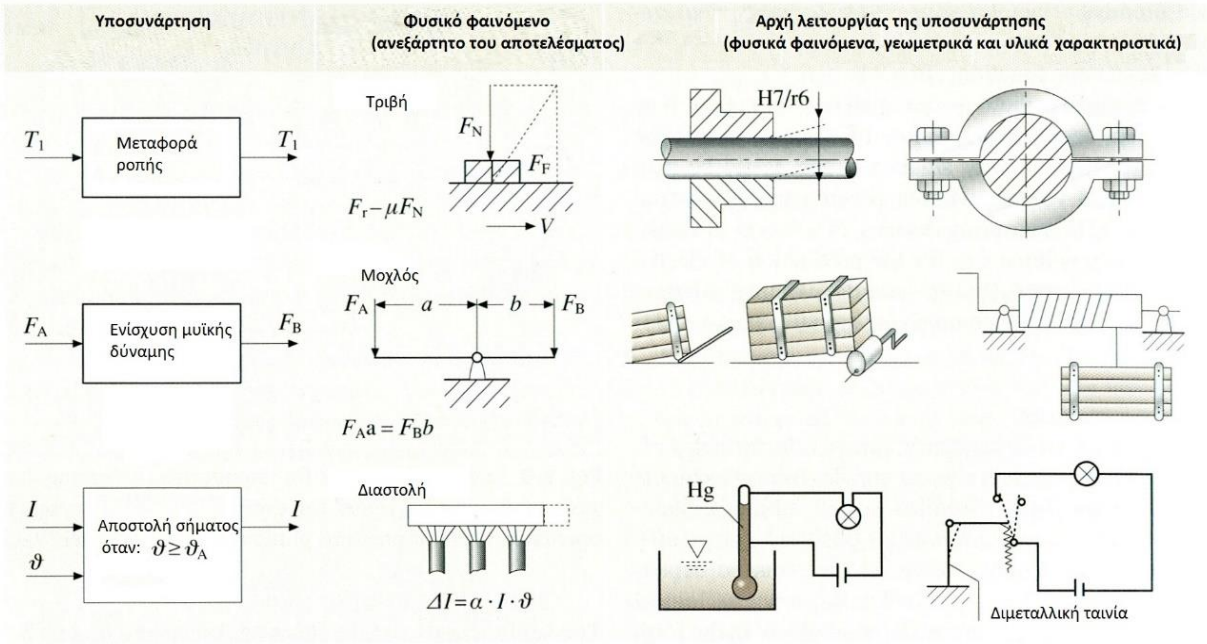


**Σχήμα 1.8** Λογικές συναρτήσεις για την παρακολούθηση ενός συστήματος λίπανσης ρουλεμάν [3]

*Γενικά έγκυρες συναρτήσεις:* Αυτού του είδους οι συναρτήσεις επαναλαμβάνονται συχνά στα τεχνολογικά προϊόντα, όπου λειτουργούν είτε ως βάση για την δημιουργία παραλλαγών όσον αφορά την συνολική δομή μιας διαδικασίας, είτε ως βοηθητικές στην ανάλυση υπαρχόντων προϊόντων σύμφωνα με τις λειτουργικές τους σχέσεις. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι αυτού του είδους η προσέγγιση και η δομή των εργασιών είναι αρκετά ασαφής. Για τον λόγο αυτό, τέτοιου είδους συναρτήσεις συνήθως χρησιμοποιούνται μόνο κατά την κατασκευή νέων σχεδίων.

#### Σχέσεις αιτίου – αποτελέσματος

Οι υποδιαδικασίες και η λειτουργική δομή της συνολικής διαδικασίας ενός προϊόντος πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με μια σχέση αιτίου – αποτελέσματος. Η σχέση αυτή προκύπτει από “ενεργές αρχές”, ώστε να ικανοποιούνται οι υποδιαδικασίες, και από μια “ενεργή δομή”, ώστε να ικανοποιείται η λειτουργική δομή. Η “ενεργή δομή” προκύπτει από έναν συνδυασμό “ενεργών αρχών” και καθορίζεται από φυσικά, χημικά ή βιολογικά φαινόμενα ή από τον συνδυασμό μερικών από αυτά, καθώς και από την χρήση γεωμετρικών και υλικών χαρακτηριστικών [3]. Στον τομέα της μηχανικής όμως, συνήθως επικρατούν τα φυσικά φαινόμενα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.9.



**Σχήμα 1.9** Εκπλήρωση υποδιαδικασιών μέσω λειτουργικών βασικών αρχών, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί περαιτέρω με τη βοήθεια φυσικών, γεωμετρικών και υλικών χαρακτηριστικών [9.3]

Φυσικά, χημικά και βιολογικά φαινόμενα

Στην περίπτωση που ένα προϊόν παράγεται από ένα σύστημα, ένα σύνολο μηχανών ή μια βιομηχανία, η βάση για την λειτουργική διαδικασία είναι κυρίως τα φυσικά φαινόμενα, αλλά και τα χημικά και τα βιολογικά. Τα φαινόμενα αυτά υπόκεινται σε φυσικούς νόμους, που επηρεάζουν τις εμπλεκόμενες μεταβλητές ακόμα και ποσοτικά. Για παράδειγμα, στο σύστημα σύμπλεξης του σχήματος 1.12 η υποδιαδικασία μετατροπής της δύναμης  $F_S$  σε δύναμη  $F_N$  γίνεται αντιληπτή από το φυσικό φαινόμενο της μόχλευσης και η υποσυνάρτηση της παραγόμενης εφαπτόμενης δύναμης  $F_U$  γίνεται αντιληπτή από το φαινόμενο της τριβής. Οι Rodenacker [5], Koller [6] και Roth [2] έχουν δώσει ιδιαίτερη βάση στα φυσικά φαινόμενα και την επίδρασή τους. Η ικανοποίηση μια υποδιαδικασίας προκύπτει συνήθως από τον συνδυασμό περισσότερων του ενός φαινομένου, όπως υδραυλικά / πνευματικά φαινόμενα ή συναρτήσεις μετατροπής δυνάμεων, μέσω του φαινομένου μόχλευσης και του ηλεκτρομαγνητικού φαινομένου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτουν πολλαπλές επιλογές όσον αφορά την κατανομή εργασιών και να προκύπτουν διαφορετικά προϊόντα, διαφορετικών χαρακτηριστικών.

### Γεωμετρικά και υλικά χαρακτηριστικά

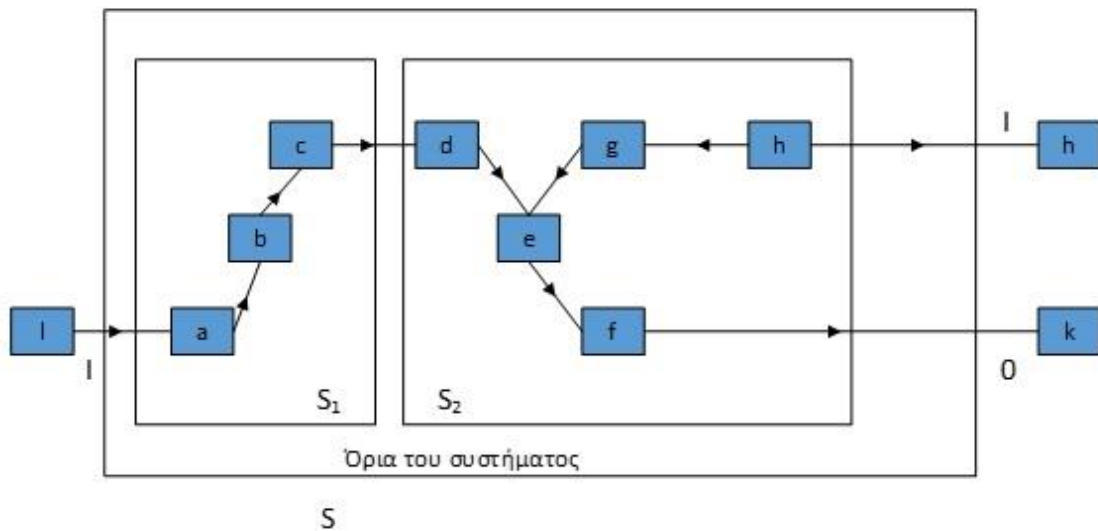
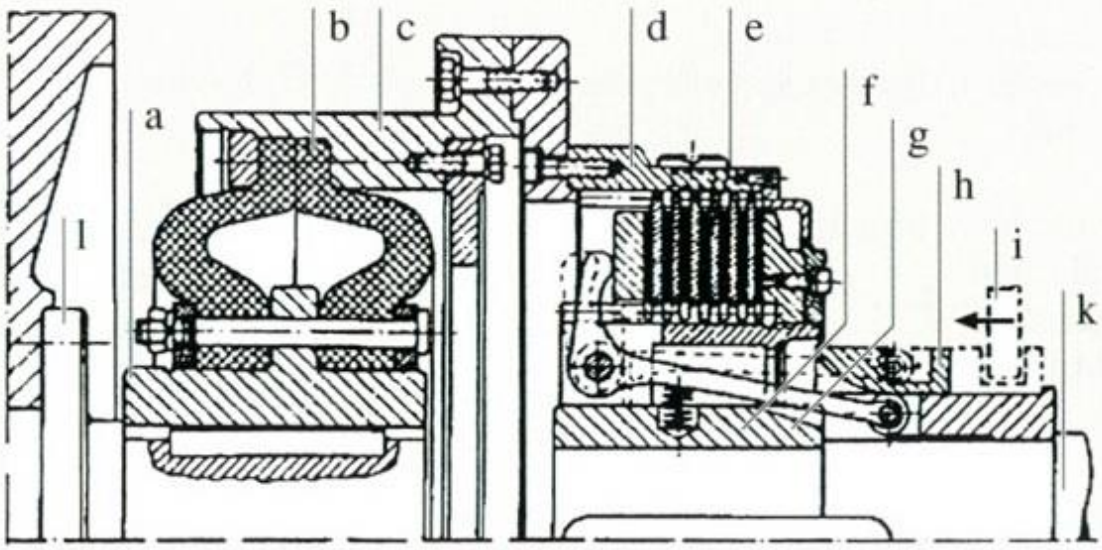
Η φάση, στην οποία ένα φαινόμενο ή ο συνδυασμών πολλών ενεργοποιούνται, ονομάζεται θέση δράσης. Στην περίπτωση που εξετάζουμε τώρα, η ικανοποίηση μιας λειτουργίας εξαναγκάζεται από την εφαρμογή ενός φαινομένου μέσω της δραστικής γεωμετρίας. Με την δραστική γεωμετρία, οι δραστικές ιδιότητες των υλικών θα πρέπει να είναι συγκεκριμένες, ώστε να είναι δυνατή η αναγνώριση των δραστικών μεταξύ τους σχέσεων. Μόνο ο συνδυασμός των φαινομένων και των γεωμετρικών και υλικών χαρακτηριστικών δύναται να δώσουν τις βασικές αρχές της λύσης που αναζητείται. Η σχέση μεταξύ των φαινομένων και των γεωμετρικών και υλικών χαρακτηριστικών ονομάζεται δραστική αρχή και ο συνδυασμός πολλών δραστικών αρχών έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση της βασικής λύσης, η οποία με τη σειρά της ονομάζεται άρχουσα λύση [7].

### Δομικές σχέσεις

Σε αυτό το στάδιο καταλήγουμε σε μια αποτελεσματική δομή, η οποία αποτελείται από ξεχωριστά αντικείμενα, μονάδες και συνδέσεις και τα οποία είναι ειδικά καθορισμένα σύμφωνα με τις ανάγκες σχεδιασμού, κατασκευής και μεταφοράς. Είναι αυτονόητο ότι σε όλη αυτή τη διαδικασία παίζουν βασικό ρόλο νόμοι που αφορούν την αντοχή των υλικών, καθώς και νόμοι της θερμοδυναμικής, της μηχανικής των ρευστών και κανόνες που διέπουν τις κατασκευές [8].

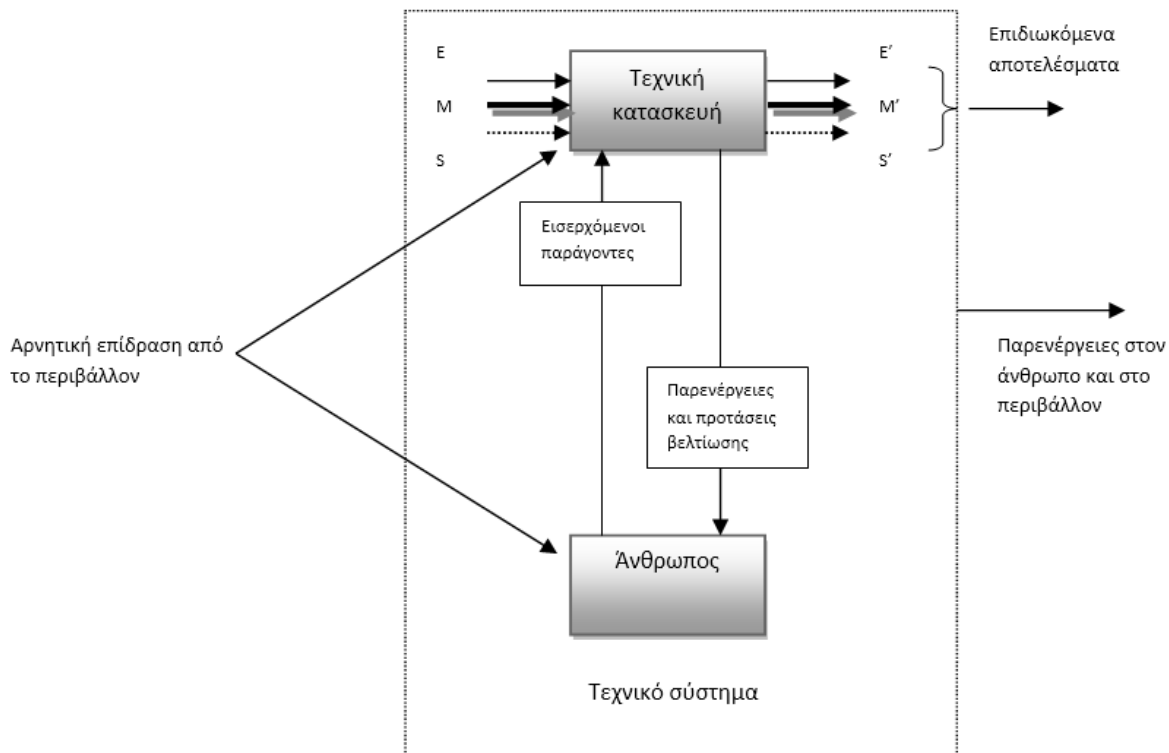
### Σχέσεις συστημάτων

Τα τεχνολογικά προϊόντα είναι μέρη ανώτερων συστημάτων, τα οποία σχηματίζονται από τον άνθρωπο, από άλλα τεχνικά συστήματα και από το περιβάλλον. Την ίδια στιγμή, ένα σύστημα καθορίζεται από τα στοιχεία αλλά και τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται. Αυτά συνδέονται μεταξύ τους και με το περιβάλλον στο οποίο ανήκουν, μέσω των μεταβλητών ενέργειας, υλικών και σημάτων. Ένα σύστημα ή ένα προϊόν αρχικά χαρακτηρίζεται από τη δική του δομή. Στο σχήμα 1.11 παρουσιάζεται η δομή και τα υποσυστήματα ενός συστήματος.



**Σχήμα 1.10** Σύζευξη συστήματος [3]

Ένα σύστημα όμως επηρεάζεται από το περιβάλλον του αλλά και από την επίδραση των ενεργειών του ανθρώπου ως προς αυτό, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.11, συνεπώς όλα τα φαινόμενα πρέπει να εξετάζονται λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ τους.



**Σχήμα 1.11** Οι αλληλεξαρτήσεις ενός συστήματος, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου [3]

### Γενικοί στόχοι των τεχνολογικών προϊόντων

Οι στόχοι και οι περιορισμοί ενός προϊόντος είναι οι πρώτες απαιτήσεις και προϋποθέσεις στην λίστα των προαπαιτούμενων συνθηκών για την ανάπτυξη ενός προϊόντος. Όμως, πέρα από αυτές τις απαιτήσεις, υπάρχουν και γενικοί στόχοι, οι οποίοι, παρά το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη φάση της διαδικασίας έχουν μικρότερη βαρύτητα, έχουν ισχύ στην συνολική διαδικασία. Οι στόχοι αυτοί λειτουργούν ως κατευθυντήριες γραμμές στην διαμόρφωση των προαπαιτούμενων συνθηκών του προϊόντος, αλλά και στην επιλογή των λύσεων και των βημάτων, που θα ακολουθηθούν για την υλοποίηση των διαφόρων σταδίων της παραγωγής. Ο πίνακας 1.1 περιέχει μια λίστα με τέτοιου είδους στόχους, οι οποίοι είναι προσανατολισμένοι στα διάφορα στάδια ζωής του κάθε προϊόντος.

### Εφαρμογές

Οι γενικές σχέσεις, οι οποίες καθορίζουν την κατασκευή των τεχνολογικών προϊόντων, είναι η βάση για διάφορες εφαρμογές. Στην ανάπτυξη ενός προϊόντος, ενεργοποιούν μια κλιμακωτή προσέγγιση, κατά την οποία αρχικά επιζητούνται άρχουσες λύσεις για τις καθορισμένες διαδικασίες. Οι λύσεις αυτές στη συνέχεια υλοποιούνται, ώστε να τεθούν οι σχεδιαστικές και υλικές προδιαγραφές. Στο κάθε

στάδιο, μια πληθώρα λύσεων μπορεί να οριστεί ως βάση για την βελτιστοποίηση της λύσης, μέσω διαφορετικών χαρακτηριστικών των υπαρχόντων λύσεων της αντίστοιχης σχέσης.

Ένας άλλος σημαντικός τομέας των εφαρμογών είναι η ανάλυση ενός υπάρχοντος προϊόντος με σκοπό να γίνει κάποια βελτίωση, περαιτέρω εξέλιξη ή κάποια προσαρμογή σε συγκεκριμένες συνθήκες [9]. Για τέτοιου είδους αναλύσεις τα διαδικαστικά βήματα και χαρακτηριστικά είναι απαραίτητα και προκύπτουν από τις γενικές σχέσεις. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η ανάλυση, η οποία προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει το λειτουργικό κόστος των προϊόντων [10]. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των προϊόντων, τα οποία καλούνται και παράμετροι εξαρτημάτων [11, 12], είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο των κατασκευαστικών καταλόγων και των βάσεων δεδομένων, όπως επίσης και την παροχή χρήσιμης βοήθειας κατά την αναζήτηση παρόμοιων λύσεων και πληροφοριών στα αποθηκευμένα δεδομένα [13]. Οι γενικές σχέσεις και στόχοι βασίζονται επίσης στην προέλευση των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του κάθε προϊόντος [14].

### **1.3 Μέθοδοι κατασκευής**

#### Γενικές μέθοδοι επίλυσης

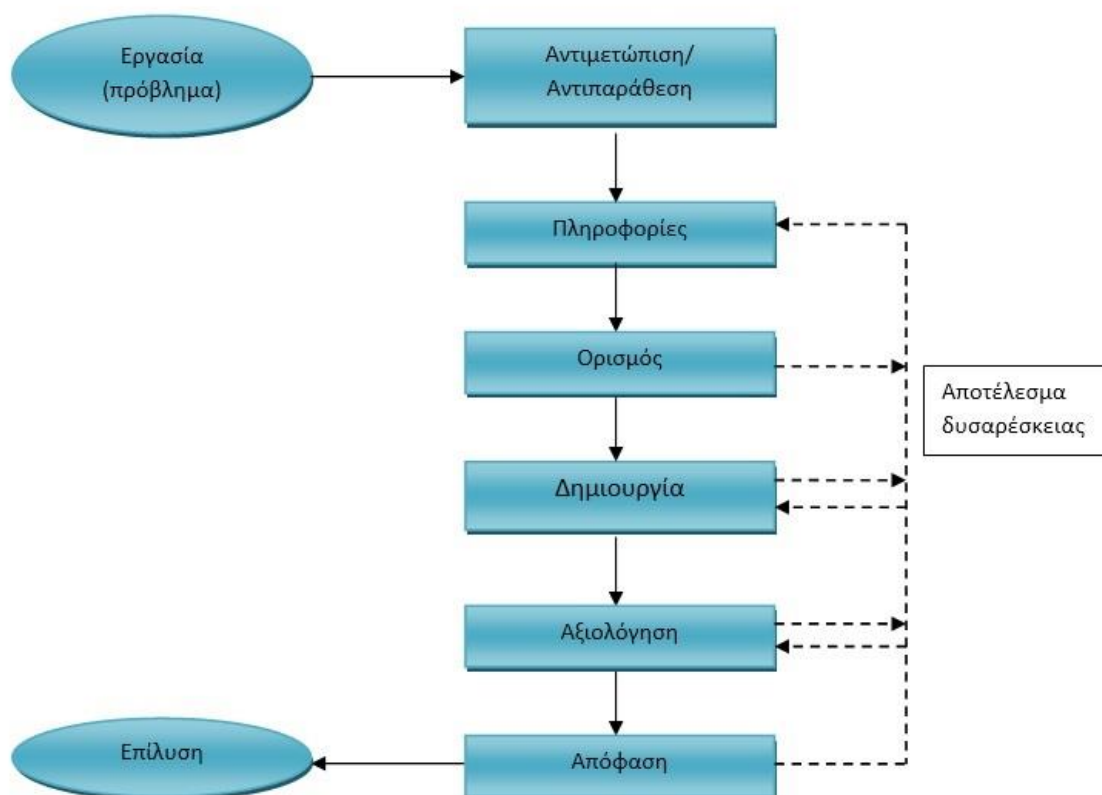
Ανεξάρτητα από τον βαθμό υλοποίησης κατά την αναζήτηση μιας λύσης, πολλές γενικές μέθοδοι προκύπτουν οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεθοδολογία επίλυσης [15-17]. Οι απαιτήσεις για μια μεθοδική προσέγγιση είναι:

- Καθορισμός των στόχων
- Προσδιορισμός των συνθηκών
- Επίλυση προκαταλήψεων
- Αναζήτηση μεταβλητών
- Γενικότερη κριτική και
- Λήψη αποφάσεων

#### Γενική Διαδικασία Επίλυσης

Η επίλυση των διαδικασιών περιλαμβάνει την ανάλυση και την επακόλουθη σύνθεση. Αυτό συμβαίνει σε στάδια εναλλακτικών εργασιών και αποφάσεων. Ταυτόχρονα, είναι σύνηθες να μεταβαίνουμε από ποσοτικά σε ποιοτικά βήματα, όπως επίσης και από θεωρητικά σε πρακτικά

στάδια. Ο διαχωρισμός μεταξύ των εργασιών και των σταδίων αποφάσεων διασφαλίζει την απαραίτητη ομοιομορφία μεταξύ των στόχων, του σχεδιασμού και της εφαρμογής και διασφαλίζει την διατήρηση του συνολικού ελέγχου. Σύμφωνα με τις παραπομπές [18, 19], το σχήμα 1.12 παρουσιάζει ένα βασικό μοτίβο, που ακολουθείται κατά την γενική διαδικασία επίλυσης μιας εργασίας. Κάθε εργασία που τίθεται, αποκτά επιπλέον πληροφορίες από τον ορισμό των διάφορων βασικών προβλημάτων που την αφορούν, ορίζοντας προτάσεις για πιθανές γενικές λύσεις. Η μετέπειτα φάση περιλαμβάνει την εύρεση λύσεων, όπου γίνεται και αξιολόγηση, ώστε να επιλεγεί η καλύτερη δυνατή λύση. Στην περίπτωση που κάποιο από τα βήματα δώσει μη ικανοποιητικά αποτελέσματα, πρέπει να επαναληφθεί.



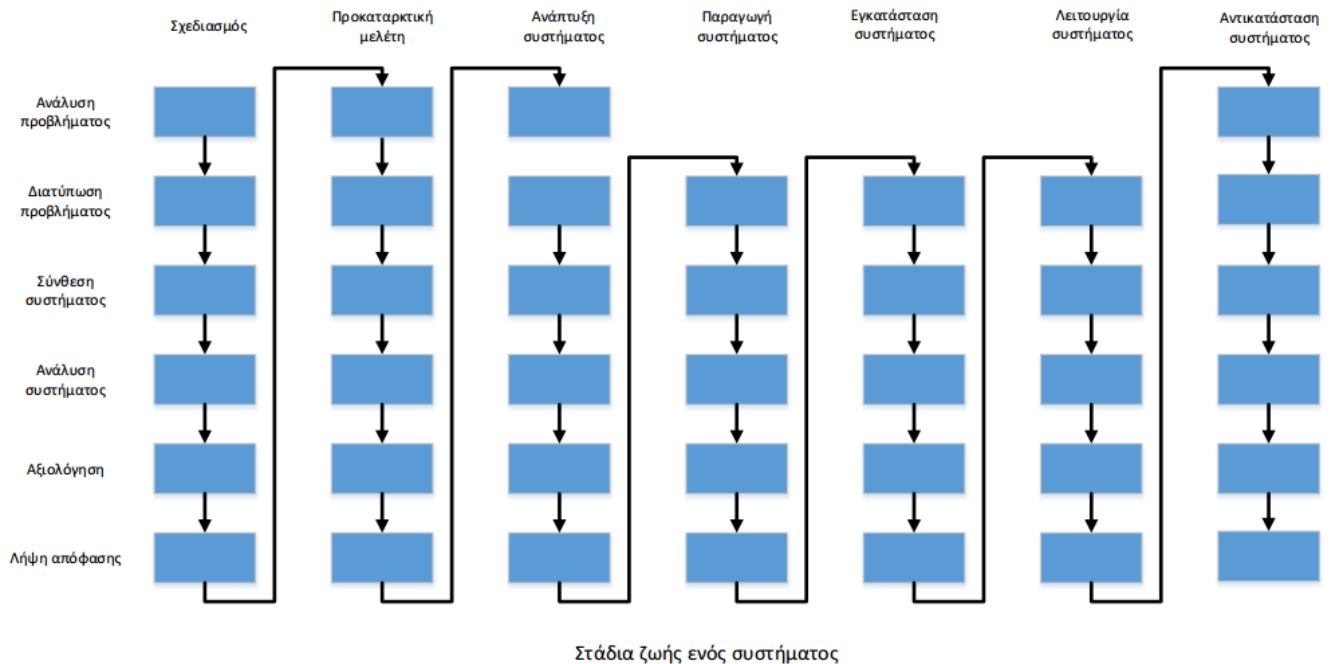
**Σχήμα 1.12** Γενική διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος [3]

### Συστηματική προσέγγιση

Η τεχνολογία συστημάτων, ως μια διατμηματική επιστήμη, έχει αναπτύξει μεθόδους ανάλυσης, οργάνωσης, επιλογής και βελτιστοποίησης πολύπλοκων συστημάτων [20]. Βασιζόμενο στον ορισμό ενός συστήματος, εισάγεται ένα μοντέλο διαδικασιών, το οποίο χρησιμοποιείται για τα (ή κατά τα)



διάφορα στάδια ζωής ενός συστήματος. Στο σχήμα 1.13 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα στάδια εργασιών είναι πρακτικά όμοια με αυτά του σχήματος 1.12 και ότι ένα σύστημα οδηγείται από το θεωρητικό στο πρακτικό στάδιο.



**Σχήμα 1.13** Μοντέλο προσέγγισης ενός συστήματος [3]

Το γενικότερο πρόβλημα και η δομή του συστήματος

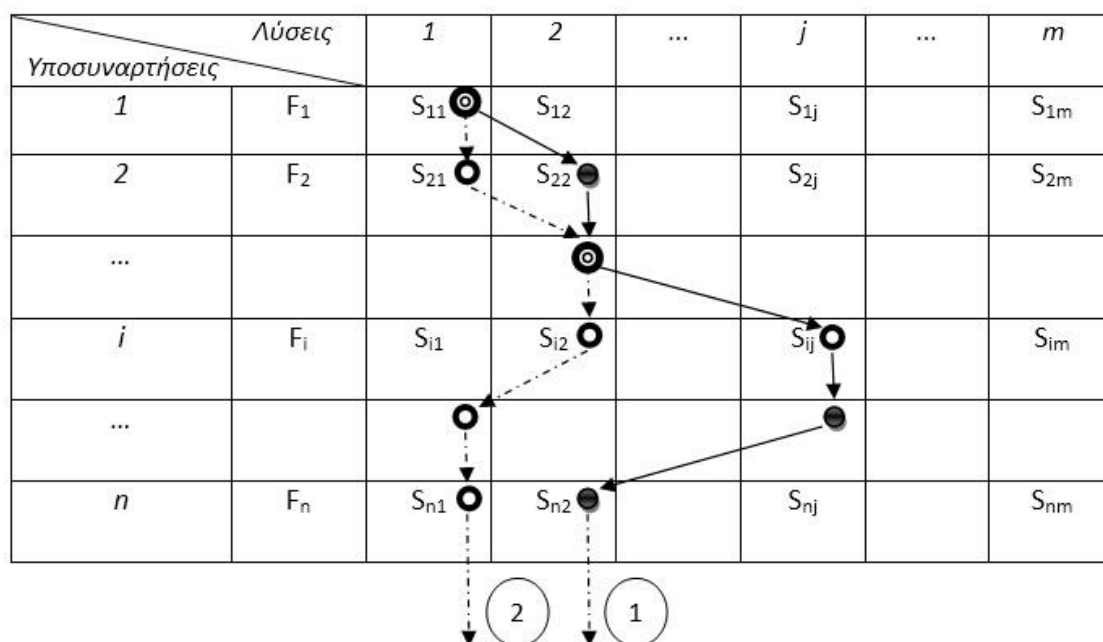
Νέες και σύνθετες εργασίες είναι συνήθως ευκολότερες να επιλυθούν αν το συνολικό πρόβλημα έχει αρχικά διαιρεθεί σε υποπροβλήματα και ξεχωριστά προβλήματα. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να βρεθούν υπολύσεις ή λύσεις για τα ξεχωριστά προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί [21].

Η μεθοδολογική βάση για την προσέγγιση αυτή είναι η αποδόμηση συστημάτων σε υποσυστήματα και στοιχεία συστημάτων, ώστε να είναι απλούστερη η αναγνώριση των σχέσεων που υπάρχουν μεταξύ των στοιχείων ενός συστήματος, καθώς και μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντός του. Λαμβάνοντας υπόψη τη χρησιμότητα του συστήματος καθορίζεται και ο βαθμός στον οποίο θα διαιρεθεί. Επίσης, παίζει βασικό ρόλο αν το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι νέο, καθώς και οι γνώσεις του μελετητή / μηχανικού.

Η δομή αυτή ενθαρρύνει την χρησιμοποίηση γνωστών και αποδεδειγμένων υπολύσεων, την αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων, την συστηματική χρήση καταλόγων και βάσεων δεδομένων

λύσεων, καθώς και την αναγνώριση των σχέσεων που υπάρχουν σε μια εργασία, ώστε να μπορεί να διαιρεθεί σε κατάλληλες υποεργασίες.

Ενώ ο διαχωρισμός των προβλημάτων σε υποπροβλήματα καθιστά ευκολότερη την εύρεση λύσεων, η επακόλουθη διαδικασία, όπου επανασυνδέονται τα υποπροβλήματα, δημιουργεί δυσκολίες, που αφορούν την συμβατότητα μεταξύ τους. Ο συνδυασμός των σχεδίων περιγράφεται από τον Zwicky [22].



**Σχήμα 1.14** Συνδυασμός βασικών λύσεων

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, όπου ο διαχωρισμός του βασικού προβλήματος κατά την έναρξη της διαδικασίας δεν είναι βοηθητικός, καθώς υπάρχουν διαδικασίες που απαιτούν μια συνολικότερη προσέγγιση κατά την αρχική ανάπτυξή τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι προϊόντα, των οποίων ο βιομηχανικός σχεδιασμός έχει ιδιαίτερη σημασία (αυτοκίνητα, οικιακές συσκευές). Στην περίπτωση αυτή η συνολικότερη προσέγγιση, συμπεριλαμβανομένων των εργονομικών χαρακτηριστικών του προϊόντος, είναι μεγαλύτερης σημασίας από τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες του προϊόντος [23]. Ο βιομηχανικός σχεδιασμός και η μεθοδολογική αποδόμηση δεν έρχονται σε αντίθεση. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μεθοδολογική αποδόμηση και η εύρεση λύσεων εφαρμόζεται μετά από την υιοθέτηση ενός προσχεδίου για την συνολική εμφάνιση του προϊόντος.

### Γενική υποστήριξη

Η βιβλιογραφική έρευνα σε βιβλία, εφημερίδες, πατέντες και αρχεία εταιριών παρέχει μια σύνοψη της επικρατούσας τάσης της τέχνης και των ανταγωνιστών και προσφέρει στον σχεδιαστή νέες ιδέες-λύσεις.

Μέσω της ανάλυσης των φυσικών συστημάτων είναι δυνατόν να βρούμε φυσικές φόρμες, δομές, οργανισμούς και διαδικασίες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια ως βασικές αρχές για λύσεις σε τεχνικά θέματα. Ο σχεδιαστής μπορεί να εφοδιαστεί με πολλές ιδέες - προτάσεις προερχόμενες από το φυσικό περιβάλλον.

Η ανάλυση γνωστών τεχνικών συστημάτων προσφέρει συχνά αξιόπιστες λύσεις σε νέα προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίζονται, επιτυγχάνοντας παράλληλα και την περαιτέρω βελτίωση τους ή την εύρεση εναλλακτικών λύσεων [24-27].

Η αναλογική εξέταση δίνει την δυνατότητα να μετατραπεί ένα πρόβλημα σε ένα ανάλογο πρόβλημα, το οποίο προσφέρει βαθύτερη εκτίμηση των χαρακτηριστικών του προβλήματος και διευκολύνει την προσομοίωση ή τον σχεδιασμό του [3].

Για να γίνει δυνατή η εκ βάθους αναγνώριση νέων χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την λύση και να επιτευχθεί ανάπτυξη, οι σχεδιαστές χρησιμοποιούν για τα συστήματα και τα πειραματικά τους μοντέλα παρόμοια μηχανικά συστήματα, τα οποία υπάρχουν ήδη. Οι ευρετικές μέθοδοι αυξάνουν την δημιουργικότητα στην αναζήτηση λύσεων, κυρίως σε συμβατικές προσεγγίσεις που ακολουθούνται από ανθρώπους. Οι διαδικασίες αυτές είναι γνωστές και ως δημιουργική τεχνολογία και χρησιμοποιούνται ως εργαλείο μεθοδολογίας για εύρεση λύσεων και ως εισαγωγή για την μελέτη και την εργασία πάνω σε μια πιο δομημένη και αποτελεσματική μορφή [17].

### Μέθοδοι σύλληψης

Οι παρακάτω μέθοδοι είναι ιδανικές για την εύρεση βασικών λύσεων, κατά την διαδικασία σύλληψης μιας θεμελιώδους αρχής λύσης ή μιας γενικότερης λύσης που αφορά τον διαμοιρασμό εργασιών.

### Διαισθητικές μέθοδοι

Οι διαισθητικές μέθοδοι αξιοποιούν την δυναμική που αναπτύσσεται κατά την συνεργασία μεταξύ των μελετητών. Η διαίσθηση είναι αντιληπτή ως μια διαδικασία βασισμένη καθαρά στην φαντασία,

παράγοντας ιδέες και λύσεις, είτε από το συνειδητό είτε από το υποσυνείδητο, κάτι που ερμηνεύεται ως “καθαρή δημιουργικότητα” [28].

Η συνεργασία, η συζήτηση και ο κατιδεασμός (brainstorming) μεταξύ των μελετητών έχει ως βάση την ανάπτυξη ιδεών, χωρίς να ασκείται κριτική και αξιολόγηση, καθώς η βασική αρχή για την διαδικασία αυτή είναι “προτεραιότητα στην ποσότητα και μετά στην ποιότητα”.

Με την συνεκτική μέθοδο (synetics), κατά τη διάρκεια μιας συνάντησης, χρησιμοποιούνται προτάσεις από μη τεχνικούς τομείς ώστε να γεννηθούν νέες ιδέες.

Η μέθοδος 635 (μέθοδος brain writing) είναι μια μέθοδος παρεμφερής με τον κατιδεασμό, όπου έξι συμμετέχοντες εκφράζουν τρεις λύσεις γραπτώς, σε πέντε γύρους. Οι προτάσεις του κάθε προηγούμενου γύρου γίνονται γνωστές σε όλους τους συμμετέχοντες, και με τον τρόπο αυτό αυξάνεται σε κάθε στάδιο το επίπεδο της πληροφόρησης. Η μέθοδος αυτή (gallery method) συνδυάζει την ατομική εργασία του κάθε μέλους με την συνολική εργασία όλης της ομάδας, με τέτοιο τρόπο, ώστε το αποτέλεσμα να είναι ένα είδος συλλογής.

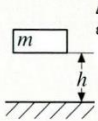
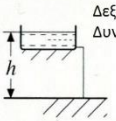
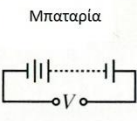
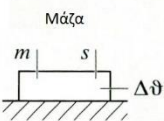
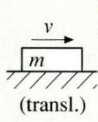
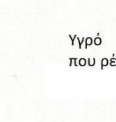
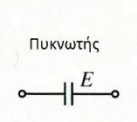
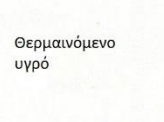
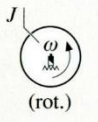
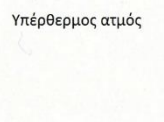
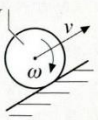


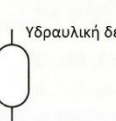
Μέσω της συζήτησης και εξέτασης των παραπάνω ιδεών, λαμβάνοντας υπόψη και την συνάφεια, άλλες ιδέες ή λύσεις προκύπτουν, οι οποίες εξετάζονται από το κάθε μέλος της ομάδας ξεχωριστά. Η αξιολόγηση και επιλογή γίνεται τελικά από όλη την ομάδα.

#### Παρεκβατικές/ συλλογιστικές μέθοδοι

Αυτού του είδους οι μέθοδοι αναζητούν συνειδητά λύσεις μέσω βαθμιαίων και εμπειριστατωμένων διαδικασιών [28].

Η συστηματική μελέτη των φυσικών φαινομένων προέρχεται από μια γνωστή φυσική σχέση, όπου πολλές φυσικές μεταβλητές προκύπτουν από διαφορετικές λύσεις, αναλύοντας την σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης και μιας ανεξάρτητης μεταβλητής, διατηρώντας όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές σταθερές. Άλλη μια προσέγγιση πηγάζει από την διαίρεση γνωστών φυσικών φαινομένων σε μεμονωμένα φαινόμενα και την μελέτη της επίδρασή τους [5]. Η συστηματική έρευνα με τη βοήθεια των συστημάτων τάξης (order schemes - για παράδειγμα ένας πίνακας δύο διαστάσεων) θεωρεί ότι ένα σύστημα τάξης ενεργοποιεί την έρευνα για άλλες λύσεις, σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, εκτός των χαρακτηριστικών των βασικών λύσεων. Ο σχεδιαστής σύντομα καταλήγει σε προτεινόμενες λύσεις, χρησιμοποιώντας καταλόγους δομών (construction catalogues) ως “πηγή” για γνωστές και αξιόπιστες λύσεις διαφόρων συγκεκριμένων και σύνθετων επιπέδων, οι οποίες συχνά χρήζουν

προσαρμογής ή βελτίωσης [2]. Το σημαντικό σε αυτή τη διαδικασία είναι η κατανομή των επιλεγμένων χαρακτηριστικών του καταλόγου που έχει επιλεγθεί, ώστε να είναι δυνατό να αναγνωρισθεί η καταλληλότητα μιας λύσης στην υλοποίηση της απαραίτητης διαδικασίας (σχήμα 1.15). Οι κατάλογοι και οι βάσεις δεδομένων είναι επίσης σημαντικοί στην διαδικασία ανάπτυξης του προσχέδιου του εκάστοτε προϊόντος.

