



# Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας Υλικών, Διεργασιών και Μηχανολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

---

## Εκτίμηση ενεργειακής αποπληρωμής (EPR) μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου για την περιφέρεια Ανατ. Μακεδονίας και Θράκης



Εάνθη, Μάρτιος 2010



**Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης**  
**Πολυτεχνική Σχολή**

**Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης**

Τομέας Υλικών, Διεργασιών και Μηχανολογίας

---

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

**Εκτίμηση ενεργειακής αποπληρωμής (EPR) μικρού  
φωτοβολταϊκού πάρκου για την περιφέρεια Ανατ.  
Μακεδονίας και Θράκης**

**Φιλιππίδου Φαίδρα**

Αρ. Μητρώου 449



# Πρόλογος

Στις μέρες μας, τα περιβαλλοντικά προβλήματα και οι πιθανές λύσεις που μπορούν να δοθούν απασχολούν όλο και περισσότερο τις κοινωνίες. Τα ίδια προβλήματα επηρεάζουν τα προϊόντα που παράγονται αλλά και τους κατασκευαστές, με συνέπεια να αποτελούν σημαντικό στοιχείο έρευνας και θεσμοθέτηση στόχων για τους σχεδιαστές και τους μηχανικούς. Η παραγωγή ενέργειας από «καθαρές πηγές», η σωστή διαχείριση της, ο σχεδιασμός αλλά και η χρήση προϊόντων φιλικά προς το περιβάλλον θεωρούνται μερικοί από τους τρόπους βελτιστοποίησης της παρούσας κατάστασης του περιβάλλοντος και της κοινωνίας.

Πολλές είναι οι μέθοδοι σχεδιασμού προϊόντων που εφαρμόζονται σήμερα. Βασικά στοιχεία για την επιλογή μιας μεθόδου σχεδιασμού αποτελούν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος προς σχεδίαση και η χρήση που το προϊόν αυτό μέλλεται να έχει. Πέρα όμως από αυτά τα βασικά χαρακτηριστικά, σημαντική προσοχή πρέπει να δίνεται και στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που προκαλεί το προϊόν αλλά και στην ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή και τη χρήση του. Ο σχεδιασμός για το περιβάλλον (Design for the environment) αποτελεί το μέσο για την επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων. Είναι μια μεθοδολογία που εκτός από τις βασικές ανάγκες που καλύπτει μια μέθοδος σχεδιασμού, λαμβάνει υπόψη τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά θέματα που πρέπει να λυθούν. Στα πλαίσια του σχεδιασμού για το περιβάλλον τίθεται και η διαδικασία ανάλυσης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (Life Cycle Assessment, LCA). Μέσω αυτής της διαδικασίας, επιτυγχάνεται η αποτίμηση των περιβαλλοντικών και ενεργειακών αντίκτυπων του εκάστοτε προϊόντος ή συστήματος.

Ένας σημαντικός ενεργειακός δείκτης, που εντάσσεται και χρησιμοποιείται στα πλαίσια της ανάλυσης του κύκλου ζωής των προϊόντων, είναι ο δείκτης ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (Energy Payback Time, EPBT). Ο δείκτης αυτός εκφράζει το λόγο

της συνολικής ενέργειας που δαπανήθηκε για την παραγωγή ενός προϊόντος προς την ενέργεια που παράγει το προϊόν στο χρόνο ζωής του. Σκοπός της χρήσης αυτού του δείκτη είναι η εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων των προϊόντων, η περεταίρω μελέτη για την μείωση των απαιτήσεων αυτών καθώς και η αποτίμηση της διαχείρισης της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια των φάσεων παραγωγής των προϊόντων. Ακόμη, αποτελεί ένα εργαλείο για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων όσο αφορά την κατανάλωση ενέργειας σε όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων αλλά και για την πρόταση νέων τρόπων διαχείρισης των ποσών ενέργειας.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής ενός μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου που είναι εγκατεστημένο στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, στην πόλη της Ξάνθης. Με υπόβαθρο την εκτίμηση αυτή γίνεται μια προσπάθεια αποτίμησης των εξαγόμενων συμπερασμάτων και η υποβολή προτάσεων για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής διαχείρισης.

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια αναφορά στις δυνάμεις που οδηγούν στην αλλαγή και στις νέες κατευθύνσεις προς τις οποίες ωθούνται ο τρόπος σχεδιασμού των προϊόντων, η επιλογή των υλικών και των διεργασιών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη του σχεδιασμού από την σκοπιά της επιστήμης των μηχανικών καθώς και η σημερινή προσέγγιση του, αποτελώντας την αρχή της μελέτης των τρόπων σχεδιασμού προϊόντων.

Εν συνεχεία, στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο βιομηχανικό σχεδιασμό προϊόντων (Industrial Design) και την επιλογή υλικών σε αυτόν. Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η επισήμανση πως ο σχεδιασμός κάθε προϊόντος διαφέρει και η επιλογή υλικών είναι βασικό στάδιο του σχεδιασμού.

Έπειτα, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια αποτύπωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και της ενεργειακής κατανάλωσης από την παραγωγή προϊόντων αλλά και της χρήσης υλικών σε αυτή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, όπου και πραγματοποιείται η εκτίμηση του ενεργειακού δείκτη αποπληρωμής ενός μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου που είναι εγκατεστημένο στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, στην πόλη της Ξάνθης, στόχος είναι μέσω του σχεδιασμού για το περιβάλλον και της ανάλυσης του κύκλου ζωής να μελετηθούν τα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται για την δημιουργία του πάρκου.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τέλος γίνονται προτάσεις για περεταίρω έρευνα και εξέλιξη της εργασίας.

# *Ευχαριστίες*

Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής:

Τον κύριο Παντελή Ν. Μπότσαρη, Επίκουρο Καθηγητή της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ, στο τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, για την άψογη συνεργασία μας, το αμείωτο ενδιαφέρον και τις πολύτιμες συμβουλές που μου προσέφερε.

Τους κυρίους Ιωάννη Τσανάκα και Κομνηνό Αγγελάκογλου, Υποψήφιους Διδάκτορες του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, για την καταλυτική βοήθεια που μου προσέφεραν και για την αμέριστη συμπαράσταση τους καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και την οικογένεια μου, οι οποίοι, έμμεσα ή άμεσα, συνέβαλαν ώστε να πραγματοποιηθεί η παρούσα διπλωματική εργασία.

# Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος .....	i
Ευχαριστίες .....	iii
Πίνακας περιεχομένων .....	iv
Πίνακας σχημάτων .....	viii
Κατάλογος πινάκων .....	x
Περίληψη .....	xii
Abstract .....	xiii

## Κεφάλαιο 1

Σύγχρονες τάσεις.....	1
Περιεχόμενα .....	1
1.1 Εισαγωγή.....	2
1.2 Η δύναμη της αγοράς και η δύναμη της επιστήμης.....	2
1.2.1 Η δύναμη της αγοράς.....	2
1.2.2 Νέα επιστήμη.....	7
1.3 Η ανάπτυξη του πληθυσμού και η ευημερία σε σχέση με τον κορεσμό της αγοράς.....	9
1.4 Τα μειονεκτήματα των προϊόντων και η παροχή συντήρησης.....	10
1.5 Η ελαχιστοποίηση των διαστάσεων των προϊόντων και η πολύ-λειτουργικότητα του.....	12
1.6 Το ενδιαφέρον για το περιβάλλον και για τα χαρακτηριστικά των προϊόντων.....	14
1.7 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	16
1.8 Βιβλιογραφία.....	18

## **Κεφάλαιο 2**

<b>Ο σχεδιασμός στην επιστήμη του μηχανικού.....</b>	<b>19</b>
Περιεχόμενα.....	19
2.1 Εισαγωγή.....	20
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	21
2.3 Η προσέγγιση του σχεδιασμού.....	27
2.4 Σύγχρονες μέθοδοι.....	30
2.4.1 Θεωρία συστημάτων.....	30
2.4.2 Ανάλυση αποτίμησης.....	32
2.4.3 Μέθοδοι σχεδιασμού.....	35
2.5 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	37
2.6 Βιβλιογραφία.....	38

## **Κεφάλαιο 3**

<b>Υλικά και βιομηχανικός σχεδιασμός .....</b>	<b>41</b>
Περιεχόμενα .....	41
3.1 Εισαγωγή .....	42
3.2 Η πυραμίδα των απαιτήσεων.....	43
3.3 Ο χαρακτήρας των προϊόντων.....	45
3.4 Η χρήση των υλικών και των διεργασιών για τη δημιουργία της προσωπικότητας των προϊόντων.....	48
3.4.1 Υλικά και αισθήσεις: αισθητικά χαρακτηριστικά.....	48
3.4.2 Υλικά και πνεύμα: συσχετισμοί και αντίληψη.....	53
3.4.3 Μελέτες περιπτώσεων.....	56
3.5 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	60
3.6 Βιβλιογραφία.....	61

## **Κεφάλαιο 4**

<b>Υλικά και περιβάλλον .....</b>	<b>62</b>
Περιεχόμενα .....	62



4.1 Εισαγωγή.....	63
4.2 Ο κύκλος ζωής των υλικών.....	63
4.3 Υλικά και συστήματα κατανάλωσης ενέργειας.....	65
4.3.1 Πρότυπα χρήσης προϊόντων.....	66
4.4 Οι περιβαλλοντικές αποδόσεις των υλικών (eco-attributes).....	68
4.4.1 Παραγωγή υλικών: ενέργεια και εκπομπές.....	68
4.4.2 Ενέργειες διεργασίας υλικών.....	70
4.4.3 Τέλος ζωής.....	71
4.4.4 Περιβαλλοντικοί Δείκτες, eco-indicators.....	72
4.5 Επιλογή υλικών για περιβαλλοντικό σχεδιασμό (eco design).....	74
4.5.1 Η φάση εξόρυξης των υλικών.....	75
4.5.2 Η φάση παραγωγής του προϊόντος.....	79
4.5.3 Η φάση «χρήσης» του προϊόντος.....	80
4.5.4 Η φάση διάθεσης του προϊόντος.....	81
4.6 Μελέτες περιπτώσεων.....	82
4.6.1 Συσκευασίες αναψυκτικών και ποτών.....	82
4.6.2 Προστατευτικά κιγκλιδώματα.....	84
4.7 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	86
4.8 Βιβλιογραφία.....	87

## **Κεφάλαιο 5**

<b><i>Εκτίμηση ενεργειακής αποπληρωμής (EPR) ως δείκτης περιβαλλοντικού σχεδιασμού-Μελέτη περίπτωσης μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου για την περιφέρεια Ανατ. Μακεδονίας και Θράκης.....</i></b>	<b>89</b>
Περιεχόμενα .....	89
5.1 Εισαγωγή.....	90
5.2 Σχεδιασμός για το περιβάλλον.....	92
5.3 Μελέτη περίπτωσης.....	94
5.3.1 Εισαγωγή.....	94
5.3.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	95
5.3.2.1 Δομή-Υλικά-Κατεργασίες.....	97
5.3.2.2 Εκτίμηση ενέργειας πλαισίου με βιβλιογραφική προσέγγιση.....	99
5.3.2.3 Εκτίμηση ενέργειας πλαισίου με CES EduPack 2008, Granta.....	102
5.3.3 Φωτοβολταϊκό πάρκο.....	104
5.3.3.1 Εκτίμηση ενέργειας πάρκου με βιβλιογραφική προσέγγιση.....	105

5.3.3.2 Εκτίμηση ενέργειας πάρκου με CES EduPack 2008, Granta.....	106
5.3.4 Υπολογισμός ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (EPBT/EPR).....	107
5.3.4.1 Εκτίμηση 1 <sup>η</sup> (δεδομένα βιβλιογραφίας).....	108
5.3.4.2 Εκτίμηση 2 <sup>η</sup> (CES EduPack 2008, Granta).....	112
5.4 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	117
5.5 Βιβλιογραφία.....	118

## **Κεφάλαιο 6**

<b>Συμπεράσματα και προτάσεις</b> .....	119
Περιεχόμενα .....	119
6.1 Εισαγωγή.....	120
6.2 Συμπεράσματα.....	120
6.2.1 Σχεδιασμός προϊόντων και ενεργειακή διαχείριση.....	120
6.2.2 Εκτίμηση ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής.....	121
6.3 Προτάσεις.....	124