Τύποι Ενέργειας	Μηχανική	Υδραυλική	Ηλεκτρική	Θερμική
1	 <p>Δυναμική ενέργεια</p>	 <p>Δεξαμενή υγρού Δυναμική ενέργεια</p>	 <p>Μπαταρία</p>	 <p>Μάζα</p>
2	 <p>Κινούμενη μάζα (transl.)</p>	 <p>Υγρό που ρέει</p>	 <p>Πυκνωτής που ρέει</p>	 <p>Θερμαινόμενο υγρό</p>
3	 <p>Σφόνδυλος (rot.)</p>			 <p>Υπέρθερος ατμός</p>
4	 <p>Τροχός σε κεκλιμένο επίπεδο (rot. + transl. + pot.)</p>			
5	 <p>Μεταλλικό ελατήριο</p>	 <p>Συμπίεση υγρού και αερίου <math>\Delta p : \Delta V</math></p>		
6		 <p>Υδραυλική δεξαμενή</p>		

**Σχήμα 1.15** Διαφορετικές αρχές λειτουργίας οι οποίες ικανοποιούν την συνάρτηση αποθήκευσης ενέργειας

### Μέθοδοι επιλογής και αξιολόγησης

Σε κάθε στάδιο της ανάπτυξης και της κατασκευής, οι μέθοδοι επιλογής χρησιμεύουν στο να αποκτηθεί πρόσβαση και να επιλεγθούν μεταβλητές, με στόχο την αναγνώριση τους και την περαιτέρω μελέτη τους, σε περίπτωση που είναι κατάλληλες. Αναλόγως το επίπεδο της γνώσης, που αφορά τα χαρακτηριστικά μιας λύσης που εξετάζεται, χρησιμοποιούνται διαδικασίες για να παρθεί

μια δύσκολη ή καλύτερη απόφαση. Μια δύσκολη απόφαση χαρακτηρίζεται από τις εργασίες που απορρίπτει (-) και τις διαδικασίες που επιλέγει (+). Με τη βοήθεια μιας λίστας επιλογής (σχήμα 1.16), οι αρχικές ακατάλληλες λύσεις είναι δυνατόν να απορριφθούν.

Εισαγωγή μεταβλητής λύσης (Sv):		Απόφαση							
		Μεταβλητές λύσεων αξιολογούμενες από κριτήρια επιλογής (Selection Criteria)							
		(+) Ναι						(+) Ακολουθούμενη λύση	
		(-) Όχι						(-) Εξάλειψη λύσης	
		(?) Έλλειψη πληροφόρησης						(?) Συλλογή πληροφοριών - Επανεξέταση λύσης	
		(!) Έλεγχος απαιτούμενων προϋποθέσεων						(!) Έλεγχος απαιτούμενων προϋποθέσεων για αλλαγές	
		Διαβεβαίωση συμβατότητας							
		Εκπλήρωση των απαιτούμενων προϋποθέσεων							
		Πραγματοποίηση αρχών							
		Εντός επιτρεπτού κόστους							
		Ενσωμάτωση μέτρων ασφαλείας							
		Προτιμώμενο από την εταιρία σχεδιασμού							
		Επαρκείς πληροφορίες							
Sv		A	B	C	D	E	F	G	Παρατηρήσεις (ενδείξεις, αιτίες)
1	1	+	+	+	?	+			Αριθμός σημείων μέτρησης
2	2	!	-			!			Αποθήκευση μάζας
3	3	-				-			Εκπομπή ακτινοβολίας
4	4	+	+	+	+	+	(+)		Περαιτέρω ανάπτυξη υπάρχουσων λύσεων
5	5	+	+	+	+	+			
6	6	-				-			Μη-μεταφορά ροής
7	7	!	+	+	+	!			
8	8	+	+	+	+	+			
9									

Σχήμα 1.16 Λίστα επιλογής [3]

Αυτού του είδους οι διαδικασίες δύσκολων αποφάσεων έχουν αποδειχθεί επιτυχείς, ιδιαίτερα για καταγραφή ή ανάδειξη σε μορφολογικά πλαίσια (morphological box), τα οποία συνδέονται με αποτελεσματικές δομές. Τα κριτήρια επιλογής πρέπει να είναι προσαρμοσμένα στους στόχους ανάπτυξης του προϊόντος, αλλά και της επιχείρησης. Για να επιτευχθεί μια πιο ακριβής επιλογή χρησιμοποιούνται διαδικασίες βάση της οδηγίας VDI 2225 [29] και της ανάλυσης χρησιμότητας [30]. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των δύο διαδικασιών.

**Πίνακας 1** Ανάθεση βαθμολογίας σύμφωνα με την ανάλυση χρησιμότητας και την οδηγία VDI 2225 [3]

Ανάλυση χρησιμότητας		Οδηγία VDI 2225	
Πόντοι	Σημασία	Πόντοι	Σημασία
0	πλήρως ανώφελη λύση	0	ανεπαρκής
1	πολύ ανεπαρκής λύση		
2	αδύναμη λύση	1	ανεκτή
3	ανεκτή λύση		
4	επαρκής λύση	2	επαρκής/ ικανή
5	ικανοποιητική λύση		
6	καλή λύση με κάποια ελαττώματα	3	καλή
7	καλή λύση		
8	πολύ καλή λύση		
9	λύση που υπερέβει τις απαιτήσεις	4	πολύ καλή (ιδανική)
10	ιδανική λύση		

### Σχεδιασμός Αρχών

Έπειτα από την αξιολόγηση των αποτελεσματικών δομών στις οποίες καταλήξαμε, μια δομή / λύση επιλέγεται για την φάση του προσχεδίου. Το στάδιο του σχεδιασμού του προσχεδίου ενός προϊόντος απαιτεί την χρήση γνώσεων μηχανικής, φυσικής, κατασκευής τεχνολογίας, επιστήμης υλικών καθώς και άλλων τομέων. Το ολοκληρωμένο σχέδιο προκύπτει σταδιακά από το πρόχειρο σχέδιο:

- Πρόχειρο σχέδιο: Σωστό σε γενικές γραμμές, αλλά χωρίς ιδιαίτερες λεπτομέρειες και προσχέδια.
- Ολοκληρωμένο σχέδιο: Όλες οι σημαντικές και απαραίτητες πληροφορίες προκύπτουν από κανονισμούς, κατευθυντήριες γραμμές, υπολογισμούς και λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις των δευτερευόντων λειτουργιών.

Όταν αναπαράγουμε ένα ολοκληρωμένο σχέδιο, η βέλτιστη πολιτική είναι να δομηθεί η προσέγγιση που θα γίνει σε ανεξάρτητα βήματα. Το αρχικό σημείο, το οποίο θα οριστεί, είναι και το βασικότερο για την εύρεση της λύσης. Η διαδικασία ξεκινά με τον σχεδιασμό των λειτουργικών στοιχείων, ακολουθώντας τις διευκρινίσεις των χωρικών συνθηκών, και στην συνέχεια σχεδιάζονται οι υπόλοιπες βασικές δομές. Αν η διαδικασία αυτή έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα, η έρευνα συνεχίζεται για την εύρεση λύσεων και για τα βοηθητικά λειτουργικά στοιχεία [3]. Το αποτέλεσμα

του βήματος αυτού, είναι ο καθορισμός του σχεδίου της βασικής λύσης, καθώς και όλα τα χαρακτηριστικά του (γεωμετρικά, υλικά).

Οι παρακάτω μέθοδοι και κανόνες είναι προτάσεις και στρατηγικές, ώστε ένας σχεδιαστής να είναι σε θέση να αναπαράγει επιτυχώς την δομή ενός προϊόντος [3].

### Βασικοί κανόνες σχεδιασμού

Οι βασικοί κανόνες λειτουργούν πάντοτε ως έγκυρες οδηγίες, των οποίων η τήρηση διασφαλίζει την επιτυχία μιας λύσης. Η παράβλεψη τους αντιθέτως, λειτουργεί ως ανασταλτικός παράγοντας.

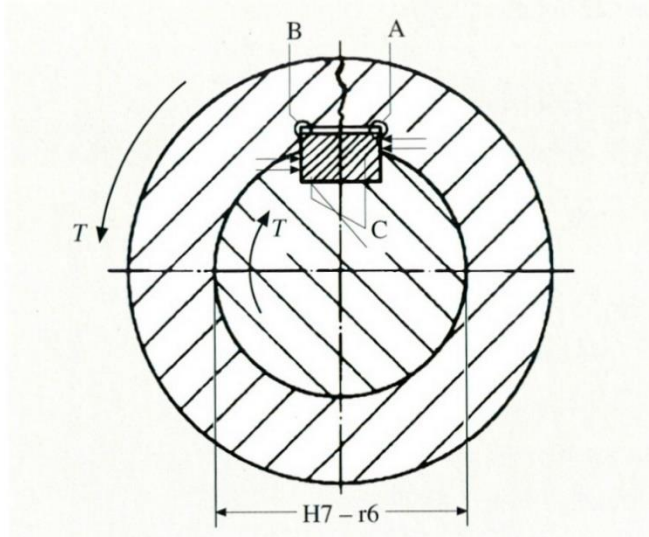
Οι βασικοί κανόνες είναι οι εξής:

- Απλότητα
- Σαφήνεια
- Ασφάλεια

Οι κανόνες αυτοί οδηγούν σε εκπλήρωση των τεχνικών λειτουργιών, της οικονομικής συνειδητοποίησης του προβλήματος και προβλέπει την ασφάλεια για το ανθρώπινο δυναμικό αλλά και το περιβάλλον. Διασφαλίζεται επίσης η έγκυρη πρόβλεψη του αποτελέσματος και της “συμπεριφοράς” των δομών που δημιουργούνται.

Το κριτήριο της σαφήνειας βοηθά στην αξιόπιστη πρόβλεψη της συμπεριφοράς και της επίδρασης των δομών που θα προκύψουν. Το κριτήριο της απλότητας πρέπει να διασφαλίζει μια οικονομικά βιώσιμη λύση, αν και η βάση αυτού πρέπει να διαμορφώνεται από την λειτουργική απόδοση. Στο σχήμα 1.17 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σύνδεσης ενός άξονα με ένα κόμβο σύνδεσης.





**Σχήμα 1.17** Σύνδεση άξονα με κόμβο σύνδεσης

Μια βασική αρχή είναι η εξής: Λίγα μέρη με απλό σχέδιο! Για να είναι σε θέση να εκτελεστεί η αρχή αυτή είναι πολλές φορές απαραίτητο να γίνει συμβιβασμός μεταξύ των δύο παρακάτω διαστάσεων του προβλήματος:

- Της λειτουργικής εκπλήρωσης και
- Της οικονομικής αποδοτικότητας

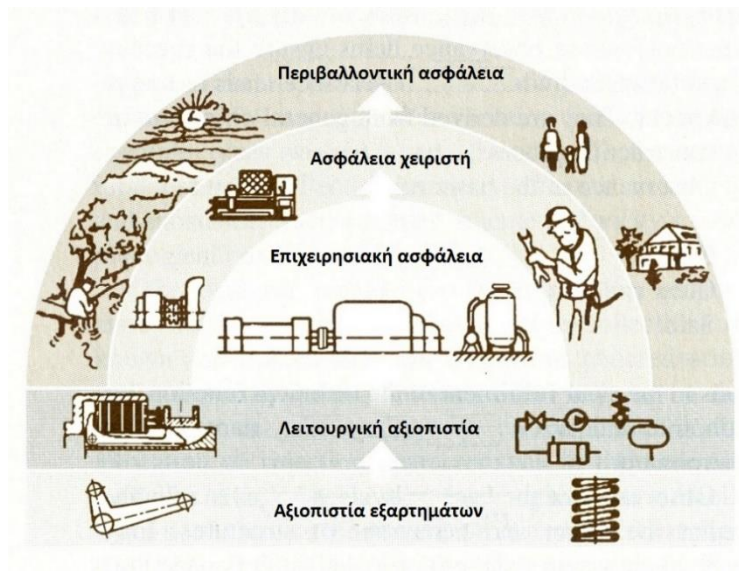
Η λειτουργική εκπλήρωση χρειάζεται, μεταξύ άλλων, έναν ελάχιστο αριθμό μερών / εξαρτημάτων, τα οποία θα έχουν την κατάλληλη μορφή, ώστε να ικανοποιούν την ζητούμενη λειτουργία.

Η οικονομική αποδοτικότητα απαιτεί τον απαραίτητο αριθμό μερών / εξαρτημάτων και τα απαραίτητα σχήματα / μορφές, ώστε να επιτευχθεί χαμηλό κόστος αλλά και ταχύτητα κατά την κατασκευή.

Οι σχεδιαστές πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και παραμέτρους που αφορούν την ασφάλεια, όπως η αξιοπιστία, η ανθεκτικότητα, ο βαθμός στον οποίο το εξάρτημα είναι ασφαλές για ατύχημα, καθώς και η περιβαλλοντική προστασία. Τα ακόλουθα κριτήρια είναι διαθέσιμα για τον σχεδιαστή σε διάφορα επίπεδα [3]:

- Άμεση μηχανική ασφάλεια (ύπαρξη ασφάλειας, ελαχιστοποίηση σφαλμάτων, δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας)
- Έμμεση μηχανική ασφάλεια (συστήματα ασφαλείας, προστατευτικός εξοπλισμός) και

- Ενδεικτική μηχανική ασφάλεια



*Σχήμα 1.18 Βασικοί τομείς ασφαλείας*

Από την πλευρά του, ο σχεδιαστής πρέπει να βεβαιώνεται συνεχώς για για την ασφάλεια. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο υπάρχουν τρεις βασικές αρχές:

- Η αρχή ύπαρξης ασφαλείας – διασφαλίζει ότι όλα τα εξαρτήματα και οι σχέσεις μεταξύ τους θα αντέξουν την αναμενόμενη “πίεση” και δεν θα παρουσιάσουν πρόβλημα κατά τον χρόνο ζωής του προϊόντος.
- Η αρχή ελαχιστοποίησης αποτυχίας – επιτρέπει την ύπαρξη προβλήματος κατά τον χρόνο ζωής του προϊόντος χωρίς όμως να δημιουργηθεί σημαντική ζημιά.
- Η αρχή δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας – βελτιώνει την ασφάλεια με τα εφεδρικά στοιχεία να παίρνουν τη θέση των κανονικών στοιχείων στην περίπτωση αποτυχίας/ βλάβης.

Στην περίπτωση των ενεργητικών αντιγράφων ασφαλείας και τα κοινά αλλά και τα εφεδρικά στοιχεία παίρνουν μέρος στην εκπλήρωση της απαιτούμενης λειτουργίας. Παρ’ όλα αυτά, στην παθητική δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας τα εφεδρικά στοιχεία λειτουργούν ως εφεδρικά μόνο κατά τη διάρκεια των κανονικών λειτουργιών. Τα στοιχεία των αντιγράφων ασφαλείας δύναται να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους παράλληλα, σε σειρά, σε τετράδες ή σε άλλους συνδυασμούς. Αν με τις αρχές που προαναφέρθηκαν δεν είναι δυνατός ο αποκλεισμός του ρίσκου, χρησιμοποιείται συμπληρωματικός εξοπλισμός ασφαλείας.

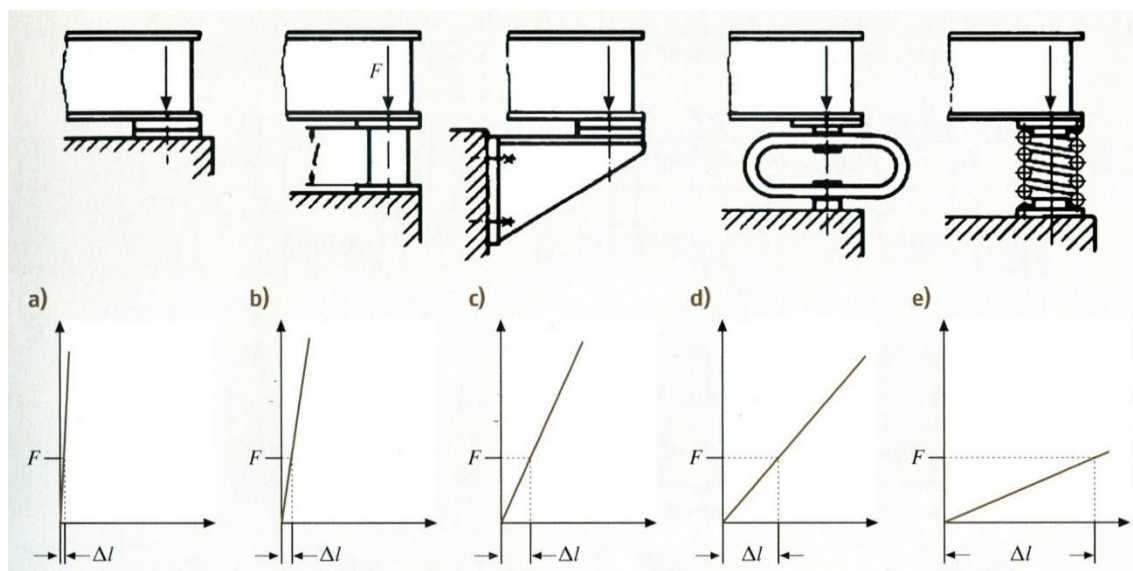
### Κατευθυντήριες οδηγίες σχεδιασμού

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν οι αρχές για την ανάπτυξη μιας κατασκευής ως βάση μιας αποτελεσματικής δομής, αλλά και του ορισμού της φύσης και ιδιαίτερα της δημιουργίας λειτουργικής δομής. Οι βασικές αυτές αρχές είναι:

- Η μεταφορά δυνάμεων
- Η διαίρεση των εργασιών
- Η αυτοβοήθηση
- Η σταθερότητα και δισταθής σταθερότητα (bi-stability)
- Η κατασκευή σχεδίου χαμηλού σφάλματος

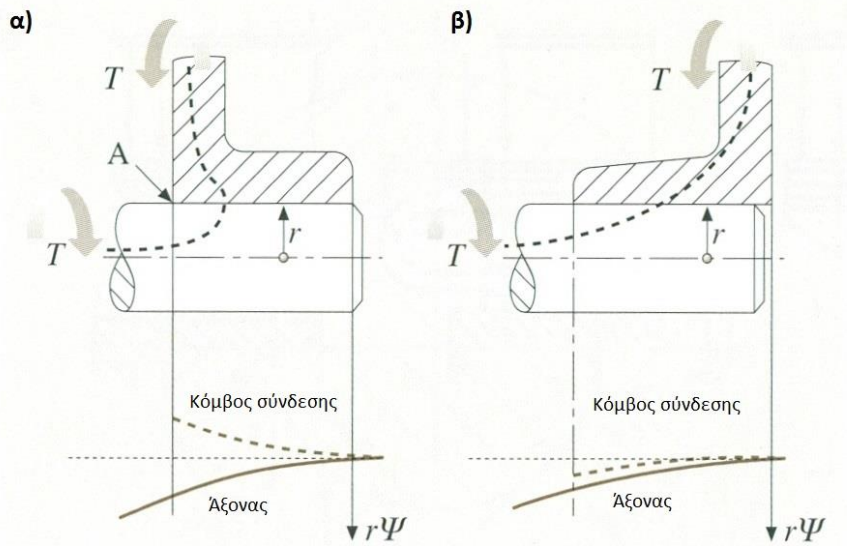
### Αρχές μεταφοράς δυνάμεων

- Αρχές μεταφοράς δυνάμεων: εξασφαλίζουν σχηματική σταθερότητα, οικονομική και ευνοϊκή μεταφορά, προσαρμογή του σχήματος των εξαρτημάτων καθώς και ισορροπία δυνάμεων. Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι παραπάνω υπολειτουργίες δυνάμεων εφαρμόζονται σε πολλά μηχανικά προϊόντα.
- Αρχή σταθερότητας καθ' όλο το αντικείμενο: Σημαίνει ότι σε ολόκληρο το αντικείμενο ασκείται σταθερά το ίδιο φορτίο. Η εφαρμογή της αρχής αυτής δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα.
- Αρχή άμεσης και σύντομης μετάδοσης της δύναμης: Αναφέρεται στην επιλογή της πιο άμεσης και σύντομης διαδρομής της διοχετευμένης δύναμης, κατά προτίμηση υπό στρέψη ή πίεση, προκειμένου να διατηρηθούν η παραμόρφωση και το κόστος των υλικών σε χαμηλά επίπεδα, μέσω της ομοιόμορφης κατανομής τάσεων. Το σχήμα 1.19 περιγράφει τις σχέσεις αυτές σε ένα στήριγμα πλαισίου μιας μηχανής.

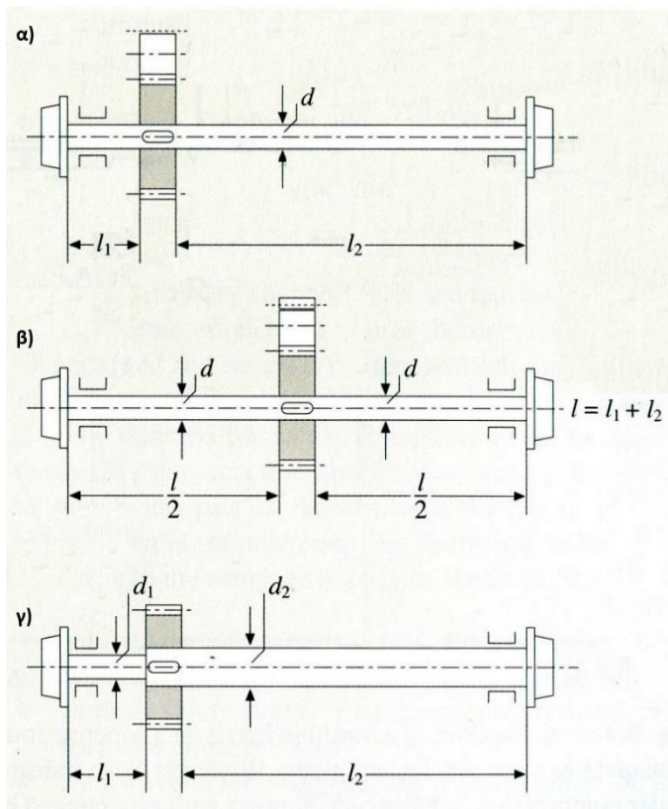


**Σχήμα 1.19** Υποστήριξη πλαισίου μηχανής από μια βάση σκυροδέματος: (α) πολύ άκαμπτη στήριξη λόγω σύντομου μονοπατιού μετάδοσης δύναμης, (β) μεγαλύτερο μονοπάτι μετάδοσης της δύναμης, αλλά παραμένει άκαμπτη η στήριξη, (γ) λιγότερο άκαμπτη στήριξη με έντονη κάμψη παραμόρφωσης, (δ) πιο ευέλικτη στήριξη, (ε) πολύ ευέλικτη στήριξη που μεταφέρει το φορτίο στο ελατήριο [3]

Κατά τη σύνδεση των αρθρώσεων, στηριζόμενοι στην αρχή της προσαρμοσμένης παραμόρφωσης, σχεδιάζονται τα αντικείμενα, ώστε όταν τους ασκείται κάποιο φορτίο να προσαρμόζονται στην παραμόρφωση που προκαλείται, μέσω παράλληλης και ίσης παραμόρφωσης. Στο σχήμα 1.20 παρουσιάζεται η σύνδεση ενός άξονα με έναν κόμβο σύνδεσης (hub) σε ένα κατάλληλο και ένα όχι τόσο κατάλληλο σχέδιο. Στο σχήμα 1.21 παρατηρούμε τις δυνατότητες προσαρμογής στην παραμόρφωση ενός μηχανισμού κίνησης για γεραμούς, όπου αν δεν υπήρχε η δυνατότητα αυτή θα βρισκόταν κάποιος από τους δίσκους εκτός μονοπατιού. Η αιτία είναι η διαφορετική ακαμψία στρέψης του κομματιού του άξονα  $I_1$  και του  $I_2$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.21α. Όταν εφαρμόζεται ροπή, πρώτα κινείται ο αριστερός τροχός, ενώ ο δεξιός τροχός παραμένει σταθερός και ο οδηγός έχει πλέον πλάγια θέση. Το σφάλμα αυτό, μπορεί να διορθωθεί με την συμμετρική τοποθέτηση του σχήματος 1.21β ή με την προσαρμογή της ροπής στρέψης και στα δύο μέρη του άξονα (σχήμα 1.21γ).



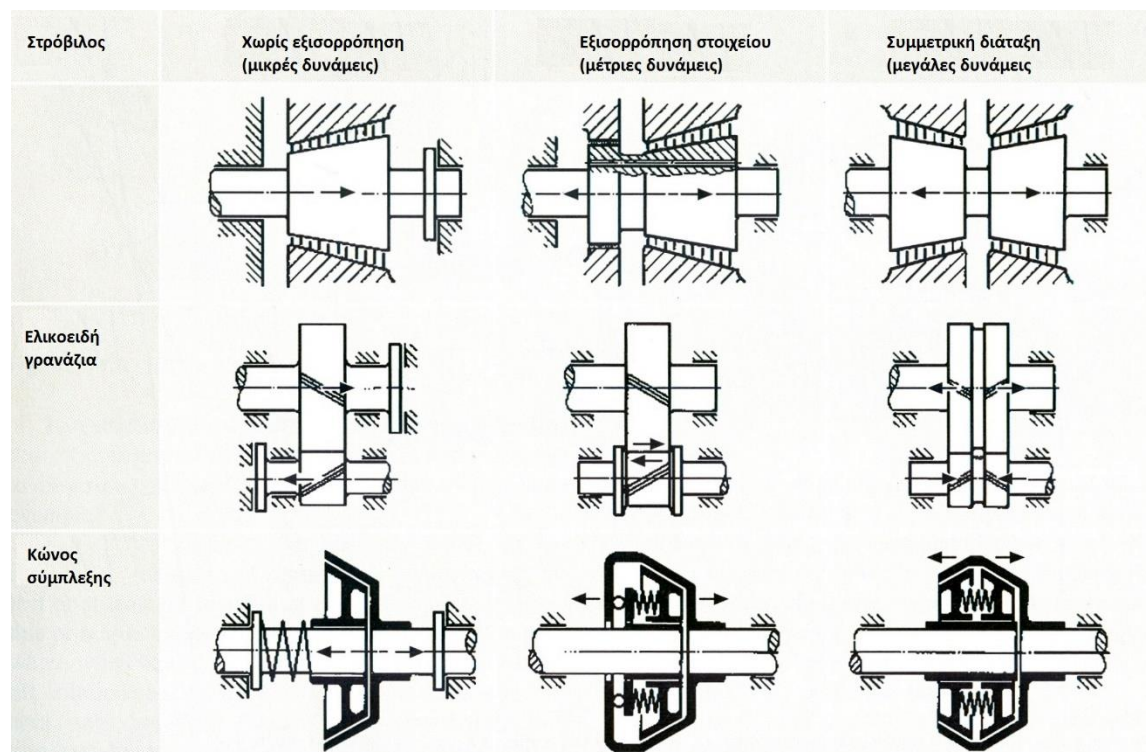
**Σχήμα 1.20** Στρεπτική παραμόρφωση μεταξύ άξονα και κόμβου σύνδεσης (α) σε αντίθετη κατεύθυνση (β) στην ίδια κατεύθυνση



**Σχήμα 1.21** Μηχανισμός κίνησης γερανού (α) άνιση στρεπτική παραμόρφωση, (β) η συμμετρική διάταξη εξασφαλίζει ίση στρεπτική παραμόρφωση, (γ) ασύμμετρη διάταξη με την ίδια παραμόρφωση



Η αρχή εξισορρόπησης δύναμης στοχεύει, μέσω αντισταθμιστικών στοιχείων ή συμμετρικών διατάξεων, στον περιορισμό των βοηθητικών μεταβλητών, που συνοδεύουν τις κύριες μεταβλητές λειτουργίας, σε όσο το δυνατόν μικρότερο χώρο. Με τον τρόπο αυτό, το κόστος κατασκευής και οι απώλειες ενέργειας παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα (σχήμα 1.22).

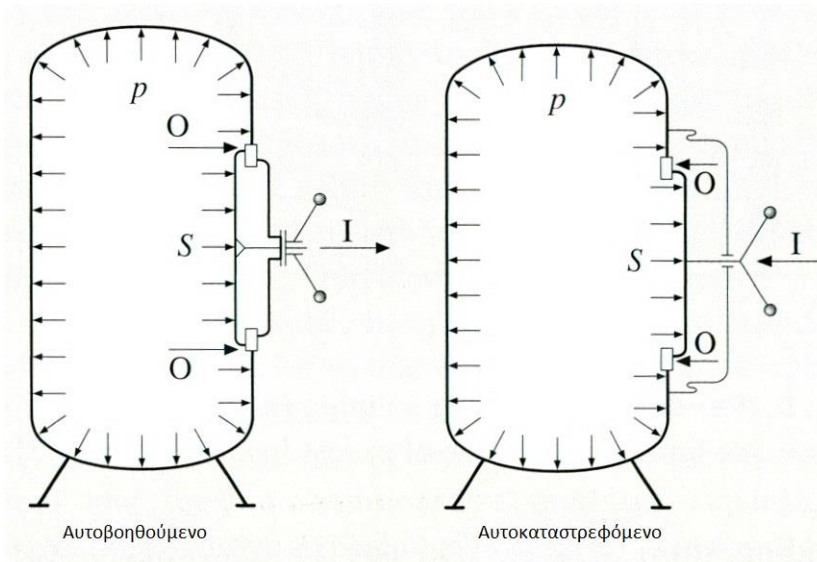


**Σχήμα 1.22** Θεμελιώδεις λύσεις για την εξισορρόπηση δυνάμεων, που απεικονίζεται μέσω του στρόβιλου, ελικοειδών γραναζιών και του κώνου σύμπλεξης

Η αρχή κατανομής εργασιών επιτρέπει την σαφή και ασφαλή συμπεριφορά των λειτουργικών παραγόντων, την καλύτερη απόδοση και την αυξημένη χωρητικότητα αντιστοιχίζοντας τα εξαρτήματα και τα λοιπά δομικά στοιχεία σε μεμονωμένες υπολειτουργίες υπό την έννοια μιας ενιαίας λύσης. Η αρχή μεταβλητού σχεδιασμού έρχεται σε αντίθεση με την συνήθως πιο οικονομική παραλλαγή, τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό. Το σχήμα 1.22 δείχνει ένα παράδειγμα διάταξης, στην οποία ακτινικές δυνάμεις μεταφέρονται από ένα βαρελοειδές ρουλεμάν και οι αξονικές δυνάμεις από ένα ένσφαιρο ρουλεμάν. Σε περίπτωση μεγάλων φορτίων, η διάταξη αυτή είναι πιο αποτελεσματική από την συνηθισμένη περίπτωση, που υπάρχει ένα μόνο ένσφαιρο ρουλεμάν.

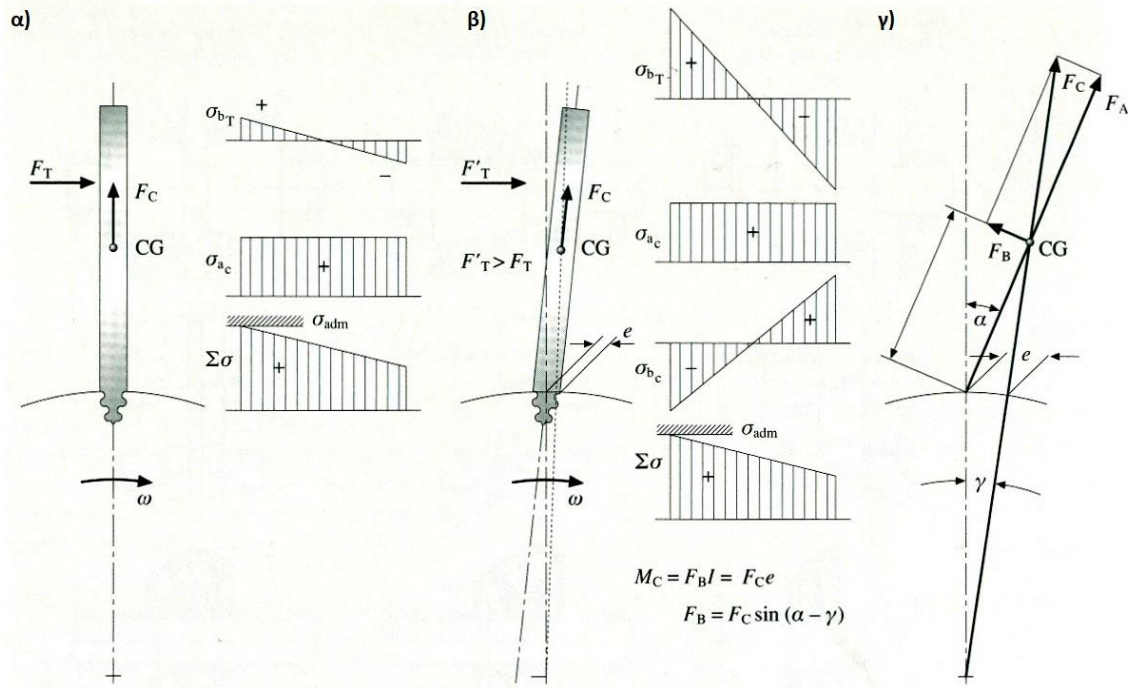
Η αρχή κατανομής εργασιών εφαρμόζεται επίσης για τη διανομή του φορτίου σε διάφορα όμοια μηχανικά στοιχεία μετάδοσης, σε περίπτωση που ένα μηχανικό στοιχείο μετάδοσης υπερβαίνει το όριο φορτίου.

Μέσω της κατάλληλης διάταξης και επιλογής των εξαρτημάτων μιας κατασκευής, η αρχή αυτοβοήθειας οδηγεί σε μια αποτελεσματική αμοιβαία υποστήριξη, ώστε να πραγματοποιηθεί μια λειτουργία με καλύτερο, ασφαλέστερο και οικονομικότερο τρόπο [31]. Ταυτόχρονα, τα φαινόμενα αυτοαντιστάθμισης και αυτοενίσχυσης μπορούν να αξιοποιηθούν σε μια κατάσταση κανονικού φορτίου. Στο σχήμα 1.23 παρουσιάζεται μια λύση αυτοδυνάμωσης σε ένα δοχείο πίεσης, κατά την οποία η δύναμη στεγανοποίησης του καλύμματος αυξάνεται ανάλογα με την εσωτερική πίεση του δοχείου.



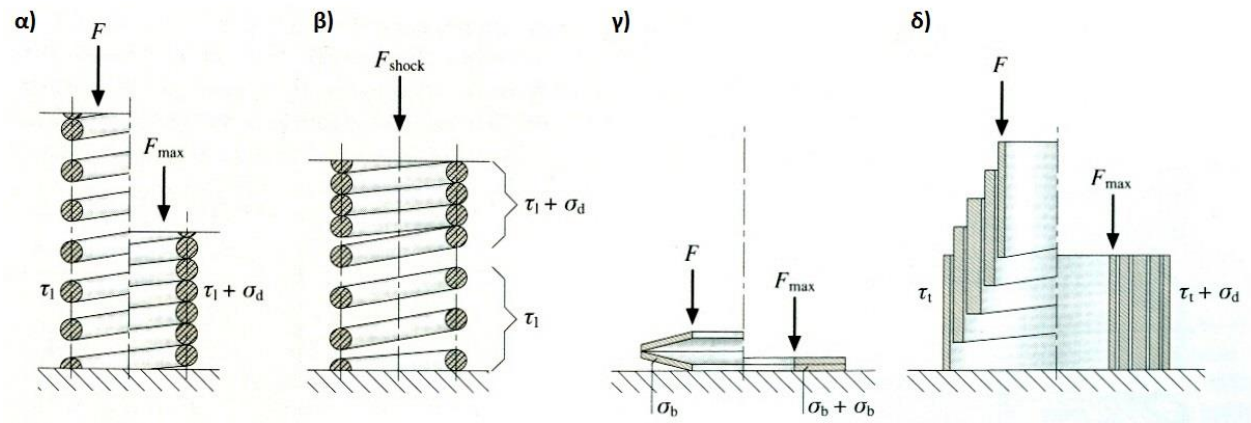
**Σχήμα 1.23** Δοχείο πίεσης

Μια αυτοαντισταθμιστική λύση συναντάται στο παράδειγμα εσφαλμένης σύσφιξης ενός φτερού από έναν κινητήρα τζετ. Μέσω της κλίσης των πτερυγίων, προκαλείται κάμψη λόγω της φυγόκεντρης δύναμης, η οποία εξουδετερώνει και αντισταθμίζει την κάμψη από την εφαπτόμενη δύναμη, ενεργοποιώντας με αυτό τον τρόπο μια μεγαλύτερη εφαπτόμενη δύναμη (σχήμα 1.24).



**Σχήμα 1.24** Αυτό-αντισταθμιστική λύση για περύγια ενός κινητήρα: (α) συμβατική λύση, (β) η κλίση των περυγίων έχει συμπληρωματική δράση λόγω των πρόσθετων καταπονήσεων που παράγονται από την φυγόκεντρο δύναμη αδράνειας ( $\sigma_{bc}$ ), οι οποίες αντιτίθενται στις καμπτικές τάσεις που προκαλούνται από την εφαπτόμενη δύναμη ( $\sigma_{bT}$ ), (γ) διάγραμμα των δυνάμεων που ασκούνται

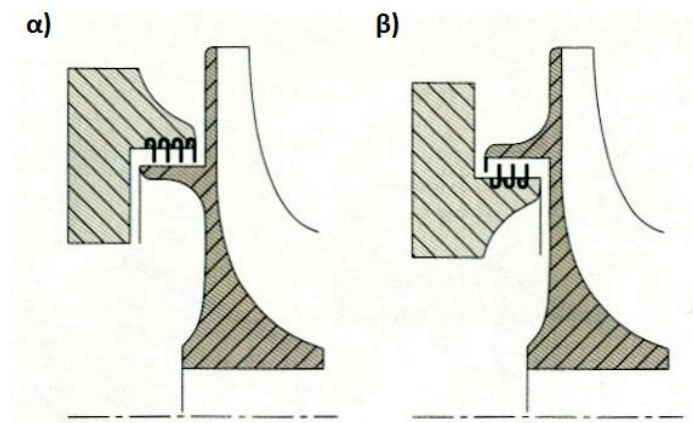
Στο σχήμα 1.25 παρατηρείται μια λύση αυτοπροστασίας, όπου προστατεύεται ένα στοιχείο (ελατήριο) από την υπερβολική καταπόνηση αλλάζοντας τον τύπο της πίεσης που ασκείται.