# Πίνακας σχημάτων

<b>Σχήμα 1.1</b>	Οι δυνάμεις που οδηγούν στην αλλαγή.....	3
<b>Σχήμα 1.2</b>	Διάγραμμα τιμής ανά μονάδα βάρους για τα υλικά.....	4
<b>Σχήμα 1.3</b>	Διάγραμμα τιμής ανά μονάδα βάρους για τα προϊόντα.....	5
<b>Σχήμα 2.1</b>	Απεικόνιση της δομής ενός συστήματος S: όρια συστήματος, S <sub>1</sub> -S <sub>5</sub> : υποσυστήματα του S, S <sub>21</sub> -S <sub>24</sub> : υποσυστήματα ή στοιχεία του S <sub>2</sub> , I <sub>1</sub> -I <sub>3</sub> : είσοδοι, O <sub>1</sub> -O <sub>2</sub> : έξοδοι.....	32
<b>Σχήμα 2.2</b>	Τα βήματα της προσέγγισης των συστημάτων.....	33
<b>Σχήμα 2.3</b>	Μοντέλο της προσέγγισης των συστημάτων.....	34
<b>Σχήμα 2.4</b>	Γενική προσέγγιση του σχεδιασμού.....	36
<b>Σχήμα 3.1</b>	Η πυραμίδα των απαιτήσεων.....	43
<b>Σχήμα 3.2</b>	Πένες, οικονομικές και ακριβές.....	44
<b>Σχήμα 3.3</b>	Ανάλυση του χαρακτήρα του προϊόντος.....	46
<b>Σχήμα 3.4</b>	Αισθητές ποιότητες των υλικών.....	50
<b>Σχήμα 3.5</b>	Η διαφάνεια σε τέσσερα στάδια, από την πλήρη διαύγεια μέχρι την αδιαφάνεια.....	51
<b>Σχήμα 3.6</b>	Ακουστικές ιδιότητες των υλικών.....	52
<b>Σχήμα 3.7</b>	Προϊόν φτιαγμένο από ξύλο.....	53
<b>Σχήμα 3.8</b>	Δύο τύποι επιτραπέζιων φωτιστικών.....	57
<b>Σχήμα 3.9</b>	Δύο τύποι ηλεκτρονικών προϊόντων.....	58
<b>Σχήμα 4.1</b>	Ο κύκλος ζωής των υλικών.....	64
<b>Σχήμα 4.2</b>	Οι επιπτώσεις της κατανάλωσης υλικών και ενέργειας.....	65
<b>Σχήμα 4.3</b>	Εκτιμώμενα ποσά καταναλισκόμενης ενέργειας κάθε φάσης του κύκλου ζωής διάφορων προϊόντων.....	68
<b>Σχήμα 4.4</b>	Τα βήματα υπολογισμού του eco-indicator.....	74
<b>Σχήμα 4.5</b>	Ο ορθολογικός σχεδιασμός για το περιβάλλον.....	75
<b>Σχήμα 4.6</b>	Συσκευασίες ποτών.....	76

<b>Σχήμα 4.7</b> <b>(α,β)</b>	Ενέργεια ανά μονάδα μάζας και ανά μονάδα όγκου σε συνδυασμό με την παραγωγή των υλικών.....	77
<b>Σχήμα 4.8</b>	Διάγραμμα επιλογής για ελάχιστη ενέργεια παραγωγής σε συνάρτηση με το όριο ελαστικότητας.....	78
<b>Σχήμα 4.9</b>	Διάγραμμα επιλογής ελάχιστης ενέργειας παραγωγής σε συνάρτηση με την αντοχή.....	79
<b>Σχήμα 4.10</b>	Κατανάλωση ενέργειας και οικονομία καυσίμων για τα ευρωπαϊκά αυτοκίνητα το 2005.....	81
<b>Σχήμα 4.11</b>	Δυο τύποι προστατευτικών κιγκλιδωμάτων.....	84
<b>Σχήμα 5.1</b>	Φωτογραφική απεικόνιση πλαισίου δοκιμών.....	96
<b>Σχήμα 5.2</b>	Χαρακτηριστική δομή ενός πλαισίου.....	98
<b>Σχήμα 5.3</b>	Κατανομή των ποσών ενέργειας στις φάσεις κατασκευής.....	103

# Κατάλογος πινάκων

<b>Πίνακας 2.1</b>	Βασικά βήματα εργασίας της Ανάλυσης Αποτίμησης.....	35
<b>Πίνακας 3.1</b>	Αντιλαμβανόμενα χαρακτηριστικά προϊόντων, με τα αντίθετα τους.....	47
<b>Πίνακας 4.1</b>	Πρότυπο χρήσης κλάσεων προϊόντων.....	67
<b>Πίνακας 4.2</b>	Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά επεξεργασμένου κράματος αλουμινίου.....	73
<b>Πίνακας 4.3</b>	Παραδείγματα δεικτών για την μείωση του αντίκτυπου στην φάση παραγωγής.....	79
<b>Πίνακας 4.4</b>	Σχεδιαστικές απαιτήσεις για τις συσκευασίες.....	82
<b>Πίνακας 4.5 α</b>	Λεπτομέρειες των συσκευασιών.....	83
<b>Πίνακας 4.5 β</b>	Δεδομένα για τα υλικά των συσκευασιών.....	83
<b>Πίνακας 4.6</b>	Σχεδιαστικές απαιτήσεις για τα κιγκλιδώματα.....	84
<b>Πίνακας 5.1</b>	Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίου.....	95
<b>Πίνακας 5.2</b>	Απεικόνιση κλιματικών συνθηκών στην περιοχή της Ξάνθης.....	97
<b>Πίνακας 5.3</b>	Δομή πλαισίου σε ποσότητες.....	99
<b>Πίνακας 5.4</b>	Ποσά ενέργειας των τριών φάσεων κατασκευής.....	101
<b>Πίνακας 5.5</b>	Συνολικά ποσά ενέργειας των τριών φάσεων κατασκευής για ένα πλαίσιο 185 Wp (m-Si).....	101
<b>Πίνακας 5.6</b>	Αναλυτικές τιμές ποσών ενέργειας σε κάθε φάση παραγωγής.....	102
<b>Πίνακας 5.7</b>	Συνολικό ποσό ενέργειας για το πάρκο (εκτίμηση 1 <sup>η</sup> ).....	106
<b>Πίνακας 5.8</b>	Συνολικό ποσό ενέργειας για το πάρκο (εκτίμηση 2 <sup>η</sup> ).....	107
<b>Πίνακας 5.9</b>	Δεδομένα λειτουργίας του πλαισίου.....	109
<b>Πίνακας 5.10</b>	Συνολικό ποσό ενέργειας για την πρώτη εκτίμηση του EPR.....	110
<b>Πίνακας 5.11</b>	Δεδομένα λειτουργίας του πάρκου.....	111
<b>Πίνακας 5.12</b>	Ποσά ενέργειας στη φάση της παραγωγής των υλικών.....	113
<b>Πίνακας 5.13</b>	Ποσά ενέργειας που καταναλώθηκαν κατά τη φάση των κατεργασιών...	114

<b>Πίνακας 5.14</b>	Συνολικό ποσό καταναλισκόμενης ενέργειας για τη μεταφορά και τοποθέτηση του πλαισίου.....	115
<b>Πίνακας 5.15</b>	Συνολικά ποσά ενέργειας που καταναλώνονται για την ετήσια συντήρηση του Φ/Β.....	116
<b>Πίνακας 5.16</b>	Συνολικό ποσό ενέργειας παραγωγής για την δεύτερη εκτίμηση του EPR.....	116
<b>Πίνακας 6.1</b>	Σύγκριση EPR με άλλες έρευνες.....	123

# Περίληψη

Στα πλαίσια του σχεδιασμού προϊόντων και του σχεδιασμού για το περιβάλλον, ένας κρίσιμος δείκτης των ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι ο δείκτης του ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (EPBT/EPR). Ο ενεργειακός χρόνος αποπληρωμής (EPBT/EPR) ενός προϊόντος ορίζεται ως ο απαραίτητος χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή του αντίστοιχου ποσού ενέργειας που καταναλώθηκε για την κατασκευή του. Στόχος της εργασίας αυτής, μέσω της ανάλυσης του κύκλου ζωής (Life Cycle Analysis, LCA) ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ισχύος 185\*Wp, με συγκεκριμένη δομή και χαρακτηριστικά και ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 9.2 KWp, είναι η εκτίμηση του χρόνου αποπληρωμής της καταναλισκόμενης για την κατασκευή του ενέργειας, με τη χρήση του δείκτη Energy Payback Time/Ratio (EPBT/EPR). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε επιβεβαιώθηκε με δύο τρόπους εξαγωγής του EPR. Στον πρώτο από αυτούς οι πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν σε προηγούμενες έρευνες, ενώ στο δεύτερο η εκτίμηση βασίστηκε στη χρήση δύο λογισμικών (CES EduPack 2008, eco-audit tool, Granta και RETScreen 2005, RETScreen) για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

**Λέξεις-κλειδιά:** Σχεδιασμός για το περιβάλλον, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ενεργειακός χρόνος αποπληρωμής, Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, Φωτοβολταϊκό πάρκο

# *Abstract*

## **“Estimation of the Energy Payback Time of a small photovoltaic park, installed in North Eastern Greece”**

Thesis submitted to the Department of Production Engineering and Management,  
School of Engineering, Democritus University of Thrace, Greece, on March 2010

For the degree:

*Diploma in Production Engineering and Management (Dip. Eng.)*

Supervisor: Ass. Prof. P. N. Botsaris

In bounds of product design and design for the environment the fractal of Energy Payback Time is placed among, as an energy and environmental indicator. Energy Payback Time (EPBT/EPR) is defined as the time necessary for a product to generate the equivalent amount of energy used to produce it. The goal of this thesis is to estimate the energy payback ratio for a 185\*Wp multicrystalline photovoltaic module with specific characteristics and structure, and of a small photovoltaic park 9.2 KWp. The methodology followed was attested in two ways of extracting the EPR. The first one was based on precedent researches, whereas the second one was based on the use of two software programs (CES EduPack 2008 and RETScreen). The results, then, were compared and confirmed in order to deal with crossbred information.

**Keywords:** Design for the Environment, Life cycle assessment, Energy Payback Time, Photovoltaic Module, Photovoltaic Park



*Αφιερώνεται στο Γιώργο και τη Μαρία*

# Κεφάλαιο 1

## Σύγχρονες τάσεις

### **Περιεχόμενα**

---

1.1 Εισαγωγή.....	2
1.2 Η δύναμη της αγοράς και η δύναμη της επιστήμης.....	2
1.2.1 Η δύναμη της αγοράς.....	2
1.2.2 Νέα επιστήμη.....	7
1.3 Η ανάπτυξη του πληθυσμού και η ευημερία σε σχέση με τον κορεσμό της αγοράς .....	9
1.4 Τα μειονεκτήματα των προϊόντων και η παροχή συντήρησης.....	10
1.5 Η ελαχιστοποίηση των διαστάσεων των προϊόντων και η πολύ-λειτουργικότητα τους.....	12
1.6 Το ενδιαφέρον για το περιβάλλον και για τα χαρακτηριστικά των προϊόντων.....	14
1.7 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	16
1.8 Βιβλιογραφία.....	18

## **1.1 Εισαγωγή**

Αν δεν υπήρχαν δυνάμεις για αλλαγή όλα θα έμεναν όπως είχαν. Το σχήμα 1.1 δείχνει ακριβώς την αντίθεση που είναι αληθής, ότι τα πράγματα σήμερα αλλάζουν πιο γρήγορα από οποιαδήποτε κατάσταση του παρελθόντος. Οι συνεχώς εξελισσόμενες συνθήκες παγκόσμια αλλάζουν τα όρια των συνθηκών στον σχεδιασμό και κατά συνέπεια στην επιλογή των υλικών και των διεργασιών.

Οι αλλαγές αυτές οδηγούνται από κάποιο αριθμό δυνάμεων. Αρχικά, επιδρά η δύναμη της αγοράς (market-pull): οι απαιτήσεις της βιομηχανίας για υλικά που είναι πιο ελαφριά, ανθεκτικά, δυνατά, σκληρά, φθηνά, πιο ανεκτικά σε ακραία θερμοκρασιακά όρια αλλά και περιβάλλοντα καθώς και να προσφέρουν μεγαλύτερη λειτουργικότητα. Έπειτα, επιδρά η δύναμη της επιστήμης (science-push): οι έρευνες που οδηγούνται από την περιέργεια (curiosity-driven researches) από ειδικούς στην επιλογή υλικών στα εργαστήρια των ανώτατων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, στις βιομηχανίες, και σε κυβερνήσεις. Στη συνέχεια, επιδρά η καθοδηγητική δύναμη από τα αποκαλούμενα μεγάλα ερευνητικά έργα: αν το δει κανείς ιστορικά, το ερευνητικό έργο του Manhattan, η εξέλιξη της πυρηνικής ενέργειας, τα διαστημικά ταξίδια εξερεύνησης καθώς και διάφορα προγράμματα άμυνας, σήμερα, μπορούν να θεωρηθούν οι εναλλακτικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, τα προβλήματα διατήρησης γερασμένων υποδομών αποχέτευσης, δρόμων, γεφυρών και αεροσκαφών, αλλά και ο φόβος της τρομοκρατίας. Ακόμη, δημιουργείται η μόδα της ελαχιστοποίησης των διαστάσεων των προϊόντων την ίδια στιγμή που απαιτείται μεγαλύτερη λειτουργικότητα. Τέλος, η νομοθεσία ρυθμίζει την ασφάλεια των προϊόντων και δίνεται αυξανόμενη έμφαση στην αξιοπιστία, η οποία παγιώθηκε με πρόσφατη νομοθεσία.