**Σχήμα 1.25** Λύση αυτοπροστασίας σε ελατήρια: (α) – (δ) αλλαγή του μονοπατιού που ασκείται η πίεση. Η φυσιολογική λειτουργία αναστέλλεται ή περιορίζεται κατά την άσκηση υπερβολικού φορτίου

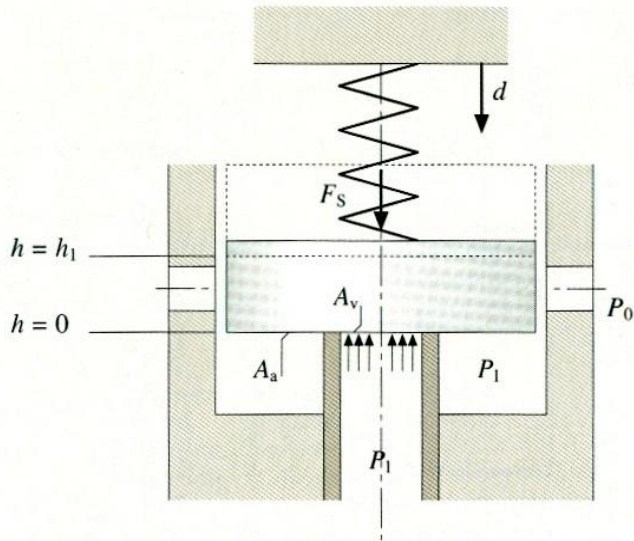


Σε περίπτωση βλάβης, η αρχή σταθερότητας έχει ως στόχο να παραπέμψει σε ένα αντισταθμιστικό αποτέλεσμα αυτοεξουδετέρωσης. Στο σχήμα 1.26 παρουσιάζεται η αρχή αυτή με τη βοήθεια ενός αντισταθμιστικού πώματος εμβόλου, όπου όταν θερμαίνεται είτε ξεκινά να τρίβεται (μη σταθερή λύση), είτε σηκώνεται μόνο του, κινούμενο μακριά από την μη αποτελεσματική περιοχή (σταθερή λύση). Στο σχήμα 1.26α φαίνεται ότι η θέρμανση λόγω τριβής (σφάλμα) μεταφέρεται στο εσωτερικό μέρος και η επέκταση της θερμοκρασίας ενισχύει το σφάλμα και οδηγεί σε ασταθή συμπεριφορά. Στο σχήμα 1.26β παρατηρείται ότι η θέρμανση λόγω τριβής κατευθύνεται προς το εξωτερικό μέρος και η επέκταση αυτή λειτουργεί αντίθετα με το σφάλμα, μειώνοντάς το και οδηγώντας σε μια σταθερή κατάσταση.



**Σχήμα 1.26** Πώμα υπερσυμπιεστή

Με την αρχή της δισταθούς ισορροπίας, μέσω μιας σκόπιμης βλάβης, επιτυγχάνονται αποτελέσματα που υποστηρίζουν και συμβάλλουν στην ενίσχυση της βλάβης, ώστε να επιτευχθεί μια οριακή κατάσταση χωρίς να υπάρξουν ανεπιθύμητες ενδιάμεσες καταστάσεις. Στο σχήμα 1.27 παρατηρείται η αρχή αυτή σε μια βαλβίδα ασφαλείας, η οποία κινείται γρήγορα από την κλειστή κατάσταση στην ανοιχτή, μέσω μιας απότομης αύξησης της πίεσης ( $A_v - A_z$ ) μετά την ανύψωση του πώματος της βαλβίδας.



**Σχήμα 1.27** [3] Βαλβίδα με ασταθή μηχανισμό κλεισίματος

$d$ : προσυμπίεση ελατηρίου,  $s$ : ακαμψία ελατηρίου,  $F_s$ : δύναμη ελατηρίου,  $h$ : ύψος της κεφαλής της βαλβίδας,  $p$ : πίεση στην βαλβίδα,  $p_i$ : η ελάχιστη πίεση για να ανοίξει η βαλβίδα,  $p$ : μέση πίεση κατά το άνοιγμα της βαλβίδας,  $p$ : η πίεση μετά το άνοιγμα της βαλβίδας,  $p_0$ : ατμοσφαιρική πίεση,  $A_v$ : επιφάνεια ανοίγματος της βαλβίδας,  $A_a$ : συμπληρωματική επιφάνεια της βαλβίδας.

Κλειστή βαλβίδα:  $F_s = s \cdot d > p^* A_v, h=0$

Βαλβίδα μόλις ανοίξει:  $F_s = s \cdot d \cdot p_i^* A_v, h=0$

Βαλβίδα ενώ έχει ανοίξει:  $F_s = s \cdot (d+h) < p^* A_v + p_i^* A_a, h = \pm h_1$

Βαλβίδα πλήρως ανοιχτή:  $F_s = s \cdot (d+h_1) = p^* (A_v + A_a), h = h_1$

#### Περισσότερες προτεινόμενες οδηγίες σχεδιασμού

Οι παρακάτω οδηγίες σχεδιασμού αφορούν τον σχεδιαστή, ώστε να εκπληρωθούν οι γενικοί αλλά και ειδικοί στόχοι της εργασίας. Αναλυτική περιγραφή των οδηγιών σχεδιασμού παρουσιάζεται στην παραπομπή [3].

#### Σχεδιασμός βάσει της πίεσης

Ο στόχος σε αυτή την περίπτωση είναι να οριστούν αρχικά όλες οι εγκάρσιες και διαμήκεις δυνάμεις που ασκούνται στο αντικείμενο, όπως επίσης και οι καμπτικές τάσεις και η ροπή στρέψης. Αυτή είναι η βάση για τον υπολογισμό των υπάρχοντων πιέσεων, ελαστικών και καμπτικών, όπως επίσης των εφαπτόμενων και των στρεπτικών. Η ανάλυση αυτή οδηγεί στον καθορισμό της ελαστικής ή πλαστικής παραμόρφωσης. Για να ανταπεξέλθει ο βαθμός ασφαλείας απέναντι σε τυχόν αστοχίες ή

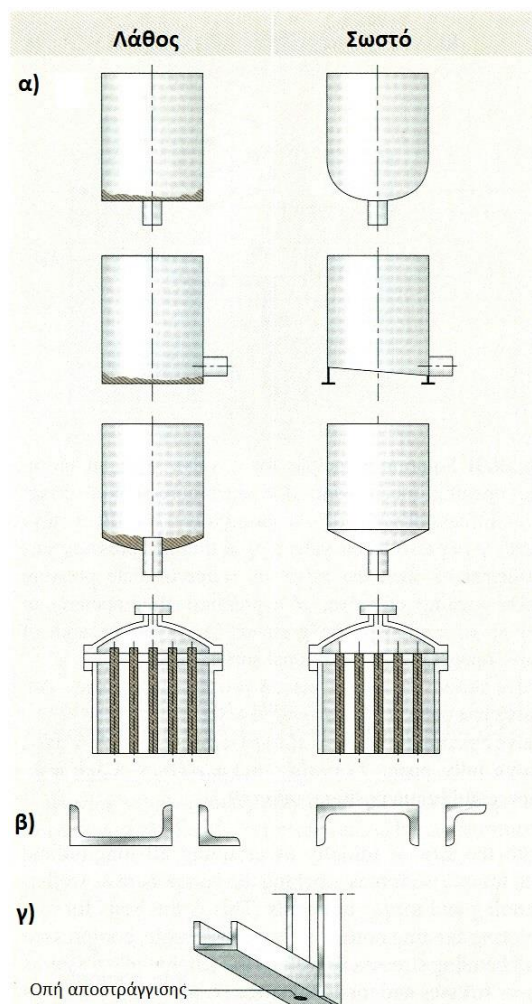
για να γίνουν προβλέψεις που αφορούν την συνολική ζωή του προϊόντος, τα υπολογισμένα έως τώρα φορτία συγκρίνονται με τα όρια των προς χρήση υλικών και παρατηρούνται τυχόν φθορές ή άλλες επιδράσεις στα υλικά [3].

#### Σχεδιασμός βάσει του ερπυσμού

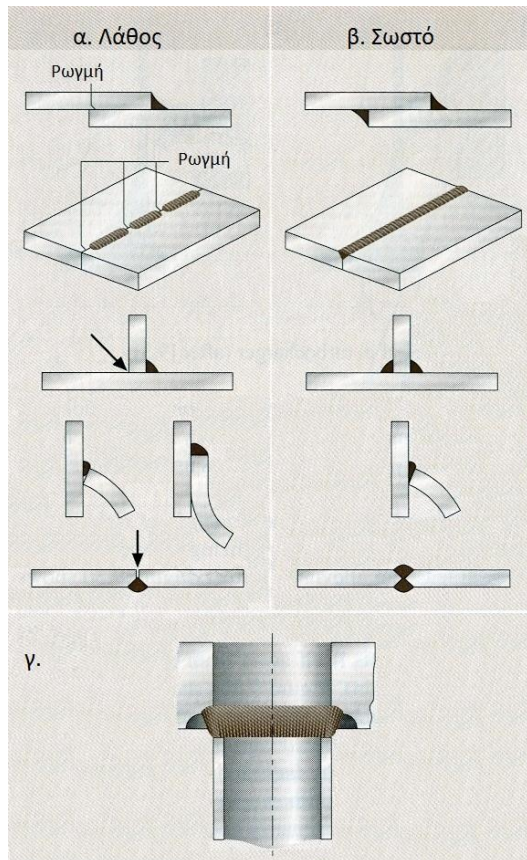
Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνεται υπόψη η χρονικά σχετιζόμενη πλαστική παραμόρφωση όλων των υλικών ξεχωριστά, ιδιαίτερος σε υψηλές θερμοκρασίες, ή η παραμόρφωση των συνθετικών υλικών, μέσω της επιλογής των υλικών και του σχεδιασμού. Ο τριτογενής ερπυσμός πρέπει να αποφεύγεται, ελέγχοντας τις δυνάμεις και τις θερμοκρασίες που ασκούνται, καθώς και με την επιλογή των κατάλληλων, ανάλογα με την περίπτωση, υλικών [3].

#### Σχεδιασμός βάσει της οξείδωσης

Ο σχεδιασμός στην περίπτωση αυτή βασίζεται στην αποφυγή των αιτιών ή των προϋποθέσεων εμφάνισης όλων των μορφών οξείδωσης (πρωτογενή μέτρα) ή στην επιλογή υλικών, επιχρισμάτων ή άλλων προστατευτικών μέτρων (δευτερογενή μέτρα) για την αποφυγή ανάπτυξης οξείδωσης ή περιορισμό της οξείδωσης εντός επιτρεπτών ορίων. Στο σχήμα 1.28 παρουσιάζονται κατασκευές για την αποφυγή δημιουργίας σημείων που ευνοείται η ύπαρξη υγρασίας, ενώ στο σχήμα 1.29 παρουσιάζονται παραδείγματα δημιουργίας ρωγμών από διάβρωση.



**Σχήμα 1.28** α – γ Αποστράγγιση ευπαθών στη διάβρωση υλικών (α) σχέδια βάσεων που ευνοείται η διάβρωση (β) λανθασμένη και σωστή διάταξη μεταλλικών τμημάτων (γ) στήριγμα κατασκευασμένο με οπή αποστράγγισης [3]



**Σχήμα 1.29** α – γ Παραδείγματα αρθρώσεων που έχουν συγκολληθεί: (α) ευπαθείς στη δημιουργία ρωγμών (β) σωστός σχεδιασμός (γ) σωστή συγκόλληση σωλήνων χωρίς ρωγμές, η οποία βελτιώνει την αντοχή απέναντι στη διάβρωση [3]

#### Σχεδιασμός βάσει της φθοράς κατά τη χρήση

Στην περίπτωση αυτή υιοθετείται η σχετική κίνηση μεταξύ των απαραίτητων για την λειτουργία εξαρτημάτων με τη λιγότερη δυνατή φθορά κατά τη χρήση, μέσω μέτρων κατά της τριβής (υλικό, επιφάνεια ή λιπαντικό). Ταυτόχρονα, μια οικονομική λύση αποτελούν τα ισχυρά στρώματα επαφής [32].

#### Σχεδιασμός βάσει της εργονομίας

Εξετάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά, οι ικανότητες και οι ανάγκες των ατόμων που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν το παραγόμενο προϊόν. Κύριο ρόλο παίζουν οι παράγοντες που αφορούν την βιολογία, την φυσιολογία αλλά και την ψυχολογία του ανθρώπου. Πρέπει να επισημανθεί η διαφορά μεταξύ της ενεργής σχέσης ενός ατόμου με το προϊόν (ο χειρισμός του προϊόντος από το άτομο) και

της παθητικής σχέσης που αναπτύσσεται σε κάθε περίπτωση (οι παρενέργειες σε ένα άτομο από την χρήση του προϊόντος) [33].

#### Σχεδιασμός βάσει του σχήματος

Ο βιομηχανικός σχεδιασμός [23, 34] ενός σκεύους / εργαλείου δεν αφορά μόνο την λειτουργικότητά του, αλλά επίσης δίνεται βάση και στην αισθητική του (σχήμα, χρώμα).

#### Σχεδιασμός σύμφωνα με τις γενικότερους προβληματισμούς του κατασκευαστή

Αυτό σημαίνει αναγνώριση της σημασίας των αποφάσεων, που σχετίζονται με την κατασκευή ενός προϊόντος, όπως το κόστος και ο χρόνος παραγωγής και η ποιότητα κατασκευής [3]. Οι παράμετροι αυτοί πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή των εξαρτημάτων. Ο σχεδιαστής πρέπει να επιδεικνύει μεγάλη προσοχή κατά την επιλογή και τον σχεδιασμό των εξαρτημάτων και να είναι ενήμερος για τις διαδικασίες που ακολουθούνται και τις συνθήκες που επικρατούν στο κάθε σχέδιο κατασκευής.

#### Σχεδιασμός λαμβάνοντας υπόψη την διαδικασία συναρμολόγησης

Αυτό σημαίνει να μειωθούν, να απλοποιηθούν, να ενοποιηθούν και να αυτοματοποιηθούν οι απαραίτητες λειτουργίες συναρμολόγησης, μέσω κατάλληλης δομής, όπως επίσης οι αρθρώσεις, καθώς και τα προς συναρμολόγηση κομμάτια [3].

#### Σχεδιασμός βάσει των κανονισμών

Ο σχεδιασμός βασίζεται σε κανονισμούς για την ασφάλεια, την χρήση αλλά και άλλους τεχνικούς τομείς, κανονισμούς οι οποίοι εξυπηρετούν παράλληλα τα συμφέροντα και του κατασκευαστή αλλά και του χρήστη.

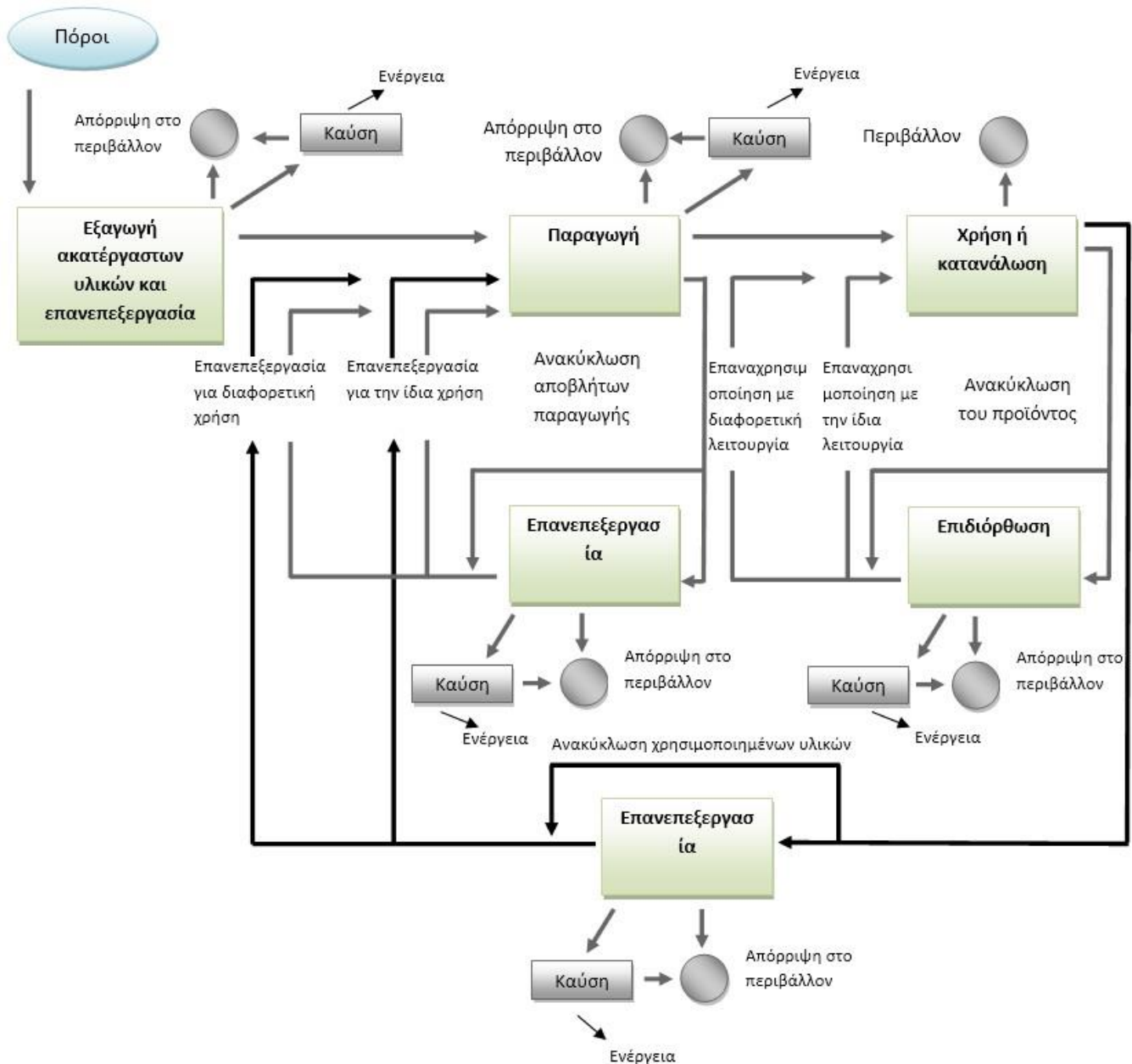
#### Σχεδιασμός βάσει της μεταφοράς και αποθήκευσης του προϊόντος

Στην περίπτωση αυτή λαμβάνεται υπόψη η τυποποιημένη συσκευασία κατά την μαζική παραγωγή, όπως επίσης και οι παράμετροι μεταφοράς [3].

#### Σχεδιασμός βάσει ανακύκλωσης

Αυτό σημαίνει να είναι γνωστή η φύση των διαδικασιών επεξεργασίας και ανάκτησης και να υποστηρίζονται μέσω της συναρμολόγησης και του σχεδιασμού των προϊόντων. Την ίδια στιγμή, φιλικά προς την ανάκτηση κατασκευαστικά μέτρα εξυπηρετούν τον συμβατό με την συντήρηση

σχεδιασμό. Στο σχήμα 1.30 παρουσιάζονται οι δυνατότητες ανακύκλωσης των υλικών των προϊόντων, καθώς και τα μέτρα κατασκευής ώστε να είναι δυνατή η ανακύκλωσή τους [35-38].



Σχήμα 1.30 Επιλογές ανακύκλωσης [3]

## Κεφάλαιο 2 - Μεθοδολογία σχεδιασμού

Η μεθοδολογική προσέγγιση για την ανάπτυξη και τον σχεδιασμό τεχνολογικών συστημάτων (μηχανολογικός σχεδιασμός) υιοθετείται πλέον σχεδόν σε όλα τα τμήματα του σχεδιασμού. Επίσης, η διδασκαλία εξειδικευμένης γνώσης, που αφορά τον μεθοδολογικό σχεδιασμό, είναι αναπόσπαστο κομμάτι των σπουδών σε τμήματα μηχανικών στα πανεπιστήμια και τα τεχνολογικά ιδρύματα.

Αν ανατρέξει κανείς σε τεχνική βιβλιογραφία θα βρει πάρα πολλές προσεγγίσεις, βάσει των οποίων προκύπτει η μεθοδολογία του σχεδιασμού. Για παράδειγμα, ο Ehrlenspiel [1] εστιάζει στο κόστος, ώστε να αναπτύξει ένα προϊόν. Σύμφωνα λοιπόν με τον Ehrlenspiel, η ενοποιημένη ανάπτυξη ενός προϊόντος είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος, ώστε να αναγνωριστούν και να μειωθούν τα κόστη σε πρώιμο στάδιο της διαδικασίας. Από την άλλη μεριά, ο Roth [2] διαιρεί την διαδικασία σε περισσότερα βήματα και δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση των σχεδιαστικών καταλόγων στην διαδικασία εύρεσης λύσης. Ο Paul et al. [3] εργάστηκε εντατικά πάνω στις γερμανικές οδηγίες VDI2221 [21] και VDI2222 [39] και υποδιαίρεσε την διαδικασία σχεδιασμού σε μεμονωμένες εργασίες. Άλλες μεθόδους έχουν αναπτύξει επίσης και οι Koller [6], Gierse [40], Hubka [41], Bock [42] και Rugenstein [43]. Η βάση της κάθε από τις προαναφερθείσες προσεγγίσεις είναι η οργάνωση των εργασιών. Αυτό γίνεται με τον σχεδιασμό διαγραμμμάτων ροής και με τη χρήση λειτουργικών δομών, δομών αποτελεσματικότητας και διαγραμμμάτων ταξινόμησης [44].

Η μεθοδολογική προσέγγιση για την ανάπτυξη ενός τεχνολογικού συστήματος αναλύεται στο κεφάλαιο αυτό με ένα παράδειγμα που συνδυάζει την βιοϊατρική και την μηχανολογία και βασίζεται στην μεθοδολογική προσέγγιση του Paul et al..

Σύμφωνα λοιπόν με τον Paul et al., η διαδικασία σχεδιασμού χωρίζεται στα τέσσερα παρακάτω στάδια:

- Ακριβής καθορισμός της εργασίας (αναγνώριση προβλήματος)
- Σύλληψη ιδέας
- Σχέδιο
- Σχεδιασμός της τελικής λύσης (αναλυτικό σχέδιο)



Εφόσον το παράδειγμα που μελετούμε σχετίζεται με παραπάνω από έναν τομείς, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να σημειωθούν οι σχετιζόμενες υπολειτουργίες, οι οποίες είναι απαραίτητες για την επαρκή δόμηση της εργασίας, και να παρουσιαστούν σε μια λειτουργική δομή. Είναι επίσης απαραίτητη η χρήση ενός κοινά κατανοητού λεξιλογίου. Αυτό εξασφαλίζει ότι ακόμα και άτομα, τα οποία δεν έχουν εμπλακεί στην διαδικασία ή άτομα που δεν έχουν μηχανολογικές γνώσεις θα είναι σε θέση να αντιληφθούν την διαδικασία. Η ενσωμάτωση των εργαζόμενων από το κάθε πεδίο ειδίκευσης κρίνεται απαραίτητη, ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή των ιατρικών και βιολογικών προϋποθέσεων στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο.

## **Κεφάλαιο 3 – Παράδειγμα – Ανάλυση απαιτούμενων προδιαγραφών**

### **3.1 Παρουσίαση παραδείγματος**

Το μηχανολογικό σύστημα, το οποίο πρόκειται να δημιουργηθεί είναι ένα σύστημα, όπου θα γίνονται δοκιμές / πειράματα σε ζωντανά ανθρώπινα κύτταρα. Η περιγραφή των απαιτήσεων της εργασίας συντάχθηκε από τους ειδικούς ιατρούς. Η περίληψη της εργασίας που πρόκειται να πραγματοποιηθεί παρουσιάζεται παρακάτω:

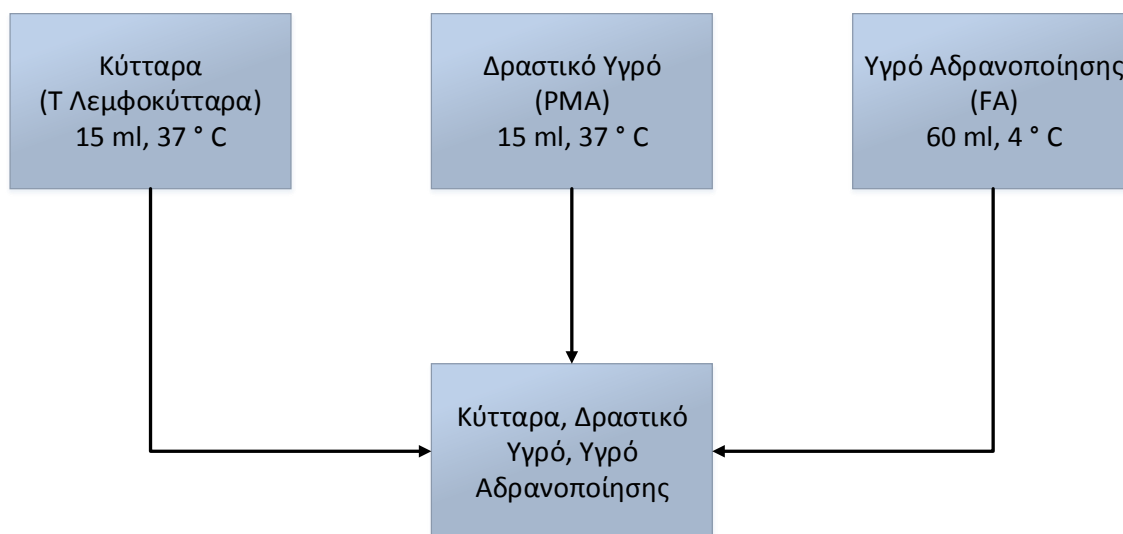
*Για δεκαετίες ήταν γνωστό ότι συγκεκριμένα κύτταρα στο ανθρώπινο ανοσοποιητικό σύστημα είναι πρακτικά αδύνατο να λειτουργήσουν σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας. Αυτό μπορεί να αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα σε περίπτωση παραμονής στο διάστημα, στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό ή σε πτήσεις προς τον Άρη. Για να είναι δυνατή η έρευνα του παραπάνω προβλήματος πρέπει να γίνει σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας με τη βοήθεια παραβολικών πτήσεων. Είναι λοιπόν απαραίτητο να σχεδιαστεί κατάλληλος εξοπλισμός, ώστε τα πειράματα να γίνουν εντός του σκάφους κατά τη διάρκεια παραβολικών πτήσεων και ελλείψει βαρύτητας. Τα πειράματα αυτά πρέπει επίσης να δώσουν απάντηση και στο ερώτημα αν ο ανθρώπινος οργανισμός είναι δυνατό να ζήσει εκτός βαρύτητας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα ευρήματα των πειραμάτων θα χρησιμοποιηθούν επίσης για την θεραπεία ασθενειών του ανοσοποιητικού συστήματος. Απαραίτητη κρίνεται λοιπόν η ανάμιξη των ανθρώπινων κυττάρων με ένα δραστικό υγρό και η χορήγηση ενός υγρού αδρανοποίησης μετά το πέρας συγκεκριμένου διαστήματος. Είναι αυτονόητο ότι όλα τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης πρέπει να τηρηθούν αυστηρά.*

Κατανοούμε πως η εργασία του σχεδιαστή είναι ο ακριβής ορισμός του προβλήματος. Αρχικά λοιπόν πρέπει να συνταχθεί μια μηχανική λειτουργική περιγραφή και στη συνέχεια η συνολική λειτουργία, καθώς και όλες οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου του συστήματος.

### **3.2 Περιγραφή λειτουργίας**

Η μηχανολογική λειτουργική περιγραφή συντάσσεται από τον αρμόδιο μηχανικό και σκοπός της είναι ο σαφής προσδιορισμός του προβλήματος ή της εργασίας που πρέπει να αντιμετωπίσει ή να εκτελέσει ο σχεδιαστής. Ταυτόχρονα, είναι η βάση συζήτησης για τα μέλη της ομάδας, ώστε να είναι δυνατό εξ' αρχής να εντοπιστεί οποιοδήποτε πρόβλημα επικοινωνίας μεταξύ των μελών της ομάδας. Σε διεπιστημονικές εργασίες είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ενσωματώνονται οι πληροφορίες των μελών της ομάδας, που δεν είναι μηχανικοί, στις τεχνικές προετοιμασίες και να δημιουργηθεί μια ενιαία

μεθοδολογική προσέγγιση. Στο συγκεκριμένο project ήταν ιδιαίτερα σημαντικό οι ιατροί, οι βιολόγοι και οι μηχανικοί “να μιλούν την ίδια γλώσσα”. Η λειτουργική περιγραφή είναι συνήθως προφορική και τα διαγράμματα, καθώς και τα αρχικά σχέδια, δημιουργούνται έτσι ώστε να απεικονίζεται ξεκάθαρα η συνολική λειτουργία / δομή. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να αναπτυχθεί το σύστημα για τις δοκιμές που αναφέρθηκαν προηγουμένως.



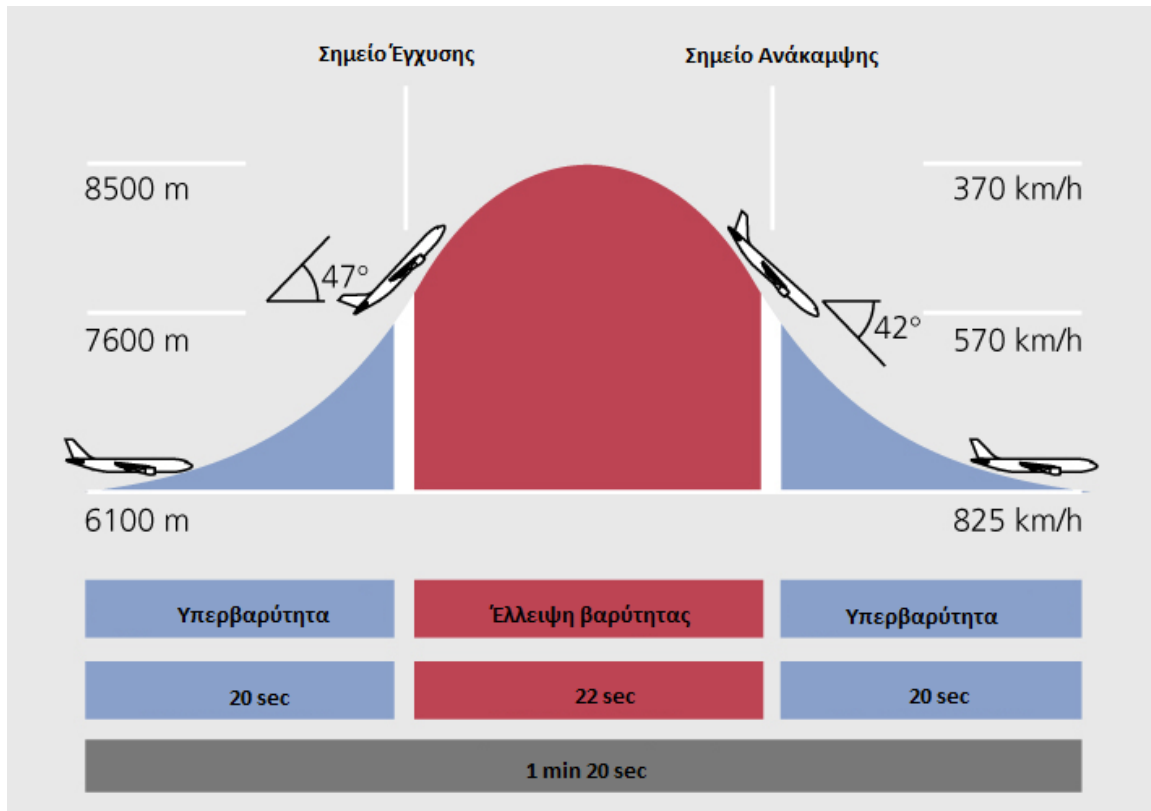
*Σχήμα 3.1 Τα υγρά που αναμιγνύονται*

Η αυστηρή αυτή δομή βασίστηκε σε σημειώσεις που πάρθηκαν κατά τις συναντήσεις της ομάδας των μελετητών και σχεδιάστηκε από ένα μέλος της ομάδας των ιατρών – βιολόγων. Η δομή, παρ’ όλο που είναι πολύ καλά ορισμένη, δεν έχει την συνήθη μορφή που χρησιμοποιείται στην μεθοδολογία του σχεδιασμού. Επιπλέον, μια τόσο ακριβής περιγραφή, επικεντρωμένη σε μια πιθανή λύση, εξαιρεί άλλες προσεγγίσεις και λύσεις εξ’ αρχής. Η μηχανολογική λειτουργική περιγραφή πρέπει να περιγράφεται όπως αναφέρεται στη συνέχεια.

Πρέπει να αναπτυχθεί ένα τεστ, το οποίο θα επιτρέπει τρεις διαφορετικές γραμμές κυττάρων να αναμιχθούν σε μια εκτεταμένη ομογενή έκταση, με συγκεκριμένα δραστικά υγρά στην αρχή της φάσης απουσίας βαρύτητας. Ακριβώς πριν τη διακοπή της φάσης απουσίας της βαρύτητας, πρέπει να χορηγηθεί ένα υγρό αδρανοποίησης στα κυτταρικά δοχεία μαζί με έναν τύπο κυττάρων και ένα δραστικό υγρό.

Για να είναι δυνατή η εκπλήρωση των απαραίτητων ιατρικών προϋποθέσεων πραγματοποιούνται συνδυασμοί τριών διαφορετικών κυτταρικών υγρών, τριών διαφορετικών δραστικών υγρών καθώς και δύο υγρών αδρανοποίησης.

Η απουσία βαρύτητας πραγματοποιείται με την βοήθεια παραβολικών πτήσεων, που σημαίνει ότι ένα αεροσκάφος πραγματοποιεί πτήσεις ακριβείας με συγκεκριμένη παραβολική τροχιά και με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται έλλειψη βαρύτητας για περίπου είκοσι δύο έως είκοσι πέντε δευτερόλεπτα.



**Σχήμα 3.2** Η παραβολική πτήση για την επίτευξη έλλειψης βαρύτητας [45]

Βασικότερη προϋπόθεση είναι η τήρηση των κανόνων ασφαλείας. Αρχικά, κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες δεν πρέπει τα υγρά να διαρρεύσουν από τα δοχεία των δοκιμών κατά τη διάρκεια των παραβολικών πτήσεων, καθώς κάποια από τα κύτταρα που χρησιμοποιούνται στις δοκιμές είναι γενετικά τροποποιημένα καρκινικά κύτταρα και ανοσοκύτταρα που απομονώθηκαν από δότες. Επίσης χρησιμοποιούνται τοξικά υγρά, όπως για παράδειγμα φορμαλδεΰδη. Όλα τα μέρη, τα οποία έρχονται σε επαφή με τα κύτταρα, τα υγρά αδρανοποίησης ή τα δραστικά υγρά, πρέπει να είναι κατασκευασμένα με διπλό τοίχος προστασίας, ώστε σε περίπτωση ατυχήματος να μην αποτελέσουν κίνδυνο για τον προσωπικό των πτήσεων.

Μια άλλη βασική προϋπόθεση είναι ότι η θερμοκρασία των κυττάρων και των δραστικών υγρών πρέπει να είναι 37°C, ενώ των υγρών αδρανοποίησης πρέπει να είναι 4°C. Οι υπόλοιπες προϋποθέσεις παρουσιάζονται στην αρχική μηχανολογική λειτουργική περιγραφή, όπως φαίνεται παρακάτω:

- Γρήγορη και εύκολη χρήση των υγρών
- Υλοποίηση του σταδίου άμεσης ασφάλειας
- Διακριτή λειτουργική αλληλουχία
- Σωστή ανάμιξη των υγρών κατά την διαδικασία των δοκιμών
- Ανάμιξη σε κενό αέρος
- Διαφανής κατασκευή για καλύτερη δυνατότητα παρατήρησης, όπου επιτελούνται δοκιμές σε κενό αέρος
- Χαμηλό βάρος
- Σχεδιασμός ώστε ο απαιτούμενος χώρος να είναι μικρός
- Υψηλή αποτελεσματικότητα, όσον αφορά το κόστος.

Η αρχική αυτή λειτουργική περιγραφή είναι και η βάση για την δημιουργία της λίστας προδιαγραφών.

### **3.3 Λίστα προδιαγραφών**

Όταν το πρόβλημα ή η εργασία έχει οριστεί επ’ ακριβώς, προκύπτουν άλλες ανεξάρτητες χαρακτηριστικές τιμές και ειδικές προδιαγραφές, οι οποίες πρέπει να ικανοποιούνται. Είναι απαραίτητο να περιγραφούν επαρκώς όλες οι προδιαγραφές και ποιοτικά και ποσοτικά. Σε αυτό το project επιτυγχάνεται:

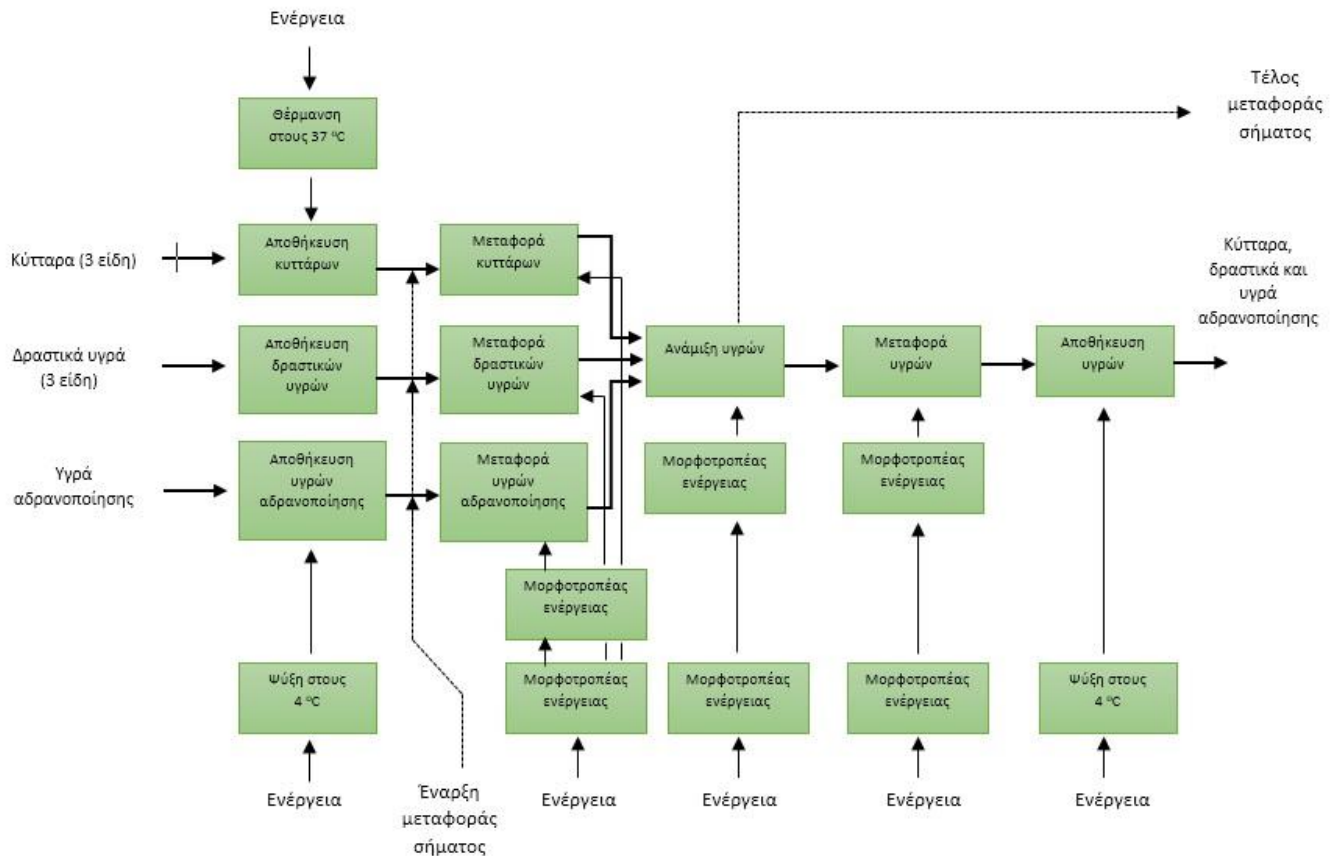
- Μέσω συζητήσεων με τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας (γιατρούς, βιολόγους)
- Μέσω της βιβλιογραφίας και αναζήτησης ευρεσιτεχνιών
- Μέσω ανάλυσης και αξιολόγησης των κανόνων που εφαρμόζονται, των κανονισμών κλπ. (τεχνικές προδιαγραφές ενός χειριστή αεροσκάφους) [46]

Τα αποτελέσματα αυτού του ακριβούς ορισμού καταγράφονται στην λίστα προδιαγραφών, όπου συνήθως περιέχονται οι στόχοι που πρέπει να υλοποιηθούν και οι κυρίαρχες συνθήκες που είναι σε μορφή προδιαγραφών και “επιθυμιών” [3]. Οι προδιαγραφές πρέπει πάντα να τηρούνται, ενώ οι “επιθυμίες” πραγματοποιούνται μόνο εάν είναι δυνατόν. Τα όρια μεταξύ προδιαγραφών και “επιθυμιών” δεν είναι πάντα σαφή, ιδιαίτερα σε διεπιστημονικές περιπτώσεις. Η λίστα προδιαγραφών

αποτελεί και την νομική βάση για οποιαδήποτε περαιτέρω ενέργεια που μπορεί να περιλαμβάνει ένα project.

## Κεφάλαιο 4 – Προκαταρκτική μελέτη

Στο στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης δομείται η συνολική συνάρτηση, με αποτέλεσμα να έχουμε την λειτουργική δομή του σχήματος 4.1, όπου το συνολικό σύστημα χωρίζεται στις υπολειτουργίες και τις συνδέσεις τους.














**Σχήμα 4.1** Απλοποιημένη λειτουργική δομή

Η διαδικασία αυτή δίνει τη δυνατότητα της ιδανικής ανάλυσης του συνολικού συστήματος και της ανάθεσης στις υπολειτουργίες των διαφόρων αρχών αποτελεσματικότητας. Οι αρχές αποτελεσματικότητας βασίζονται συνήθως σε φυσικά φαινόμενα, τα οποία συνδυάζονται με γεωμετρικά και υλικά χαρακτηριστικά [3, 47]. Στο συγκεκριμένο project χρησιμοποιήθηκαν συμβατικές, διαισθητικές και παρεκβατικές μέθοδοι, ώστε να οριστούν οι κατάλληλες αρχές.

Αναλυτικότερα:

- Συμβατική έρευνα (βιβλιογραφική ή ευρεσιτεχνίας)
- Διαισθητική μέθοδος (brainstorming)
- Παρεκβατική μέθοδος (χρήση σχεδιαστικών καταλόγων)

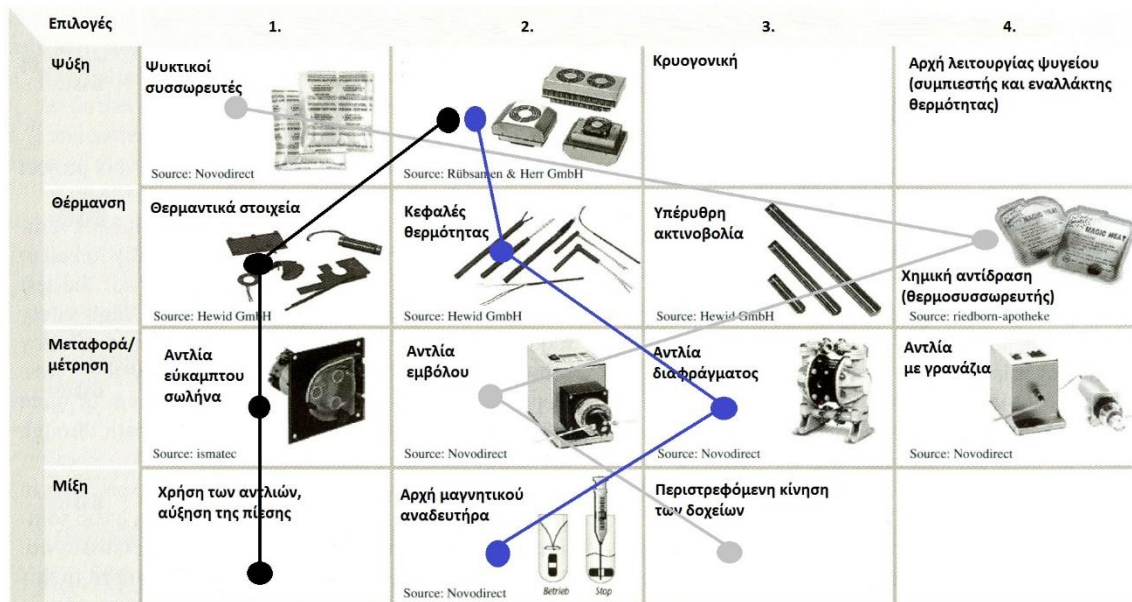
Όταν καθοριστούν οι κατάλληλες αρχές αποτελεσματικότητας, τότε εφαρμόζονται στις υπολειτουργίες, σε ένα διάγραμμα ταξινόμησης. Στο συγκεκριμένο project χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτό το μορφολογικό πλαίσιο (σχήμα 4.2).

Επιλογές	1.	2.	3.	4.
Ψύξη	<b>Ψυκτικοί συσσωρευτές</b>  Source: Novodirect	 Source: Rübsamen & Herr GmbH	Κρυογονική	<b>Αρχή λειτουργίας ψυγείου (συμπίεστής και εναλλάκτης θερμότητας)</b>
Θέρμανση	<b>Θερμαντικά στοιχεία</b>  Source: Hewid GmbH	<b>Κεφαλές θερμότητας</b>  Source: Hewid GmbH	<b>Υπέρυθρη ακτινοβολία</b>  Source: Hewid GmbH	 <b>Χημική αντίδραση (θερμοσυσσωρευτής)</b> Source: riedborn-apotheke
Μεταφορά/μέτρηση	<b>Αντλία εύκαμπτου σωλήνα</b>  Source: ismatec	<b>Αντλία εμβόλου</b>  Source: Novodirect	<b>Αντλία διαφράγματος</b>  Source: Novodirect	<b>Αντλία με γρανάζια</b>  Source: Novodirect
Μίξη	<b>Χρήση των αντλιών, αύξηση της πίεσης</b>	<b>Αρχή μαγνητικού αναδευτήρα</b>  Source: Novodirect	<b>Περιστερέφωμενη κίνηση των δοχείων</b>	

**Σχήμα 4.2** Μορφολογικό πλαίσιο

Οι αρχές που προκύπτουν, ώστε να ικανοποιούν τις υπολειτουργίες, πρέπει υποχρεωτικά να συνδέονται μεταξύ τους. Για παράδειγμα, στη συγκεκριμένη περίπτωση, κατά τη διάρκεια των δοκιμών ήταν βασική προτεραιότητα να πραγματοποιούνται οι προϋποθέσεις ασφαλείας σε συνδυασμό με τις αρχές αποτελεσματικότητας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα διαφορετικές δομές αποτελεσματικότητας. Στην πράξη είναι σύνηθες να σχεδιάζονται το πολύ τρεις διαφορετικές τέτοιες δομές. Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η πορεία μέσω του μορφολογικού πλαισίου.





Σχήμα 4.3 Πορεία μέσω του μορφολογικού πλαισίου

Οι δομές αποτελεσματικότητας που παράγονται καθορίζονται λεπτομερέστερα και αναπτύσσονται, ώστε να αποτελέσουν βασικές λύσεις, κάθε μια από τις οποίες αξιολογείται περαιτέρω στη συνέχεια. Ένα απόσπασμα της λίστας αξιολόγησης, που συντάχθηκε από ολη την ομάδα, παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4.

Κριτήρια Αξιολόγησης	Βάρος (B)	1η Επιλογή		2η Επιλογή		3η Επιλογή	
		Αντικείμενα (A)	BxA	Αντικείμενα (A)	BxA	Αντικείμενα (A)	BxA
Η αποθήκευση των κυττάρων και τα δραστικά υγρά διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία 37 C	0.8	4	3.2	1	0.8	3	2.4
Τα υγρά αδρανιοποίησης και ο μετέπειτα αποθηκευτικός χώρος διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία 4 C	1.0	4	4.0	1	1.0	4	4.0
Χαμηλής ενέργειας απαιτήσεις	0.6	2	1.2	4	2.4	2	1.2
Χαμηλή μάζα	0.7	3	2.1	3	2.1	2	1.4
Αποστειρωμένο σύστημα άντλησης, με λίγα μηχανικά εξαρτήματα στην περιοχή επαφής με τα υπόλοιπα αντικείμενα	0.5	4	2.0	2	1.0	2	1.0
Σύνολο			30.0		25.3		27.1
Ποσοστό			0.83		0.70		0.75

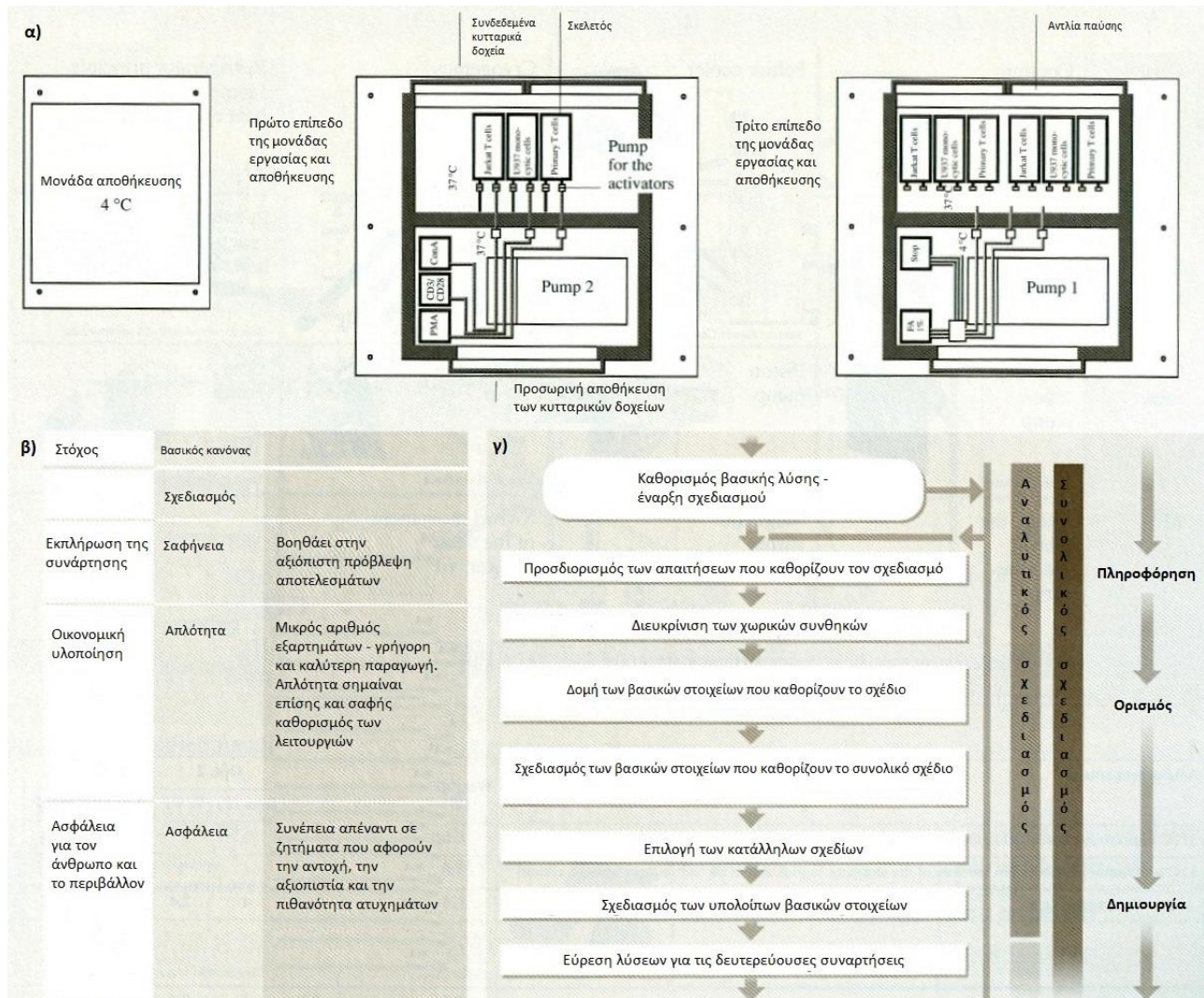
Σχήμα 4.4 Απόσπασμα της λίστας αξιολόγησης

Ως αποτέλεσμα προκύπτει μια βασική λύση, η οποία θα σχεδιαστεί στη συνέχεια. Γενικότερα, όπως και σε αυτή την περίπτωση, η βασική λύση προκύπτει από την δομή με την καλύτερη αξιολόγηση, οποία είναι και είναι η βάση του σταδίου σχεδιασμού, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5α. Η βασική λύση αποτελείται από δυο διαφορετικές ενότητες, όπου η πρώτη είναι στην πραγματικότητα η λειτουργική, με τα κύτταρα, τα υγρά και όλες τις απαραίτητες μονάδες να είναι εγκατεστημένες για να αντληθούν. Η ενότητα αυτή διαιρείται σε τρία διαφορετικά επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο περιέχει την αντλία, για να σταματάει τα υγρά, και τα κυτταρικά δοχεία, τα οποία και διαχωρίζονται από την αντλία με έναν τοίχο. Πάνω από αυτό το επίπεδο υπάρχει η τροφοδοσία και ο έλεγχος του

συστήματος, ενώ στο υψηλότερο επίπεδο βρίσκεται η αντλία για τους ενεργοποιητές και τα κυτταρικά δοχεία που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με έναν τοίχο. Τα ιατρικά μέλη της ομάδας διευκρινίζουν ότι τα κυτταρικά δοχεία τροφοδοτούνται παράλληλα. Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει το σύστημα ψύξης, στο οποίο όλα τα επεξεργασμένα πλέον κυτταρικά δοχεία αποθηκεύονται σε θερμοκρασία 4° C.

Η βάση για τον παραπάνω σχεδιασμό είναι οι προδιαγραφές των συνδέσεων, που έχουν οριστεί προηγουμένως από την ιατρική και την μηχανική ομάδα.

Τα δραστικά υγρά και τα υγρά αδρανοποίησης εισάγονται μέσα στο κυτταρικό δοχείο και με τον τρόπο αυτό έχουμε μια απλούστερη και καλύτερη λύση από αυτή που αναφέρθηκε προηγουμένως από τους ιατρούς. Η νέα αυτή λύση αποτρέπει την δημιουργία διατμητικών δυνάμεων, οι οποίες θα είχαν αρνητική επίδραση επάνω στα κύτταρα. Επιπλέον, αποφεύγεται η ανάγκη συνεχούς καθαρισμού των σωλήνων, ώστε να πραγματοποιείται κανονικά η ροή των υγρών. Επιτυγχάνεται λοιπόν η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων εξαρτημάτων (αντλίες, βαλβίδες, γραμμές) και μειώνεται το κόστος, αλλά και οι ποσότητες των υγρών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.



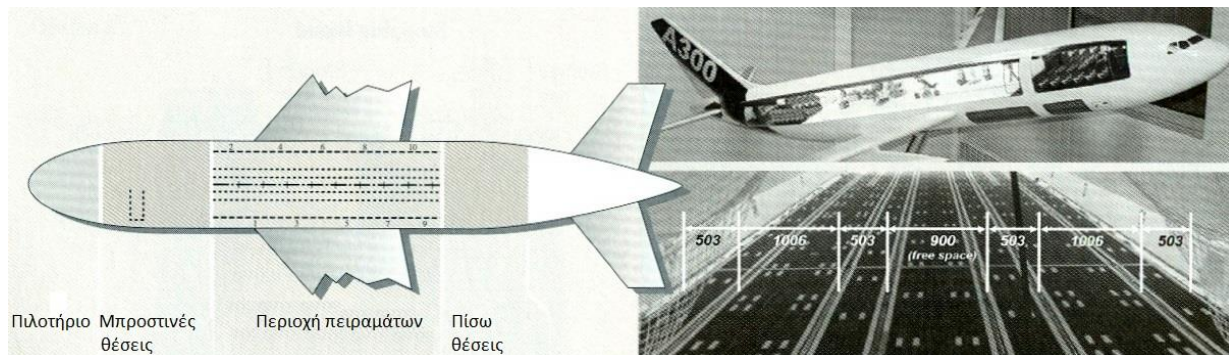
Σχήμα 4.5 Βασική λύση

## Κεφάλαιο 5 - Σχεδιασμός

Το στάδιο του σχεδιασμού χωρίζεται στα παρακάτω βήματα:

- Πρόχειρο σχέδιο
- Αναλυτικό σχέδιο
- Ολοκλήρωση και έλεγχος

Η λύση κατά τον σχεδιασμό καθορίζεται με μεγάλη ακρίβεια, καθώς όλες οι τεχνικές και οικονομικές προϋποθέσεις συντάσσονται κατά το στάδιο αυτό. Το αποτέλεσμα είναι το σχέδιο της λύσης, έχοντας οριστεί όλα τα γεωμετρικά και υλικά χαρακτηριστικά, αλλά και οι συνθήκες που πρέπει να επικρατούν. Οι τρεις κανόνες που πρέπει να τηρούνται στο στάδιο του σχεδιασμού είναι οι εξής: απλότητα, σαφήνεια, ασφάλεια. Στο σχήμα 5.1 φαίνεται το βασικό σχέδιο.



**Σχήμα 5.1** Διαθέσιμος (ελεύθερος χώρος) ενός Airbus A300 Novespace

Οι δραστηριότητες που ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη των πειραμάτων στα ανθρώπινα κύτταρα θα αναλυθούν στη συνέχεια.

### 5.1 Αναγνώριση προϋποθέσεων, καθορισμός του σχεδιασμού και αποσαφήνιση των χωρικών συνθηκών

Οι βασικές απαιτήσεις πρέπει να ορίζονται βάσει των περιβαλλόντων συνθηκών (διαθέσιμος χώρος, επιτρεπόμενες τάσεις και φορτία), ενώ οι υπόλοιπες προϋποθέσεις ορίζονται από την αλληλουχία των εργασιών. Οι κύριες προϋποθέσεις για το στήσιμο των δοκιμών καθορίζονται από τις πληροφορίες που περιέχονται στο εγχειρίδιο λειτουργίας του αεροσκάφους. Το εγχειρίδιο αυτό προσφέρει πληροφορίες, που αφορούν τις εσωτερικές διαστάσεις του πλαισίου του αεροσκάφους, τις διαστάσεις

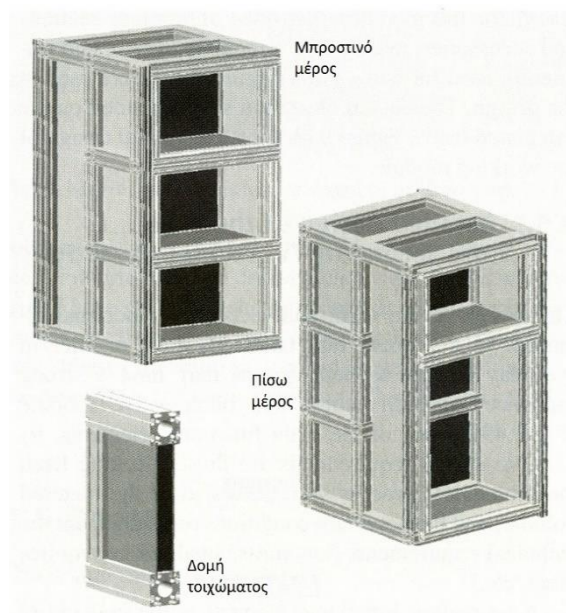


των εισόδων των φορτίων, τα μέγιστα βάρη φόρτωσης, πληροφορίες που αφορούν την τροφοδοσία του κ.λπ.

## 5.2 Πρόχειρος σχεδιασμός και δόμηση των κύριων λειτουργικών στοιχείων – Καθορισμός του σχεδίου και επιλογή των κατάλληλων σχεδίων

Κατά τη διαδικασία αυτή δημιουργείται ένα πρόχειρο διάγραμμα, που αφορά την κύρια ροή των υλικών, κατονομάζοντας ουσιαστικά τα πρωταρχικά εξαρτήματα που θα επιλεγούν. Η κύρια ροή των υλικών είναι η μεταφορά των υγρών από τον χώρο που αποθηκεύονται στα κύτταρα, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες δοκιμές. Για τη διαδικασία αυτή επιλέχθηκαν ελαστικοί σωλήνες και κατάλληλες βαλβίδες και αντλία. Το μέγεθος της αντλίας και των βαλβίδων επιλέχθηκαν βάσει των απαιτήσεων του χρόνου και του ρυθμού παράδοσης που έχουν οριστεί από τις μεταβλητές των βιοϊατρικών διαδικασιών. Λόγω των μεταβλητών αυτών, η αρχική αντλία τριών κεφαλών για όλα τα υγρά αντικαταστάθηκε με έξι διαφορετικές, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος του πειράματος.

Ένα άλλο βασικό λειτουργικό στοιχείο ήταν το πλαίσιο των θαλάμων, όπου χρησιμοποιήθηκαν αλουμινένια τμήματα, όπως χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα αυτοματισμού. Το μέγεθος των τμημάτων αυτών επιλέχθηκε με βάση τα υπολογιζόμενα φορτία.

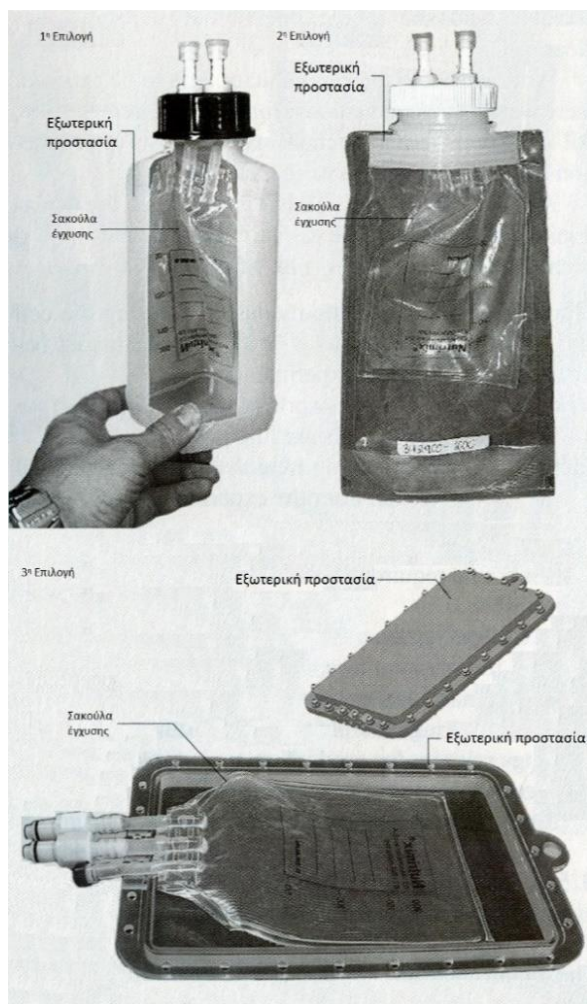


*Σχήμα 5.2 Αρχικό σχέδιο ραφιών εργασίας: Μπροστινή, πλαϊνή και συνολική δομή*

### **5.3 Αναλυτικός σχεδιασμός των κύριων και δευτερευόντων λειτουργικών στοιχείων**

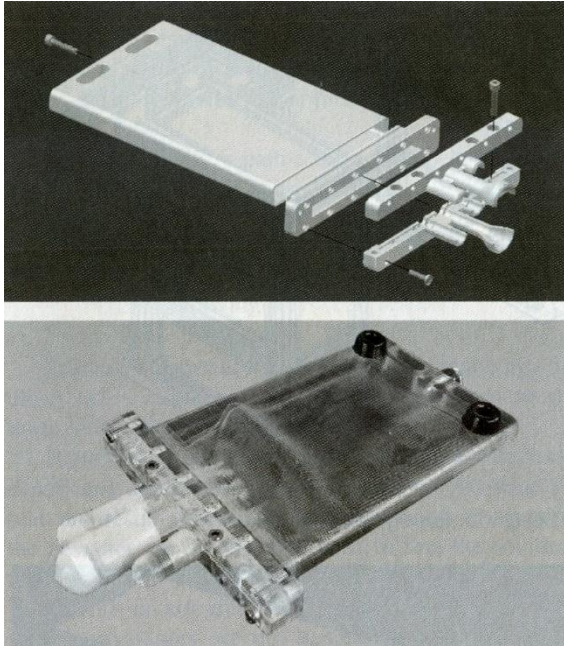
Ο σχεδιασμός των κύριων και δευτερευόντων λειτουργικών στοιχείων είναι μια διαδικασία, η οποία λαμβάνει χώρα παράλληλα με τον καθημερινό σχεδιασμό, με τις δύο ομάδες να αλληλοεπηρεάζονται και να αλληλεξαρτώνται. Η βαλβίδα της αντλίας είναι ένα από τα κύρια λειτουργικά στοιχεία. Οι απαραίτητες σχεδιαστικές προδιαγραφές της είναι αποτέλεσμα βιοϊατρικών μεταβλητών (μέγεθος του μετρούμενου όγκου) και οι οριακές συνθήκες που την αφορούν είναι απόρροια τεχνικών προϋποθέσεων (χαμηλή μάζα, χαμηλές χωρικές απαιτήσεις).

Ένα δευτερεύον λειτουργικό στοιχείο είναι το κυτταρικό δοχείο, το οποίο περιέχει αρχικά 15 χιλιοστόλιτρα (ml) κυτταρικού υγρού και στο οποίο εγχέεται το δραστικό υγρό πριν από το στάδιο έλλειψης βαρύτητας, το οποίο διαρκεί 22 με 25 δευτερόλεπτα. Η έγχυση πρέπει να πραγματοποιείται υπό αποστειρωμένες συνθήκες αλλά και σε κενό αέρος. Επιπλέον, λόγω των κανόνων ασφαλείας, το σκεύος αυτό πρέπει να είναι σχεδιασμένο με διπλό τοίχωμα και δυνατότητα γρήγορης αφαίρεσης των υγρών μετά την διεξαγωγή του πειράματος. Για βιολογικούς και οικονομικούς λόγους το εσωτερικό μέρος του σκεύους πρέπει να είναι μίας χρήσης, ενώ το εξωτερικό μέρος να είναι επαναχρησιμοποιούμενο. Λόγω των προϋποθέσεων που αναφέραμε ήταν απαραίτητη η μελέτη πολλών διαφορετικών λύσεων, ώστε να ελεγχθούν και να επιλεγεί η καταλληλότερη (σχήμα 5.3).

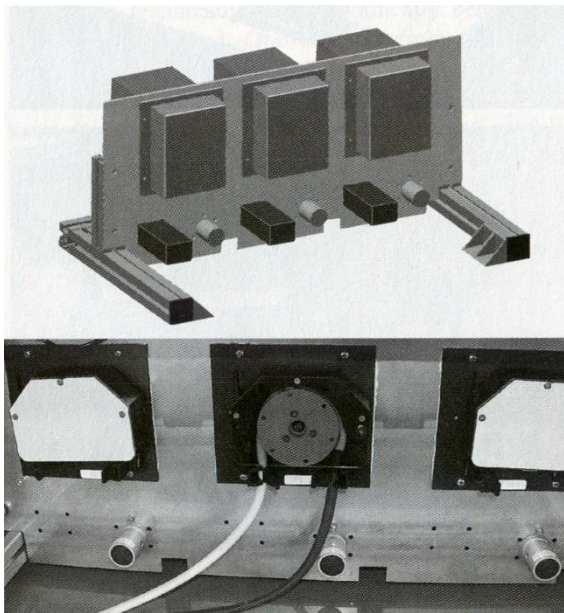


**Σχήμα 5.3** Πιθανές λύσεις για το δεύτερο λειτουργικό στοιχείο: το κυτταρικό δοχείο

Η πρώτη επιλογή αποτελείται από μια εσωτερική σακούλα έγχυσης, ενσωματωμένη σε μια συμβατική φιάλη του ενός λίτρου. Η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω ενός λάστιχου, το οποίο είναι προσαρμοσμένο στο πόμα της φιάλης. Η δεύτερη επιλογή έχει παρόμοια κατασκευή με την πρώτη, έχοντας και μια δεύτερη σακούλα υγρού, ώστε να παρέχεται επιπλέον προστασία. Τέλος, στην τρίτη επιλογή η εξωτερική προστασία είναι κατασκευασμένη από ένα ειδικό πρωτότυπο πλαστικό. Οι δύο πρώτες επιλογές είναι οικονομικά συμφέρουσες, καθώς αποτελούνται από κοινά παραγόμενα αντικείμενα. Παρ' όλα αυτά, παρουσιάζουν σημαντικά ελαττώματα κατά τη λειτουργία τους, καθώς όταν η εσωτερική σακούλα βιδώνεται στο εσωτερικό, αναπόφευκτα παραμορφώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην γίνεται ανεμπόδιστα η ροή του υγρού. Η τρίτη επιλογή, παρ' όλο που είναι η ακριβότερη, επιτυγχάνει την ροή του υγρού βάσει όλων των προδιαγραφών και για αυτό και επιλέχθηκε για περαιτέρω βελτιστοποίηση (σχήμα 5.4).



*Σχήμα 5.4 Δομή κυτταρικού δοχείου*



*Σχήμα 5.5 Μονάδα βαλβίδας της αντλίας κατά την ανάπτυξη και την συναρμολόγηση*

#### **5.4 Αξιολόγηση βάσει τεχνικών και οικονομικών κριτηρίων και προσδιορισμός του προκαταρκτικού συνολικού σχεδίου**

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και των σχετικών διαδικασιών δοκιμών και ελέγχου παρουσιάστηκαν προδιαγραφές, οι οποίες δεν μπορούσαν να επιτευχθούν, όπως:

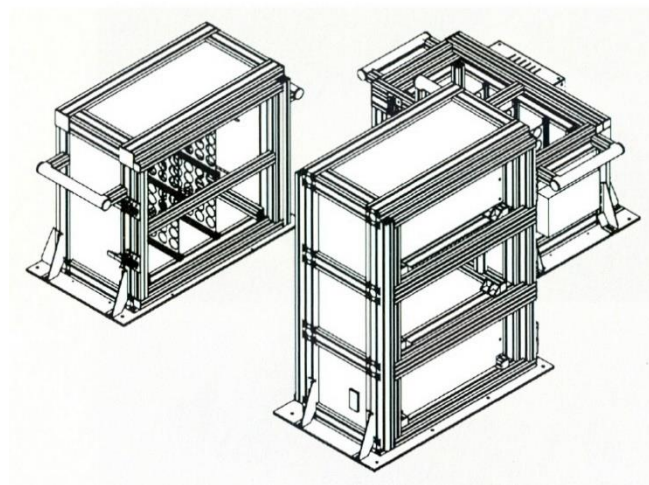


- Συμβατότητα με τις μέγιστες διαστάσεις των θαλάμων
- Συμβατότητα με την μέγιστη μάζα
- Συμβατότητα με την ηλεκτρική κατανάλωση

Στο στάδιο αυτό έγινε έλεγχος όσον αφορά τη λειτουργικότητα και παρατηρήθηκε ότι δεν παραβιαζόταν καμία προδιαγραφή. Επίσης, οι καθορισμένες ποσότητες παράδοσης από τις αντλίες πληρούσαν τις απαραίτητες προϋποθέσεις. Επιπλέον, τα θερμοκρασιακά εύρη που έπρεπε να ισχύουν επιτεύχθηκαν και όλη η λειτουργική διαδικασία πραγματοποιούνταν ομαλά. Η επίτευξη των απαραίτητων προϋποθέσεων επιτεύχθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα οικονομικά κριτήρια και οι περιορισμοί που αφορούσαν τα κόστη των υλικών, της παραγωγής και της συναρμολόγησης δεν ξεπεράστηκαν.

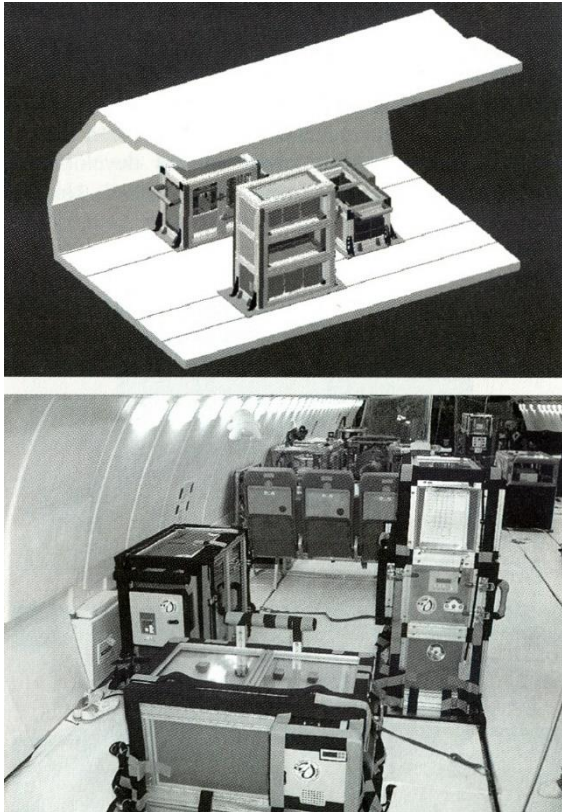
Σύμφωνα με την λίστα των προϋποθέσεων, δημιουργήθηκε και ένα δεύτερο σχέδιο, το οποίο αποτελούνταν από τρεις ξεχωριστούς θαλάμους (σχήμα 5.6). Ο πρώτος θάλαμος ήταν ο θάλαμος θέρμανσης και η χρήση του ήταν η αποθήκευση των κυττάρων πριν τη διεξαγωγή του πειράματος στους 37° C. Ο δεύτερος θάλαμος ήταν ο θάλαμος λειτουργίας, όπου γινόταν η έκχυση των κυτταρικών δοχείων, ενώ ο τρίτος ήταν ο θάλαμος ψύξης για την αποθήκευση των κυτταρικών δοχείων μετά τη διεξαγωγή του πειράματος στους 4° C.

Το σχέδιο αυτό ικανοποιούσε και τις τεχνικές και τις οικονομικές προδιαγραφές και προωθήθηκε για περαιτέρω μελέτη και σχεδιασμό.



**Σχήμα 5.6** Σχέδια των θαλάμων που πραγματοποιούνται τα πειράματα

Στο τελευταίο στάδιο του σχεδιασμού είναι απαραίτητο να προσαρμοστεί η ευρεθείσα λύση με τους κανονισμούς και τους περιορισμούς που ισχύουν. Στο στάδιο αυτό, μεταξύ άλλων, ολοκληρώνονται τα σχέδια που σχετίζονται με την παραγωγή και παρουσιάζεται η τεκμηρίωση του προϊόντος (σχήμα 5.7).



*Σχήμα 5.7 Θάλαμοι πειραμάτων*

### **5.5 Επακόλουθη εξέταση, ανάλυση σφαλμάτων, τελειοποίηση**

Οι κύριες δραστηριότητες στη φάση του σχεδιασμού [3] είναι ο έλεγχος σφαλμάτων και φαινομένων που προκαλούν διακοπές στη διαδικασία. Οι δραστηριότητες αυτές είναι βασικές και απαραίτητες, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε αποτυχημένη προσπάθεια ανάπτυξης κάποιου προϊόντος. Παρ' όλα αυτά, ο συστηματικός έλεγχος σφαλμάτων στην ανάπτυξη των θαλάμων ήταν δυνατός σε περιορισμένη κλίμακα. Σε αντίθεση με άλλα project, όπου υπήρχαν ήδη εμπειρικές τιμές και πραγματοποιούνταν προκαταρκτικές δοκιμές παράλληλα με την διαδικασία της ανάπτυξης, η ανάλυση των θαλάμων βασίστηκε εξ' ολοκλήρου σε υποθέσεις. Κατά τη διάρκεια της φάσης της ανάπτυξης δεν ήταν δυνατό να δοκιμασθούν οι θάλαμοι υπό έλλειψη βαρύτητας και για αυτό το λόγο ήταν σημαντικό να καταγραφεί και να αναλυθεί η λειτουργία των θαλάμων κατά τις παραβολικές

πήσεις. Αυτός ήταν και ο μόνος τρόπος, ώστε να επισημανθούν τυχόν σφάλματα και βελτιώσεις. Παραδείγματα των τροποποιήσεων που υπέστησαν οι θάλαμοι παρουσιάζονται παρακάτω:

- Αντικατάσταση των περισσότερων ελαστικών σωλήνων στο κέντρο από άκαμπτους σωλήνες
- Ενσωμάτωση αισθητήρων ασφαλείας για την επιβεβαίωση της τοποθέτησης των δοχείων προτού αρχίσει η έκχυση
- Αντικατάσταση των χειροκίνητων βαλβίδων εξαερισμού με αυτόματες
- Βελτίωση των stoppers των κυτταρικών δοχείων στους θαλάμους θέρμανσης και ψύξης

Η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός των μηχανικών συστημάτων, σύμφωνα με την μεθοδολογική άποψη που λαμβάνεται από την βιβλιογραφία, είναι μια συνήθης διαδικασία. Οι κατευθυντήριες γραμμές του μεθοδολογικού σχεδιασμού εφαρμόζονται και σε περιπτώσεις διεπιστημονικών εργασιών μαζί με τα διάφορα εργαλεία, όπως η λίστα προδιαγραφών. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού είναι σημαντικό η διαδικασία ανάπτυξης του προϊόντος να συμμορφώνεται με τους βασικούς κανόνες του σχεδιασμού: απλότητα, σαφήνεια, ασφάλεια.

1. Απλότητα:

Μόνο το 15% των απαιτούμενων εξαρτημάτων είναι ειδικά κατασκευασμένο

2. Σαφήνεια:

Η διαδρομή που ακολουθούν τα υγρά είναι ξεκάθαρη και δεν δημιουργούνται αναπάντεχα προβλήματα

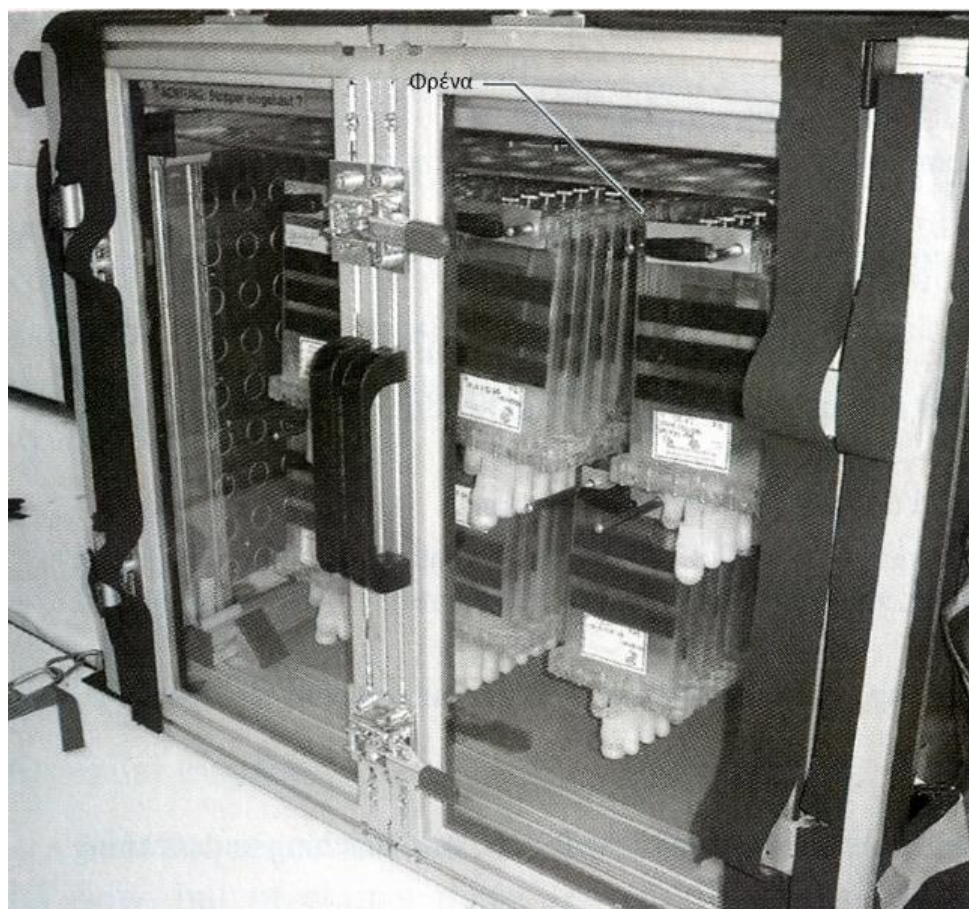
3. Ασφάλεια:

Βελτίωση των κινούμενων μερών

Στη διαδικασία δόθηκε μεγάλη σημασία στην απ' ευθείας σύνδεση των προδιαγραφών ασφαλείας με την ανάπτυξη του προϊόντος, σύνδεση η οποία επιτεύχθηκε με επιτυχία.