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι δυνάμεις που οδηγούν στην αλλαγή και οι κατευθύνσεις προς τις οποίες ωθούνται ο σχεδιασμός, η χρήση των υλικών και η ανάπτυξη τους.

## **1.2 Η δύναμη της αγοράς και η δύναμη της επιστήμης**

### **1.2.1 Η δύναμη της αγοράς**

Οι τελευταίοι χρήστες των υλικών είναι οι κατασκευαστικές βιομηχανίες. Αποφασίζουν ποιο υλικό θα αγοράσουν και προσαρμόζουν το σχεδιασμό των προϊόντων τους ώστε να έχουν την καλύτερη δυνατή χρήση των υλικών. Οι αποφάσεις των βιομηχανιών βασίζονται και στη φύση των προϊόντων που παράγουν.

Τα υλικά για μεγάλες αστικές κατασκευές (τα οποία μπορεί να ζυγίζουν 10,000 τόνους ή ίσως και παραπάνω) πρέπει να είναι φθηνά; εδώ το οικονομικό κριτήριο είναι η κύρια προτεραιότητα. Σε αντίθεση, το κόστος των υλικών για προϊόντα υψηλής τεχνολογίας (αθλητικός εξοπλισμός, στρατιωτικός εξοπλισμός, διαστημικά προγράμματα, βιοϊατρικές εφαρμογές) παίζει λιγότερο σημαντικό ρόλο: για μια τεχνητή βαλβίδα καρδιάς, για παράδειγμα, το κόστος των υλικών είναι μη υπολογίσιμο. Η απόδοση και όχι η οικονομία υπαγορεύει την επιλογή.

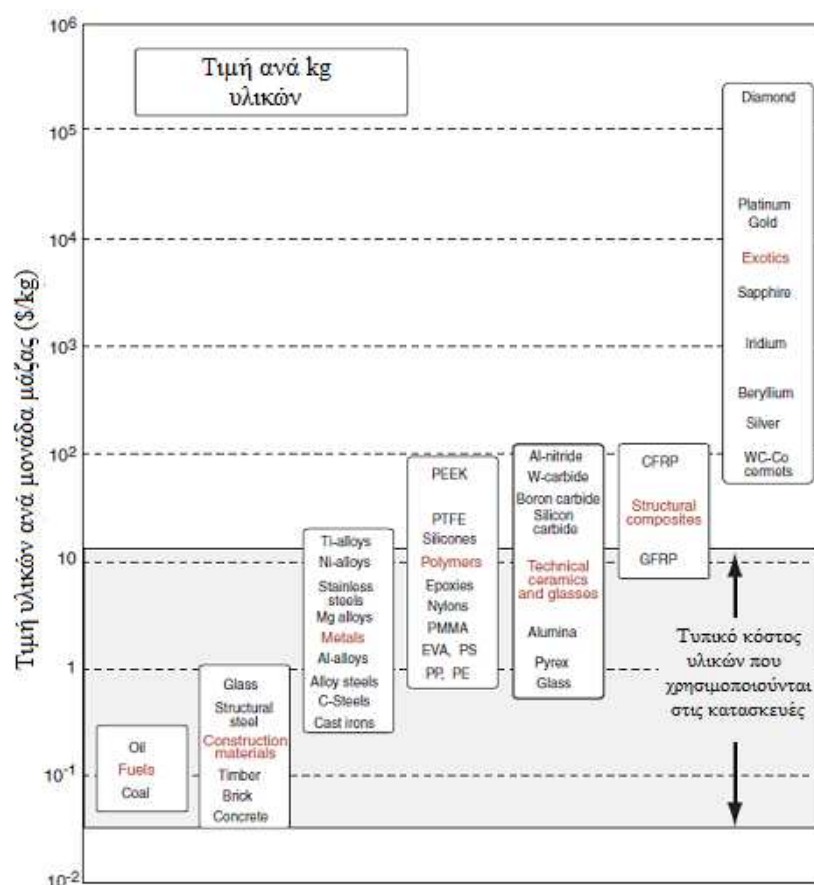


**Σχήμα 1.1:** Οι δυνάμεις που οδηγούν στην αλλαγή. Κάθε μια από τις επιδράσεις ασκεί πίεση στο σχεδιασμό, στην επιλογή υλικών και διεργασιών, και παρακινεί τις προσπάθειες για ανάπτυξη νέων προϊόντων [1]

Η τιμή αγοράς ενός προϊόντος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αρχικά, σημαντικό ρόλο παίζει το κόστος των υλικών από τα οποία αποτελείται το προϊόν, ακόμη το κόστος της έρευνας και της ανάπτυξης του σχεδιασμού του αντικειμένου, το κόστος της παραγωγής και του μάρκετινγκ καθώς και η προστιθέμενη αξία σύμφωνα με τη μόδα, τη σπανιότητα, την έλλειψη ανταγωνισμού και άλλα. Όταν τα κόστη των υλικών λαμβάνουν μεγάλο μέρος της αγοραστικής αξίας (50% για παράδειγμα) – τότε η αξία που προστίθεται στο προϊόν είναι μικρή – οι παραγωγοί επιζητούν να εξοικονομήσουν από την χρήση των υλικών για να αυξήσουν το κέρδος τους ή το μερίδιό τους στην αγορά. Όταν, για παράδειγμα, τα κόστη των υλικών αποτελούν ένα μικρό παράγοντα στο μερίδιο της αγοράς (π.χ. 1%), ο παραγωγός

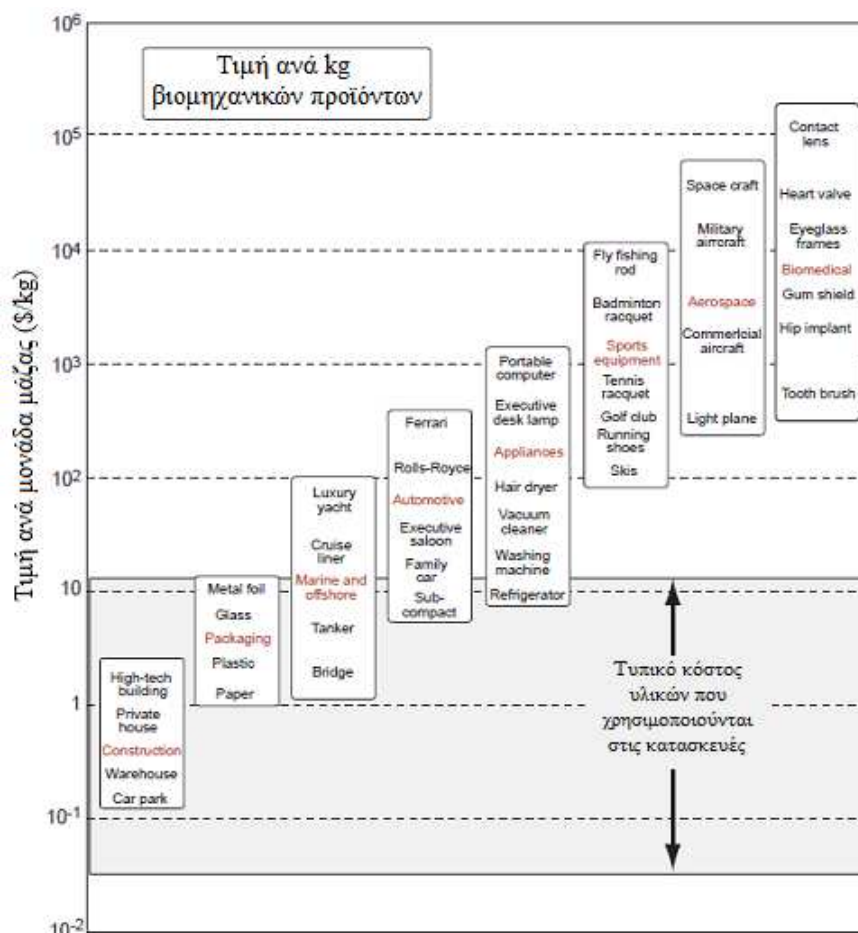
επιζητεί για υλικά που θα δώσουν καλύτερη απόδοση στο προϊόν χωρίς να ενδιαφέρεται τόσο πολύ για το κόστος.

Με αυτό το υπόβαθρο, εξετάζονται τα Σχήματα 1.2 και 1.3. Ο κατακόρυφος άξονας δηλώνει την τιμή ανά μονάδα βάρους (\$/kg) των υλικών και των προϊόντων, ενώ παρατηρείται μια κοινή μέτρηση ώστε να μπορούν να συγκριθούν τα υλικά με τα προϊόντα. Ο τρόπος αυτός μέτρησης είναι ακατέργαστος αλλά φέρει μεγάλη αξία γιατί είναι αναμφίβολος, δίνει εύκολα αποτελέσματα και δημιουργείται κάποια σχέση με την προστιθέμενη αξία στο προϊόν. Ένα προϊόν με τιμή/κιλό (price/kg) που είναι μόνο δύο ή τρεις φορές εκείνης του συνόλου των υλικών από τα οποία απαρτίζεται, το προϊόν αυτό θεωρείται εντατικό στα υλικά και ευαίσθητο στα κόστη των υλικών. Ενώ ένα προϊόν με τιμή/κιλό (price/kg) που είναι 100 φορές εκείνης των υλικών είναι απαθές όσο αφορά τα κόστη των υλικών, και θεωρείται ότι οι δυνάμεις που το επηρεάζουν είναι αυτές της απόδοσης του προϊόντος και όχι του κόστους. Με βάση αυτή την αποτίμηση, η τιμή/κιλό (price/kg) ενός φακού επαφής διαφέρει από αυτή μιας γυάλινης φιάλης κατά ένα παράγοντα της τάξης του  $10^9$ , παρόλο που και τα δύο προϊόντα κατασκευάζονται από το ίδιο περίπου γυαλί, αντίστοιχα το κόστος/κιλό μίας βαλβίδας καρδιάς διαφέρει από αυτό ενός πλαστικού μπουκαλιού κατά ένα αντίστοιχο παράγοντα, παρόλο που και τα δύο προϊόντα δημιουργούνται από πολυαιθυλένιο [1].



Σχήμα 1.2: Διάγραμμα τιμής ανά μονάδα βάρους για τα υλικά [1]

Στο Σχήμα 1.2 εξετάζονται οι τιμές ανά μονάδα βάρους των υλικών. Το κύριο σώμα των εμπορεύσιμων υλικών που χρησιμοποιούνται σε δομικές κατασκευές και στη βιομηχανία εκτείνονται στη σκιασμένη επιφάνεια-ζώνη, ενώ όλα κοστίζουν μεταξύ \$0.05/kg και \$20/kg. Τα δομικά υλικά όπως το σκυρόδεμα, το τούβλο, τα ξύλα, και ο κατασκευαστικός χάλυβας εκτείνονται στο χαμηλότερο κομμάτι της σκιασμένης ζώνης. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας, όπως τα κράματα τιτανίου εκτείνονται στο πάνω μέρος της σκιασμένης περιοχής. Τα πολυμερή καλύπτουν ένα αντίστοιχο εύρος: το πολυαιθυλένιο βρίσκεται στη βάση της περιοχής ενώ το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (polytetrafluorethylene, PTFE) στην κορυφή. Τα συνθετικά υλικά βρίσκονται υψηλότερα, με το GFRP στη βάση και το CFRP στην κορυφή του εύρους των κεραμικών που χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς, προς το παρόν, εκτείνονται υψηλά, ωστόσο η κατάσταση αυτή συνεχώς αλλάζει καθώς η παραγωγή αυξάνεται. Τέλος, μόνο τα σπάνια υλικά εκτείνονται πολύ παραπάνω από την σκιασμένη επιφάνεια.



Σχήμα 1.3: Διάγραμμα τιμής ανά μονάδα βάρους για τα προϊόντα [1]

Η τιμή ανά κιλό των προϊόντων (Σχήμα 1.3) δείχνει μια διαφορετική κατανομή των υλικών. Απεικονίζονται οκτώ τομείς της αγοράς, που καλύπτουν μεγάλο ποσοστό της βιομηχανίας κατασκευών. Η σκιασμένη περιοχή του σχήματος

καλύπτει το κόστος των εμπορεύσιμων υλικών, ακριβώς όπως στο Σχήμα 1.2. Οι τομείς και τα προϊόντα που απεικονίζονται μέσα στη σκιασμένη περιοχή φέρουν το χαρακτηριστικό ότι το κόστος του υλικού είναι καθοριστικός παράγοντας στην τιμή του τελικού προϊόντος: επηρεάζει περίπου κατά 50% στις δομικές κατασκευές, στις μεγάλες ναυτιλιακές κατασκευές και κάποια καταναλωτικά πακέτα, πέφτοντας ίσως στο 20% όσο πλησιάζεται η κορυφή της περιοχής (π.χ. οικογενειακά αυτοκίνητα περίπου στο 25%). Η προστιθέμενη αξία της μετατροπής ενός υλικού σε προϊόν σε αυτούς τους τομείς είναι σχετικά χαμηλή, αλλά η αγοραστική τους ισχύς είναι μεγάλη. Για τους παραπάνω λόγους περιορίζονται οι προϋποθέσεις για την επιλογή των υλικών: τα υλικά πρέπει να ακολουθούν μέτριες απαιτήσεις όσο αφορά την απόδοση τους στο χαμηλότερο δυνατό κόστος. Οι συνεταιρισμένοι τομείς της αγοράς δημιουργούν μια δύναμη καθοδήγησης για την βελτίωση των κατεργασιών των συμβατικών υλικών ώστε να μειωθεί το κόστος χωρίς απώλειες στην απόδοση, ή διαφορετικά να αυξηθεί η αξιοπιστία χωρίς να αυξηθεί το κόστος. Στους τομείς αυτούς, οι σταδιακές βελτιώσεις σε δοκιμασμένα υλικά θεωρούνται πολύ σημαντικότερες από επαναστατικές έρευνες ή ευρήματα. Οι μικρές βελτιώσεις στα κράματα των χαλύβων, στην ακρίβεια των μεθόδων παραγωγής, ή και στην τεχνολογία της λίπανσης αφομοιώνονται με γρήγορους ρυθμούς και χρησιμοποιούνται ευρέως.

Τα προϊόντα στο πάνω μισό του Σχήματος 1.3 είναι τεχνικά πιο εξεζητημένα. Όσο αφορά τα υλικά από τα οποία αποτελούνται, εκτιμάται ότι κοστίζουν λιγότερο από 10% - κάποιες φορές και λιγότερο από 1% - της τιμής του προϊόντος. Η αξία που προστίθεται στο υλικό κατά την διαδικασία της παραγωγής είναι υψηλή. Η ανταγωνιστικότητα των προϊόντων είναι στενά συνδεδεμένη με την αποδοτικότητα των υλικών. Οι σχεδιαστές σε αυτούς τους τομείς, έχουν μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή των υλικών ενώ γίνεται και πιο εύκολη η αποδοχή νέων υλικών με ελκυστικές ιδιότητες. Η δύναμη της αγοράς εδώ επηρεάζει κυρίως την απόδοση των υλικών, το κόστος είναι δεύτερη προτεραιότητα. Αυτοί οι τομείς μικρότερης αρχικής αξίας αλλά υψηλότερης προστιθέμενης αξίας οδηγούν στην εξέλιξη νέων ή βελτιωμένων υλικών με εμπλουτισμένη απόδοση: υλικά που είναι πιο ελαφριά, ή πιο ανθεκτικά, πιο δυνατά, πιο σκληρά, με μικρότερη διαστολή, ή καλύτερη αγωγιμότητα ή ακόμη και με τις παραπάνω ιδιότητες συνδυασμένες.

Οι τομείς έχουν δημιουργηθεί ώστε να αναπτύσσουν ανοδική συνέχεια, ενώ ευλόγως προκύπτει η ερώτηση για το τι μετρά ο οριζόντιος άξονας του Σχήματος 1.3. Πολλοί παράγοντες εμπλέκονται εδώ, ένας από τους οποίους μπορεί να προσδιοριστεί ως «περιεχόμενο των πληροφοριών» (information content). Η συσσωρευμένη γνώση που παρεμβάλλεται στην παραγωγή των φακών επαφής ή των βαλβίδων καρδιάς έχουν σαφή υπεροχή από τη γνώση για την παραγωγή μιας φιάλης μπίρας ή μιας πλαστικής φιάλης. Οι τομείς στα αριστερά δείχνουν ελάχιστες απαιτήσεις από τα

υλικά που χρησιμοποιούν, ενώ αντίθετα στους δεξιούς τομείς οι ιδιότητες των υλικών φτάνουν στα άκρα και την ίδια στιγμή απαιτείται η υψηλότερη αξιοπιστία. Τα χαρακτηριστικά αυτά κάνουν τους τομείς μια ενεργή πηγή πληροφοριών. Παράλληλα υπάρχουν και άλλοι παράγοντες: όπως το μέγεθος της αγοράς, ο ανταγωνισμός (ή η έλλειψη αυτού), η αντιλαμβανόμενη αξία, η μόδα και το γούστο καθώς και πολλοί ακόμα παράγοντες. Για το λόγο αυτό, δεν πρέπει να γίνεται υπερανάλυση του διαγράμματος: είναι ένα βοηθητικό εργαλείο για την δομή των πληροφοριών, αλλά δεν είναι ποσοτικό εργαλείο.

Η βιομηχανία παραγωγής, ακόμα και σε περιόδους οικονομικής ύφεσης, κατέχει ουσιώδεις πόρους, και είναι στο ενδιαφέρον των κυβερνήσεων να υποστηρίξουν τις ανάγκες των βιομηχανιών. Η δύναμη της αγοράς είναι αδιαμφισβήτητα η ισχυρότερη δύναμη αλλαγής.

### **1.2.2 Νέα επιστήμη**

Οι έρευνες που πραγματοποιούνται χωρίς καθορισμένο στόχο αλλά οδηγούνται από την τάση για ανακάλυψη νέων στοιχείων από τους επιστήμονες, αποτελούν κίνητρο στην επιστήμη του μηχανικού. Οι τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες ενδυναμώνουν τη ροή των νέων ιδεών με υποστηριζόμενες έρευνες σε τριών ειδών οργανισμούς: πανεπιστήμια, κυβερνητικά εργαστήρια και βιομηχανικά ερευνητικά κέντρα. Κάποιοι από τους επιστήμονες και τους μηχανικούς που εργάζονται σε αυτά τα ιδρύματα ενθαρρύνονται να ακολουθούν ιδέες που δεν έχουν άμεσο οικονομικό στόχο, αλλά μπορούν να εξελιχθούν σε υλικά και μεθόδους παραγωγής για μελλοντικές δεκαετίες. Πολυάριθμα, σήμερα, εμπορικά υλικά άρχισαν κατά αυτό τον τρόπο. Το αλουμίνιο, στην εποχή του Ναπολέον III, ήταν ένα επιστημονικό θαύμα – παρήγγειλε ένα σετ από κουτάλια φτιαγμένα από αλουμίνιο, για τα οποία πλήρωσε παραπάνω από αυτά που ήταν φτιαγμένα από συμπαγή άργυρο. Το αλουμίνιο εκείνη την εποχή δεν θεωρήθηκε εμπορική επιτυχία, αλλά τώρα είναι. Το τιτάνιο, πιο πρόσφατα, είχε παρόμοια ιστορία. Τα άμορφα (μη-κρυσταλλικά) μέταλλα, που σήμερα είναι σημαντικά στην τεχνολογία των μετασχηματιστών και στις κεφαλές εγγραφής των μαγνητοφώνων ταινίας, αποτελούσαν για χρόνια μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον. Φαίνεται απίθανο οι υπεραγωγοί ή οι ημιαγωγοί να έχουν ανακαλυφθεί μόνο λόγω των αναγκών της αγοράς, αντί αυτού υπήρξαν πολύχρονες έρευνες οδηγούμενες από την περιέργεια για να φτάσουν οι υπεραγωγοί και οι ημιαγωγοί στο σημείο που βρίσκονται σήμερα έχοντας καταστεί εμπορικά ελκυστικοί. Το πολυαιθυλένιο ανακαλύφθηκε από χημικούς που μελετούσαν την επίδραση της συμπίεσης στις χημικές αντιδράσεις, και όχι από τις πωλήσεις ή τα τμήματα μάρκετινγκ των πολυεθνικών εταιριών. Η ιστορία είναι στικτή από παραδείγματα υλικών και διεργασιών που εξελίχθηκαν από περιέργεια των ατόμων.



Νέες ιδέες παράγονται από τους επιστήμονες των υλικών, σήμερα, που πολλές από αυτές βρίσκονται ήδη στο κατώφλι της εμπορευματοποίησης, ενώ για άλλες δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο το ενδεχόμενο μέλλον τους.

Τα μονοκρυσταλλικά κεραμικά, που τώρα παράγονται σε εμπορικές ποσότητες, προσφέρουν υψηλή σκληρότητα, χημική σταθερότητα, αντοχή στη φθορά και αντοχή σε ακραίες θερμοκρασίες. Η χρήση τους ως υποστρώματα για μικροκυκλώματα έχει πλέον καθιερωθεί, καθώς και η χρήση τους σε εφαρμογές που χρειάζεται αντοχή στη φθορά είναι συνεχώς αυξανόμενη, ενώ παράλληλα η χρήση τους σε θερμικές μηχανές έχει αρχίσει να εξετάζεται. Η έμφαση στην εξέλιξη των συνθετικών υλικών αλλάζει θέση προς εκείνα που υποστηρίζουν φορτία σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Σύνθετα υλικά με βάση το μέταλλο (π.χ. το αλουμίνιο που περιέχει μόρια ή ίνες από καρβίδιο πυριτίου) και τα διμεταλλικά σύνθετα υλικά (π.χ. τιτάνιο-αλουμίνιο) είναι ικανά να υποστηρίξουν τέτοιου είδους φορτία. Ακολουθώντας, και τα σύνθετα υλικά με βάση τα κεραμικά (π.χ. αλουμίνιο με ίνες καρβιδίου του πυριτίου) παρά την μεγάλη τους ευθραυστότητα, ενδεχομένως όμως με χρήση νέων τεχνικών στο σχεδιασμό έχουν τη δυνατότητα να αποδώσουν όπως τα συνθετικά υλικά με βάση το μέταλλο. Τα αφρώδη μέταλλα, έχοντας έως και 90% μικρότερη πυκνότητα από τα αρχικά μέταλλα, υπόσχονται πιο ελαφριές και ανθεκτικές ενιαίες δομές (sandwich structures) που μπορούν να ανταγωνιστούν τα σύνθετα υλικά.

Τα νέα βιο-υλικά (bio-materials), σχεδιασμένα να εμφυτεύονται στο ανθρώπινο σώμα, έχουν τέτοιου τύπου δομές πάνω στις οποίες ένας ιστός που αναπτύσσεται θα συγκολληθεί χωρίς να απορριφθεί. Τα νέα πολυμερή που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκρασίες έως και 350 °C, δίνοντας προβάδισμα στα πλαστικά έναντι των μετάλλων σε ακόμη παραπάνω εφαρμογές-το πολυσύνθετο σημείο εισαγωγής του καυσίμου στις μηχανές των αυτοκινήτων μπορεί να αποτελέσει ένα παράδειγμα. Τα νέα ελαστομερή, είναι εύκαμπτα, παράλληλα όμως ανθεκτικά και δυνατά. Προσφέρουν αεροστεγή σφραγίσματα, εύκαμπτους συνδέσμους και ευπροσάρμοστα επικαλυπτικά στρώματα. Νέες τεχνικές παραγωγής προσφέρουν τη δυνατότητα δημιουργίας υλικών που ανάλογα με την απαιτούμενη λειτουργικότητα που πρέπει να επιτευχθεί, θα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά στη δομή και την σύνθεση τους. Έτσι για παράδειγμα μπορεί να είναι το υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση όσο αφορά την εξωτερική επιφάνεια, σκληρό στη μέση και άκαμπτο στην εσωτερική επιφάνεια. Τα νανο-δομημένα υλικά υπόσχονται μοναδικές μηχανολογικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Τα «έξυπνα» υλικά που μπορούν να αισθανθούν και να αναφέρουν την κατάσταση τους (μέσω εμπεδωμένων αισθητηρίων) προσφέρουν την δυνατότητα μείωσης των ορίων ασφαλείας.

Οι εξελίξεις στην ταχεία προτυποποίηση (rapid prototyping) επιτρέπουν ανεξάρτητα, σύνθετα κομμάτια να παραχθούν γρήγορα χωρίς καλούπια και συναρμογές από ένα μεγάλο εύρος υλικών. Οι μέθοδοι κατασκευής μικρο-κλίμακας

(micron-scale fabrication methods) δημιουργούν μικρής κλίμακας ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα (MEMS). Νέες τεχνικές στην επιστήμη των μηχανικών που αφορούν τις κατεργασίες στην επιφάνεια των προϊόντων (surface engineering) επιτρέπουν την μείξη, την επικάλυψη του επιφανειακού στρώματος και τις θερμές κατεργασίες λεπτών επιφανειακών στρωμάτων ενός συστατικού, τροποποιώντας τις ιδιότητες του ώστε να αυξηθεί η απόδοση του. Στις τεχνικές αυτές συμπεριλαμβάνονται η σκλήρυνση με λέιζερ, η επικάλυψη στρωμάτων με πολυμερή και κεραμικά που συγκολλούνται αποδοτικά, εμφύτευση ιόντων (ion implantation), ακόμη και η απόθεση ιζήματος από πολύ άκαμπτες μεμβράνες άνθρακα με τη δομή και τις ιδιότητες του διαμαντιού. Οι νέες τεχνικές συγκόλλησης αντικαθιστούν τα πριτσίνια και τις σημειακές συγκολλήσεις (πόντα) αφού η αυτόματη ένωση δυο στρωμάτων αποτελεί πλέον σοβαρή πιθανότητα. Επιπρόσθετα, οι νέες τεχνικές μαθηματικής μοντελοποίησης και ελέγχου των διαδικασιών επιτρέπουν τον πιο αυστηρό έλεγχο της σύνθεσης και της δομής στην παραγωγική διαδικασία, μειώνοντας έτσι το κόστος και αυξάνοντας την αξιοπιστία και την ασφάλεια.