Αντίθετα με τις θεωρητικές αρχές, ειδικά κατά την εννοιολογική και σχεδιαστική φάση, η εμπειρία και το ένστικτο του σχεδιαστή είναι αυτά που υπερισχύουν στην εύρεση της λύσης, ενώ η συστηματική ανάπτυξη παραγκωνίζεται συνειδητά. Αυτό δεν οφείλεται στο ότι οι θεωρητικές διαδικασίες δεν μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη, αλλά στο γεγονός ότι για την εφαρμογή τους

απαιτείται παραπάνω χρόνος και κόστος. Είναι συχνό φαινόμενο ο σχεδιαστής να μην είναι σε θέση να καθορίσει όλες τις παραμέτρους για τις κύριες και δευτερεύουσες διαδικασίες ή να μην μπορεί να σχεδιάσει την συνολική ή και τις επιμέρους λύσεις, αλλά παρ' όλα αυτά να βρει μια λύση μέσα στα χρονικά και οικονομικά περιθώρια τα οποία έχει. Υπάρχει βέβαια σε αυτές τις περιπτώσεις το ρίσκο να παραλείφθηκε μια οικονομικά καλύτερη λύση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι τα φρένα που αναφέραμε προηγουμένως για τα κυτταρικά δοχεία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στους θαλάμους λειτουργίας και θέρμανσης (σχήμα 5.8). Στην περίπτωση αυτή δεν μελετήθηκαν πολλοί παράγοντες διεξοδικά και επιλέχθηκε η πρώτη λύση που προέκυψε. Κατά την αξιολόγηση στις πτήσεις, το προσωπικό λειτουργίας ανέφερε, ότι λόγω των υψηλών τάσεων που αναπτύχθηκαν κατά τις παραβολικές πτήσεις, τα φρένα ήταν δύσκολο να απελευθερωθούν. Η λύση λοιπόν αυτή ήταν αποδεκτή αρχικά, αλλά θα αντικατασταθεί από κάποια καταλληλότερη στις επόμενες πτήσεις.



*Σχήμα 5.8 Φρένα στους θαλάμους θέρμανσης*



## Κεφάλαιο 6 - Σχεδιασμός και κατασκευή βάσει του περιβάλλοντος

Μπορεί κανείς να φανταστεί ότι το περιβάλλον αλληλοεπιδρά με τον άνθρωπο με δύο τρόπους: ως πηγή των φυσικών πόρων και ως ένα δοχείο / συλλέκτης των αποβλήτων και των εκπομπών των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που παρουσιάζονται προέρχονται όλα από την υπέρμετρη χρήση του, είτε με τον έναν είτε με τον άλλο τρόπο. Η υπέρμετρη χρήση των φυσικών πόρων έχει οδηγήσει στην μείωση πολλών πόρων ποσοτικά, αλλά και ποιοτικά. Η χρήση του περιβάλλοντος σε τόσο μεγάλο βαθμό ως συλλέκτη αποβλήτων έχει διαταράξει τις ισορροπίες σε όλες τις φυσικές διαδικασίες, ισορροπίες που σε πολλές περιπτώσεις πρέπει να περάσει μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να γίνουν αντιληπτές. Η τρύπα του όζοντος, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ο ευτροφισμός είναι κάποια σημαντικά και ενδεικτικά παραδείγματα της βλάβης που έχει επιτελεστεί. Οι διορθωτικές ενέργειες που απαιτούνται σχετίζονται συχνά με αλλαγές που πρέπει να γίνουν στον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα υλικά, στον τρόπο που παράγεται η ενέργεια και στην διάθεση των αποβλήτων και των απορριμμάτων. Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ανησυχίες και προβληματισμοί, όσον αφορά το περιβάλλον, και τρόποι παραγωγής αλλά και διάθεσης αποβλήτων, που μπορούν να βοηθήσουν.

**Πίνακας 2** Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που εκφράζονται και η σύνδεσή τους με την παραγωγική διαδικασία

Περιβαλλοντικοί Προβληματισμοί	Σύνδεση με τις διαδικασίες κατασκευής
1. Παγκόσμια κλιματική αλλαγή	Εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από άμεση ή έμμεση χρήση ενέργειας, αέρια υγειονομικής ταφής
2. Επιβάρυνση του ανθρώπινου οργανισμού	Εκπομπές τοξίνων, καρκινογόνες εκπομπές (χρήση των βαρέων μετάλλων, διαλυτών, την καύση του κάρβουνου)
3. Διαθεσιμότητα και ποιότητα του νερού	Χρήση νερού και απόρριψή του (κυρίως για την ψύξη και τον καθαρισμό)
4. Εξάντληση πόρων ορυκτών καυσίμων	Χρήση ηλεκτρισμού και ορυκτών καυσίμων
5. Απώλεια βιοποικιλότητας	Χρήση της γης, χρήση του νερού, θερμική μόλυνση
6. Εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος	Εκπομπές χλωροφθορανθράκων, υδροχλωροφθορανθράκων, υπεροξειδίων του αζώτου (απαιτήσεις ψύξης κλιματιστικών, ψυγείων)
7. Μοτίβο του τρόπου χρήσης της γης	Γη κατάλληλη για εξόρυξη, για καλλιέργεια βιοϋλικών, για απόρριψη απορριμμάτων
8. Εξάντληση πόρων μη-ορυκτών καυσίμων	Χρήση και απόρριψη υλικών
9. Διάθεση οξέος στη γη	Εκπομπή θείου και οξειδίων του αζώτου

Από τον πίνακα 2 συμπεραίνουμε, ότι πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα είναι άμεσα σχετιζόμενα με την χρήση των πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων και των υλών που χρησιμοποιούνται για την

παραγωγή ενέργειας. Ειδικότερα, πολλές από τις ανησυχίες, που εκφράζονται στον παραπάνω πίνακα, είναι άμεσα συνδεδεμένες με την χρήση ορυκτών για την παραγωγή ενέργειας. Έχουμε λοιπόν εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) από την καύση των ορυκτών καυσίμων και απόθεση οξειδίων του Θείου (SO<sub>x</sub>) και βαρέων μετάλλων (Αρσενικού (As), Καδμίου (Cd), Χρωμίου (Cr)) στο έδαφος [48][49]. Στην πραγματικότητα, τέσσερις από τις εννέα ανησυχίες που διατυπώνονται στον πίνακα (1, 2, 4 και 9) σχετίζονται με την χρήση ορυκτών καυσίμων. Γι' αυτό θα δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην κατανάλωση ενέργειας κατά τον κύκλο ζωής των προϊόντων.

### **6.1 Οργάνωση του κύκλου ζωής για την αξιολόγηση του προϊόντος**

Μια πολύ ενδιαφέρουσα διάσταση της περιβαλλοντικής ανάλυσης περιλαμβάνει την καταγραφή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και ειδικότερα την ροή της ύλης. Λίγοι άνθρωποι αναρωτιούνται από πού προέρχονται οι πρώτες ύλες ή που πηγαίνουν μετά την κατανάλωση των προϊόντων. Ορίζοντας το βάρος που έχει για το περιβάλλον κάθε προϊόν ή δραστηριότητα, είμαστε σε θέση να αποφασίσουμε αν αξίζει ένα προϊόν ή μια δραστηριότητα συγκριτικά με την επιβάρυνση που προκαλεί στο περιβάλλον. Ενώ σαν ιδέα είναι αρκετά απλή, στην πραγματικότητα είναι αρκετά δύσκολο να προσδιορισθεί. Οι κύριες δυσκολίες είναι:

- Ο ορισμός των ορίων του συστήματος
- Η απόκτηση δεδομένων που είναι ακριβή
- Η παρουσίαση των δεδομένων συνοπτικά, με τρόπο ώστε να είναι σαφής η υπαιτιότητα
- Η σωστή εκτίμηση των αποτελεσμάτων

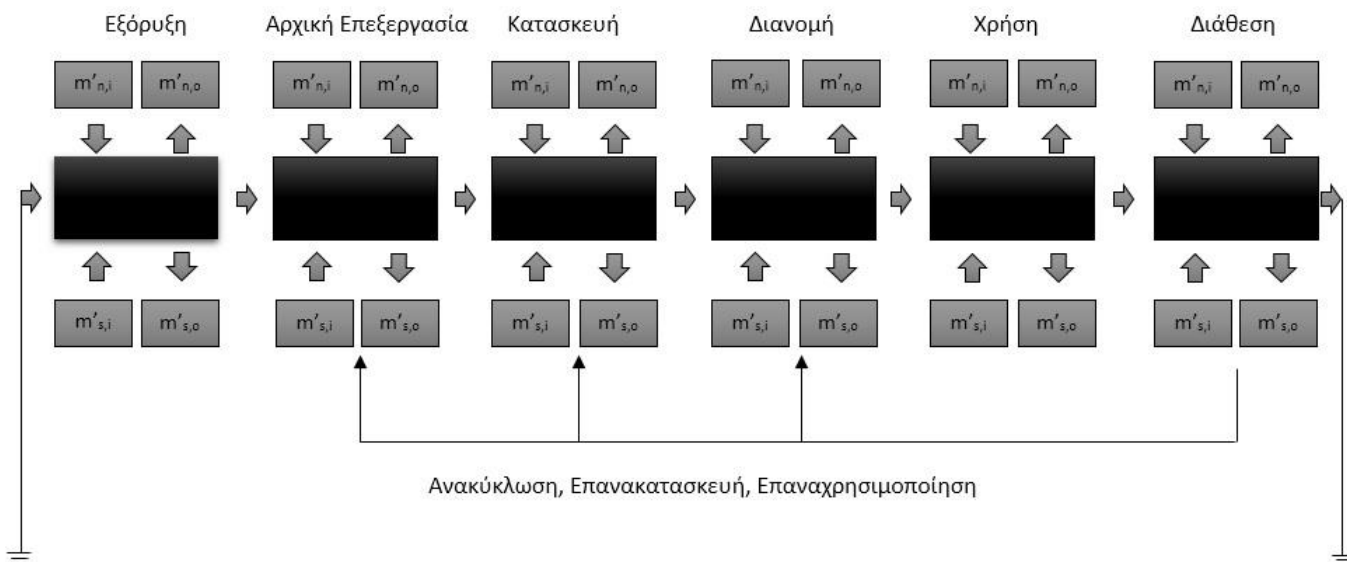
Η προσέγγιση που ακολουθεί θα παρουσιάσει το προϊόν χρησιμοποιώντας διαγράμματα ροής των υλικών, τα οποία φανερώνουν τις βασικές εισροές και εκροές. Γενικότερα, δεν θα γίνει προσπάθεια να συνδυαστούν οι ροές αυτές με συγκεκριμένα επίπεδα περιβαλλοντικής καταστροφής, αλλά θα αντιμετωπισθούν ως βάρος απέναντι στο περιβάλλον με σκοπό την τεχνική τους βελτίωση. Όταν υπάρχουν συγκεκριμένα επίπεδα εισροών και εκροών, τότε η ανάλυση αυτή καλείται απογραφή κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory - LCI). Η συνολική ανάλυση του κύκλου ζωής (Life Cycle Analysis - LCA) εμπεριέχει την απογραφή του κύκλου ζωής και τις συνδέσεις μεταξύ των παραγόμενων “φορτίων” και της βλάβης που προκαλούν στο περιβάλλον, καθώς συχνά παράγονται

τιμές ταξινόμησης ανάλογα με το μέγεθος της ζημιάς που προκαλείται. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται από κάποιες μεθόδους συνολικής ανάλυσης του κύκλου ζωής για να παράγουν τελικά ένα αριθμητικό αποτέλεσμα. Αυτό μπορεί να αποτελέσει ένα παράγοντα λήψης αποφάσεων, κάτι που δεν συμβαίνει συχνά, λόγω άλλων δυσκολιών που παρουσιάζονται.

Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να καταστεί σαφής η έννοια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Η έννοια αυτή γίνεται συνήθως αντιληπτή ως η πορεία που ακολουθείται από την εξόρυξη των πρώτων υλών, μέχρι την διάθεση των αποβλήτων πίσω στη γη. Τα γενικά στάδια αυτού του γραμμικού κύκλου είναι:

1. Εξόρυξη πρώτων υλών
2. Πρωταρχική επεξεργασία
3. Κατασκευή / Παραγωγή
4. Διανομή προϊόντων
5. Χρήση
6. Τελική διάθεση

Η παραπάνω ακολουθία πραγματοποιείται βάσει της κύριας ροής της ύλης, αλλά φυσικά στην περίπτωση μας υπάρχουν πολλαπλές ροές, αλλά και αντίθετες ροές (επαναχρησιμοποίηση προϊόντος, ανακύκλωση). Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζονται οι ροές αυτές σε μια γενική μορφή. Θεωρούμε την κοινωνία ως ένα απέραντο πλέγμα δικτύων σαν αυτό, όπου όμως πηγάζει και καταλήγει στην γη. Για να είναι καλύτερα κατανοητό, στο σχήμα που παρουσιάζεται έχουν ορισθεί αυστηρά τα όρια του κάθε συστήματος καθώς και ο σκοπός τους στην μελέτη του κύκλου ζωής. Μέθοδοι αναστροφής πινάκων που χρησιμοποιούνται σε οικονομικές αναλύσεις [50], μαζί με υψηλού επιπέδου στατιστική έχουν χρησιμοποιηθεί ώστε να επιλυθεί το πρώτο πρόβλημα [51, 52], ενώ η εμπειρία και μαθηματικές προσεγγίσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για να αντιμετωπισθεί το δεύτερο [53, 54].



**Σχήμα 6.1** Οι υλικές ροές του κύκλου ζωής ενός προϊόντος

Η πιο κοινή πρακτική μεταξύ των μελετητών της συνολικής ανάλυσης του κύκλου ζωής βασίζεται στην ανάπτυξη διαγραμμάτων ροής για τα προϊόντα, παρόμοια με το διάγραμμα του σχήματος 6.1, και εντοπίζοντας την κύρια εισροή και εκροή από και προς τη γη. Αυτό απαιτεί μια λίστα όλων των υλικών και των διαδικασιών παραγωγής, των σεναρίων κοινής χρήσης, των διαύλων διανομής και όλων των χαρακτηριστικών του προϊόντος. Οι λίστες αυτές μπορούν κάλλιστα να περιέχουν εκατοντάδες υλικά, όπου στη συνέχεια απαιτείται απλοποίηση και συγκέντρωσή τους, ώστε να είναι δυνατή η ερμηνεία τους. Στο κεφάλαιο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε μια απλοποιημένη μορφή, που προτείνεται στο βιβλίο του Graedel στην βελτιστοποιημένη ανάλυση του κύκλου ζωής (Streamlined cycle life analysis (SLCA)) [55]. Η ανάλυση αυτή εξετάζει κάθε στάδιο του κύκλου ζωής και κατατάσσει τις κύριες επιδράσεις και πιθανότητες βελτιστοποίησης στις πέντε παρακάτω κατηγορίες:

1. Επιλογή υλικών
2. Χρήση ενέργειας
3. Στερεά υπολείμματα
4. Υγρά υπολείμματα
5. Αέρια υπολείμματα



Ο Graedel προτείνει την βαθμολογία κάθε σταδίου του κύκλου ζωής για κάθε μια από τις πέντε κατηγορίες, από το μηδέν (το χειρότερο) έως το τέσσερα (το καλύτερο). Συγκεκριμένα, ο βαθμός μηδέν φανερώνει μια πολύ κακή επιλογή, η οποία προκαλεί σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον, ενώ ο βαθμός τέσσερα δίδεται σε μια επιλογή, η οποία δεν θα έχει αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον. Το τέλειο προϊόν μπορεί να έχει συνολική βαθμολογία εκατό μονάδες. Ο Graedel δίνει μια πιο συγκεκριμένη οδηγία για τον τρόπο βαθμολόγησης, που είναι ο παρακάτω 5x5 πίνακας.

**Πίνακας 3 Η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ευθύνης ενός προϊόντος**

Στάδια Κύκλου Ζωής	Περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες				
	Επιλογή Υλικών	Χρήση Ενέργειας	Στερεά Υπολείμματα	Υγρά Υπολείμματα	Αέρια Υπολείμματα
Προ-κατασκευή	11	12	13	14	15
Κατασκευή προϊόντος	21	22	23	24	25
Παράδοση προϊόντος	31	32	33	34	35
Χρήση προϊόντος	41	42	43	44	45
Ανακαίνιση, ανακύκλωση, απόρριψη	51	52	53	54	55

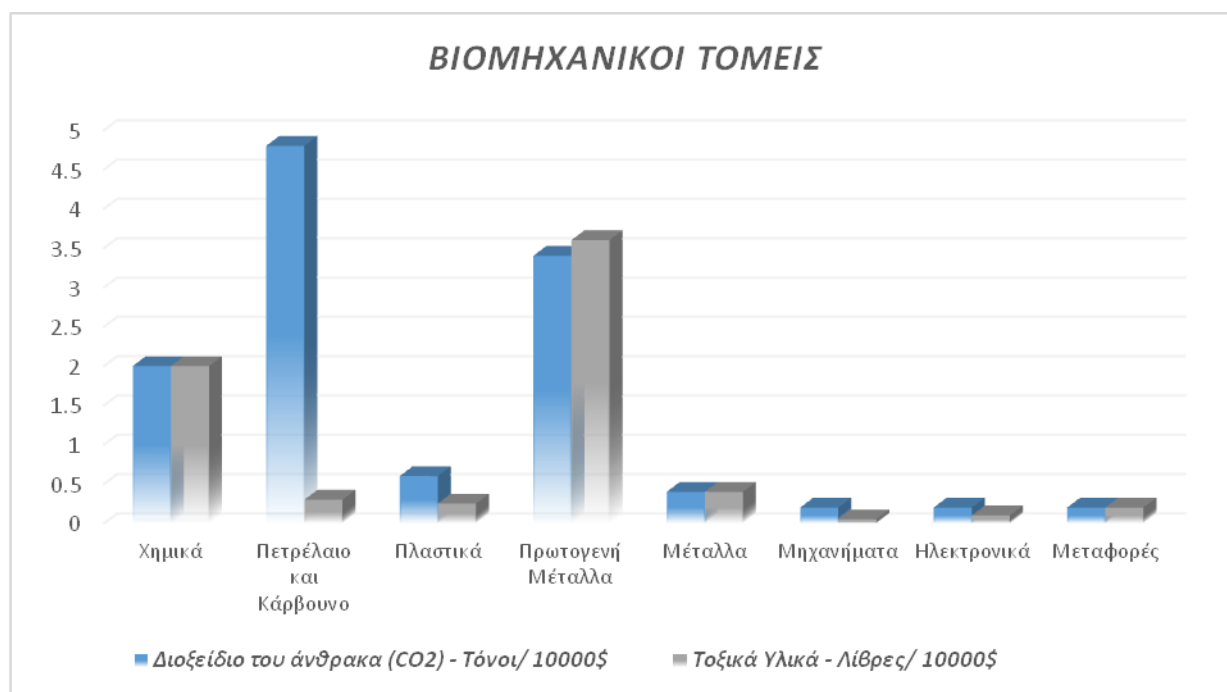
## 6.2 Στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος

Στην ενότητα αυτή θα προσδιορίσουμε κάποια από τα βασικά περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται στα πέντε στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Η βαθμολόγηση των προϊόντων της βελτιστοποιημένης ανάλυσης του κύκλου ζωής εξαρτάται από την προσπάθεια του σχεδιαστή και του κατασκευαστή να αποφύγουν τα προβλήματα αυτά και να αντικαταστήσουν όποτε χρειαστεί υλικά ή ακόμα και τεχνολογία

### Προκατασκευή: Εξαγωγή υλικών και αρχική επεξεργασία

Πολλές από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την επιλογή των υλικών παρατηρούνται στα πολύ πρώιμα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Αυτό μπορούμε να το συμπεράνουμε και από τα εθνικά στατιστικά των Ηνωμένων Πολιτειών για την κατανάλωση ενέργειας, τις ρυπαντικές ουσίες και τα επικίνδυνα υλικά από διάφορους βιομηχανικούς τομείς. Για παράδειγμα, στο σχήμα 6.2, παρουσιάζονται κάποιοι τομείς της βιομηχανίας και το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα και τα τοξικά απόβλητα ανά αξία φορτίου. Οι βιομηχανίες χημικών, πετρελαίου και πρωτογενών μετάλλων επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον σε σχέση με την βιομηχανία πλαστικών, μετάλλων, μηχανημάτων, ηλεκτρονικών και μεταφορών. Στο σχήμα 6.2 δεν

παρουσιάζεται ο τομέας της μεταλλευτικής βιομηχανίας, ο οποίος το 1998 είχε το 145% παραπάνω τοξικά απόβλητα από όλους τους υπόλοιπους τομείς συνολικά [56].



**Σχήμα 6.2** Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων τοξικών υλικών διάφορων βιομηχανικών κλάδων

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί με δύο τρόπους: συγκριτικά πολύ μεγάλες εκπομπές και συγκριτικά πολύ χαμηλές τιμές. Οι βιομηχανίες πρωτογενούς επεξεργασίας διαχειρίζονται πολύ μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών, οι οποίες οδηγούν σε πολύ μεγάλες ποσότητες αποβλήτων και εκπομπών αερίων. Για παράδειγμα, η βιομηχανία εξόρυξης είναι πολύ επιβλαβής, παράγοντας μεγάλες ποσότητες αποβλήτων ανά ορυκτό που εξορύσσεται σε αναλογία 3:1 για τον σίδηρο και το αλουμίνιο, έως και 10000:1 για τον χρυσό. Επίσης, πολλά μέταλλα υφίστανται ως σουλφίδια μετάλλου, τα οποία όταν εκτεθούν στον αέρα οξειδώνονται σε σουλφίδια ή παράγουν θειϊκό οξύ, το οποίο προκαλεί σημαντική μόλυνση. Πολλά από τα κοινά μέταλλα οδηγούν σε παραγωγή θειϊκού οξέος, συμπεριλαμβανομένου του χαλκού, του σιδήρου, του νικελίου και του μολύβδου. Επιπλέον, κατά τα αρχικά στάδια των διαδικασιών εξόρυξης χρησιμοποιούνται πολλά επικίνδυνα υλικά, τα οποία εάν διαφύγουν προς το περιβάλλον προκαλούν σημαντική μόλυνση. Για παράδειγμα, για την εξόρυξη χρυσού χρησιμοποιούνται τοξικές μίξεις υδροκυανίου.

Παρομοίως, κατά την επεξεργασία πρωταρχικών υλικών, μπορεί γίνεται εκτεταμένη χρήση άλλων υλικών και ενέργειας. Η παραγωγή ενός κιλού αλουμινίου απαιτεί δώδεκα κιλά άλλων υλικών και 290 MJ ενέργεια [57]. Η ενέργεια για την παραγωγή, σε συνδυασμό με την ενέργεια για κάποιες άλλες απαραίτητες διαδικασίες επεξεργασίας, οδηγεί σε παραγωγή δεκαπέντε κιλών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) για κάθε παραγόμενο κιλό αλουμινίου [58, 59]. Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή κάποιων υλικών.

**Πίνακας 4** Τυπικές ενεργειακές απαιτήσεις κάποιων συνηθισμένων υλικών

Υλικά	Κόστος Ενέργειας (MJ/kg)	Κατασκευάστηκε ή εξήχθη από:
Αλουμίνιο	227 - 342	Βωξίτης
Χαλκός	60 - 125	Θειούχο μέταλλευμα
Γυαλί	18 - 35	Άμμος
Σίδηρος	20 - 25	Σιδηρομέταλλευμα
Νικέλιο	230 - 70	Συμπύκνωμα μεταλλεύματος
Χαρτί	25 - 50	Ξυλεία
Πολυαιθυλένιο	87 - 115	Αδιύλιστο πετρέλαιο (μαζούτ)
Πολυστυρένιο	62 - 108	Αδιύλιστο πετρέλαιο (μαζούτ)
Πολυβινυλοχρωρίδιο	85 - 107	Αδιύλιστο πετρέλαιο (μαζούτ)
Σιλικόνη	230 - 235	Πυρίτιο
Χάλυβας	20 - 50	Σίδηρος
Τιτάνιο	900 - 940	Συμπύκνωμα μεταλλεύματος
Ξύλο	3 - 7	Ξυλεία

Η χρήση ανακυκλωμένων υλικών μπορεί να μειώσει σημαντικά την απαιτούμενη ενέργεια παραγωγής, ενώ η προσπάθεια για υλικά πολύ υψηλής καθαρότητας να την αυξήσει. Ένας παράγοντας που μπορεί να μειώσει την περιβαλλοντική μόλυνση είναι η επιλογή των υλικών που χρησιμοποιούνται γενικά. Οι Graedel και Allenby έχουν προτείνει διάφορα κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή των υλικών, συμπεριλαμβανομένης της τοξικότητας αλλά και της αφθονίας τους. Η αξιολόγηση των διάφορων υλικών με βάση την τοξικότητα και την αφθονία τους παρουσιάζεται στους πίνακες 5 και 6.

**Πίνακας 5** Η εκτίμηση της τοξικότητας κάποιων στοιχείων

Εκτίμηση Τοξικότητας	Παραδείγματα Στοιχείων
Μεγάλη Τοξικότητα	Βηρύλλιο, Αρσενικό, Κάδμιο, Υδράργυρος, Μόλυβδος
Μεσαία Τοξικότητα	Λίθιο, Βόριο, Χρώμιο, Κοβάλτιο, Νικέλιο, Χαλκός, Βισμούθιο
Μικρή Τοξικότητα	Αλουμίνιο, Σιλικόνη, Τιτάνιο, Σίδηρος, Ασήμι, Χρυσός, Ψευδάργυρος, Βρώμιο, Κασσίτερος, Βολφράμιο

**Πίνακας 6** Η διαθεσιμότητα πόρων για κάποια στοιχεία [49]

Παγκόσμιοι πόροι	Παραδείγματα Στοιχείων
Απεριόριστοι πόροι	Βρώμιο, Ασβέστιο, Χλώριο, Κρυπτό, Μαγνήσιο, Πυρίτιο
Άφθονοι πόροι	Αλουμίνιο (Γάλλιο), Άνθρακας, Σίδηρος, Κάλιο, Θείο, Τιτάνιο
Επαρκείς πόροι	Λίθιο, Φώσφορος
Πιθανώς περιορισμένοι πόροι	Κοβάλτιο (α), Χρώμιο (β), Νικέλιο (α), Μόλυβδος, (Αρσενικό, Βισμούθιο), Λευκόχρυσος (β), Ζιρκόνιο
Πιθανώς ιδιαίτερα περιορισμένοι πόροι	Ασήμι, Χρυσός, Χαλκός, Υδράργυρος, Κασσίτερος, Ψευδάργυρος (Κάδμιο)
(α): Οι πόροι είναι επαρκείς αλλά προέρχονται κυρίως από την Νότιο Αφρική και την Ζιμπάμπουε	
(β): Η συντήρηση των προμηθειών απαιτεί εξόρυξη οξειδίων του πυθμένα	

### Διαδικασίες κατασκευής

Οι διαδικασίες κατασκευής φαίνεται να είναι λιγότερο επιβλαβείς συγκριτικά με την εξόρυξη υλικών και την πρωταρχική επεξεργασία, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.2 που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Παρ' όλα αυτά, οι διαδικασίες παραγωγής θέτουν πολλές προϋποθέσεις για τα αποτελέσματα της αρχικής επεξεργασίας. Για παράδειγμα, διαδικασίες με υψηλότερα ποσοστά απορριμμάτων απαιτούν περισσότερη ενέργεια στην πρωταρχική επεξεργασία. Εναλλακτικά, διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες ανακυκλωμένων υλικών έχουν μειωμένες απαιτήσεις ενέργειας. Είναι ένα αρκετά συνηθισμένο θέμα, το οποίο απασχολεί τους μελετητές, αλλά από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής γνωρίζουμε ότι η ενέργεια ουσιαστικά δεν χάνεται. Μια πιο ακριβής ποσότητα της θερμοδυναμικής, η εξέργεια, μπορεί να δώσει καλύτερη εικόνα για την ενέργεια που χρησιμοποιείται. Η αποτέφρωση μπορεί, σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, να παράγει ενέργεια, ταυτόχρονα όμως, οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης είναι από τις πρώτες σε παραγωγή διοξινών στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [64, 65]. Οι διοξίνες είναι μια ομάδα χημικών που είναι ιδιαίτερα επίμονες, τοξικές και καρκινογόνες.

Μεγάλος αριθμός προϊόντων ανακυκλώνεται σήμερα στις Ηνωμένες πολιτείες, όπως αυτοκίνητα, ελαστικά, εφημερίδες, συσκευασίες αλουμινίου, και σε μικρότερες ποσότητες, δοχεία υψηλής πυκνότητας σε πολυαιθυλένιο (HDPE) και σε τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET).

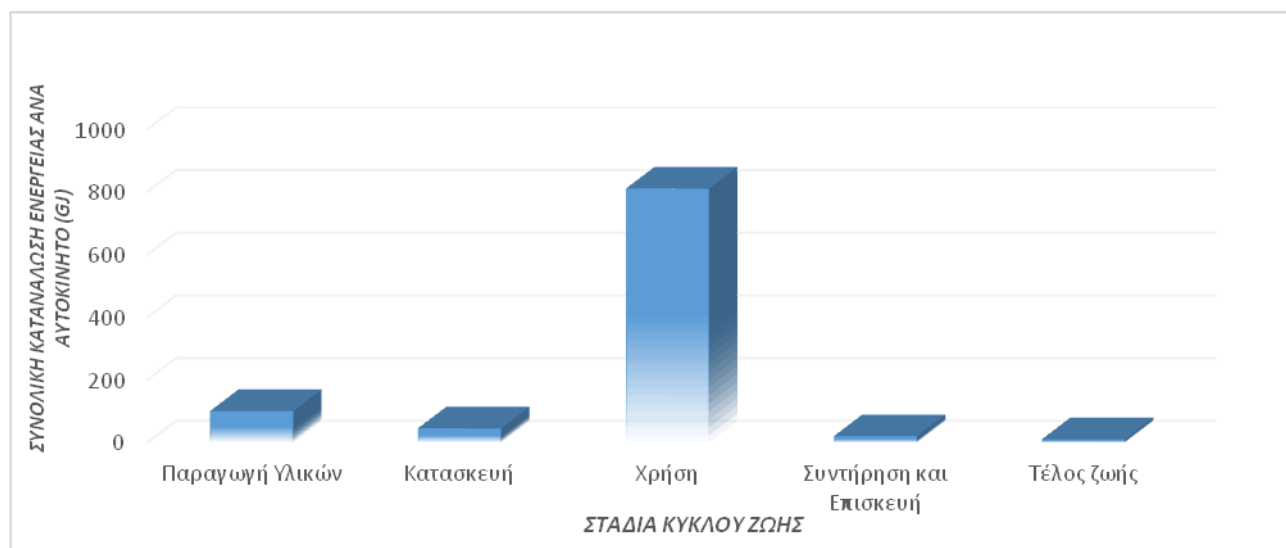
### **6.3 Παραδείγματα προϊόντων: Αυτοκίνητα και ηλεκτρονικοί υπολογιστές**

Οι αναλύσεις LCA, LCI, και SLCA μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό σημαντικών ευκαιριών για τη μείωση της βλάβη του περιβάλλοντος από κάποιο προϊόν. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε προϊόντος και το περιβαλλοντικό φορτίο που μελετάται. Στην περίπτωση, για παράδειγμα, ενός χάρτινου ποτηριού, η διάρκεια ζωής είναι μικρή και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος στη συνέχεια είναι μικρή, αλλά προκύπτουν διάφορα θέματα, που αφορούν την διαδικασία παραγωγής του χαρτιού, όπως η διαδικασία λεύκανσής του στην περίπτωση του χαρτιού περιτυλίγματος, αλλά και η διαδικασία διανομής του, όταν η μεταφορά αφορά μεγάλες αποστάσεις. Ένα άλλο ενδεικτικό παράδειγμα είναι οι πάνες μιας χρήσης, όπου δίνεται ιδιαίτερη σημασία στο πρόβλημα απόρριψής τους, ενώ στις υφασμάτινες πάνες, που έχουν την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης, δίνεται σημασία στην ενέργεια που απαιτείται ώστε να καθαρίζονται για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά. Άλλα προϊόντα εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερη πολυπλοκότητα, σε πολλά από τα στάδια ζωής τους. Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθούν τα προβλήματα του κύκλου ζωής των αυτοκινήτων και των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

#### Αυτοκίνητα

Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι ένας κλάδος, πάνω στον οποίο έχουν γίνει πολλές έρευνες που αφορούν το περιβάλλον [55, 66-71]. Όπως μπορεί κανείς να φανταστεί, τα χιλιάδες μέρη από τα οποία αποτελείται ένα αυτοκίνητο, τα είδη των αυτοκινήτων, η πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς του καταναλωτή, το καθιστούν ένα πολυσύνθετο αντικείμενο μελέτης. Παρ' όλη την πολυπλοκότητα που αναφέραμε, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αρκετά συνεπή και αξιόπιστα. Η χρήση του αυτοκινήτου είναι το πλέον σημαντικό κομμάτι με ευκαιρίες βελτίωσης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Κατά τη χρήση ενός μέσου αυτοκινήτου, η οποία διαρκεί κατά μέσο όρο δέκα χρόνια, και με μια μέση αποδοτικότητα η οποία κυμαίνεται στα δέκα χιλιόμετρα ανά λίτρο βενζίνης, καταναλώνονται δεκατέσσερις τόνοι καυσίμου, ενώ διανύονται συνολικά περίπου εκατόν είκοσι χιλιάδες μίλια. Επιπλέον, λόγω της στοιχειομετρίας της διαδικασίας της καύσης, η κατανάλωση καυσίμου που αναφέρθηκε μεταφράζεται σε σαράντα τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Άλλες πτυχές του κύκλου ζωής που δημιουργούν επικίνδυνες ατμοσφαιρικές συνθήκες, είναι η ενέργεια που

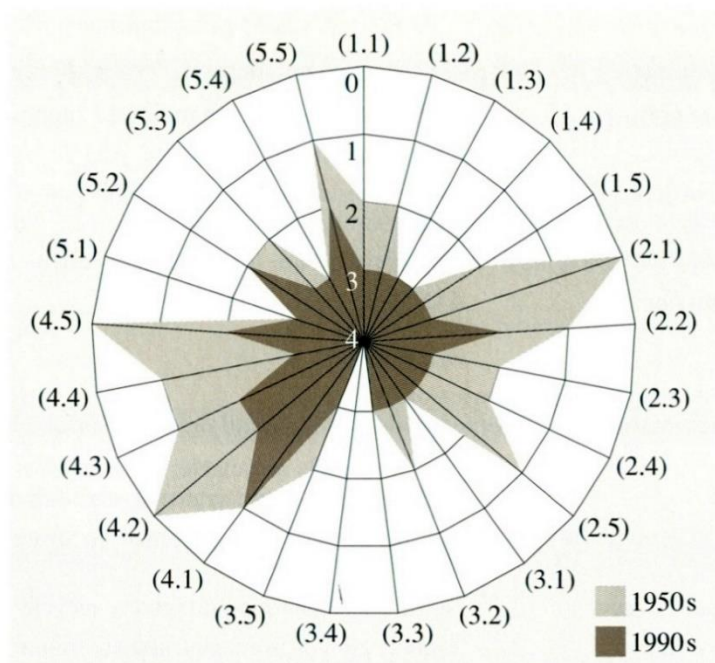
απαιτείται για την παραγωγή καυσίμου, τα αέρια που μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Μελετώνται επίσης οι τομείς της βαφή και του καθαρισμού κατά τη διάρκεια της κατασκευής, οι εκπομπές και οι διαρροές κατά την συντήρηση και τη χρήση καθώς και οι ποσότητες υλικών που δεν ανακυκλώνονται (πλαστικό, γυαλί, αφρώδη υλικά). Η συνολική χρήση ενέργειας για το κάθε στάδιο του κύκλου ζωής παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3, όπου είναι εμφανές ότι η ενέργεια που καταναλώνεται στο στάδιο της παραγωγής των υλικών είναι σημαντική [66].



**Σχήμα 6.3** Η συνολική χρήση ενέργειας στα στάδια ζωής ενός αυτοκινήτου [66]

Μια συνολική αξιολόγηση της μεταβολή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με το πέρασμα των χρόνων παρουσιάζεται από τον Graedel, ο οποίος διεξήγαγε μια SLCA έρευνα για να συγκρίνει ένα αυτοκίνητο της δεκαετίας του 1950 με ένα της δεκαετίας του 1990. Τα χαρακτηριστικά των αυτοκινήτων παρουσιάζονται στον πίνακα 7 και η αξιολόγηση για την επίδρασή που έχουν σε κάθε ένα από τα πέντε στάδια του κύκλου ζωής παρουσιάζονται στους πίνακες 8 έως 12. Τα τελικά συμπεράσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 13 και 14 και στο σχήμα 6.4.