Όλα τα παραπάνω και πολλά ακόμη αποτελούν πραγματικότητα. Έχουν τη δυνατότητα να καταστήσουν δυνατή την πιθανότητα για νέους σχεδιασμούς και να παρακινήσουν τον επανασχεδιασμό των προϊόντων που ήδη υπάρχουν στην αγορά, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το μερίδιο τους στην αγορά. Ο σχεδιαστής πρέπει να παραμένει έτοιμος για δράση.

### **1.3 Η ανάπτυξη του πληθυσμού και η ευημερία σε σχέση με του κορεσμό της αγοράς**

Ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχώς αυξάνεται σε αριθμό ενώ μεγάλο ποσοστό αυτού του πληθυσμού αναπτύσσεται σε πλούτο. Είτε το γεγονός αυτό θεωρείται συνετό, είτε όχι, το κομμάτι αυτό του πληθυσμού καταναλώνει περισσότερα προϊόντα, και καθώς ο πλούτος αυξάνεται απαιτούνται ακόμη περισσότερα. Παράλληλα όμως, η ανάπτυξη της δυναμικότητας της παραγωγής προϊόντων έχει αναπτυχθεί με πιο γρήγορο ρυθμό από τον πληθυσμό και από τον πλούτο, με αποτέλεσμα στις ανεπτυγμένες και στις αναπτυσσόμενες χώρες οι αγορές προϊόντων να κορεννούνται. Παλαιότερα, για την αγορά κάποιου προϊόντος (π.χ. κινητό τηλέφωνο, αυτοκίνητο) ο αγοραστής περίμενε στην ουρά των καταστημάτων με την ελπίδα να βρει το προϊόν. Αντίθετα, σήμερα, ένας πωλητής ασχολείται ειδικά με τον

εκάστοτε πελάτη για την καθοδήγηση του για την αγορά προϊόντων επιλέγοντας από μια σειρά σχεδόν πανομοιότυπων προϊόντων, με πανομοιότυπες τιμές αγοράς, αυτό που ο καταναλωτής επιθυμεί.

Το γεγονός αυτό, έρχεται με συγκεκριμένες επιπτώσεις. Αρχικά, είναι η μαζική και συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και των πόρων των υλικών, που αποτελεί μία από τις δυνάμεις για αλλαγή στην επιλογή υλικών. Άλλη μία συνυπολογίζεται, λόγω του γεγονότος ότι σε μια κορεσμένη αγορά, ο σχεδιαστής επιζητεί σήμερα να προσελκύσει τον καταναλωτή. Οι παραδοσιακές μέθοδοι που στηρίζονται στις ιδιότητες των μηχανικών για την πώληση προϊόντων αντικαθίστανται από οπτικές ιδιότητες, από επικοινωνιακές σχέσεις και προσεκτικά διαχειριζόμενες αντιλήψεις που έχουν δημιουργηθεί από το βιομηχανικό σχεδιασμό (industrial design). Η κατάσταση αυτή, επηρεάζει τις μεθόδους επιλογής υλικών αλλά και διεργασιών.

## **1.4 Τα μειονεκτήματα των προϊόντων και η παροχή συντήρησης**

Η νομοθεσία σήμερα, απαιτεί αν ένα προϊόν έχει κάποιο ελάττωμα, να αποκαθίσταται και το ελάττωμα να διορθώνεται. Οι αποκαταστάσεις ή οι αντικαταστάσεις των προϊόντων είναι υπερβολικά δαπανηρές και φθείρουν την εικόνα της εκάστοτε εταιρίας. Όσο πιο ψηλά προχωράμε στο διάγραμμα της Εικόνας 1.3, τόσο πιο καταστροφικό καθίσταται ένα ελάττωμα. Όταν, για παράδειγμα, κάποιος καταναλωτής αγοράζει ένα πακέτο από έξι στυλογράφους με σφαιρική άκρη, δεν είναι τόσο τραγική συνέπεια να μην λειτουργεί σωστά ο ένας από αυτούς. Ο λόγος της πιθανότητας 1/6, σε μία κατανομή Gauss, θεωρείται ως κανονική απόκλιση ή «1-sigma». Όταν όμως, γίνεται ο σχεδιασμός ενός αεροπλάνου σε βάση «1-sigma» έχει καταστροφικές συνέπειες. Τα συστήματα κρίσιμης ασφαλείας σήμερα, σχεδιάζονται σε «6-sigma» όρια ασφαλείας, εννοώντας ότι η πιθανότητα ένα από τα συστατικά ή η συναρμολόγηση να μην λειτουργήσει σύμφωνα με τις προδιαγραφές είναι λιγότερο από ένα στα 10<sup>9</sup>.

Όλα τα παραπάνω επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο παράγονται και κατεργάζονται τα υλικά. Η αξιοπιστία και η ικανότητα αναπαραγωγής των προϊόντων απαιτούν σύνθετο έλεγχο των διεργασιών και την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την επαλήθευση κάθε πτυχής της παραγωγής. Οι «καθαροί» χάλυβες (χάλυβες με πολύ μειωμένη συνυπολογισμένη αξία/greatly reduced inclusion-account), τα κράματα αλουμινίου που πραγματοποιείται σχολαστικός έλεγχο της σύνθεσης τους, ο

έλεγχος με ανάδραση των διεργασιών σε πραγματικό χρόνο, οι νέοι μη-καταστροφικοί έλεγχοι για την ποιότητα και την ακεραιότητα και οι τυχαίοι δειγματοληπτικοί έλεγχοι βοηθούν στην εξασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων.

Η πίεση αυτή που δέχονται οι κατασκευαστές ώστε να αναλάβουν την ευθύνη των προϊόντων που παράγουν για ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους, γίνεται η αιτία να μελετήσουν την περίπτωση να διαχειρίζονται οι ίδιοι την συντήρηση και την αντικατάσταση των προϊόντων και όχι οι ίδιοι οι καταναλωτές. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να καταγράφουν και να ελέγχουν την χρήση των προϊόντων και να τα αντικαθιστούν, παίρνοντας πίσω το γνήσιο προϊόν όχι όταν έχει φθαρεί από τη χρήση αλλά όταν είναι ευνοϊκότερα για τους ίδιους να τα επιδιορθώσουν και να τα αναβαθμίσουν. Έτσι, ο παραγωγός δεν πουλά πια το προϊόν (παραμένει στην ιδιοκτησία του), αλλά πουλά την συντήρηση του. Σαν παράδειγμα μπορεί να δοθεί η κατάσταση που επικρατεί σε πολλά πανεπιστήμια στον κόσμο όσο αφορά τα φωτοτυπικά μηχανήματα. Τα περισσότερα πανεπιστημιακά ιδρύματα δεν κατέχουν δικά τους φωτοτυπικά μηχανήματα, παρόλο που συνήθως υπάρχουν αρκετά. Αλλά, υπογράφεται ένα συμβόλαιο με τον προμηθευτή ώστε να εγγυηθεί μια συγκεκριμένη χωρητικότητα αντιγραφής- μπορεί αλλιώς να ονομαστεί ως παροχή συγκεκριμένων «σελίδων την εβδομάδα».

Η νέα αυτή λογική αλλάζει τις οικονομικές οριακές συνθήκες για το σχεδιαστή και για το φωτοτυπικό μηχάνημα. Ο στόχος πλέον δεν είναι η κατασκευή φωτοτυπικών μηχανημάτων με τα περισσότερα χαρακτηριστικά στη χαμηλότερη τιμή αλλά αυτά που, σε βάθος χρόνου, εξασφαλίζουν φωτοτυπίες στο χαμηλότερο κόστος ανά σελίδα. Καταληκτικά, προτεραιότητα τίθεται ο σχεδιασμός για την ευκολία της αντικατάστασης, της επιδιόρθωσης και της τυποποίησης των υλικών και των συστατικών μεταξύ των μοντέλων. Το καλύτερο φωτοτυπικό μηχάνημα δεν είναι πια αυτό που έχει το μεγαλύτερο κύκλο ζωής αλλά αυτό που είναι φθηνότερο για τον κατασκευαστή να το επιδιορθώσει, να το αναβαθμίσει ή να το αντικαταστήσει. Το παράδειγμα που έχει προαναφερθεί δεν είναι απομονωμένο, ισχύει στους περισσότερους τομείς. Οι κατασκευαστές των μηχανών των αεροσκαφών υιοθετούν μια στρατηγική παροχής «ισχύος ανά ώρα». Είναι ακριβώς η ίδια στρατηγική με αυτή των κατασκευαστών των φωτοτυπικών μηχανημάτων: τους ανήκουν οι μηχανές των αεροσκαφών, ελέγχουν και καταγράφουν τη χρήση τους, και τις αντικαθιστούν στο αεροπλάνο στο σημείο εκείνο που η ανταλλαγή μεταξύ κόστους, αξιοπιστίας και χωρητικότητας παροχής ενέργειας είναι βέλτιστη.

## **1.5 Η ελαχιστοποίηση των διαστάσεων των προϊόντων και η πολύ-λειτουργικότητά τους**

Σήμερα, στην επιστήμη του μηχανικού η ακρίβεια που απαιτείται και επιτυγχάνεται αναφέρεται στην κλίμακα των μικρών. Οι συσκευές αναπαραγωγής οπτικών δίσκων (CD and DVD players) απαιτούν την ικανότητα τοποθέτησης της κεφαλής ανάγνωσης με ακρίβεια μικρών. Οι σκληροί δίσκοι είναι ακόμα πιο εντυπωσιακοί, γίνεται αποθήκευση και ανάκτηση για παράδειγμα ενός δισεκατομμυρίου ψηφιολέξεων (1 gigabyte) πληροφοριών σε μερικά τετραγωνικά χιλιοστά. Τα μικρής κλίμακας ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα (MEMS), ευρέως γνωστά ως τα επιταχυνσιόμετρα που προκαλούν την έκρηξη των αερόσακων στα αυτοκίνητα, στηρίζονται σε μικρές δοκούς που προεξέχουν, ενώ έχουν μέγεθος μικρών (micron-thick cantilever beams) και λυγίζουν από τις αδρανειακές δυνάμεις κάποιας ακαριαίας ακινητοποίησης του οχήματος. Η τεχνολογία των MEMS υπόσχεται ακόμη περισσότερα. Υπάρχουν προβολείς βίντεο που δεν λειτουργούν προβάλλοντας φως μέσω μιας LCD οθόνης αλλά αντανακλώνοντας το μέσω μιας διάταξης ηλεκτροστατικά ενεργοποιημένων καθρεπτών, που ο καθένας τοποθετείται μερικά μικρά εγκάρσια, επιτρέποντας έτσι υψηλότερες εντάσεις φωτός. Υπάρχουν ακόμη μελέτες για μηχανολογικούς μικρο-επεξεργαστές που χρησιμοποιούν διλογικό (bi-stable) διακόπτη που θα μπορούσε να ολοκληρωθεί με διακόπτη ημιαγωγού για επεξεργασία πληροφοριών.

Όσο μικρότερα είναι τα συστατικά μιας συσκευής, τόσο μεγαλύτερη και η λειτουργικότητα που μπορεί να επιτευχθεί. Είναι πολλά τα παραδείγματα που επιβεβαιώνουν την παραπάνω πρόταση, όπως τα κινητά τηλέφωνα, οι συσκευές PDA, οι συσκευές αναπαραγωγής mini-disk, αλλά πιο σημαντικοί οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές που χωρούν σε μία τσέπη ενός σακακιού. Όλα τα παραπάνω προϊόντα εμπεριέχουν συστατικά με μηχανολογικές λειτουργίες: προστασία, καθορισμό θέσης, κίνηση και αισθητήρια. Η έννοια της μικρο-μηχανικής πλέον, δεν αντικατοπτρίζει μόνο συγκεκριμένα προϊόντα όπως τα Ελβετικά ρολόγια αλλά σχεδόν όλες τις συσκευές μέσω των οποίων αλληλεπιδρούμε συνεχώς καθημερινά.

Η ελαχιστοποίηση των διαστάσεων επιβάλλει νέες απαιτήσεις στα υλικά που χρησιμοποιούνται. Όλες οι συσκευές γίνονται μικρότερες, και είναι οι μηχανολογικές αποτυχίες που περιορίζουν το σχεδιασμό. Παλαιότερα, το επιτρεπόμενο μέγεθος και βάρος για τους μεταλλικούς σωλήνες, τους συνδετήρες, τα ηλεκτρολόγια, τους κινητήρες έδιναν μεγάλο περιθώριο ασφαλείας στην αντοχή κάμψης, την ισχύ, τα όρια αντοχής στη φθορά και στα όρια διάβρωσης. Αλλά κανένα από τα επιτρεπόμενα όρια δεν συνδέονται γραμμικά με το μέγεθος. Αν βαθμονομήσουμε την κλίμακα με

ένα χαρακτηριστικό μήκος  $L$ , η αντοχή κάμψης εκτείνεται ως  $L^3$  ή ως  $L^4$ , η ισχύς ως  $L^2$  ή ως  $L^3$  και όσο αφορά τα όρια αντοχής στη φθορά και στη διάβρωση αν μετρηθούν με βάση την κλασματική απώλεια τομέα ανά μονάδα χρόνου, τότε φτάνουν στο  $1/L$ . Έτσι, όσο μικρότερη είναι η συσκευή, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις από τα υλικά από τα οποία αποτελείται.

Όλα τα παραπάνω θεωρούνται ως οι «άσχημες» εξελίξεις του θέματος. Οι «καλύτερες» εξελίξεις, από τη στιγμή που η συσκευή είναι μικρότερη, είναι ότι οι ποσότητες των υλικών που απαιτούνται είναι μικρότερες. Στο γεγονός αυτό προστίθεται ακόμη ότι οι καταναλωτές πλέον αποζητούν προϊόντα μικρού μεγέθους με αποτελεσματική λειτουργικότητα και θα πληρώσουν περισσότερο για να τα αποκτήσουν. Το αποτέλεσμα είναι ακριβά, υψηλής απόδοσης υλικά που δεν θα κερδίσουν τη μελέτη ώστε να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ογκωδών προϊόντων για να εξελιχθούν και αυτά ως βιώσιμα σε αυτή τη νέα, μικρή σε μέγεθος γενιά των προϊόντων. Όπως για παράδειγμα, ο οπλισμός της κινητήριας μηχανής ενός αερόσακου, που έχει τόσο μικρό βάρος (1μg) και από οποιοδήποτε υλικό και αν παραχθεί, σαν πρώτη ύλη το υλικό αυτό έχει μηδαμινό κόστος.

Επομένως, φαίνεται πως το κόστος του υλικού δεν περιορίζει πλέον την επιλογή. Είναι η επεξεργασία των υλικών που θέτει περιορισμούς. Η κατασκευή μικρού μεγέθους προϊόντων με ακρίβεια παρουσιάζει νέες προκλήσεις στην επεξεργασία των υλικών. Οι ωρολογοποιοί στην Ελβετία τελειοποίησαν τα εργαλεία τους ώστε να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους, αλλά η βιομηχανία των ψηφιακών ρολογιών απαξίωσε την βιομηχανία των μηχανικών ρολογιών, γιατί οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνταν δεν ήταν μεταβιβάσιμοι στο νέο πρότυπο της σμίκρυνσης των προϊόντων, που απαιτεί μαζική παραγωγή σε χαμηλό κόστος. Οι κατασκευαστές των μικροεπεξεργαστών, είχαν ήδη αντιμετωπίσει επιτυχώς αυτό το πρότυπο της μεταστροφής από τα μηχανικά προϊόντα στα μη-μηχανικά και προσαρμόστηκαν με την κατασκευή μικρο-μηχανήματων. Αλλά για την υιοθέτηση του προτύπου αυτού η γκάμα των υλικών που χρησιμοποιούσαν περικόπηκε δραστικά. Στη σημερινή τους μορφή οι επεξεργαστές μπορούν να διαμορφωθούν από πυρίτιο, από οξειδία του πυριτίου, νιτρίδια και καρβίδια, από χρυσό και χαλκό σε μορφή λεπτής μεμβράνης και από μερικά ακόμη υλικά. Οι κύριες αρχές της επιστήμης των μηχανικών όσο αφορά τα μεγάλης κλίμακας υλικά-χάλυβες από κράματα άνθρακα και άλλων μετάλλων, κράματα αλουμινίου, πολυολεφίνες (polyolefines), γυαλί- δεν εμφανίζονται στο νέο μοντέλο. Η πρόκληση, τώρα, είναι η διεύρυνση του πεδίου των διεργασιών των μικρο-κατασκευών ώστε να επιτραπεί η ευρύτερη επιλογή των υλικών τα οποία θα διαχειρίζονται.

## **1.6 Το ενδιαφέρον για το περιβάλλον και για τα χαρακτηριστικά των προϊόντων**

Η σημερινή παγκόσμια οικονομία στηρίζεται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτούς πόρους. Η ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα καθιέρωσε στις ανεπτυγμένες κοινωνίες τα υψηλά επίπεδα διαβίωσης και τις έκανε εύπορες. Άλλες, πολυπληθέστερες χώρες, ανέρχονται στα ίδια επίπεδα διαβίωσης και πλούτου παράγοντας ενέργεια από άλλες πηγές. Βέβαια, τα χρονικά όρια που η καύση των ορυκτών πόρων δεν θα συμβαδίζει με τις ενεργειακές ανάγκες στενεύουν με γρήγορο ρυθμό. Ακόμη, και αν υπήρχαν τα χρονικά όρια, η επιβάρυνση που υφίσταται το φυσικό περιβάλλον θα υποχρεώσει να τεθούν συγκεκριμένοι περιορισμοί. Οι απαραίτητες αλλαγές, που θα επιτρέψουν την μακροπρόθεσμη βιώσιμη ανάπτυξη, θα πρέπει να έχουν τις ανάλογες προεκτάσεις, αλλάζοντας τους τρόπους παραγωγής, των μεταφορών, του τρόπου ζωής, με μέγιστο αντίκτυπο στον τρόπο που τα υλικά, αποτελώντας το κέντρο όλων των παραπάνω, χρησιμοποιούνται.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ενέργεια από φυσικές πηγές και η ασφαλής πυρηνική ενέργεια καθιστούν την δύναμη για αλλαγή της ενέργειας και δείχνουν το δρόμο για την αλλαγή των υλικών που χρησιμοποιούνται αλλά με βάση τα παραπάνω λεγόμενα ακόμη και αυτές αποτελούν βραχυπρόθεσμες λύσεις. Ο ισχυρισμός των επιστημόνων ότι με ένα παγκόσμιο ρυθμό ανάπτυξης περίπου 3% ανά έτος οι άνθρωποι θα εξορύξουν, θα κατεργαστούν και θα διαθέσουν περισσότερα «υλικά» στα επόμενα 25 χρόνια από ολόκληρη την ιστορία της ανθρωπότητας. Παραμένει όμως αναπάντητη η ερώτηση πως μπορεί ο παγκόσμιος πληθυσμός που αυξάνεται περίπου 3% ετησίως, ζώντας σε χώρες που οι οικονομικοί ρυθμοί ανάπτυξης κυμαίνονται μεταξύ 2% και 20% ετήσια, να συνεχίσει να καλύπτει τις «ανάγκες» του με μηδενική-ακόμη και αρνητική- ανάπτυξη στην κατανάλωση ενέργειας και υλικών.

Η υλική ευημερία έχει και μία ακόμη διάσταση. Με την αύξηση των ορίων ηλικίας, υπάρχει η απαίτηση της αύξησης των πόρων στον τομέα της υγείας. Ένας μεγάλος αριθμός των οργάνων στο ανθρώπινο σώμα εκτελούν κυρίως μηχανολογικές λειτουργίες- τα δόντια για κόψιμο και άλεσμα, τα οστά για την στήριξη του βάρους του σώματος, οι αρθρώσεις για την ομαλότητα των κινήσεων και την ένωση των οστών, η καρδιά για την άντληση αίματος και η αρτηρία για να το μεταφέρει υπό τη πίεση των αναγκών του ανθρώπινου σώματος, οι μύες για την κίνηση, το δέρμα για την εξασφάλιση της προστασίας. Με την αύξηση των ορίων ηλικίας αλλά και λόγω ατυχημάτων, κάποιο από τα προαναφερόμενα ανθρώπινα λειτουργικά συστήματα μπορεί να σταματήσει να λειτουργεί σωστά ή να χρήζει αντικατάστασης. Ένας

μηχανικός, μπορεί καταρχήν να τα αντικαταστήσει. Ένας τρόπος για αντικατάσταση είναι η χρήση αληθινών μερών ανθρώπινου σώματος, αλλά η ο αριθμός αναμονής των ασθενών που περιμένουν τέτοιες θεραπείες και τα ηθικά ζητήματα καθώς και άλλες δυσκολίες στη χρήση των αντικαταστάσεων από ανθρώπινα μέρη οδηγούν τις προσπάθειες εξέλιξης των τεχνικών υποκατάστατων. Οι αντικαταστάσεις με τεχνητά δόντια, εμφυτεύματα των οστών, αρθρώσεις του ισχίου και του γόνατος, τεχνητή αρτηρία και δέρμα, ακόμη και καρδιές ήδη υπάρχουν και χρησιμοποιούνται ευρέως. Αλλά, προς το παρόν, είναι υπερβολικά ακριβές, περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την διαθεσιμότητα τους και στο μεγαλύτερο βαθμό είναι απλά ανεπεξέργαστα υποκατάστατα του αληθινού. Υπάρχουν σημαντικά κίνητρα για αλλαγή σε αυτό το στάδιο, για προσομοιωμένη έρευνα ώστε να χρησιμοποιηθούν οικονομικά ανεκτά υλικά για τεχνητά όργανα κάθε τύπου.

Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι ,σε ένα κόσμο που γερνάει, η χρησιμοποίηση πολλών προϊόντων και υπηρεσιών προκαλεί ανώφελα το ενδιαφέρον των ανθρώπων, είτε είναι νεαροί είτε ηλικιωμένοι, με ικανό σώμα ή όχι. Μέχρι πρόσφατα ο στόχος πολλών σχεδιαστών ήταν να έχουν απήχηση στους νέους (15-35 ετών) ως κύρια πηγή εσόδων των εταιριών τους, δημιουργώντας προϊόντα που δεν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν από άλλες ηλικίες. Οι οξυδερκείς εταιρίες αντιλήφθηκαν το πρόβλημα και επιχείρησαν να επανασχεδιάσουν τα προϊόντα υπηρεσίες τους για να είναι προσιτά σε πιο ευρύ κοινό. Η Αμερικάνικη εταιρία OXO έχει δει τις πωλήσεις της για τα προϊόντα κουζίνας και κήπου με πολύ καλές χειρολαβές να ανεβαίνουν 50% το χρόνο, καθώς και το Βρετανικό κατάστημα Tesco κατάφερε να προσθέσει στους πελάτες του χιλιάδες από τη σελίδα του στο διαδίκτυο διότι διέγραψε τα έξυπνα αλλά πολύπλοκα γραφικά ενώ αντίθετα τη μετέτρεψε σε απλή με γρήγορη εξυπηρέτηση και παροχή δεδομένων απορροφώντας έτσι μεγαλύτερο φάσμα ανθρώπων που αγοράζουν τα προϊόντα τους μέσω διαδικτύου. Υπάρχει μια πολύ ισχυρή πτυχή στο πεδίο των επιχειρήσεων που αφορά τον «περιεκτικό σχεδιασμό» των προϊόντων- τον σχεδιασμό που εξασφαλίζει ότι τα προϊόντα και οι υπηρεσίες συναντούν τις ανάγκες του πιο πιθανού διευρυμένου κοινού. Η κοινωνική πτυχή του ίδιου ζητήματος είναι εξίσου προσοδοφόρα- πολλοί άνθρωποι σήμερα αρνούνται να χρησιμοποιήσουν ηλεκτρονικά και άλλα προϊόντα γιατί δεν μπορούν να καταλάβουν πώς να τα χειριστούν ή στερούνται των κινητήριων ικανοτήτων για να το κάνουν.

Όλα τα προϊόντα αποκλείουν κάποιους χρήστες, κάποιες φορές σκόπιμα, όπως για παράδειγμα τα μπουκάλια για τα σιρόπια των παιδιών, αλλά κυρίως η απόκλιση ενός μέρους του κοινού είναι ακούσια και ανώφελη. Οι υπηρεσίες εξαρτώνται από τη χρήση των προϊόντων για την αξιοποίηση τους και την παράδοση τους, έτσι μη χρησιμοποιήσιμα προϊόντα αποκλείουν την προσέγγιση των ανθρώπων στις υπηρεσίες που προσφέρονται, επίσης. Οι καταγραφείς βίντεο αποτελούν καθιερωμένο παράδειγμα μικρής χρησιμοποίησης, αφού σπάνια εμφανίζονται στις καταγραφές. Η



εγκατάσταση μιας συσκευής VCR είναι πολύ πολύπλοκη διαδικασία, έτσι οι έμποροι προσφέρουν και υπηρεσία εγκατάστασης. Η χρήση τους είναι λίγο πιο εύκολη, βέβαια σχεδόν όλοι οι χρήστες έχουν καταγράψει το λάθος κανάλι κάποια στιγμή, έχουν ρυθμίσει λάθος την ώρα, έχουν καταγράψει την εικόνα αλλά όχι και τον ήχο ή απλώς εγκατέλειψαν την προσπάθεια χρησιμοποίησης της συσκευής. Ένας πολύ μεγαλύτερος αριθμός μοντέρνων προϊόντων αποκλείουν κάποιους χρήστες με αναπηρία- περιορισμένη όραση, ακοή, φυσική ευκινησία ή δύναμη ή ακόμη και πνευματική ικανότητα αντίληψης. Η αντιμετώπιση του σχεδιασμού των προϊόντων που αποκλείει ομάδες ανθρώπων είναι μια συνεχώς αναπτυσσόμενη προτεραιότητα από τις κυβερνήσεις, καθώς δίνεται όλο και περισσότερη βαρύτητα και από τους κατασκευαστές των προϊόντων. Ο συγκεκριμένος τρόπος σκέψης επηρεάζει και την επιλογή των υλικών, μεταβάλλοντας τους περιορισμούς και τους στόχους για την επιλογή τους. Η χρήση υλικών που, μέσω του χρώματος ή της αφής, προϊδεάζουν για τη λειτουργία τους, υλικά που δίνουν σωστή αντίληψη της χρήσης του προϊόντος καθώς και η χρήση υλικών που βοηθούν στην ασφάλεια των προϊόντων γίνεται προτεραιότητα.