Σχήμα 6.4 Η επίπτωση των αυτοκινήτων του 1950 και του 1990 στο περιβάλλον

Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά των αυτοκινήτων της δεκαετίας του 1950 και του 1990

Χαρακτηριστικά	Αυτοκίνητο δεκαετίας 1950	Αυτοκίνητο δεκαετίας 1990
<b>Υλικά (kg)</b>		
Πλαστικό	0	101
Αλουμίνιο	0	68
Χαλκός	25	22
Μόλυβδος	23	15
Ψευδάργυρος	25	10
Σίδηρος	220	207
Ατσάλι	1290	793
Γυαλί	54	38
Καουτσούκ	85	61
Ρευστά	96	81
Άλλα	83	38
<b>Συνολικό Βάρος (kg)</b>	<b>1901</b>	<b>1434</b>
Αποδοτικότητα καυσίμου	15	27
Καταλύτης	Όχι	Ναι
Κλιματισμός	Διχλωροδιφθορομεθάνιο (CFC-12)	1,1,1,2 τετραφθοροαιθάνιο (HFC-134a)

**Πίνακας 8** Αξιολόγηση του σταδίου προκατασκευής του προϊόντος

Όνομασία στοιχείων		Αξία των στοιχείων και επεξήγηση: αυτοκίνητο του 1950	Αξία των στοιχείων και επεξήγηση αυτοκίνητο του 1990
Επιλογή Υλικών	1, 1	2 Χρησιμοποιούνται λίγα επικίνδυνα υλικά, αλλά τα περισσότερα είναι αγνά/παρθένα	3 Χρησιμοποιούνται λίγα επικίνδυνα υλικά, τα περισσότερα είναι ανακυκλώσιμα υλικά, καθώς και χρησιμοποιείται μόλυβδος στις μπαταρίες (κλειστός βρόχος ανακύκλωσης)
Χρήση ενέργειας	1, 2	2 Η μεταφορά αγνών υλικών είναι αρκετά ενεργοβόρα	3 Η μεταφορά αγνών υλικών είναι αρκετά ενεργοβόρα
Στερεά υπολείμματα	1, 3	3 Η εξόρυξη σιδήρου και χαλκού παράγει σημαντικά στερεά υπολείμματα	3 Η εξόρυξη μεταλλευμάτων παράγει στερεά υπολείμματα
Υγρά υπολείμματα	1, 4	3 Η εξόρυξη πόρων παράγει μέτριες ποσότητες υγρών υπολειμμάτων	3 Η εξόρυξη πόρων παράγει μέτριες ποσότητες υγρών υπολειμμάτων
Αέρια υπολείμματα	1, 5	2 Η τήξη μεταλλευμάτων παράγει σημαντικές ποσότητες αέριων υπολειμμάτων	3 Η τήξη μεταλλευμάτων παράγει σημαντικές ποσότητες αέριων υπολειμμάτων

**Πίνακας 9** Αξιολόγηση του σταδίου κατασκευής του προϊόντος

Όνομασία στοιχείων		Αξία των στοιχείων και επεξήγηση: αυτοκίνητο του 1950	Αξία των στοιχείων και επεξήγηση αυτοκίνητο του 1990
Επιλογή Υλικών	2, 1	0 Χλωριωμένοι διαλύτες, κυάνιο	3 Καλή επιλογή υλικών, εκτός των αποβλήτων συγκόλλησης του μολύβδου
Χρήση ενέργειας	2, 2	1 Το ποσό της ενέργειας που χρησιμοποιείται κατά την κατασκευή είναι υψηλό	3 Η χρήση ενέργειας κατά την διαδικασία κατασκευής είναι αρκετά υψηλή
Στερεά υπολείμματα	2, 3	2 Παράγονται πολλά μεταλλικά απορρίματα και απορρίματα συσκευασιών	3 Παράγονται λίγα μεταλλικά απορρίματα και απορρίματα συσκευασιών
Υγρά υπολείμματα	2, 4	2 Παράγονται σημαντικά υγρά απόβλητα από το βάψιμο και τον καθαρισμό	3 Παράγονται λίγα υγρά απόβλητα από το βάψιμο και τον καθαρισμό
Αέρια υπολείμματα	2, 5	1 Εκπέμπονται πτητικοί υδρογονάνθρακες από το βαφείο	3 Εκπέμπονται μικρές ποσότητες πτητικών υδρογονανθράκων



**Πίνακας 10** Αξιολόγηση του σταδίου παράδοσης του προϊόντος

Ονομασία στοιχείων		Αξία των στοιχείων και επεξήγηση: αυτοκίνητο του 1950		Αξία των στοιχείων και επεξήγηση αυτοκίνητο του 1990	
Επιλογή Υλικών	3, 1	3	Χρησιμοποιούνται σποραδικά ανακυκλώσιμα υλικά κατά τη διάρκεια της συσκευασίας και της μεταφοράς	3	Χρησιμοποιούνται σποραδικά ανακυκλώσιμα υλικά κατά τη διάρκεια της συσκευασίας και της μεταφοράς
Χρήση ενέργειας	3, 2	2	Οι οδικές μεταφορές είναι ενεργοβόρες	3	Οι μακρινές οδικές μεταφορές και οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ενεργοβόρες
Στερεά υπολείμματα	3, 3	3	Οι μικρές ποσότητες συσκευασιών κατά τις μεταφορές μπορούν να μειωθούν κι άλλο	3	Οι μικρές ποσότητες συσκευασιών κατά τις μεταφορές μπορούν να μειωθούν κι άλλο
Υγρά υπολείμματα	3, 4	4	Αμελητέες ποσότητες υγρών υπολειμμάτων παράγονται κατά την συσκευασία και την μεταφορά	4	Αμελητέες ποσότητες υγρών υπολειμμάτων παράγονται κατά την συσκευασία και την μεταφορά
Αέρια υπολείμματα	3, 5	2	Κατά τις μεταφορές παράγονται σημαντικές εκπομπές αερίων	3	Κατά τις μεταφορές παράγονται κάποιες εκπομπές αερίων

**Πίνακας 11** Αξιολόγηση του σταδίου χρήσης του προϊόντος

Ονομασία στοιχείων		Αξία των στοιχείων και επεξήγηση: αυτοκίνητο του 1950		Αξία των στοιχείων και επεξήγηση αυτοκίνητο του 1990	
Επιλογή Υλικών	4, 1	1	Το πετρέλαιο είναι ένας πόρος περιορισμένων αποθεμάτων	1	Το πετρέλαιο είναι ένας πόρος περιορισμένων αποθεμάτων
Χρήση ενέργειας	4, 2	0	Η χρήση ενέργειας για τα ορυκτά καύσιμα είναι πολύ μεγάλη	2	Η χρήση ενέργειας για τα ορυκτά καύσιμα είναι πολύ μεγάλη
Στερεά υπολείμματα	4, 3	1	Υπάρχουν σημαντικά υπολείμματα από ελαστικά και από ελαττωματικά και απαρχαιωμένα μέρη	3	Υπάρχουν κάποια υπολείμματα από ελαστικά και από ελαττωματικά και απαρχαιωμένα μέρη
Υγρά υπολείμματα	4, 4	1	Τα συστήματα ρευστών έχουν πολλές διαρροές	3	Τα συστήματα ρευστών εξασθενούν κάπως τις εκπομπές
Αέρια υπολείμματα	4, 5	0	Δεν υπάρχει φιλτράρισμα των αερίων, οπότε υπάρχουν πολλές εκπομπές	2	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μόλυβδου σε κάποιες περιπτώσεις

**Πίνακας 12** Αξιολόγηση του σταδίου αποκατάσταση, ανακύκλωσης και απόρριψης

Όνομασία στοιχείων		Αξία των στοιχείων και επεξήγηση: αυτοκίνητο του 1950		Αξία των στοιχείων και επεξήγηση αυτοκίνητο του 1990	
Επιλογή Υλικών	5, 1	3	Τα περισσότερα υλικά είναι ανακυκλώσιμα	3	Τα περισσότερα υλικά είναι ανακυκλώσιμα, το πλαστικό, το γυαλί και ο αφρός δεν ανακυκλώνονται
Χρήση ενέργειας	5, 2	2	Χρειάζονται μέτρια ποσά ενέργειας για την αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση των υλικών	2	Χρειάζονται μέτρια ποσά ενέργειας για την αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση των υλικών
Στερεά υπολείμματα	5, 3	2	Κάποια από τα εξαρτήματα είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν	3	Κάποια από τα εξαρτήματα είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν
Υγρά υπολείμματα	5, 4	3	Τα υγρά υπολείμματα είναι ελάχιστα	3	Τα υγρά υπολείμματα είναι ελάχιστα
Αέρια υπολείμματα	5, 5	1	Η ανακύκλωση περιλαμβάνει συνήθως το κάψιμο των υπολειμμάτων	2	Η ανακύκλωση περιλαμβάνει συνήθως το κάψιμο των υπολειμμάτων

**Πίνακας 13** Αξιολόγηση ενός αυτοκινήτου της δεκαετίας του 1950 ως προς το περιβάλλον

Στάδιο κύκλου ζωής	Επιλογή Υλικών	Χρήση ενέργειας	Στερεά απόβλητα	Υγρά απόβλητα	Αέρια απόβλητα	Σύνολο
Προκατασκευή	2	2	3	3	2	12 / 20
Κατασκευή Προϊόντος	0	1	2	2	1	6 / 20
Παράδοση προϊόντος	3	2	3	4	2	14 / 20
Χρήση προϊόντος	1	0	1	1	0	3 / 20
Αποκατάσταση, ανακύκλωση, απόρριψη	3	2	2	3	1	11 / 20
Σύνολο	9 / 20	7 / 20	11 / 20	13 / 20	6 / 20	46 / 100

**Πίνακας 14** Αξιολόγηση ενός αυτοκινήτου της δεκαετίας του 1990 ως προς το περιβάλλον

Στάδιο κύκλου ζωής	Επιλογή Υλικών	Χρήση ενέργειας	Στερεά απόβλητα	Υγρά απόβλητα	Αέρια απόβλητα	Σύνολο
Προκατασκευή	3	3	3	3	3	15 / 20
Κατασκευή Προϊόντος	3	2	3	3	3	14 / 20
Παράδοση προϊόντος	3	3	3	4	3	16 / 20
Χρήση προϊόντος	1	2	2	3	2	10 / 20
Αποκατάσταση, ανακύκλωση, απόρριψη	3	2	3	3	2	13 / 20
Σύνολο	13 / 20	12 / 20	14 / 20	16 / 20	13 / 20	68 / 100

### Υπολογιστές

Το περιβαλλοντικού αποτυπώματος των υπολογιστών είναι εντελώς αντίθετο από αυτό των αυτοκινήτων. Ενώ για την κατασκευή αυτοκινήτων χρησιμοποιούνται πιο συμβατικά υλικά και διαδικασίες, για τους υπολογιστές και τα μικροσίπ χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα υλικά και διαδικασίες που εξελίσσονται ραγδαία. Αυτό έχει ως απόρροια, οι υπολογιστές να μην συμπληρώνουν

έναν κύκλο ζωής της έκτασης ενός αυτοκινήτου, όπως διατυπώνεται στην μελέτη των Williams, Ayres και Heller [60], όπου οι γνώμες για την έκταση της επίδρασης της κατασκευής των μικροσίπ διίστανται. Ωστόσο, τα διαθέσιμα δεδομένα υποδεικνύουν ότι η κατασκευή των μικροσίπ απαιτεί μεγάλη ποσότητα υλικών αλλά και ενέργειας. Συγκεκριμένα, για την κατασκευή ενός μικροσίπ δύο γραμμαρίων απαιτούνται 1,7 κιλά υλικών (συμπεριλαμβανομένου του καυσίμου). Το γεγονός αυτό αντικρούει κάποιες γνώμες, οι οποίες υποστηρίζουν ότι η μικροηλεκτρονική είναι ένας τρόπος χρήσης λιγότερων υλικών για να επιτευχθεί το ίδιο επίπεδο λειτουργικότητας. Κάποια από τα κύρια ευρήματα του Williams παρουσιάζονται στον πίνακα 15.

**Πίνακας 15** Κύρια ευρήματα για την κατασκευή ενός τσιπ της μνήμης RAM

<b>Βάρος ενός τσιπ 32mb μνήμης RAM</b>	<b>2 γραμμάρια</b>
Συνολικές χημικές εισροές	72 γραμμάρια/ τσιπ
Συνολικές εισροές ορυκτών καυσίμων	1600 γραμμάρια/ τσιπ
Συνολική χρήση νερού	32000 γραμμάρια/ τσιπ
Συνολική χρήση στοιχειώδους αερίου	700 γραμμάρια/ τσιπ

Ταυτόχρονα, είναι σημαντικό να έχουμε υπόψη μας ότι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής δεν αποτελείται μόνο από μικροσίπ και ο κύκλος ζωής του περιλαμβάνει και άλλα στάδια, εκτός του σταδίου κατασκευής. Ένας λογαριασμός των υλικών από τα οποία απαρτίζεται ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής και μια οθόνη καθοδικού σωλήνα (cathode ray tube - CRT) παρουσιάζονται κατά προσέγγιση στον πίνακα 16. Στους πίνακες αυτούς τα μικροσίπ και τα στοιχεία τους δεν παρουσιάζονται και παρατηρούμε ότι τα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του υπόλοιπου υπολογιστή είναι αρκετά συμβατικά. Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται στην παραγωγή της κεντρικής μονάδας του επεξεργαστή (CPU) αλλά και στην οθόνη, ενώ το κάδμιο, το οποίο δεν αναφέρεται στον πίνακα χρησιμοποιείται στις μπαταρίες. Ο υδράργυρος χρησιμοποιείται σε κάποιους διακόπτες, αλλά και στις οθόνες των φορητών υπολογιστών, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν ανησυχίες, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, για την χρήση βρωμιούχων επιβραδυντικών φλόγας στα πλαστικά μέρη.

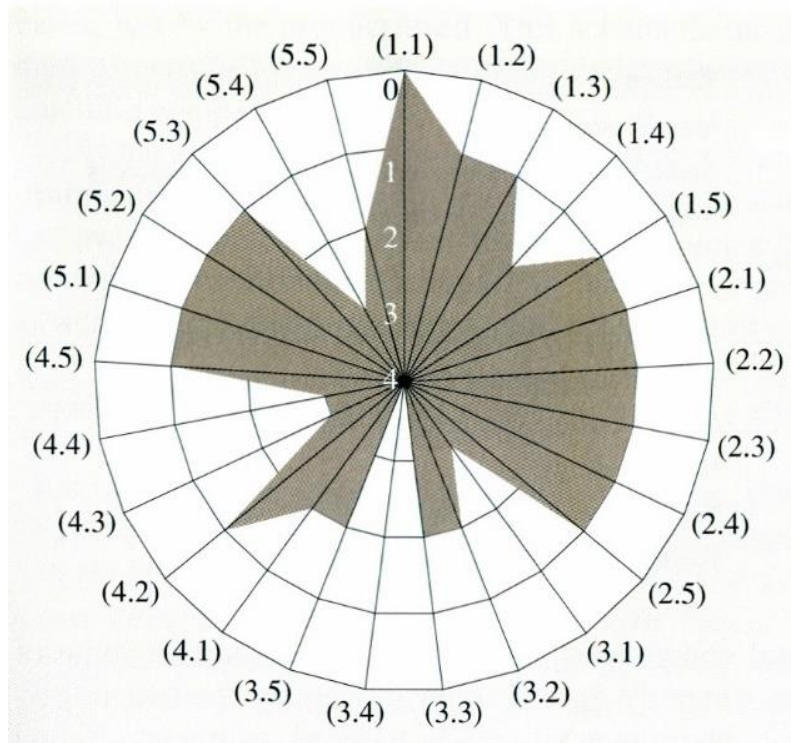
**Πίνακας 16** Κατάλογος των υλικών που χρησιμοποιούνται σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και σε μια οθόνη καθοδικού σωλήνα (CRT)

Υλικά	Βάρος (γραμμάρια)	Χρήση	Υλικά	Βάρος (γραμμάρια)	Χρήση
<b>Ηλεκτρονικός Υπολογιστής</b>			<b>Οθόνη καθοδικού σωλήνα</b>		
Χάλυβας	6050	Περίβλημα	Γυαλί	6817	Καθοδικός σωλήνας
Χαλκός	670	Καλώδια, κυκλώματα	Ατσάλι	2830	Περίβλημα
Αλουμίνιο	440	Περίβλημα, ψηφιακοί δίσκοι (cd-rom)	Χαλκός	700	Καλώδια, κυκλώματα
Πλαστικό	650	Κυκλώματα	Φερρίτης	480	Πηνίο εκτροπής
Ρητίνη	1040	Συγκολλήσεις	Αλουμίνιο	240	Ψύκτρες
Κασσίτερος	47	Συγκολλήσεις	Πλαστικό	3530	Περίβλημα
Μόλυβδος	27	Οδηγός δίσκου	Εποξική ρητίνη	140	Κυκλώματα
Νικέλιο	18	Κυκλώματα	Κασσίτερος	20	Συγκολλήσεις κυκλωμάτων
Ασήμι	1.4	Κυκλώματα	Μόλυβδος	593	Κυκλώματα, οθόνη
Χρυσός	0.36		Ασήμι	1.24	Κυκλώματα
Υποσύνολο	8944		Χρυσός	0.31	Κυκλώματα
Λοιπά	96		Υποσύνολο	15352	
Σύνολο	9040		Λοιπά	98	
			Σύνολο	15450	

Αυτή τη στιγμή πραγματοποιούνται εργασίες, ώστε να αναλυθεί ο ολοκληρωμένος κύκλος ζωής των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Μια παλαιότερη έρευνα είχε μελετήσει την ενέργεια, τα απόβλητα και τα επικίνδυνα υλικά που καταναλώνονται και που αφορούν τον κύκλο ζωής των υπολογιστών [55 - 73]. Μια πιο πρόσφατη έρευνα για την κατασκευή, και την χρήση των υπολογιστών παρουσιάστηκε από τους Kuehr και Williams [72]. Όλα τα στάδια ζωής των υπολογιστών φαίνεται να προκαλούν ανησυχία. Συγκεκριμένα, το προπαρασκευαστικό και το παρασκευαστικό στάδιο των υπολογιστών απαιτούν πολλά υλικά και είναι πολύ ενεργοβόρα, κυρίως λόγω της μεγάλης καθαρότητας που απαιτείται για την κατασκευή των μικροηλεκτρονικών. Η διανομή τους αποτελεί επίσης πρόβλημα, λόγω των πολλών υλικών συσκευασίας που απαιτούνται, καθώς και των μεγάλων αποστάσεων που διανύονται. Το στάδιο ζωής των υπολογιστών, που αφορά την χρήση τους, είναι επίσης πολύ ενεργοβόρο, καθώς όπως φαίνεται και στα δεδομένα των Kawamoto [74] και Cole [75], για την ετήσια χρήση ενός υπολογιστή και της οθόνης του χρειάζονται περίπου 380 MJ. Για εμπορική ή βιομηχανική χρήση, όπου η οθόνη βρίσκεται μόνιμως σε λειτουργία, το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται ανέρχεται σε 1500 MJ ανά έτος. Για μια διάρκεια ζωής τριών ετών η κατανάλωση αυτή είναι περισσότερη από την μισή ενέργεια που καταναλώθηκε για την παραγωγή του. Τα ζητήματα όμως κατά το τέλος του κύκλου ζωής είναι πολλά: υπάρχουν όλα τα προβλήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως και επιπρόσθετα το θέμα της ανακύκλωσης του μεγάλου όγκου των υπολογιστών και των ηλεκτρονικών που πρόκειται να αποσυρθούν. Προς το παρόν, μόνο ένα πολύ



μικρό ποσοστό των υπολογιστών ανακυκλώνεται (υπολογίζεται το 11%). Βάσει του πίνακα 16 και διάφορων πληροφοριών από τις παραπομπές [55, 60, 72-76] αναπτύχθηκε το επίπεδο αναφοράς βάσει της βελτιστοποιημένης ανάλυσης του κύκλου ζωής (SCLA) για έναν επιτραπέζιο υπολογιστή του 1990 και μια οθόνη καθοδικού σωλήνα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, καθώς και στο σχήμα 6.5.



*Σχήμα 6.5 Η επίπτωση στο περιβάλλον ενός υπολογιστή των αρχών του 1990, καθώς και μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα*

**Πίνακας 17** Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Προκατασκευή

<i>i,j</i>	Περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες	Βαθμοί
1, 1	Επιλογή υλικών Λίγα υλικά είναι ανακυκλώσιμα, ενώ χρησιμοποιούνται πολλά τοξικά, καθώς υπάρχει μόλυβδος, κάδμιο, υδράργυρος και βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας στα	0
1, 2	Χρήση ενέργειας Υλικά ιδιαίτερα υψηλής ποιότητας που χρησιμοποιούνται για τα μικροσίπ είναι πολύ ενεργοβόρα.	1
1, 3	Στερεά υπολείμματα Πολλά υλικά που προέρχονται από παρθένα μεταλλεύματα αφήνουν σημαντικά κατάλοιπα	1
1, 4	Υγρά υπολείμματα Πολλά μέταλλα που προέρχονται από παρθένα μεταλλεύματα αφήνουν όξινα κατάλοιπα	2
1, 5	Αέρια υπολείμματα Η μεγάλη χρήση ενέργειας και τα υπόλοιπα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν σοβαρές εκπομπές που επιβαρύνουν το περιβάλλον	1

**Πίνακας 18** Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Κατασκευή του προϊόντος

<i>i,j</i>	Περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες	Βαθμοί
2, 1	Επιλογή υλικών Κατά την κατασκευή χρησιμοποιούνται απαγορευμένα και τοξικά υλικά, καθώς και διαλύτες καθαρισμού	1
2, 2	Χρήση ενέργειας Η χρήση της ενέργειας είναι για κάποια εξαρτήματα πολύ υψηλή και για άλλα μέτρια. Αναλυτικά: μικροσίπ (0), κυκλώματα (1), οθόνη καθοδικού σωλήνα (2), οθόνη υγρών κρυστάλλων - LCD (0), λοιπά υλικά (3)	1
2, 3	Στερεά υπολείμματα Υπάρχουν σημαντικά στερεά υπολείμματα από τις χημικές διεργασίες	1
2, 4	Υγρά υπολείμματα Μεγάλες ποσότητες υγρών χημικών υπολειμμάτων, καθώς επίσης χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες νερού	1
2, 5	Αέρια υπολείμματα Η ενέργεια που χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή καθώς και η επεξεργασία που γίνεται σε διάφορα στάδια οδηγεί στην εκπομπή σημαντικών αέριων εκπομπών	1

**Πίνακας 19** Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Συσκευασία και μεταφορά του προϊόντος

<i>i,j</i>	Περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες	Βαθμοί
3, 1	Επιλογή υλικών Μεγάλες ποσότητες υλικών και μικρές ποσότητες ανακυκλώνονται	3
3, 2	Χρήση ενέργειας Διανύονται μεγάλες αποστάσεις και μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες υλικών	2
3, 3	Στερεά υπολείμματα Μεγάλες ποσότητες στερεών υπολειμμάτων και δεν γίνεται προσπάθεια για επανάκτηση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην συσκευασία	2
3, 4	Υγρά υπολείμματα Μηδαμινές ποσότητες υγρών υπολειμμάτων κατά την συσκευασία, την μεταφορά ή την εγκατάσταση	4
3, 5	Αέρια υπολείμματα Έχουμε αέριες εκπομπές από τα οχήματα μεταφοράς	2

**Πίνακας 20** Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Χρήση του προϊόντος

<i>i,j</i>	Περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες	Βαθμοί
4, 1	Επιλογή υλικών Η ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιεί κατά 50% κάρβουνο	2
4, 2	Χρήση ενέργειας Υψηλή έως πολύ υψηλή κατανάλωση ενέργειας	1
4, 3	Στερεά υπολείμματα Μικρές ποσότητες στερεών υπολειμμάτων, αλλά παράγονται υπόλοιπα από την εξόρυξη κάρβουνου	3
4, 4	Υγρά υπολείμματα Μικρές ποσότητες υγρών υπολειμμάτων, αλλά παράγονται υπόλοιπα από την εξόρυξη κάρβουνου	3
4, 5	Αέρια υπολείμματα Δεν υπάρχουν εκπομπές από την χρήση των υπολογιστών, αλλά από τις διαδικασίες κατασκευής τους	1

**Πίνακας 21** Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας – Αποκατάσταση, ανακύκλωση και απόρριψη του προϊόντος

<i>i, j</i>	Περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες	Βαθμοί
5, 1	Επιλογή υλικών Το προϊόν περιέχει σημαντικές ποσότητες μολύβδου και βρωμιούχων επιβραδυντικών φλόγας, όπως επίσης μπορεί να περιέχει κάδμιο και υδράργυρο. Πολλά από τα υλικά δεν είναι ανακυκλώσιμα.	1
5, 2	Χρήση ενέργειας Το προϊόν δεν είναι σχεδιασμένο να έχει μεγάλη αποδοτικότητα κατά την ανακύκλωση και τα υλικά δεν είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για επανάχρηση. Επίσης η μεταφορά των ανακυκλώσιμων υλικών είναι ενεργοβόρα.	1
5, 3	Στερεά υπολείμματα Επειδή υπάρχει ένωση ανόμοιων υλικών η αποσυναρμολόγηση είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία και υπάρχει μικρή δυνατότητα ανακύκλωσης.	1
5, 4	Υγρά υπολείμματα Το προϊόν δεν περιέχει λειτουργικά υγρά και είναι απαραίτητα τα καθαριστικά σε περίπτωση επιδιόρθωσης	3
5, 5	Αέρια υπολείμματα Η ανακύκλωση μετάλλων οδηγεί σε αέριες εκπομπές	2

**Πίνακας 22** Εξορθολογισμένη ανάλυση του κύκλου ζωής μιας οθόνης καθοδικού σωλήνα και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας. Αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ευθύνης των προϊόντων αυτών.

Στάδιο κύκλου ζωής	Επιλογή Υλικών	Χρήση ενέργειας	Στερεά απόβλητα	Υγρά απόβλητα	Αέρια απόβλητα	Σύνολο
Προκατασκευή	0	1	1	2	1	5 / 20
Κατασκευή Προϊόντος	1	1	1	1	1	5 / 20
Παράδοση προϊόντος	3	2	2	4	2	13 / 20
Χρήση προϊόντος	2	1	3	3	1	10 / 20
Αποκατάσταση, ανακύκλωση, απόρριψη	1	1	1	3	2	8 / 20
Σύνολο	7 / 20	6 / 20	8 / 20	13 / 20	7 / 20	41 / 100



## Βελτίωση του προϊόντος και της διαδικασίας παραγωγής μέσω των πληροφοριών που αφορούν τον κύκλο ζωής

Ένας από τους βασικότερους λόγους, για τον οποίον αναλύονται οι πληροφορίες, που αφορούν τον κύκλο ζωής σε σχέση με το περιβάλλον, είναι για να προσδιοριστούν οι ευκαιρίες για βελτίωση. Η βελτιστοποιημένη ανάλυση του κύκλου ζωής (SLCA) προσδιορίζει πολύ σωστά τις ευκαιρίες αυτές, καθώς δίνει μεγάλη έμφαση στα σημαντικά προβλήματα. Το παράδειγμα των αυτοκινήτων απεικονίζει τις βελτιώσεις που έγιναν από το 1950 μέχρι το 1990 και ταυτόχρονα υποδεικνύει τα λοιπά προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν, ιδιαίτερα αυτά που σχετίζονται με την χρήση ορυκτών καυσίμων. Η βελτιστοποιημένη ανάλυση του κύκλου ζωής (SLCA) για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, χρησιμοποιείται ως ένα επίπεδο αναφοράς για να προσδιοριστούν σημαντικές πτυχές οι οποίες πρέπει να βελτιωθούν. Οι βελτιώσεις αυτές αφορούν:

1. Σημαντική μείωση του βάρους των υλικών που χρησιμοποιούνται
2. Εξάλειψη σημαντικής ποσότητας μόλυβδου από τις οθόνες καθοδικού σωλήνα (αν και για τις οθόνες των φορητών υπολογιστών απαιτούνται μικρές ποσότητες υδράργυρου)
3. Σημαντική μείωση των υλικών συσκευασίας
4. Σημαντική μείωση της απαιτούμενης ενέργειας κατά την λειτουργία

Η μέθοδος SLCA, όπως χρησιμοποιείται εδώ, είναι ένας εύκολος τρόπος να μελετήσει κανείς ένα σύνθετο πρόβλημα, όταν όμως αναγνωριστεί ένας σημαντικός παράγοντας για την βελτίωση της επίδρασης του στο περιβάλλον, απαιτείται μια ποσοτική απογραφή των υλικών που προκαλούν προβληματισμό κατά τον κύκλο ζωής. Αυτό μας επιτρέπει μια πιο ακριβή αξιολόγηση των πιθανών βελτιώσεων· για παράδειγμα στο σχήμα 6.3 παρουσιάζεται η συνολική ενέργεια που χρησιμοποιείται για ένα αυτοκίνητο στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Στη συνέχεια η μέθοδος απογραφής του κύκλου ζωής (LCI) συνδέει τις απαιτήσεις ενέργειας με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται αλλά και με τις παραγόμενες εκπομπές. Για παράδειγμα, ενώ κατά το στάδιο της χρήσης μια μηχανή εσωτερικής καύσης χρησιμοποιεί βενζίνη, στην διαδικασία της παραγωγής των υλικών και στα στάδια της κατασκευής χρησιμοποιείται κάρβουνο, φυσικό αέριο, ακόμα και πυρηνική ενέργεια. Η σύνδεση των απαιτήσεων ενέργειας με τους κύκλους των καυσίμων μπορεί να συνεισφέρει σε συγκεκριμένες λύσεις για την κάθε πηγή μόλυνσης. Παίρνοντας τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής για παράδειγμα, η ενέργεια για τον ηλεκτρισμό προέρχεται σε ποσοστό 50% από κάρβουνο, 20% από πυρηνική

ενέργεια, 18% από φυσικό αέριο, 7% από υδροηλεκτρική ενέργεια, 3% από το πετρέλαιο και 2% από ανανεώσιμες πηγές. Οι αντίστοιχες εκπομπές είναι: 633 κιλά διοξειδίου του άνθρακα ανά μεγαβατώρα (633 kg CO<sub>2</sub>/MWh), 2.75 κιλά διοξειδίου του θείου ανά μεγαβατώρα (2.75 kg SO<sub>2</sub>/MWh), 1.35 κιλά οξειδίων του αζώτου ανά μεγαβατώρα (1.35kg NO<sub>x</sub>/MWh) και 12.3 γραμμάρια υδράργυρου ανά γιγαβατώρα (12.3g Hg/GWh) [77].

Μια συνολική ανάλυση του κύκλου ζωής (LCA) θα συμπεριλάμβανε σταθμίσεις για τους διάφορους ρύπους, βάσει των κριτηρίων που έχουν τεθεί. Για παράδειγμα, το λογισμικό Simapro της LCA μεθόδου από την Ολλανδία κάνει χρήση ενός σχεδίου που ονομάζεται οικολογικός συντονιστής (Eco Coordinator) και παρουσιάζει τα κριτήρια των Ευρωπαίων για διάφορα περιβαλλοντικά ζητήματα που τους απασχολούν. Προφανώς τα κριτήρια αυτά ποικίλουν παγκοσμίως, ανάλογα με τις ανησυχίες που υπάρχουν στην κάθε περιοχή.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι επειδή η βελτιστοποιημένη ανάλυση του κύκλου ζωής (SLCA) παράγει αριθμητικά αποτελέσματα για τα προϊόντα, είναι συχνά δελεαστικό να γίνει σύγκριση μεταξύ δύο διαφορετικών προϊόντων. Υπάρχει η δυνατότητα με την μέθοδο αυτή, αλλά πρέπει να γίνει με πολύ μεγάλη προσοχή. Αρχικά, η μέθοδος SLCA αναπτύχθηκε από τους Graedel και Allenby με σκοπό να παρέχει σχετικές ενδείξεις για ένα συγκεκριμένο είδος προϊόντος και για τον λόγο αυτό η μέθοδος θα πρέπει να τροποποιηθεί, ώστε να μπορεί να διεξαχθεί οποιαδήποτε σύγκριση. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι τα διαφορετικά προϊόντα έχουν τεράστιες διαφορές, όσον αφορά τη χρησιμότητα τους στους καταναλωτές, και πολλοί θεωρούν ότι μια τέτοια σύγκριση δεν έχει ιδιαίτερο νόημα. Ωστόσο, κάποιες συγκρίσεις μπορεί να έχουν χρήσιμα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, ο Williams επέδειξε ότι οι ποσότητες των ορυκτών καυσίμων που καταναλώνονται κατά την παραγωγή και κατά τη χρήση ενός υπολογιστή είναι σχεδόν ίδιες με αυτές που καταναλώνονται για ένα ψυγείο, παρότι ένας υπολογιστής έχει το ένα τέταρτο της ζωής ενός ψυγείου (2.5 χρόνια σε σχέση με 10 χρόνια) και ότι ένα ψυγείο λειτουργεί συνεχώς [76]. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρέπει να βελτιωθεί κατά πολύ η ενεργειακή απόδοση των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

#### **6.4 Σχεδιασμός για το περιβάλλον (Design for the Environment - DFE)**

Ο σχεδιασμός για το περιβάλλον, όπως ο σχεδιασμός για την κατασκευή ή για την συναρμολόγηση, περιέχει κάποιες κατευθυντήριες γραμμές, ώστε να βοηθήσει τους σχεδιαστές να επιτύχουν κάποιους συγκεκριμένους στόχους. Συχνά αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές ανάγονται σε απλούς κανόνες, ώστε να είναι εύκολα κατανοητοί. Πίσω όμως από τους κανόνες αυτούς υπάρχουν παρατηρήσεις και

μοντέλα, που περιλαμβάνουν πληροφορίες για το πώς αναμένεται να συμπεριφέρεται ένα προϊόν ως αποτέλεσμα συγκεκριμένων σχεδιαστικών αποφάσεων.

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως στόχο να γίνει κατανοητό πώς οι αποφάσεις και τα προϊόντα που δημιουργούνται στη συνέχεια επηρεάζουν το περιβάλλον. Υπάρχει όμως η περίπτωση να ποικίλουν οι περιβαλλοντικοί στόχοι ανάλογα με τον επιθυμητό στόχο. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός ενός αυτοκινήτου με στόχο την χαμηλή κατανάλωση καυσίμων μπορεί να οδηγήσει στην χρησιμοποίηση σύνθετων υλικών, ώστε να επιτευχθεί μείωση του βάρους, ενώ ο σχεδιασμός με στόχο την δυνατότητα ανακύκλωσης μπορεί να οδηγήσει στη χρήση μεταλλικών εξαρτημάτων. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε κάποιες γενικές κατευθύνσεις που ισχύουν για τους δύο σημαντικότερους περιβαλλοντικούς στόχους: την μείωση κατανάλωσης καυσίμων υδρογονανθράκων και την αύξηση της δυνατότητας ανακύκλωσης (πίνακες 23, 24).

**Πίνακας 23** Κατευθυντήριες γραμμές για την ενεργειακή απόδοση [49, 78, 79]

Ενέργεια	Λόγος που πραγματοποιείται η κάθε ενέργεια
Εφαρμογή της μεθόδου SLCA / LCI / LCS για το προϊόν	Προσδιορισμός της χρήσης ενέργειας
Ενθάρρυνση για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	Μείωση επιβλαβών υποπροϊόντων και διαφύλαξη των πόρων
Επιλογή της λιγότερο επιβλαβούς πηγής ενέργειας	Μείωση επιβλαβών υποπροϊόντων
Σημείωση: για τα ορυκτά καύσιμα η καθαρότερη πηγή ενέργειας είναι το φυσικό αέριο, στη συνέχεια τα προϊόντα πετρελαίου και ακολουθεί ο άνθρακας	
Κλείσιμο των υποσυστημάτων που δεν χρησιμοποιούνται	Μείωση της χρήσης ενέργειας και της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων
Επιτρέπεται στους χρήστες να απενεργοποιούν είτε μεμονομένα συστήματα, είτε ολόκληρο το σύστημα	Μείωση της χρήσης ενέργειας και της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων
Αποφυγή χρήσης ενεργοβόρων υλικών	Μείωση της χρήσης ενέργειας και διαφύλαξη των πόρων
Αποφυγή ενεργοβόρων διαδικασιών	Μείωση της χρήσης ενέργειας
Καθορισμός των στοιχείων καλύτερης ενεργειακής απόδοσης	Μείωση της χρήσης ενέργειας και της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων
Απομόνωση ή/ και χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας	Μείωση απωλειών/ αύξηση αποδοτικότητας

**Πίνακας 24** Κατευθυντήριες γραμμές για την ανακύκλωση [49, 78, 80]

Ταξινόμηση	Περιγραφή ή ενέργεια	Λόγος που πραγματοποιήθηκε η ενέργεια / σχόλια
Καλή	Το προϊόν είναι επαναχρησιμοποιούμενο / ανακατασκευαζόμενο	Παρατείνεται η ζωή του προϊόντος
Καλή	Τα επιμέρους υλικά μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν βάσει καθορισμένης λειτουργίας	Περισσότερα μέταλλα και κάποια πλαστικά: PET & HDPE
Καλή	Όχι χρήση τοξικών υλικών, ή, εφόσον είναι απαραίτητα να είναι εύκολο να αφαιρεθούν	Να αποφεύγονται τα Pb, Hg, Cd
Καλή	Επιτρέπεται η εύκολη αφαίρεση των υλικών, αποφεύγεται η κόλληση	Διευκολύνθηκε ο διαχωρισμός και η διαλογή
Λιγότερο καλή	Η ανακύκλωση των υλικών είναι τεχνικά εφικτή, αλλά η υποδομή για την υποστήριξη της δεν είναι διαθέσιμη	Περισσότερα θερμοπλαστικά και γυάλινα υλικά
Λιγότερο καλή	Αποφεύγονται οι αναμειξεις που προκαλούν μόλυνση, η βαφή και η επικάλυψη που είναι δύσκολο να απομακρυνθούν	Πολυβυνιλοχλωρίδιο στο PET, Cu στον χάλυβα
Προτείνεται αποφυγή	Το υλικό δεν έχει καμία γνωστή ή έχει πολύ περιορισμένη τεχνολογία για την ανακύκλωση	Θερμαινόμενο γυαλί, fiberglass, θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά, σύνθετα υλικά

## 6.5 Παρατηρήσεις σε επίπεδο συστήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μια περίληψη των ενεργειών ενός μηχανικού, ώστε να μειωθεί η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη χρήση των υλικών, την κατασκευή των προϊόντων και από τις διάφορες αποφάσεις που αφορούν τον γενικότερο σχεδιασμό. Ένας από τους κυριότερους στόχους του κεφαλαίου αυτού είναι να εντοπιστούν οι σχέσεις μεταξύ του κύκλου ζωής ενός προϊόντος με τα σχετιζόμενα περιβαλλοντικά φορτία. Για αυτό το λόγο, συχνά συνδέονται οι περιβαλλοντικές παράμετροι (απαιτήσεις ενέργειας, εκπομπές) με κάποια χρήσιμα αποτελέσματα, όπως την οικονομική δραστηριότητα που προκύπτει ή ακόμα και σε μερικές περιπτώσεις με το ίδιο το προϊόν.

Ταυτόχρονα, μελετώντας και καταγράφοντας το περιβαλλοντικό φορτίο τόσο στενά, υπάρχει ο κίνδυνος να μην ληφθεί υπόψη η συνολική τάση. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο είναι να εκφραστεί η περιβαλλοντική επίδραση μέσω άλλων παραμέτρων:

$$\text{Επίπτωση} = (\text{πλούτος} / \text{άτομο}) \times (\text{επίπτωση} / \text{πλούτος})$$

Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως εξίσωση IPAT, που συνδέει την επίπτωση (I: impact) με τρία σημαντικά στοιχεία: τον πληθυσμό (P: population), τον πλούτο (A: affluence) και την τεχνολογία (T: technology). Εδώ επικεντρωθήκαμε στον τελευταίο όρο (επίπτωση / πλούτος ή επίπτωση / προϊόν). Βάσει της εξίσωσης IPAT δύναται να πραγματοποιηθούν πολλές παραλλαγές, όπως  $A = \text{προϊόν} / \text{άτομο}$ ,  $T = \text{επίπτωση} / \text{προϊόν}$ . Επομένως, η βελτίωση της τεχνολογίας μπορεί αντισταθμιστεί με την αύξηση του πληθυσμού ή / και του πλούτου / άτομο. Η βελτίωση της τεχνολογίας δεν έχει θετική επίδραση μόνο στο περιβάλλον, αλλά τονώνει και την οικονομία. Στην πραγματικότητα, πρόσφατες θεωρίες, που αφορούν την ανάπτυξη της οικονομίας, δίνουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της τεχνολογίας [81][82]. Ως εκ τούτου, η βελτίωση της επίδοσης ενός προϊόντος, δύναται να ωθήσει την παραγωγή αλλά και την κατανάλωση του προϊόντος αυτού. Κάποιες εκδοχές του φαινομένου αυτού ονομάζονται “το φαινόμενο της επαναφοράς” (rebound effect) και “το παράδοξο του Jevon” (Jevon’s paradox), ονομασίες που προέρχονται από τον οικονομολόγο Jevon του δέκατου ενάτου αιώνα, ο οποίος παρατήρησε ότι η πιο αποδοτική παραγωγή και η χρήση ενός πόρου (του κάρβουνου στην συγκεκριμένη περίπτωση) οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση του πόρου αυτού και όχι σε μικρότερη [83].

Ο γενικός κανόνας είναι, ότι οι άνθρωποι ανταποκρίνονται σε κίνητρα που δίδονται και τα κίνητρα αυτά σε μια σύγχρονη κοινωνία οδηγούν σε αυξημένες επενδύσεις και κατ’ επέκταση σε αυξημένη

απασχόληση και χρήση των διάφορων πόρων. Αν μια κοινωνία θέλει να μειώσει τη χρήση κάποιου πόρου ή τις εκπομπές ή τα τοξικά απόβλητα, θα πρέπει να δώσει κίνητρα. Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής για παράδειγμα, μέσω του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ το 1976, κατάφεραν να μειώσουν της εκπομπές μόλυβδου, διοξειδίων του θείου και την ενέργεια που καταναλώνεται από τα ψυγεία με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση των επιπέδων του όζοντος στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Οι προσπάθειες ενός μηχανικού πρέπει να γίνονται σε συνεργασία με το πολιτικό σύστημα.

## Κεφάλαιο 7 – Μέθοδος λειτουργίας σφάλματος και ανάλυσης συνεπειών (FMEA)

Η μέθοδος λειτουργίας σφάλματος και ανάλυσης συνεπειών (FMEA) δημιουργήθηκε για να αναγνωρίζει και να εξαλείφει σφάλματα ή αίτια σφαλμάτων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού ενός προϊόντος και κυρίως κατά τα αρχικά στάδια. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από την αμερικάνικη Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) κατά τη διεξαγωγή του προγράμματος Απόλλο, ώστε να σχεδιαστούν προϊόντα χωρίς σχεδιαστικά σφάλματα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν αναφερόμαστε σε προϊόντα, τα οποία είναι δύσκολο να επισκευαστούν, όπως για παράδειγμα τα διαστημόπλοια ή οι δορυφόροι. Η μέθοδος αυτή υιοθετήθηκε αργότερα από την βιομηχανία αεροσκαφών, την αυτοκινητοβιομηχανία, την φαρμακοβιομηχανία και την πυρηνική τεχνολογία [85][86] και χρησιμοποιείται σε όλα τα πεδία της διαδικασίας ανάπτυξης των αγαθών [84, 87-90].

### 7.1 Γενικές καινοτομίες για την εφαρμογή της μεθόδου FMEA

Η πολυπλοκότητα πολλών προϊόντων λόγω του μηχανικού τους χαρακτήρα και ο συνδυασμός πολλών μηχανικών εννοιών καθιστούν δύσκολη την διάκριση μεταξύ των τριών υποδιαδικασιών της μεθόδου: FMEA που αφορούν το σύστημα, τον σχεδιασμό και την επεξεργασία, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.1.



*Σχήμα 7.1 Η μέθοδος FMEA χωρισμένη σε υποδιαδικασίες*

Για να μην γίνεται η διάκριση αυτή, εφαρμόζεται μια συνεχόμενη μορφή της μεθόδου, η οποία γίνεται ολοένα και πιο λεπτομερής, όσο αυξάνεται η γνώση μέσω της διαδικασίας ανάπτυξης ενός προϊόντος. Όσο προχωράει ο σχεδιασμός ο κίνδυνος για πιθανά λάθη αυξάνεται, όπως αυξάνεται και η ανάγκη

για την αναγνώριση και την εξάλειψή τους. Αυτό οδηγεί στην έννοια μιας συνεχόμενης μορφής της μεθόδου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.2.



**Σχήμα 7.2** Η μέθοδος FMEA ως μια συνεχόμενη διαδικασία

Γενικότερα, τα αρχικά στάδια της διαδικασίας ανάπτυξης ενός προϊόντος και τα στάδια κατά τη διάρκεια και μετά το λανσάρισμα του προϊόντος στην αγορά δεν προσεγγίζονται με την κλασική μέθοδο FMEA. Τα αρχικά στάδια της διαδικασίας ανάπτυξης (εύρεση ιδέας, εκτίμηση της αγοράς) εμπεριέχουν πολλές πηγές σφαλμάτων που επηρεάζουν τελικά την επιτυχία ή την αποτυχία ενός προϊόντος (όχι μόνο τεχνικά). Η κλασική μέθοδος λειτουργίας σφάλματος και ανάλυσης συνεπειών δεν λαμβάνει υπόψη το κόστος των πιθανών ζημιών, καθώς και το κόστος που απαιτείται για να αποφευχθεί ένα σφάλμα. Για να ληφθεί η κατάλληλη απόφαση για την αποκατάσταση βλαβών είναι ιδιαίτερα σημαντικό να κατανοηθεί οικονομικά η σημασία της μεθόδου, αλλά και των συνεπειών της.

Όνομα εταιρίας/ project	Λειτουργία σφάλματος και ανάλυση συνεπειών (FMEA)									Ονόματα λειτουργιών/ αρχές λειτουργίας						
										No.						
	Τμήμα Παραγωγής:									Δημιουργήθηκε από:			Ημερομηνία:			
Τοποθεσία σφάλματος - No. οντότητας	Τύπος σφάλματος	Αντίκτυπος του σφάλματος	Αιτία του σφάλματος	Παρούσα κατάσταση	A	B	E	K	RPZ	Διορθωτικά μέτρα	Βελτιωμένη κατάσταση	A	B	E	K*	RPZ*
				Μέσα ελέγχου									Συνειδητή ενέργεια			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

**Σχήμα 7.3** Η τυπική φόρμα της μεθόδου FMEA, με πρόσθετες στήλες τα K και K\*, ώστε να λαμβάνονται υπόψη η επιρροή των κοστών στη λήψη αποφάσεων

### 7.2 Γενικοί κανόνες για την εκτέλεση της μεθόδου FMEA

Η παρατήρηση της εκτέλεσης της μεθόδου στις διάφορες εταιρίες δείχνει ότι δεν γίνεται σαφής διαχωρισμός των τριών τύπων της μεθόδου (συστήματος, σχεδιασμού, διαδικασίας) και αυτό συμβαίνει γιατί κάθε σφάλμα έχει αντίκτυπο και στους τρεις τύπους που αναφέραμε. Μόνο μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της συνολικής μεθόδου δύναται να εντοπίσει το πραγματικό σφάλμα ή την πηγή του. Γι' αυτό δεν είναι λογικό να χωρίζονται οι τρεις αυτοί τύποι της μεθόδου, αλλά να διεξάγονται ταυτόχρονα ώστε να ωφεληθεί η συνολική διαδικασία από την συνεργασία τους.

#### Βελτίωση της αναγνώρισης σφαλμάτων

Η μέθοδος FMEA, κατά τις συμβατικές μορφές [84], είναι κατ' αρχήν ελλιπής, δεδομένου ότι δεν υπάρχει ένας κατάλληλος έλεγχος πληρότητας. Τα αποτελέσματα είναι εμφανή στην αναγνώριση σφαλμάτων. Κάποιοι τρόποι βελτίωσης είναι οι παρακάτω:

1. Εμπειρία των συμμετεχόντων στη μέθοδο
2. Ενσωμάτωση και άλλων ειδικών
3. Γνώση ή γνωριμία με το υπό ανάλυση προϊόν
4. Επαφή και ενσωμάτωση με τμήματα που σχετίζονται με τους πελάτες, αλλά και με τους ίδιους τους πελάτες

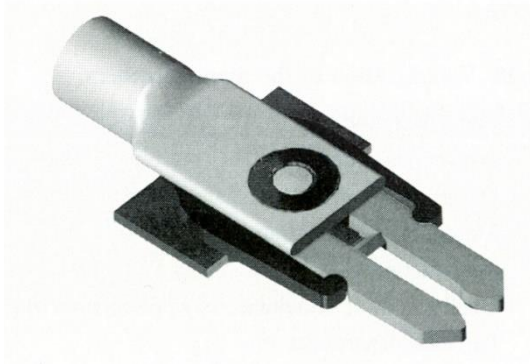


5. Συλλογή και ανάλυση των σφαλμάτων και των εμπειριών που υπάρχουν στις βάσεις δεδομένων
6. Μελέτη του ιστορικού του προϊόντος
7. Ταυτόχρονη εφαρμογή των ευρετικών υποστηρικτικών εργαλείων

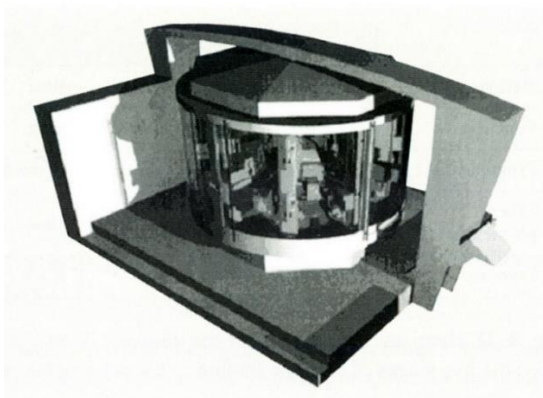
Η μέθοδος λειτουργίας σφάλματος και ανάλυσης συνεπειών (FMEA) αφορά μόνο τεχνικό εξοπλισμό και όχι έγγραφα, υπηρεσίες, προγράμματα ελέγχου, λειτουργικό και σχέδια παραγωγής. Μετρήσεις, έλεγχος εγκαταστάσεων και συσκευές δεν ελέγχονται από καμία μέθοδο FMEA, παρότι πολλά σφάλματα μπορεί να προκύψουν στις περιοχές αυτές.

### 7.3 Διαδικασία

Ο εντοπισμός των ρίσκων που αφορούν τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, ξεκινώντας από τον σχεδιασμό της αρχικής ιδέας μέχρι και την χρήση του προϊόντος, ακολουθεί πάντα την ίδια διαδικασία και τις ίδιες αρχές, ανεξάρτητα με το μέγεθος του προϊόντος (σχήματα 7.4 – 7.5).



*Σχήμα 7.4 Ένα μικρό προϊόν – επαφή πρίζας (ABB, Baden)*



*Σχήμα 7.5 Ένα μεγάλο προϊόν - εργαλειομηχανή (A. Breiing, Mikron, Biel)*

### Σύνθεση της ομάδας λειτουργίας σφάλματος και ανάλυσης συνεπειών (FMEA)

Η σύνθεση της ομάδας πραγματοποιείται από τον διαχειριστή του έργου (project manager), σε συνεννόηση με τον συντονιστή της μεθόδου, και το κάθε τμήμα καλό είναι να συμμετέχει με έναν τουλάχιστον αντιπρόσωπο.

### Συγκρότηση των λειτουργιών

Η βάση της μεθόδου είναι η λειτουργική ανάλυση του υπό μελέτη προϊόντος. Αυτό συμπεριλαμβάνει τον ορισμό των λειτουργικών μονάδων και υπομονάδων, όπως για παράδειγμα ένα ιεραρχικό διάγραμμα ή ένα διάγραμμα διαδικασιών.

### Συμπλήρωση της Φόρμας της μεθόδου FMEA (Σχήμα 7.3)

*Στήλη Νο1:* Η στήλη αυτή περιέχει όλες τις απόψεις των πιθανών πηγών σφαλμάτων. Από τα αρχικά στάδια της παραγωγής ενός προϊόντος, ιδίως κατά την σύλληψη της ιδέας και τον καθορισμό του προφίλ των επιδόσεων της αγοράς, οι αιτίες των σφαλμάτων εντοπίζονται και τοποθετούνται στην πρώτη οντότητα (μπλοκ). Αιτίες σφαλμάτων μπορεί να εντοπισθούν και κατά το στάδιο της ανάπτυξης (δεύτερη οντότητα), κατά το λανσάρισμα στην αγορά (τρίτη οντότητα) και κυρίως κατά τη χρήση και απόρριψη του προϊόντος (τέταρτη οντότητα).

*Στήλη Νο2 έως Νο4:* Οι στήλες αυτές απαιτούν ανάλυση όλων των πιθανών σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν, όπως:

### Πιθανά σφάλματα κατά το στάδιο του σχεδιασμού

- Η ιδέα ότι ένα προϊόν δεν μπορεί να υλοποιηθεί λόγω χημικών, φυσικών, βιολογικών, ηθικών ή νομικών περιορισμών ή κανονισμών
- Η ιδέα του προϊόντος έχει υλοποιηθεί από τους ανταγωνιστές
- Η ιδέα του προϊόντος προστατεύεται από δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τους ανταγωνιστές
- Δεν υπάρχει κενό στην αγορά για το προϊόν αυτό ή δεν υπάρχουν πιθανότητες ανάπτυξης του στην αγορά
- Η χρονική στιγμή δεν είναι ώριμη / κατάλληλη

- Δεν υπάρχουν ανταγωνιστικές φωτογραφίες ή δεν είναι επαρκώς σχετικές (για στρατιωτικές εφαρμογές)
- Δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι
- Δεν υπάρχει βιώσιμο περιβάλλον

Πιθανά σφάλματα κατά το στάδιο της ανάπτυξης

- Εσωτερικές λειτουργίες από την ανάλυση των λειτουργιών (ιεραρχικές ή / και λειτουργικές δομές της διαδικασίας)
- Εξωτερικές λειτουργίες από την ανάλυση χρήσης
- Συναρμολόγηση της δομής του προϊόντος
- Συναρμολόγηση / αποσυναρμολόγηση
  - Διαδικασίες συναρμολόγησης / αποσυναρμολόγησης
  - Κανόνες συναρμολόγησης / αποσυναρμολόγησης
  - Αναλώσιμα (για την απομάκρυνση των λαδιών από τα ρουλεμάν)
  - Συναρμολόγηση / αποσυναρμολόγησή συσκευών
  - Συσκευές μέτρησης και ελέγχου
  - Πρόσθετα μέσα (ανυψωτικές συσκευές)
- Εξαρτήματα από την δομή του προϊόντος και / ή λίστα των μερών
- Κατασκευή
  - Διαδικασίες κατασκευής
  - Λειτουργίες κατασκευής
  - Κανονισμοί κατασκευής
  - Κατασκευαστικές συσκευές και μέσα
  - Βοηθητικές κατασκευαστικές απαιτήσεις

- Συσκευές μέτρησης και ελέγχου (π.χ. παχύμετρο)
- Κατασκευαστικά Έγγραφα (σχέδια, λίστες υλικών κ.λπ.)
- Έγγραφα που αφορούν την συναρμολόγηση/ αποσυναρμολόγηση
- Έγγραφα που αφορούν υπολογισμούς, όπως:
  - Παραδοχές φορτίων
  - Επιβεβαίωση δυνάμεων
  - Επιβεβαίωση παραμορφώσεων
  - Επιβεβαίωση σταθερότητας (κάμψη)
- Εξισορρόπηση, όπως:
  - Εξισορρόπηση απόδοσης
  - Εξισορρόπηση βάρους
  - Τοποθέτηση κέντρων βάρους
  - Εξισορρόπηση ροπών αδράνειας
  - Εξισορρόπηση θερμοκρασίας
  - Εξισορρόπηση ψυκτικής ουσίας
- Έγγραφα, όπως:
  - Κατασκευαστικά έγγραφα
  - Φύλλα οδηγιών
  - Οδηγίες συντήρησης και λειτουργίας
  - Κατάλογοι ανταλλακτικών

### Πιθανά σφάλματα κατά το λανσάρισμα στην αγορά

- Αποθήκευση
  - Δραστηριότητες
  - Εξοπλισμός
  - Ράφια, διάδρομοι, στοίβες
  
- Μεταφορά
  - Δραστηριότητες
  - Εξοπλισμός
  - Μέσα μεταφοράς
  
- Τοποθέτηση
  - Δραστηριότητες
  - Κανονισμοί και οδηγίες τοποθέτησης
  - Εξοπλισμός
  - Μετρήσεις και έλεγχος εξοπλισμού
  
- Αρχική λειτουργία
  - Εγχειρίδιο λειτουργίας (κεφάλαιο αρχικές ρυθμίσεις)
  - Κατάλογος
  - Βιβλίο χρήστη
  - Οδηγίες συντήρησης

Πιθανά σφάλματα κατά το στάδιο της χρήσης και όταν τεθεί το προϊόν εκτός λειτουργίας

- Αρχική λειτουργία
  - Δραστηριότητες σε σχέση με:
    - Το εγχειρίδιο λειτουργίας (κεφάλαιο αρχικές ρυθμίσεις)
    - Τους καταλόγους
    - Το ιστορικό συντήρησης
    - Τα απαραίτητα έγγραφα
- Λειτουργία
  - Δραστηριότητες σε σχέση με:
    - Το εγχειρίδιο λειτουργίας
    - Το βιβλίο χρήστη
- Συντήρηση
  - Δραστηριότητες και δοκιμές σε σχέση με:
    - Το εγχειρίδιο λειτουργίας
    - Το βιβλίο χρήστη
    - Τα έγγραφα συντήρησης
    - Το ιστορικό συντήρησης
- Συντήρηση
  - Δραστηριότητες και δοκιμές σε σχέση με:
    - Το εγχειρίδιο λειτουργίας
    - Το βιβλίο χρήστη
    - Το εγχειρίδιο συντήρησης και τον κατάλογο των ανταλλακτικών
    - Τα έγγραφα εφοδιασμού (παγκόσμιος κατάλογος συνεργείων για το προϊόν)

*Στήλη Νο5:* Στην στήλη αυτή παρουσιάζονται τα μέτρα που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή σφαλμάτων και για την δοκιμή διαδικασιών που εφαρμόζονται. Οι εγγραφές της στήλης αυτής βοηθούν στη μείωση των σφαλμάτων της στήλης Νο4 και στον εντοπισμό πιθανών προελεύσεων σφαλμάτων.

*Στήλες Νο6 έως Νο10:* Οι στήλες αυτές χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τον αριθμό προτεραιότητας κινδύνου (risk priority number - RPZ)

Για να ληφθεί μια απόφαση για ενέργειες που αφορούν την αποκατάσταση βλαβών είναι πολύ σημαντικό να αποκτηθεί μια οικονομική άποψη / προοπτική της μεθόδου FMEA και των συνεπειών της. Στην περίπτωση επέκτασης της μεθόδου και ενσωμάτωσης υπολογισμού κόστους, η παραπάνω φόρμα περιέχει μια ακόμα στήλη K που αφορά τα κόστη. Ο όρος K αντιπροσωπεύει τα πιθανά κόστη στην περίπτωση σφάλματος. Η τιμή λοιπόν της στήλης Νο10 υπολογίζεται ως εξής:

$$RPZ = A \cdot B \cdot E \cdot K$$

Όπου:

*A = η πιθανότητα να συμβεί ένα σφάλμα*

<b>A</b>	
Απίθανο	1
Πολύ Χαμηλή	2
Χαμηλό	3
Μέτρια	4
Υψηλή	5
Πολύ Υψηλή	6

*B = οι συνέπειες για τον καταναλωτή*

<b>B</b>	
Συνέπειες όχι ικανές για να παρατηρηθούν	1
Αμελητέα ενόχληση για τον καταναλωτή	2
Μικρή ενόχληση για τον καταναλωτή	3
Εχόχληση για τον καταναλωτή	4
Εκνευρισμός για τον καταναλωτή	5
Πιθανή απώλεια για τον καταναλωτή	6

$E = \eta$  πιθανότητα να εντοπισθεί ένα σφάλμα

E	
Πολύ Υψηλή	1
Υψηλή	2
Μέτρια	3
Χαμηλή	4
Πολύ Χαμηλή	5
Απίθανο	6

$K =$  πιθανό κόστος σε περίπτωση που συμβεί ένα σφάλμα

K	
Κανένα κόστος ή αμελητέα αύξηση κόστους	1
Μικρό επιπρόσθετο κόστος	2
Μέτριο επιπρόσθετο κόστος	3
Υψηλό επιπρόσθετο κόστος	4
Εξαιρετικά υψηλό επιπρόσθετο κόστος	5
Κόστος εκτός προϋπολογισμού	6

Αντί να χρησιμοποιηθούν οι απόλυτες τιμές των στηλών Νο1 έως Νο6, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτές των Νο1 έως Νο10, μόνο όμως αφού υπάρχουν όλες οι αναλυτικές πληροφορίες. Μια πιο λεκτική περιγραφή του αριθμού προτεραιότητας κινδύνου (RPZ) είναι:

Μη αποδεκτά υψηλός	1296 - 10000
Μέτριος	256 - 1295
Χαμηλός	1 - 255

Στην πράξη, για αποτυχημένες περιπτώσεις, αν ο αριθμός προτεραιότητας κινδύνου είναι μικρότερος του 625 τότε δεν συνηθίζεται να απορρίπτεται, καθώς δεν συμφέρει κοστολογικά.

*Στήλη Νο11:* Στην στήλη αυτή καταχωρούνται οι ενέργειες για την αντιμετώπιση βλαβών.

*Στήλες Νο12 έως Νο17:* Υποθέτοντας ότι οι ενέργειες που παρουσιάζονται στην στήλη Νο11 γίνονται αντιληπτές, περιγράφονται στην στήλη Νο12 και η τιμή RPZ\* υπολογίζεται ξανά στις στήλες Νο13 έως Νο17. Ο όρος K\* αντιπροσωπεύει τα πιθανά κόστη των μέτρων που είναι απαραίτητα, ώστε να μειωθεί ή να εξαλειφθεί ένα πιθανό σφάλμα. Τα μέτρα αυτά γίνονται δεκτά, αν ο αριθμός προτεραιότητας κινδύνου RPZ\* είναι κάτω από το όριο που περιγράφηκε προηγουμένως.



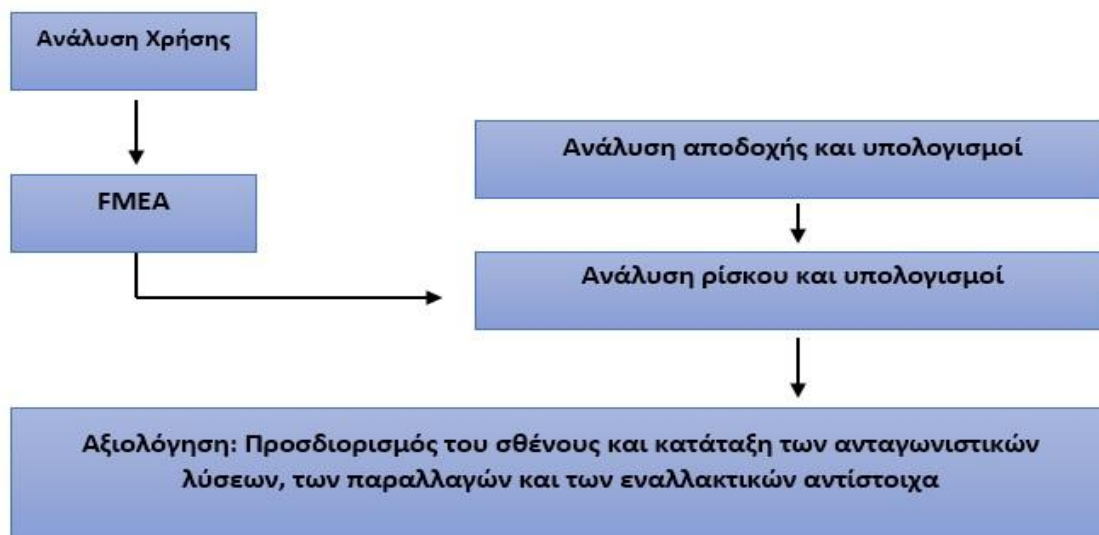
Η τιμή της στήλης Νο17 υπολογίζεται:

$$RPZ^* = A \cdot B \cdot E \cdot K^*$$

Η λεκτική περιγραφή του αριθμού προτεραιότητας κινδύνου  $RPZ^*$  είναι όμοια με αυτή του αριθμού  $RPZ$ , καθώς ισχύει και η ίδια αρχή όσον αφορά την απόρριψη περιπτώσεων. Αν ο αριθμός  $RPZ^*$  είναι υψηλότερος από τον  $RPZ$ , τότε τα μέτρα για την αποφυγή ή την ελαχιστοποίηση ενός πιθανού σφάλματος πρέπει να εξεταστούν πολύ προσεκτικά.

#### 7.4 Περαιτέρω χρήση των αποτελεσμάτων της μεθόδου λειτουργίας σφάλματος και ανάλυσης συνεπειών (FMA)

Κατά τα στάδια ανάπτυξης της ιδέας και του σχεδιασμού προκύπτουν πολλές λύσεις και εναλλακτικές, ανταγωνιστικές μεταξύ τους. Για να μπορέσει να επιλεγεί η καλύτερη όλων αυτών, διενεργείται μια διαδικασία κατάταξης. Αν το κριτήριο του ρίσκου έχει ληφθεί ήδη υπόψη στην διαδικασία, είναι λογικό να χρησιμοποιηθεί το άθροισμα των αριθμών  $RPZ^*$  και  $RPZ$  της κάθε λύσης. Η σχέση μεταξύ του ρίσκου, της αποδοχής και των βαρών αποτυπώνεται στο σχήμα 7.6.



*Σχήμα 7.6 Οι σχέσεις μεταξύ αποδοχής, ρίσκου και αξιολόγησης*

## **Κεφάλαιο 8 – Βελτίωση προϊόντος**

Όπως είδαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η ανάπτυξη ενός προϊόντος ακολουθεί πολλά και διαφορετικά στάδια, ώσπου να πάρει το προϊόν την τελική του μορφή. Ακόμα όμως και στην τελική του μορφή ενδέχεται να υπάρξουν αλλαγές ή βελτιώσεις, καθώς προκύπτουν προβλήματα αλλά και νέες ιδέες κατά τη χρήση του κάθε προϊόντος. Οι ομάδες των τμημάτων ανάπτυξης των προϊόντων, αλλά κυρίως οι μηχανικοί των τμημάτων αυτών, είναι υπεύθυνοι, ώστε να εφαρμοστεί στο κάθε προϊόν η γνώση και η εμπειρία που έχει αποκτηθεί, ώστε το αποτέλεσμα να είναι συνεχώς το καλύτερο δυνατό.

Αναφερόμενοι στην βελτίωση ενός προϊόντος, σκέφτεται κανείς αυτόματα σύνθετα αντικείμενα, τα οποία δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, παραβλέποντας την σημασία των απλών αντικειμένων που χρησιμοποιούνται καθημερινά. Ακόμα και το πιο απλό αντικείμενο που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος και που μπορεί να μην του δίνει την δέουσα σημασία, έχει περάσει από τις διαδικασίες που αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια, ώστε να είναι πλέον απόλυτα λειτουργικό.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τα παραδείγματα του αυτοκινήτου και του προσωπικού υπολογιστή και τα οφέλη απέναντι στο περιβάλλον των αλλαγών που αφορούσαν τα υλικά κατασκευής. Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθεί ένα κοινό αντικείμενο και οι δυνατότητες βελτίωσής του, ώστε να είναι ακόμα πιο χρηστικό απέναντι στις ανθρώπινες ανάγκες. Το αντικείμενο που θα μελετηθεί είναι ένα μπρίκι. Το μπρίκι είναι ένα απλό καθημερινό σκεύος, το οποίο με την πάροδο των ετών έχει αλλάξει σχήμα, μέγεθος, υλικά κατασκευής και με μια πρώτη ματιά θεωρεί κανείς ότι δεν επιδέχεται περαιτέρω βελτιώσεις.

### **8.1 Ιστορική εξέλιξη – Ιδέα βελτίωσης**

Αρχικά, το μπρίκι χρησιμοποιήθηκε ως ένα σκεύος για να φτιάχνεται ο καφές. Όντας ένα απλό σκεύος με μια πολύ συγκεκριμένη εφαρμογή, οι απαιτήσεις του ήταν αρκετά χαμηλές. Έπρεπε να είναι μικρής χωρητικότητας, καθώς χρησιμοποιούνταν για την παρασκευή ελληνικού καφέ, από ένα μέταλλο χαμηλού κόστους, με υψηλό σημείο τήξης, αλλά και να μην προκαλεί οποιοδήποτε πρόβλημα υγείας, καθώς ερχόταν σε επαφή με τον καφέ κατά την παρασκευή του. Για τους λόγους αυτούς είχε επιλεγθεί αρχικά ο χαλκός. Ο χαλκός ήταν ένα πολύ διαδεδομένο μέταλλο για σκευή μαγειρικής, καθώς είναι ένα ευθερμαγωγό υλικό και η θερμότητα απλώνεται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του (σημείο τήξης: 1083°C – θερμική αγωγιμότητα: 330 w/m/k). Ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι

έχει βακτηριοστατικές ιδιότητες, εμποδίζει δηλαδή την ανάπτυξη του πληθυσμού των μικροβίων στην επιφάνειά του, είτε διατηρώντας τον στάσιμο, είτε ελαττώνοντας τον πληθυσμό τους, είτε ακόμα και εξουδετερώνοντάς τον πλήρως. Επειδή όμως αναφερόμαστε σε μαγειρικό σκεύος, είναι απαραίτητη η επικάλυψη του εσωτερικού μέρους του με κασσίτερο, ώστε να δημιουργηθεί ένα προστατευτικό στρώμα, καθώς έχει αποδειχθεί ότι ο χαλκός μπορεί να αντιδράσει με συστατικά των τροφών και να οδηγήσει σε δηλητηριάσεις [91, 92, 93]. Αυτός είναι και ο βασικότερος λόγος που η κατασκευή των μπρικιών γίνεται σήμερα από ανοξείδωτο ατσάλι 18/10 ή από αλουμίνιο. Το ανοξείδωτο ατσάλι 18/10 είναι χάλυβας, που περιέχει την ιδανική αναλογία σε χρώμιο (18%) και νικέλιο (10%), ώστε να είναι ανθεκτικό στην διάβρωση, στην οξείδωση αλλά και να έχει μηχανική αντοχή [94]. Το αλουμίνιο είναι το πλέον ελατό μέταλλο, η κατεργασία του είναι πιο εύκολη από άλλα μέταλλα και παρουσιάζει πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα [95]. Αυτές οι ιδιότητές το καθιστούν το συχνότερα χρησιμοποιούμενο μέταλλο μετά τον σίδηρο. Παράλληλα με την εξέλιξη του υλικού κατασκευής υπήρξε και εξέλιξη όσον αφορά τα διαθέσιμα μεγέθη. Η τελευταία εξέλιξη του μπρικιού είναι το ηλεκτρικό μπρίκι, το οποίο έχει ακόμα μεγαλύτερο μέγεθος και θερμαίνει το υγρό σε μικρότερο χρόνο. Επιπλέον, επειδή έχει δική του ηλεκτρική εστία, αλλά και ειδικό θερμοστάτη, καθίσταται πολύ ασφαλές. Παρατηρούμε, ότι η εξέλιξη του αφορά την αποτελεσματικότητά του, την ασφάλεια του χρήστη και το περιβάλλον, καθιστώντας το ένα πολύ χρήσιμο και εύχρηστο καθημερινό σκεύος.

Η ιδέα για την βελτίωση του σκεύους αυτού προήλθε από το ποσοστό των αριστερόχειρων ανθρώπων. Οι αριστερόχειρες αποτελούν το 13% περίπου του ανδρικού και το 10,7% του γυναικείου πληθυσμού, ποσοστά που είναι ίδια, ανεξάρτητα από φυλή. Σαφώς, σε μια κοινωνία που έχει πληθώρα αντικειμένων για να ικανοποιείται κάθε ανάγκη, υπάρχει και μπρίκι το οποίο απευθύνεται σε αριστερόχειρες. Όμως, δεδομένου του ποσοστού των αριστερόχειρων, γεννάται το εξής ερώτημα:

Δεν θα ήταν προτιμότερο να υπάρχει ένας μηχανισμός, ώστε ένα μπρίκι να είναι ταυτόχρονα και για δεξιόχειρες και αριστερόχειρες, ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες ενός νοικοκυριού το οποίο έχει και δεξιόχειρες και αριστερόχειρες;

Διότι, σε ένα νοικοκυριό, όπου για παράδειγμα έχουμε έναν αριστερόχειρα και έναν δεξιόχειρα, ένα συμβατικό μπρίκι δεν είναι βολικό για τον αριστερόχειρα, ενώ ένα μπρίκι που απευθύνεται σε αριστερόχειρες δεν είναι βολικό για έναν δεξιόχειρα, με αποτέλεσμα να χρειάζονται δύο σκευή. Άρα, η ιδέα αφορά την βελτίωση ενός αντικειμένου, ώστε να αυξηθεί η χρηστικότητα του και ταυτόχρονα να μειωθεί το κόστος, καθώς το σκεύος αυτό θα καλύπτει ταυτόχρονα τις ανάγκες όλων των χρηστών.

## 8.2 Νέος σχεδιασμός

Το βασικό μέρος της ιδέας είναι να δημιουργηθεί ένας μηχανισμός, όπου θα επιτρέπει, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη, να περιστρέφεται η λαβή από το μπρίκι. Θα πρέπει όμως παράλληλα να διασφαλίζεται, ότι η λαβή θα παραμένει σταθερή στη θέση που θα επιλέγει ο εκάστοτε χρήστης, ώστε να μην είναι μόνο λειτουργικό αλλά και ασφαλές παράλληλα.

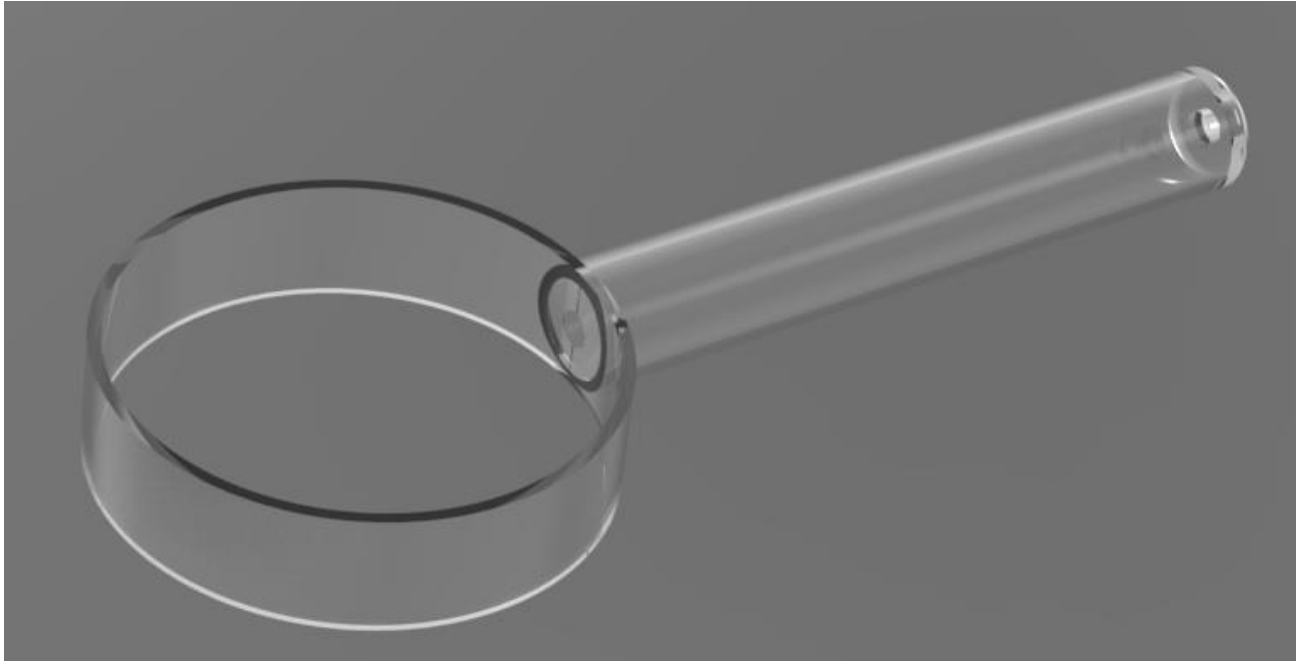
### Βασικό μέρος του μπρικιού

Θα σχεδιαστεί ένα μπρίκι, του οποίου η λαβή θα έχει τη δυνατότητα να περιστραφεί και να “κλειδώσει” στις δύο διαθέσιμες θέσεις, αφήνοντας ανέπαφο το υπόλοιπο “σώμα” του μπρικιού. Για να επιτευχθεί η δυνατότητα περιστροφής της λαβής, δημιουργήθηκε ένα αυλάκι στο βασικό “σώμα”, γύρω από το οποίο θα περιστρέφεται η λαβή. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ακόμα μεγαλύτερη σταθερότητα της λαβής, καθώς ακόμα και όντας απασφαλισμένη είναι αδύνατον να αφαιρεθεί από το βασικό μέρος του σκεύους. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν δύο αντιδιαμετρικές οπές, στις οποίες “κλειδώνει” η ασφάλεια της λαβής, έχοντας ως αποτέλεσμα την πλήρη σταθερότητα της λαβής, σε οποιαδήποτε από τις δύο διαθέσιμες θέσεις. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το βασικό μέρος από το μπρίκι.



***Σχήμα 8.1** Βασικό μέρος από το μπρίκι και η οπή ασφαλείας για την λαβή  
Λαβή και δακτύλιος περιστροφής*

Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του χρήστη αποφασίστηκε να σχεδιαστεί η λαβή μαζί με τον δακτύλιο περιστροφής, ώστε να είναι επάνω στο βασικό σώμα, ακόμα και κατά την περιστροφή. Η λαβή είναι κενή εσωτερικά, ώστε να τοποθετηθεί στη συνέχεια ο μηχανισμός, που θα της επιτρέπει να κλειδώνει και να ξεκλειδώνει.



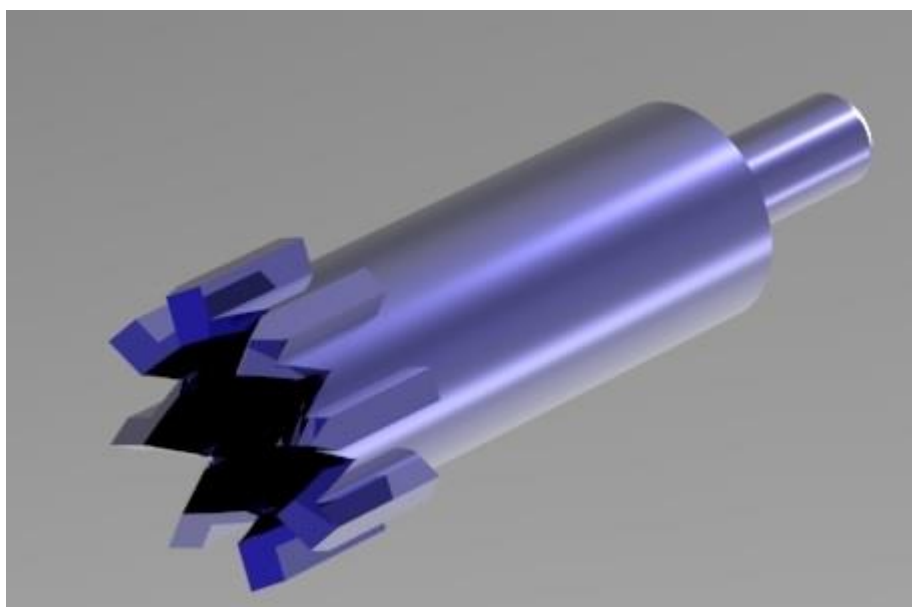
*Σχήμα 8.2* Λαβή και δακτύλιος περιστροφής

Η οπή που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα έχει δημιουργηθεί, ώστε να βγαίνει η ασφάλεια του μηχανισμού, ο οποίος και θα αναλυθεί στην συνέχεια, που επιτρέπει το κλείδωμα της λαβής στις συγκεκριμένες θέσεις.