## **1.7 Σύνοψη και συμπεράσματα**

Ισχυρές δυνάμεις οδηγούν την εξέλιξη νέων και βελτιωμένων υλικών, ενθαρρύνουν την αντικατάσταση και εξελίσσουν τον τρόπο που τα υλικά παράγονται και χρησιμοποιούνται. Οι δυνάμεις της αγοράς είναι ιστορικά οι πιο σημαντικές, ενώ παραμένουν και σήμερα αυτές με τη μεγαλύτερη επιρροή. Οι δυνάμεις της καινοτομίας από την μεριά της επιστήμης, επιπρόσθετα, οδηγούν στην αλλαγή αποκαλύπτοντας ένα αξιοσημείο φάσμα νέων υλικών με εντυπωσιακές δυνατότητες, μολονότι ο χρόνος που χρειάζεται για να αναπτυχθούν και να εμπορευματοποιηθούν είναι μακρύς- τυπικά απαιτούνται 15 χρόνια, για την αξιοποίηση, από το εργαστήριο στην αγορά [1].

Σήμερα, πρόσθετες δυνάμεις επηρεάζουν την εξέλιξη των υλικών και τη χρήση τους. Η αναπτυσσόμενη ευημερία δημιουργεί αγορές για περισσότερο εξεζητημένα προϊόντα. Η γενική τάση για προϊόντα μικρότερα σε μέγεθος, ελαφρύτερα και με μεγαλύτερη λειτουργικότητα αυξάνει την απαίτηση σε υλικά, από τα οποία παράγονται τα προϊόντα, με αποδοτικότερες μηχανικές ιδιότητες. Η μεγαλύτερη προσοχή και επιμονή στην αξιοπιστία και την ασφάλεια των προϊόντων, με πιθανότητες για αποτυχίες και βλάβες στην παραγωγή, απαιτεί υλικά με ιδιότητες που μπορούν να επαναληφθούν και κατεργασίες που ελέγχονται με συνέπεια. Το ενδιαφέρον για την επίδραση της βιομηχανικής ανάπτυξης στο φυσικό περιβάλλον εισάγει το νέο στόχο στην επιλογή των υλικών με τέτοια διαχείριση ώστε να μειωθεί ο αντίκτυπος στο περιβάλλον. Ακόμη, η αντίληψη ότι πολλά προϊόντα αποκλείουν

κάποιους χρήστες λόγω της πολυπλοκότητας τους και της δυσκολίας στη χρήση προωθεί μια επανεκτίμηση στον τρόπο που σχεδιάζονται και στην επιλογή των υλικών για την παραγωγή τους.

Το αποτέλεσμα είναι τα προϊόντα που θεωρούνταν ως τα καταλληλότερα στο πρόσφατο παρελθόν, δεν θεωρούνται σήμερα. Κυριαρχεί πάντα η πρόθεση της επανεκτίμησης του σχεδιασμού και της επιλογής των υλικών ώστε να υλοποιούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο [4]. Στην συνέχεια της παρούσας εργασίας, θα γίνει η προσπάθεια ανάλυσης των διάφορων μεθόδων σχεδιασμού. Ακόμη, στο κεφάλαιο που ακολουθεί, πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή του σχεδιασμού και αναφέρεται ο τρόπος που στις αντίστοιχες χρονικές περιόδους άλλαζαν οι τρόποι σχεδιασμού σύμφωνα με τις σύγχρονες τάσεις.

## **1.8 Βιβλιογραφία**

- [1] Michael F. Ashby, *Material Selection in Mechanical Design*, Third Edition 2005, Elsevier Butterworth-Heinemann
- [2] Defence and aerospace materials and structures, National advisory committee (NAC) Annual report 2000. <http://www.iom3.org/foresight/nac/html>
- [3] Energy White Paper: Our energy future—creating a low carbon economy, DTI (Cm 5761). TSO London, February 2003. <http://www.dti.gov.uk/energy/whitepaper/index.shtml>
- [4] Keates, S. and Clarkson, J. (2004) *Countering Design Exclusion—an Introduction to Inclusive Design*, Springer Verlag, London, UK. ISBN 1–85233–769–9.
- [5] Van Griethuysen, A.J. (ed.) (1987) *New Applications of Materials*, Scientific, and Technical Publications Ltd, The Hague, The Netherlands.
- [6] Williams, J.C. (1998) *Engineering Competitive Materials*, The Bridge 28(4).

## Κεφάλαιο 2

# Ο σχεδιασμός στην επιστήμη του μηχανικού

### **Περιεχόμενα**

---

2.1 Εισαγωγή .....	20
2.2 Ιστορική αναδρομή .....	21
2.3 Η προσέγγιση του σχεδιασμού .....	27
2.4 Σύγχρονες μέθοδοι .....	30
2.4.1 Θεωρία συστημάτων .....	30
2.4.2 Ανάλυση αποτίμησης .....	32
2.4.3 Μέθοδοι σχεδιασμού .....	35
2.5 Σύνοψη και συμπεράσματα .....	37
2.6 Βιβλιογραφία .....	38

## 2.1 Εισαγωγή

Η επιστήμη του μηχανικού και ο σχεδιασμός περιέχουν ένα ευρύ πεδίο δραστηριοτήτων που καθίσταται δύσκολο να προσδιοριστούν περιεκτικά και περιγραφικά. Οι μηχανικοί εκτός από την εμπλοκή τους στις δομές και τα εργαλεία, επηρεάζουν και το επίπεδο διαβίωσης των ανθρώπων. Ένας προσδιορισμός που παρατίθεται συχνά είναι πως η επιστήμη του μηχανικού θεωρείται «η τέχνη της διαχείρισης των σπουδαίων πόρων της Φύσης προς χρήση και ευκολία του Ανθρώπου». Η επιτυχία και η καθιέρωση των μηχανικών πρέπει να εξαρτάται πέρα από την επιτυχία τους στην χρήση αυτών των δυνάμεων και στο ενδιαφέρον για τις επιδράσεις της τεχνολογίας που δημιουργούν και χρησιμοποιούν στο φυσικό περιβάλλον. Στο σημείο αυτό θα αναλυθούν κάποιες περαιτέρω πτυχές και λεπτομέρειες των δραστηριοτήτων των μηχανικών [1].

Η επιστήμη του μηχανικού, στην πράξη, ασχολείται με την παροχή στην ανθρωπότητα μεταφορικών μέσων, υπηρεσιών επικοινωνίας και κτιρίων υπηρεσιών για την παραγωγή και διανομή αγαθών/προϊόντων όλων των ειδών. Ο μηχανικός προσφέρει τις επιστημονικές γνώσεις και την τεχνική εμπειρία που είναι απαραίτητα συστατικά για τον προγραμματισμό, το σχεδιασμό, την κατασκευή και τον χειρισμό αυτών των υπηρεσιών. Η εργασία του σε επαγγελματικό επίπεδο δεν αποτελεί ρουτίνα και οι ικανότητες του είναι απαραίτητες για την επίλυση νέων προβλημάτων ή για την παροχή νέων λύσεων σε παλαιότερα προβλήματα. Μηχανικοί διάφορων ειδικοτήτων εργάζονται και συνεργάζονται σε ένα πεδίο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παραγωγή ενέργειας, που πολιτικοί, μηχανολόγοι και ηλεκτρολόγοι μηχανικοί εμπλέκονται στο σχεδιασμό και την κατασκευή της εγκατάστασης [1].

Ο σχεδιασμός αποτελεί βασικό μέρος της επιστήμης του μηχανικού και περικλείει τις προδιαγραφές και τις λεπτομέρειες των μηχανημάτων, των δομών και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται. Απαιτείται μεγάλο εύρος γνώσεων και δεξιοτήτων, ενώ είναι πολύ δημιουργική δραστηριότητα. Όπως ένας μηχανικός στηρίζεται σε προηγούμενες εμπειρίες, κατά τον ίδιο τρόπο ο σχεδιαστής μηχανικός οφείλει να κάνει την καλύτερη χρήση των διαθέσιμων ερευνών και των εξελίξεων των δεδομένων αν ευθύνη του είναι η πρόοδος και ευημερία. Οι υπεύθυνοι παραγωγής σκόπιμο είναι να μεταδίδουν τις γνώσεις και τα κατάλληλα κριτήρια στις ιδέες και τα σχέδια που αναπτύσσονται σε ανταπόκριση των απαιτήσεων της παραγωγής αλλά και της ζήτησης. Αποτελεί μέρος των εργασιών του σχεδιαστή μηχανικού να επιβλέπει επακριβώς τις διαδικασίες ανάπτυξης είτε γίνονται μέσω σχεδίων, προδιαγραφών ή λογισμικών προγραμμάτων [1].

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η προσπάθεια μιας γενικότερης προσέγγισης του σχεδιασμού, ενώ παράλληλα θα αναπτυχθούν κάποιες από τις κύριες μεθόδους που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία του σχεδιασμού.

## **2.2 Ιστορική αναδρομή**

Ο προσδιορισμός της προέλευσης του συστηματικού σχεδιασμού είναι μια δύσκολη διαδικασία. Μπορεί να αποδοθεί στα σχέδια του Λεονάρντο ντα Βίντσι, που από την πρώτη ματιά παρατηρεί κανείς τα σύγχρονα προτερήματα του συστηματικού σχεδιασμού αλλά και το βαθμό στον οποίο χρησιμοποιεί την συστηματική ποικιλία των πιθανών λύσεων [2]. Ενώ στην βιομηχανική εποχή, ο σχεδιασμός ήταν στενά συνδεδεμένος με τις τέχνες και την απαιτούμενη επιδεξιότητα.

Με την άνοδο της μηχανοποίησης κατά τη διάρκεια του δέκατου ένατου αιώνα, δόθηκε περισσότερη προσοχή σε ένα αριθμό χαρακτηριστικών και αρχών που συνεχίζουν να είναι πολύ σημαντικά και ονομαστικά είναι [3]:

- επαρκής ισχύς
- επαρκής ανθεκτικότητα
- χαμηλή φθορά
- χαμηλή τριβή
- ελάχιστη χρήση υλικών
- εύκολος χειρισμός
- εύκολη συναρμολόγηση και
- μέγιστος βαθμός ορθολογισμού στο σχεδιασμό και στη χρήση

Ο Reuleaux, μαθητής του Redtenbacher [4], ανέπτυξε τις ιδέες αυτές αλλά, από μια σκοπιά που συχνά παρουσιάζονται ασύμβατες απαιτήσεις, πρότεινε ότι η διαδικασία των σημαντικών αποφάσεων πρέπει να αφήνεται στην πρωτοβουλία, την λογική και την σύνεση των σχεδιαστών μηχανικών. Δεν είναι δυνατόν να εισέρθουν σε γενικούς τρόπους σκέψης και σχεδιασμού.

Σημαντικές συμβολές στην διαδικασία εξέλιξης του σχεδιασμού στην επιστήμη του μηχανικού έγιναν και από τους Bach [5] και Riedler [6], που επισήμαναν πως η επιλογή των υλικών, των μεθόδων παραγωγής και η παροχή της απαραίτητης αντοχής είναι ισοδύναμης σπουδαιότητας και δημιουργούνται αλληλεπιδράσεις.