#### Μηχανισμός κλειδώματος

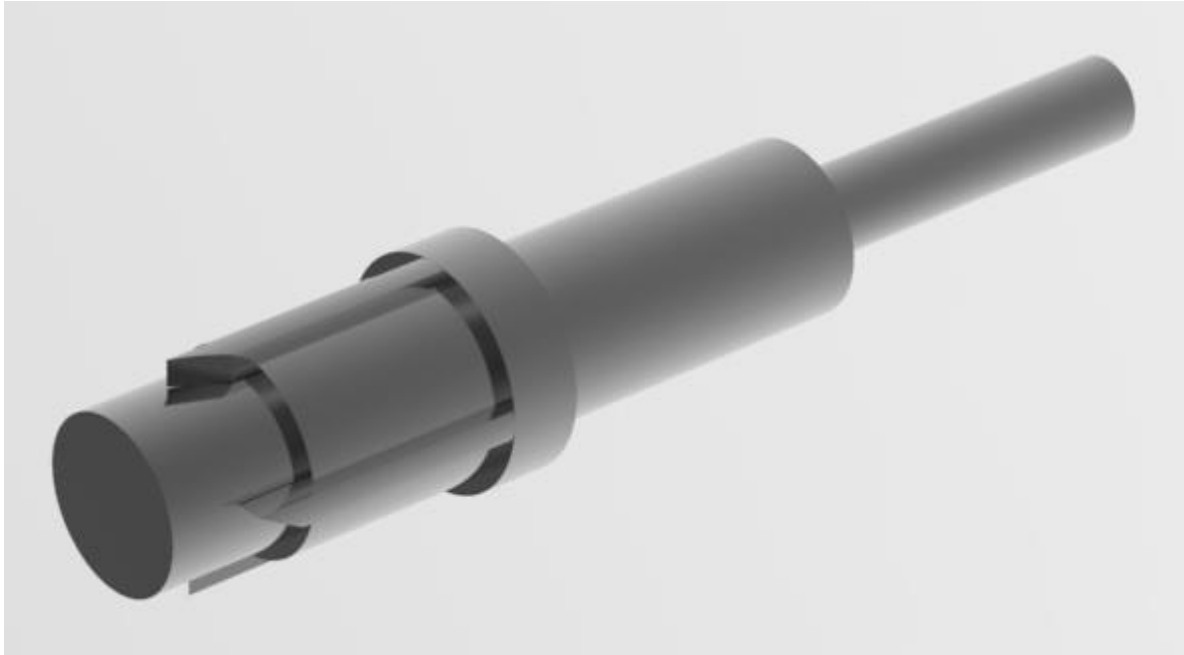
Η κύρια ιδέα της αλλαγής που σχεδιάστηκε, είναι να έχει την δυνατότητα ο χρήστης να περιστρέφει την λαβή, ανάλογα με το αν είναι δεξιόχειρα ή αριστερόχειρας, και η λαβή να κλειδώνει στην κατάλληλη θέση, ώστε να χρησιμοποιείται το μπρίκι με ασφάλεια. Επειδή το μπρίκι είναι ένα καθημερινό σκεύος, σχετικά χαμηλού κόστους, χρειάζεται ένας μηχανισμός ο οποίος θα είναι αποτελεσματικός, αλλά παράλληλα δεν θα κοστίζει πολύ. Η ιδέα του μηχανισμού αυτού προήλθε από τον μηχανισμό που χρησιμοποιείται στα στυλό που έχουν την δυνατότητα να ανοιγοκλείνουν. Είναι σαφές, ότι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται σε ένα τόσο χαμηλού κόστους προϊόν, όπως είναι ένα στυλό, είναι κατάλληλος για το συγκεκριμένο αντικείμενο, εφόσον διασφαλίζει πάντα την ασφάλεια του χρήστη και συμβαδίζει με την ποιότητα του αντικειμένου. Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί ως εξής: αποτελείται από δύο μέρη και ένα ελατήριο. Το επάνω μέρος είναι κυλινδρικό και στο σημείο επαφής του με το κάτω μέρος του μηχανισμού έχει κάποιες συμμετρικές κορυφές. Όταν ο χρήστης πατήσει το κουμπί που βρίσκεται στο άκρο της λαβής, το επάνω μέρος του μηχανισμού περιστρέφεται, εμπλέκονται οι κορυφές του με τις κορυφές του κάτω μέρους και η

ασφάλεια είναι πλέον ανενεργή. Όταν ο χρήστης ξαναπατήσει το κουμπί, το επάνω μέρος συνεχίζει να περιστρέφεται, με αποτέλεσμα οι κορυφές να απομπλέκονται από το κάτω μέρος και να εμπλέκονται στην επόμενη θέση, όπου και πάλι η ασφάλεια είναι ενεργή. Το κάτω μέρος του μηχανισμού είναι και αυτό σχεδιασμένο με τέσσερις κορυφές, οι οποίες απέχουν μεταξύ τους 90 μοίρες και σκοπό έχουν να εμπλέκονται με τις κορυφές του επάνω μέρους. Επιπλέον, ο τριγωνικός σχεδιασμός τους στην μια πλευρά τους δίνει την δυνατότητα να εμπλέκονται και να απομπλέκονται με το επάνω μέρος, αλλά και για να κινείται όλο το κάτω μέρος και να ασφαλίσει το άκρο του στις οπές του βασικού μέρους του μπρικκιού. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα δύο μέρη του μηχανισμού, ο μηχανισμός κλειδώματος συνολικά, αλλά και το στάδιο εμπλοκής και απεμπλοκής των δύο μερών του μηχανισμού.

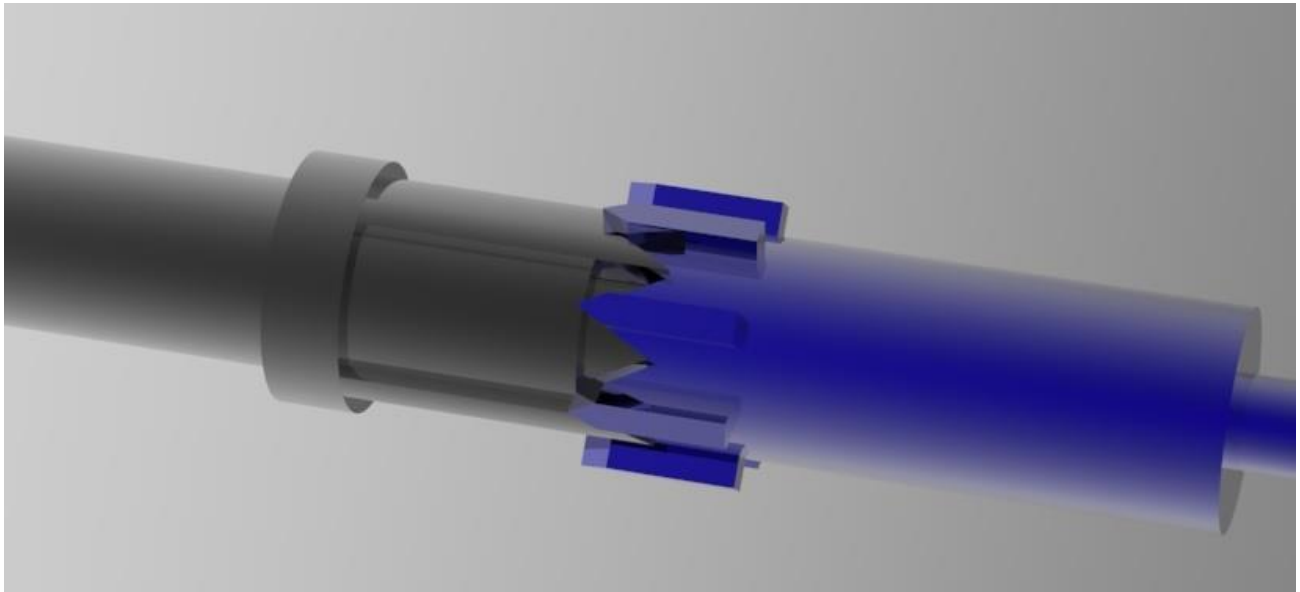


*Σχήμα 8.3 Πάνω μέρος μηχανισμού κλειδώματος*

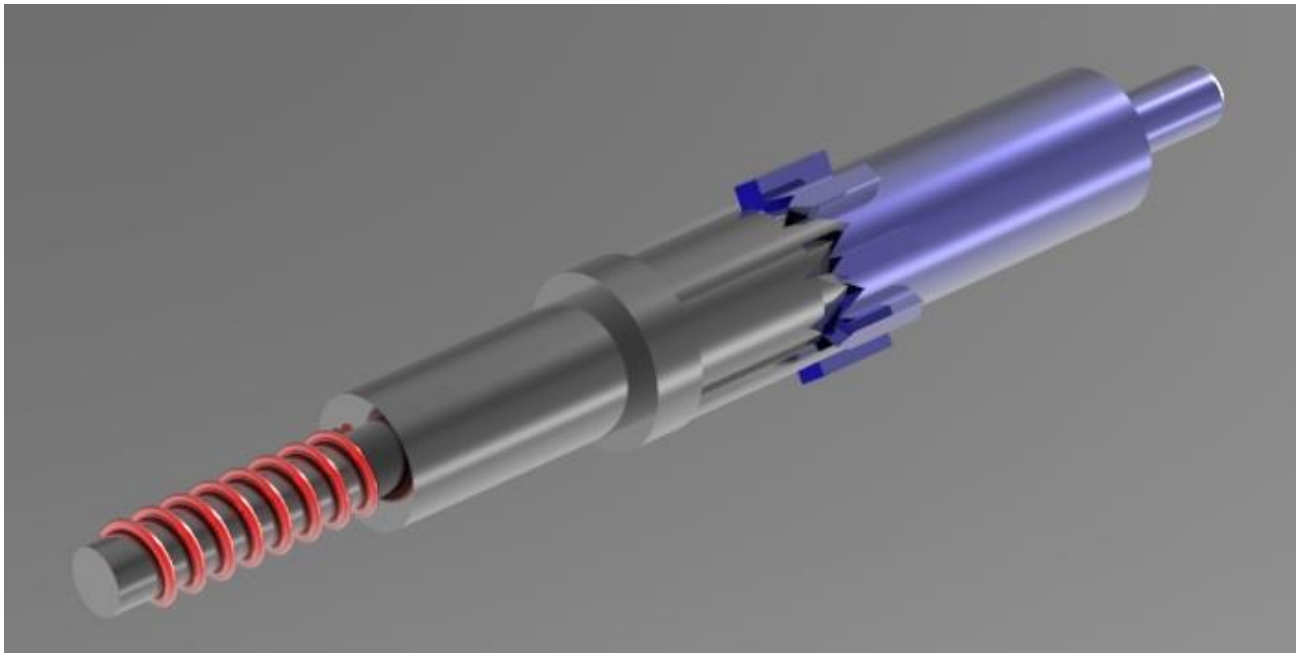




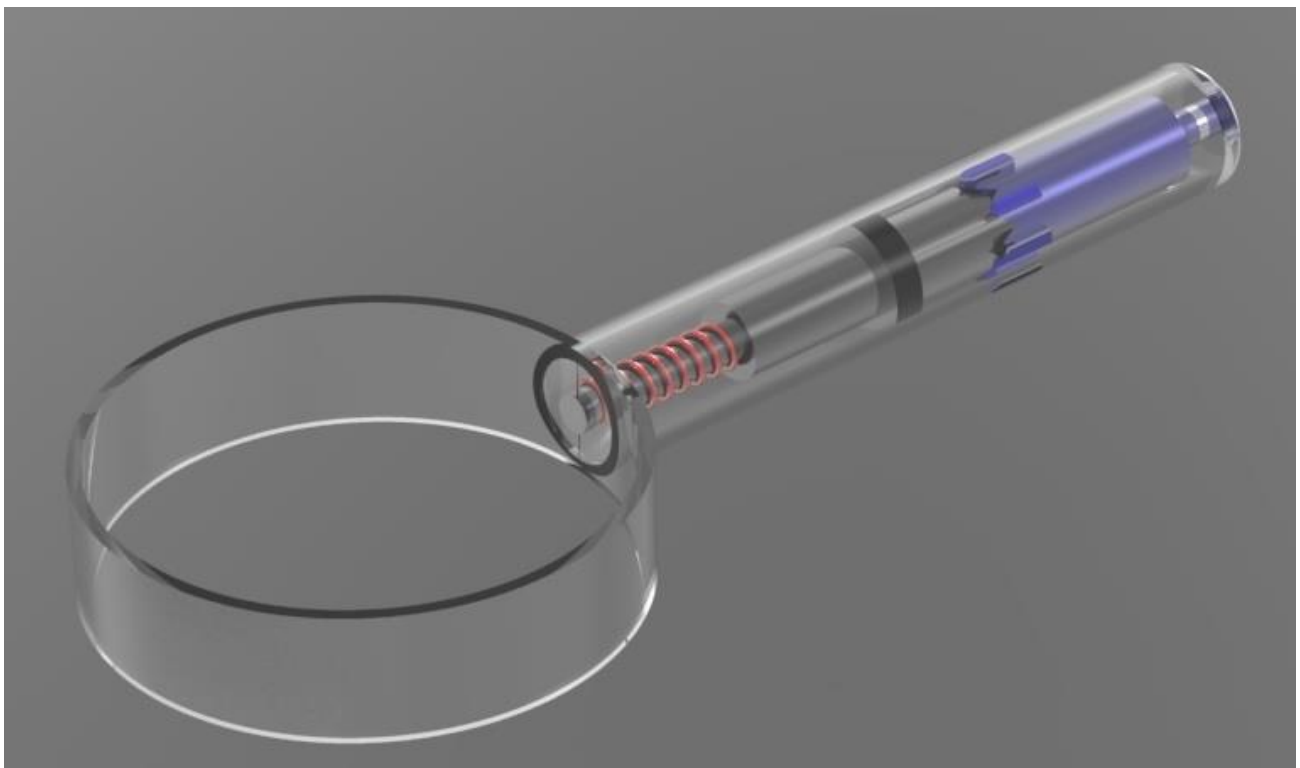
*Σχήμα 8.4 Κάτω μέρος μηχανισμού κλειδώματος*



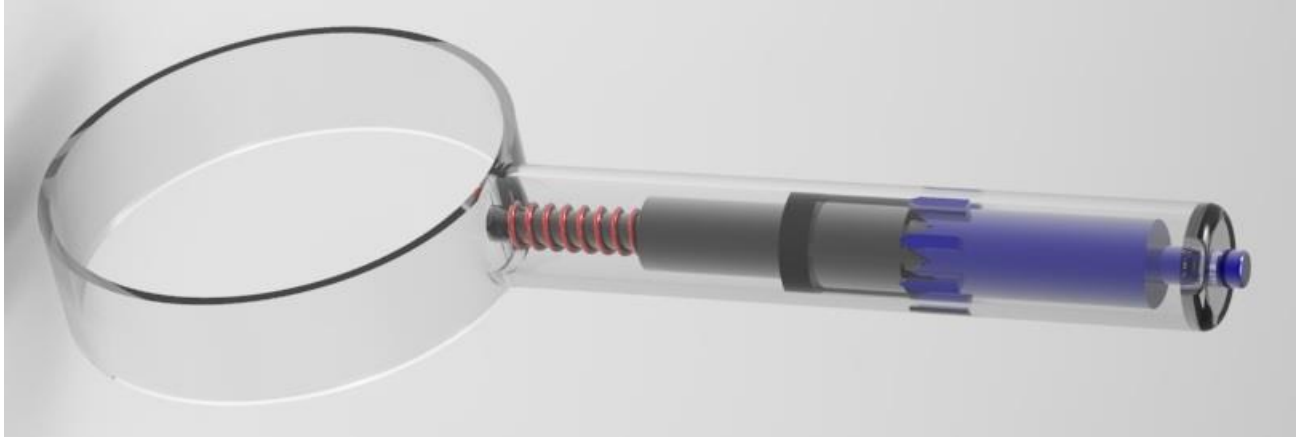
*Σχήμα 8.5 Το στάδιο όπου εμπλέκονται οι κορυφές του επάνω μέρους (μπλε) με τις κορυφές του κάτω μέρους (γκρι)*



*Σχήμα 8.6 Ο μηχανισμός κλειδώματος, αποτελούμενος από το επάνω μέρος, το κάτω μέρος και το ελατήριο*

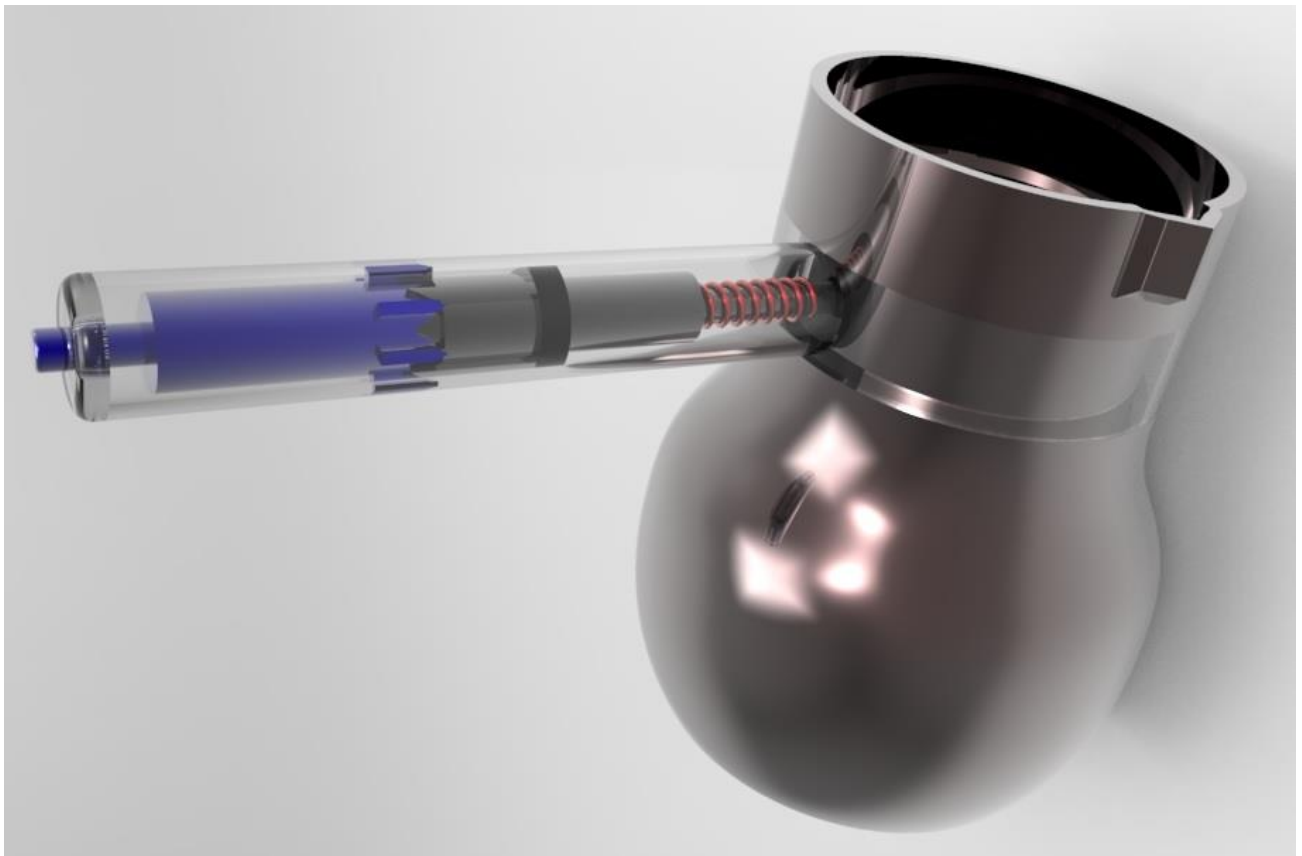


*Σχήμα 8.7 Με το γκρι χρώμα παρατηρούμε το άκρο του κάτω μέρους, που είναι η ασφάλεια που εισέρχεται στην οπή που έχουμε δημιουργήσει στο βασικό “σώμα” του μπρικκιού και δεν επιτρέπει την περαιτέρω περιστροφή της λαβής*

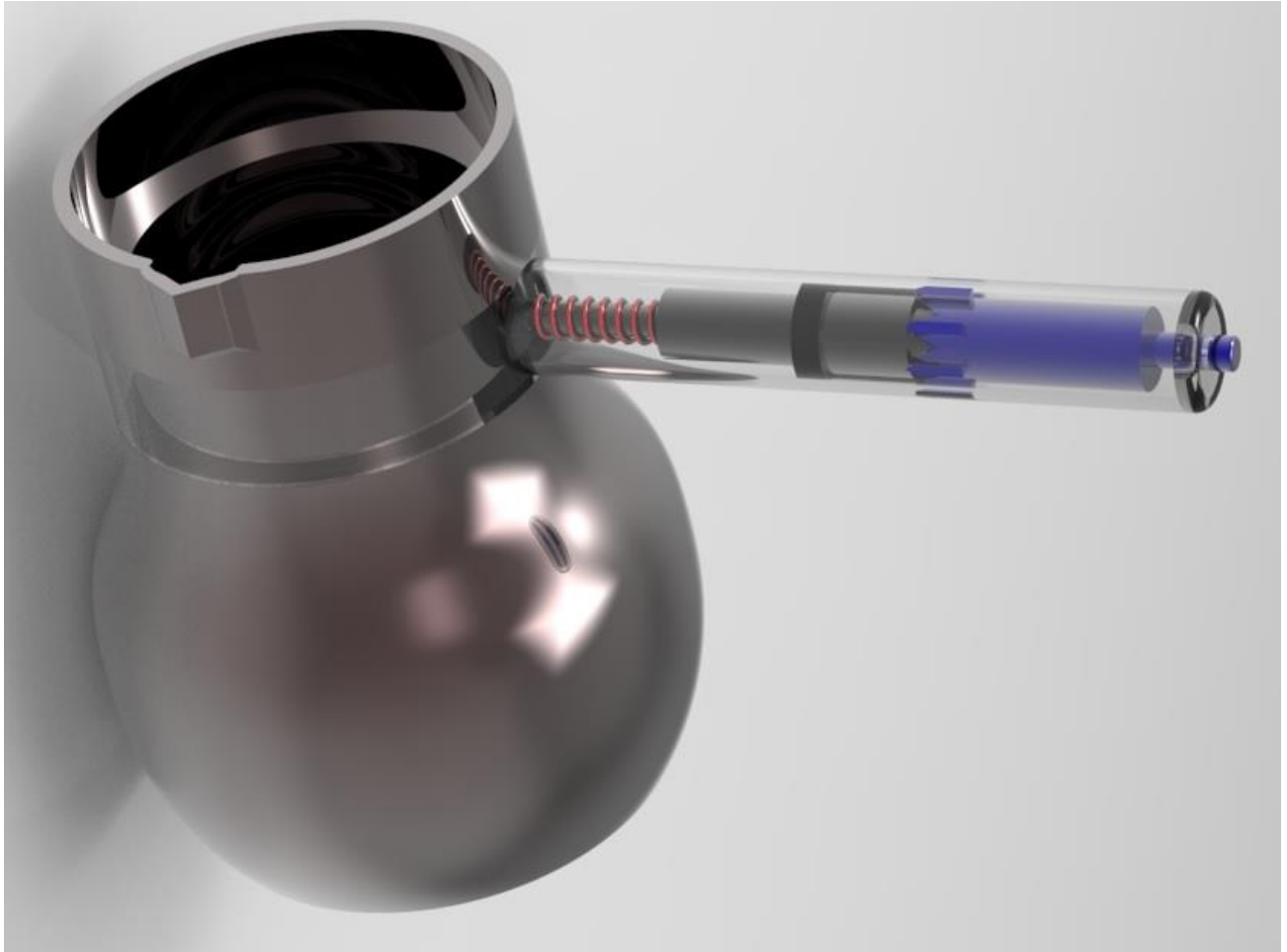


*Σχήμα 8.8 Διακρίνεται το άκρο του επάνω μέρους του μηχανισμού με το οποίο ενεργοποιείται και απενεργοποιείται η ασφάλεια. Πατώντας το, περιστρέφεται ο μηχανισμός που βρίσκεται στο εσωτερικό της λαβής και ανοιγοκλείνει η ασφάλεια*

Τέλος, φαίνεται το μπρίκι συνολικά, το οποίο εξωτερικά είναι όμοιο με κάθε κοινό μπρίκι.



*Σχήμα 8.9 Το μπρίκι με την λαβή ρυθμισμένη για αριστερόχειρες*



*Σχήμα 8.10 Το μπρίκι με την λαβή ρυθμισμένη για δεξιόχειρες*

## Επίλογος – Συμπεράσματα

Έχοντας αναλύσει έως τώρα όλα τα στάδια του σχεδιασμού ενός προϊόντος, είναι κατανοητό ότι η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα δύσκολη και απαιτείται μεγάλη εξειδίκευση. Οι γνώσεις και η εξειδίκευση ενός μηχανικού κρίνονται απαραίτητες σε όλα τα στάδια της διαδικασίας και αποτελούν τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των υπόλοιπων ειδικοτήτων για τον σχεδιασμό ενός προϊόντος. Κάθε στάδιο που αναλύθηκε σε αυτή την διπλωματική εργασία έχει τη δική του σημασία και βαρύτητα και η ορθή και προσεκτική ανάπτυξη του διασφαλίζει την δημιουργία ενός προϊόντος, που θα καλύπτει τις ανάγκες για τις οποίες δημιουργήθηκε.

Μέσα από το παράδειγμα του συστήματος πειραμάτων, αναλύθηκε η πληθώρα των προδιαγραφών που πρέπει να πληρούνται, ενώ από την ανάλυση του σχεδιασμού του είναι εμφανής η σημασία της συνεχούς επίβλεψης από τον μηχανικό, ώστε να διακρίνονται τυχόν προβλήματα ή λύσεις βελτίωσης. Ο σχεδιασμός ενός προϊόντος δεν επιτυγχάνεται απαραίτητα εξαρχής. Απαιτούνται δοκιμές του κάθε εξαρτήματος που δημιουργείται, ώστε το τελικό προϊόν να είναι όσο το δυνατόν καλύτερο.

Τα παραδείγματα των αυτοκινήτων και των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η σύγκριση τους με αντίστοιχα παλαιότερων δεκαετιών υπέδειξαν την βαρύτητα που δίδεται πλέον στην περιβαλλοντική προστασία καθώς και τα περιβαλλοντικά οφέλη που προέκυψαν από τη βελτίωσή των δύο αυτών σημαντικών προϊόντων.

Τέλος, με την εφαρμογή που παρουσιάζεται στο 8<sup>ο</sup> κεφαλαίο, είναι σαφές ότι ο βιομηχανικός σχεδιασμός είναι απαραίτητος, όχι μόνο κατά τον αρχικό σχεδιασμό αλλά και στη συνέχεια, όπου καλείται να εξελίξει χαρακτηριστικά που βελτιώνουν τον τρόπο λειτουργίας, την αξία και την αισθητική των προϊόντων.

## Βιβλιογραφία

1. K. Ehrlenspiel: Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, 2nd edn. (Hanser, München 2002), in German
2. K. Roth: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Konstruktionslehre, 3rd edn. (Springer, Berlin, Heidelberg 2001), in German
3. G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, K.-H. Grote: Konstruktionslehre, 7th edn. (Springer, Berlin 2007), in German
4. F. Kramer: Innovative Produktpolitik (Springer, Berlin 1988), in German
5. W. Rodenacker: Methodisches Konstruieren, 4th edn. (Springer, Berlin 1991), in German
6. R. Koller: Konstruktionslehre für den Maschinenbau, 4th edn. (Springer, Berlin 1998), in German
7. Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau, 21st edn. (Springer, Berlin 2004), ed. by K.-H. Grote, J. Feldhusen, in German
8. H. Petra: Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen. Ph.D. Thesis (TU München, München 1981), in German
9. DIN: DIN 69910: Wertanalyse (Beuth, Berlin 1987), in German
10. DIN: Sachmerkmale, DIN 4000 - Anwendung in der Praxis (Beuth, Berlin 2006), in German
11. DIN: DIN 4000 (z.Zt. mit Entwürfen 163 Teile): Sachmerkmal-Leisten [für Norm- und Konstruktionsteile] (Beuth, Berlin 2006), in German
12. DIN: CAD-Normteiledatensatz nach DIN, 3rd edn. (Beuth, Berlin 1984), in German
13. D. Krauser: Methodik zur Merkmalbeschreibung technischer Gegenstände (Beuth, Berlin 1986), in German
14. H. Czichos, M. Hennecke: Hütte - Das Ingenieurwissen, 33rd edn. (Springer, Berlin 2008), in German
15. H. Holliger-Uebersax: Handbuch der allgemeinen Morphologie, 4th edn. (MIZ, Zürich 1980), in German
16. J. Müller: Grundlagen der systematischen Heuristik (Dietz, Berlin 1970), in German
17. H.G. Schmidt: Heuristische Methoden als Hilfen zur Entscheidungsfindung beim Konzipieren technischer Produkte (TU Berlin, Berlin 1980), in German
18. V. Krick: An Introduction to Engineering and Engineering Design, 2nd edn. (Wiley, New York 1969)
19. R.K. Penny: Principles of engineering design, Postgrad. J. 46, 344-349 (1970)
20. W.F. Daenzer: Systems Engineering, 6th edn. (Industrielle Organisation, Zürich 1989)
21. VDI: VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI, Düsseldorf 1993), in German
22. F. Zwicky: Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild, 2nd edn. (Baeschlin, Glarus 1989), in German
23. H. Seeger: Industrie-Designs (Expert, Grafenau 1983), in German
24. H. Hertel: Biologie und Technik (Krausskopf, Mainz 1963), in German
25. P. Kerz: Konstruktionselemente und -prinzipien in Natur und Technik, Konstr. 39, 474-478 (1987), in German
26. P. Kerz: Natürliche und technische Konstruktionen in Sandwichbauweise, Konstr. 40, 41-47 (1988), in German

27. P. Kerz: Zugbeanspruchte Konstruktionen in Natur und Technik, *Konstr.* 40, 277-284 (1988), in German
28. W. Kroy: Abbau von Kreativitätshemmungen in Organisationen. In: *Personal-Management in der industriellen Forschung und Entwicklung* (Heymanns, Köln 1984), in German
29. R. Kühnpast: Das System der selbsthelfenden Lösungen in der maschinenbaulichen Konstruktion. Ph.D. Thesis (TH Darmstadt, Darmstadt 1968), in German
30. K.-H. Habig: Verschleiß und Härte von Werkstoffen (Hanser, München 1980), in German
31. VDI: VDI 2242 Blatt 1 und 2: Konstruieren ergonomiegerechter Erzeugnisse (VDI, Düsseldorf 1986), in German
32. Klöcker: Produktgestaltung (Springer, Berlin 1981), in German
33. VDI: VDI2243 Blatt 1: Recyclingorientierte Produktentwicklung (VDI, Düsseldorf 2002), in German
34. H. Meyer: Recyclingorientierte Produktgestaltung (VDI, Düsseldorf 1983), in German
35. M. Pourshirazi: Recycling und Werkstoffsubstitution bei technischen Produkten als Beitrag zur Ressourcenschonung (TU Berlin, Berlin 1987), in German
36. R.-D. Weege: Recyclinggerechtes Konstruieren (VDI, Düsseldorf 1981), in German
37. VDI: VDI2225 Blatt 1 und 2: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren [VDI, Düsseldorf 1998), in German
38. C. Zangemeister: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 4th edn. (Wittemann, München 1976), in German
39. VDI: VDI 2222: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien (VDI, Düsseldorf 1997), in German
40. F.J. Gierse: Funktionen und Funktionsstrukturen, zentrale Werkzeuge der Wertanalyse, VDI-Berichte, Vol. 849 (VDI, Düsseldorf 1990), in German
41. V. Hubka: Theorie Technischer Systeme: Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre, 2nd edn. (Springer, Berlin, Heidelberg 1984), in German
42. F. Hansen: Konstruktionssystematik: Grundlagen für eine allgemeine Konstruktionslehre, 2nd edn. (VEB Verlag Technik, Berlin 1965), in German
43. J. Rugenstein (Ed.): Arbeitsblätter Konstruktionstechnik (Technische Hochschule Magdeburg, Magdeburg 1978/1979), in German
44. F. Engelmann: Produktplanung und Produktentwicklung in kleinen und mittleren Unternehmen (Shaker, Aachen 1999), in German
45. Novespace: Parabolic Flight Campaign with A300 ZERO-G User's Manual, 5th edn. (Novespace, Paris 1999)
46. R. Björnemo: Evaluation and Decision Techniques in the Engineering Design Process (Heurista, Zurich 1991)
47. A.F. Osborn: Applied Imagination - Principles and Procedures of Creative Thinking (Scribner, New York 1957)
48. J.O. Nriagu, J.M. Pacyna: Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature* 333,134-149 (1988)
49. T.E. Graedel, B.R. Allenby: Design for Environment (Prentice Hall, New York 1998)
50. W. Leontief: Input-Output Economics, 2nd edn. (Oxford Univ. Press, Oxford 1986)
51. C. Hendrickson, A. Horvath, S. Joshi, L. Lave: Economic input-output models for life-cycle assessment, *Environ. Sci. Technol.* 13(4), 184A-191A (1998)
52. R. Miller, P. Blair: Input-output analysis: Foundations and extensions. In: *Environmental Input- Output Analysis* (Prentice Hall, New York 1985) pp. 236-260, Chap. 7

53. S. Joshi: Product environmental life-cycle assessment using input-output techniques, *J. Ind. Ecol.* 3(2,3), 95-120 (2000)
54. S. Suh, G. Huppes: Methods for life cycle inventory of a product, *J. Cleaner Prod.* 13, 687-697 (2005)
55. T.E. Graedel: *Streamlined Life-Cycle Assessment* (Prentice Hall, New York 1998)
56. Environmental Protection Agency: EPA TRI 1998 Data Release Web Page (EPA, Washington 1998), <http://www.epa.gov/tri/>
57. V. Smil: *Energies - An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization* (MIT Press, Cambridge 1999)
58. K.J. Martchek, E.S. Fisher, D. Klocko: Alcoa's worldwide life cycle information initiative, *Proc. Total Life Cycle Conference - Land, Sea and Air Mobility*, SAE Int. P-339, 121-125 (1998)
59. P.F. Chapman, F. Roberts: *Metals Resources and Energy* (Butterworth-Heinemann, London 1983)
60. E. Williams, R. Ayres, H. Heller: The 1.7 kg microchip: Energy and chemical use in the production of semiconductors, *Environ. Sci. Technol.* 36(24), 5504-5510 (2002)
61. J. Dahmus, T. Gutowski: An environmental analysis of machining. In: *ASME Int. Mechanical Engineering Congress*, ed. by L. Yao (ASME, New York 2004)
62. S. Dalquist, T. Gutowski: Life cycle analysis of conventional manufacturing techniques: Sand casting. In: *ASME Int. Mechanical Engineering Congress*, ed. by L. Yao (ASME, New York 2004)
63. J. Sherman, B. Chin, P.D.T. Huibers, R. Garcia-Valls, T.A. Hatton: Solvent replacement for green processing, *Environ. Health Persp.* 106, 253-271 (1998), Suppl. 1
64. V.M. Thomas, T.G. Spiro: The U.S. dioxin inventory: Are there missing sources?, *Environ. Sci. Technol.* 30(2), 82A-85A (1996)
65. Grubler: *Technology and Global Change* (Cambridge Univ. Press, Cambridge 1998)
66. J.L. Sullivan, R.L. Williams, S. Yester, E. Cobas-Flores, S.T. Chubbs, S.G. Hentges, S.D. Pomper: Life cycle inventory of a generic US family sedan - Overview of results USCAR AMP project. In: *SAE International 1998, Total Life Cycle Conference Proc.* (Society of Automotive Engineers, Warrendale 1998) pp.1-14, paper 982160
67. G.A. Keoleian, K. Kar, M.M. Manion, J.W. Bulkley: *Industrial Ecology of the Automobile: A Life Cycle Perspective* (Society of Automotive Engineers, Warrendale 1997)
68. H. Maclean, L. Lave: A life-cycle model of an automobile, *Environ. Sci. Technol.* 32(13), 322A-329A (1998)
69. T.E. Graedel, B.R. Allenby: *Industrial Ecology and the Automobile* (Prentice Hall, New York 1998)
70. J.M. DeCicco, M. Thomas: A method for green rating of automobiles, *J. Ind. Ecol.* 3(1), 55-75 (1999)
71. M.A. Weiss, J.B. Heywood, E.M. Drake, A. Schafer, F.F. AuYeung: *On the Road in 2020*, Energy Laboratory Report MIT EL 00-003 (MIT, Cambridge 2000)
72. R. Kuehr, E. Williams (Eds.): *Computers and the Environment Understanding and Managing their Impacts* (Kluwer Academic, Dordrecht 2004)
73. Microelectronics, Computer Technology Corporation: *Life Cycle Assessment of a Computer Workstation*, Report HVE-059-094 (MCC, Austin 1994)



74. K. Kawamoto, J. Koomey, B. Nordman, A. Meier: Electricity used by office equipment and network equipment in the U.S. In: Conf. Energy Efficiency in Buildings (EPA, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley 2000)
75. D. Cole: Energy consumption and personal computers. In: Computers and the Environment: Understanding and Managing Their Impacts, ed. by R. Kuehr, E. Williams (Kluwer Academic, Dordrecht 2003) pp.131-159
76. E. Williams: Environmental impacts in the production of personal computers, In: Computers and the Environment: Understanding and Managing Their impacts, ed. by R. Kuehr, E. Williams (Kluwer Academic, Dordrecht 2004) pp. 41-72
77. Environmental Protection Agency: EPA egrid 200k (EPA, Washington 1998), [www.epa.gov/cleanenergy/egrid/index.htm](http://www.epa.gov/cleanenergy/egrid/index.htm)
78. Bras: Environmentally Conscious Design and Manufacture, Lecture Notes ME, Vol. 4171 (Georgia Tech, Atlanta 2004)
79. K. Otto, K. Wood: Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development (Pearson Education, Upper Saddle River 2001)
80. B. Metzger: Design for Recycling: Influencing the Design Process at a Major Information Technology Company, MS Thesis (MIT, Cambridge 2003)
81. R.M. Solow: Technical change and the aggregate production function, Rev. Econ. Statist. 39, 312-320 (1957)
82. W. Easterly: The Elusive Quest for Growth: Economists' Adventures and Misadventures in the Tropics (MIT Press, Cambridge 2002)
83. W.S. Jevons: The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coal-mines, Reprints of Economic Classics (Kelley, Fairfield 1906)
84. DIN: DIN 25448: Ausfalleffekt-Analyse (Beuth, Berlin 1978), in German
85. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA), MIL Std. 1629A (Military Standard, Washington 1980)
86. P. Conrad, P.E. Hedderich: Navy Proactive Maintenance (US Navy, Washington 2000)
87. N. Berens: Anwendung der FMEA in Entwicklung und Produktion (Verlag Moderne Industrie, Landsberg 1989), in German
88. C.H. Kepner, B.B. Tregoe: Entscheidungen vorbereiten und richtig treffen (Verlag Moderne Industrie, Landsberg 1988), in German
89. M. Schubert: FMEA - Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse (Deutsche Gesellschaft für Qualität, Frankfurt 1993), in German
90. A. Breiing: Die FMEA in sinnvoller Form für Investitionsgüter (Institut für Mechanische Systeme, ETH Zürich 2003), in German
91. <http://www.tovima.gr/science/article/?aid=467885>
92. <http://www.halcor.gr/userfiles/9b24363c-488e-4528-8c11-12d345ab9466/fq.pdf>
93. [http://www.medical-development.gr/chalkos\\_properties.php](http://www.medical-development.gr/chalkos_properties.php)
94. <http://www.christoforidis.gr/pdf/STAINLESS-STEEL-GR.pdf>
95. <http://www.anelixi.org/oikologiki-arxitektoniki/kathara-ulika-kai-texnologies/ulika-tis-gis/metalleumata-metalla/alouminio/>

96. A. Breiing, F. Engelmann, T. Gutowski: Engineering Design, In: Springer Handbook of Mechanical Engineer, ed. by Karl-Heinrich Grote Professor Dr.-Ing., Erik K. Antonsson Professor (Springer, Berlin, Heidelberg 2009) pp.819-877