Ακόμη, αναφέρονται από τον Rotscher [7] κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμού όπως ο καθορισμένος στόχος, η αποδοτική σχεδιαστική πορεία καθώς και η αποτελεσματική παραγωγή και συναρμολόγηση. Οι περιορισμοί πρέπει

να διεξάγονται σύμφωνα με τις πιο σύντομες πορείες, και αν είναι δυνατόν σύμφωνα με τις αξονικές δυνάμεις και όχι με τις καμπτικές. Στις μακρύτερες πορείες σχεδιασμού όχι μόνο δαπανώνται περιττές ποσότητες υλικών και αυξάνεται το κόστος του προϊόντος αλλά απαιτούνται και αξιοσημείωτες αλλαγές στη μορφή. Οι υπολογισμοί και ο σχεδιασμός πρέπει να είναι έννοιες αλλά και πρακτικές αλληλένδετες. Οι σχεδιαστές μηχανικοί ξεκινούν με τις συλλεγόμενες πληροφορίες και με ήδη έτοιμες συναρμολογήσεις. Τα αναλογικά σχέδια πρέπει να γίνουν όσο το δυνατό πιο σύντομα για να εξασφαλιστεί το σωστό χωρικό σχέδιο. Οι υπολογισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποκομιστούν οι δύσκολες εκτιμήσεις για τον αρχικό σχεδιασμό ή για ακριβείς εκτιμήσεις που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του λεπτομερούς σχεδίου.

Σύμφωνα με τον Laudien [8], όταν εξέταζε τους τρόπους εφαρμογής των περιορισμών σε μηχανικά στοιχεία, εξήχθησαν ως αποτελέσματα τα παρακάτω βήματα για μια στερεά σύνδεση:

- σύνδεση των μερών σύμφωνα με τους αξονικούς περιορισμούς
- αν απαιτείται ευκαμψία στην κατασκευή, σύνδεση των μερών σύμφωνα με τους μη-αξονικούς περιορισμούς
- να μην γίνεται υπερ-καθορισμός στόχων
- να μην εκπληρώνονται περισσότερες απαιτήσεις από τις καθορισμένες
- διατήρηση της απλοποίησης και της οικονομικής κατασκευής

Οι σύγχρονες συστηματικές ιδέες αρχικοποιήθηκαν πρώτα από τον Erkens [9] την δεκαετία του 1920. Αναφέρθηκε στην βήμα-προς-βήμα προσέγγιση που βασίζεται στο συνεχή έλεγχο και την αποτίμηση καθώς και στην εξισορρόπηση των αντιτιθέμενων απαιτήσεων. Αποτελεί μια ατέρμονη μέθοδο που πρέπει να συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία σχεδιασμού και να αποτυπωθεί το σχέδιο.

Ένας πιο κατανοητός απολογισμός της «τεχνικής του σχεδιασμού» είχε παρουσιαστεί από τον Wögerbauer [10] και η συμβολή του θεωρείται η βάση του συστηματικού σχεδιασμού. Στην προσέγγιση αυτή η συνολική εργασία χωρίζεται σε επιμέρους επικουρικές εργασίες και αυτές με τη σειρά τους σε λειτουργικές ενέργειες και ενέργειες υλοποίησης. Ακόμη, εξετάζονται, αλλά δεν παρουσιάζονται στην μορφή του συστηματικού σχεδιασμού, οι αναρίθμητες εσωτερικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αναγνωρίσιμων περιορισμών που οι σχεδιαστές πρέπει να λάβουν υπόψη τους. Σύμφωνα λοιπόν, με την πρώιμη προσέγγιση του Wögerbauer δεν υπάρχει συστηματική επεξεργασία λύσεων των προβλημάτων που προκύπτουν στο σχεδιασμό. Η συστηματική του έρευνα ξεκινά με την επίλυση που βρίσκεται

δαισθητικά και ποικίλει ανάλογα με τη βασική μορφή του σχεδίου, τα υλικά και τις μεθόδους παραγωγής. Η αφθονία των λύσεων που προκύπτουν μειώνεται στη συνέχεια από ελέγχους και αποτιμήσεις, με το κόστος να είναι βασικό κριτήριο.

Αργότερα από τον Franke [11], αποκαλύφθηκε μια πιο κατανοητή δομή για τα συστήματα μετάδοσης κίνησης χρησιμοποιώντας μια λογική και λειτουργική αναλογία που βασιζόταν σε στοιχεία με διαφορετικές φυσικές επιδράσεις (ηλεκτρικά, μηχανολογικά, υδραυλικά αποτελέσματα σε πανομοιότυπες λογικές λειτουργίες οδήγησης, σύζευξη και διαχωρισμός). Για το λόγο αυτό, η προσέγγιση του Franke αναγνωρίζεται ως αντιπροσωπευτική για τις εργασίες που εξελίσσονται βάση της λειτουργικής σύγκρισης φυσικά διαφορετικών στοιχείων επίλυσης[12].

Αν και η ανάγκη βελτίωσης και ορθολογισμού της διαδικασίας του σχεδιασμού είχε παραμεληθεί ακόμη και πριν το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, πρόοδος σημειώθηκε από την απουσία αξιόπιστων μέσων παρουσίασης των περιληπτικών ιδεών και εκτεταμένων αντιλήψεων ότι ο σχεδιασμός είναι μορφή τέχνης, και όχι μια τεχνική δραστηριότητα όπως πολλές άλλες. Η περίοδος περικοπών προσωπικού κατά την δεκαετία του 1960 [13], δημιούργησε μια δυνατή ώθηση προς την υιοθέτηση του συστηματικού τρόπου σκέψης ευρύτερα. Σημαντικοί εισηγητές του συστηματικού τρόπου σκέψης της εποχής ήταν οι Kesselring, Tschochner, Niemann, Matousek και Leyer. Η δουλειά τους εφοδιάζει με πολλές χρήσιμες προτάσεις για το χειρισμό των διαφορετικών φάσεων και των βημάτων του συστηματικού σχεδιασμού.

Ο Kesselring [14] πρώτος εξήγησε τη βάση της μεθόδου του για επιτυχείς διαδικασίες προσέγγισης στο σχεδιασμό το 1942. Το αξιοπρόσεκτο χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής είναι η αποτίμηση των μεταβλητών της μορφής σύμφωνα με τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Στη θεωρία σημειώνονται πέντε κύριες αρχές:

- η αρχή της μείωσης του κόστους παραγωγής
- η αρχή της μείωσης των απαιτήσεων του όγκου
- η αρχή της ελαχιστοποίησης του βάρους
- η αρχή της ελαχιστοποίησης των απωλειών και
- η αρχή του βέλτιστου χειρισμού

Ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση των διαφορετικών μερών και των απλών τεχνικών δεδομένων είναι ο στόχος της θεωρίας του σχεδιασμού με βάση τη μορφή. Χαρακτηρίζεται από ταυτόχρονες εφαρμογές φυσικών και οικονομικών νόμων, και οδηγεί στον καθορισμό της δομής και των μεγεθών των συστατικών καθώς και σε κατάλληλη επιλογή υλικών, μεθόδων παραγωγής κ.λπ. Αν η βελτιστοποίηση των



χαρακτηριστικών λαμβάνεται υπόψη, η βέλτιστη λύση μπορεί να βρεθεί με χρήση μαθηματικών μεθόδων.

Από τον Tschochner [18] σημειώνονται τέσσερις θεμελιώδεις σχεδιαστικοί παράγοντες, που ονομαστικά είναι οι αρχές της εργασίας, των υλικών, της μορφής και του μεγέθους. Αλληλοσυνδέονται και εξαρτώνται από τις απαιτήσεις του προϊόντος, τον αριθμό των παραγόμενων μονάδων, τα κόστη κ.λπ. Οι σχεδιαστές μηχανικοί, στη μέθοδο αυτή, ξεκινούν με την αρχή της επίλυσης, καθορίζουν τους υπόλοιπους βασικούς παράγοντες, τα υλικά και τη μορφή, και τα συνδυάζουν όλα μαζί για την υποστήριξη των επιλεγμένων διαστάσεων.

Σύμφωνα με τον Niemann [19], παρουσιάζεται η εξέλιξη της συστηματικής μεθόδου σχεδιασμού που είναι γνωστή σήμερα και ξεκινά με ένα αναλογικό διάγραμμα του συνολικού σχεδίου, αποτυπώνοντας τις βασικές κατευθύνσεις και το γενικό πλάνο του σχεδιασμού. Στη συνέχεια το συνολικό σχέδιο χωρίζεται σε μέρη που μπορούν να εξελιχτούν παράλληλα. Η μεθοδολογία προχωρά με τον προσδιορισμό της εργασίας στην συστηματική παραλλαγή των πιθανών λύσεων, που τελικά καταλήγει σε μια κριτική και μεθοδική επιλογή της βέλτιστης λύσης. Τα βήματα αυτή της μεθοδολογίας βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με αυτά που χρησιμοποιούνται σήμερα. Ακόμη, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο Niemann παρατηρεί την αδυναμία των υπόλοιπων μεθόδων των ημερών του στη δημιουργία νέων λύσεων. Θεωρείται ένας από του ιδρυτές του συστηματικού σχεδιασμού όπως έχει προαναφερθεί.

Έπειτα, ο Matousek [20] αποτυπώνει τέσσερις βασικούς παράγοντες, αυτόν της εργασίας, των υλικών, της παραγωγής και της μορφής του σχεδίου. Στη συνέχεια ακολουθώντας τη μεθοδολογία του Wögerbauer, επεξεργάζεται το συνολικό σχεδιάγραμμα των εργασιών βασισμένο σε αυτούς τους τέσσερις παράγοντες σύμφωνα με τη σειρά που έχουν αναφερθεί. Προστίθεται ακόμη, ότι αν η πτυχή του κόστους δεν είναι ικανοποιητική, οι παράγοντες αυτοί πρέπει να επανεξεταστούν με επαναληπτικό τρόπο.

Από τη άλλη, ο Leyer [21] ασχολείται κυρίως με τη μορφή του σχεδιασμού, για την οποία αναπτύσσει θεμελιώδεις κατευθυντήριες γραμμές και αρχές. Διαχωρίζονται τρεις κύριες φάσεις σχεδιασμού. Στην πρώτη φάση, η αρχή της εργασίας αποτυπώνεται μέσω μιας ιδέας, κάποιας επινόησης ή επαληθευμένων γεγονότων. Η δεύτερη φάση είναι αυτή του πραγματικού σχεδιασμού, ενώ η τρίτη φάση είναι αυτή της υλοποίησης. Το δεύτερο στάδιο (φάση) είναι ουσιαστικά της ενσωμάτωσης, δηλαδή η υποστήριξη του λεπτομερούς σχεδιασμού και της φόρμας του σχεδίου από κατάλληλους υπολογισμούς. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής αρχές ή κανόνες πρέπει να ληφθούν υπόψη, για παράδειγμα η αρχή της συνέχειας του πάχους, η αρχή των ελαφρών κατασκευών, η αρχή των σύντομων λύσεων ή της ομογενοποίησης των λύσεων. Οι κανόνες αυτοί που θεσπίστηκαν από τον Leyer για τη μορφή του

σχεδιασμού είναι ανεκτίμητοι γιατί, στην πράξη, η αποτυχία είναι πολύ πιο συχνή στο αποτέλεσμα αν οι αρχές δεν ανταποκρίνονται στο σχεδιαστικό πρόβλημα από όσο αν το λεπτομερές σχέδιο είναι αδύναμο.

Αυτές οι πρώιμες προσπάθειες έδειξαν το δρόμο για την εντατική εξέλιξη των μεθόδων, κυρίως από πανεπιστημιακά ιδρύματα που κατείχαν τη βασική γνώση του σχεδιασμού. Έγινε η συνειδητοποίηση πως πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στη φυσική, τα μαθηματικά και τις πληροφορίες της θεωρίας μαζί με τη χρήση του συστηματικού σχεδιασμού αλλά να λειτουργήσει και επικουρικά με την αύξηση του καταμερισμού των εργασιών που θεωρήθηκε απαραίτητη διαδικασία. Οι εξελίξεις αυτές επηρεάστηκαν σοβαρά από τις απαιτήσεις των διάφορων βιομηχανιών από τη λειτουργία των οποίων προήλθαν. Οι περισσότερες μέθοδοι σχεδιασμού αναπτύχθηκαν από τις απαιτήσεις για ακρίβεια, για μετάδοση ισχύος και εξέλιξη των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων μικρής κλίμακας (MEMS), στις οποίες οι συστηματικές διασυνδέσεις είναι πιο εμφανείς από ότι στις βαριές μηχανικές κατασκευές.

Ο Hansen και άλλα μέλη του πανεπιστημίου Ilmenau (Bischoff, Bock) ήταν οι πρώτοι που έκαναν προτάσεις για συστηματικό σχεδιασμό στις αρχές της δεκαετίας του 1950 [22, 23, 24]. Παρουσιάστηκε ένα πιο κατανοητό σύστημα σχεδιασμού στη δεύτερη έκδοση της εργασίας του το 1965 [25].

Η προσέγγιση του Hansen ορίζεται ως το βασικό σύστημα. Τα τέσσερα βήματα εργασίας σε αυτή την προσέγγιση εφαρμόζονται με τον ίδιο τρόπο στο βασικό, ενσωματωμένο και λεπτομερές σχέδιο. Ξεκινά με την ανάλυση, την κριτική και τον καθορισμό της εργασίας, που οδηγεί στη βασική αρχή της εξέλιξης (κεντρική ουσία του σχεδιαστικού προβλήματος). Η βασική αρχή περικλείει την συνολική λειτουργία που προέρχεται από την εργασία, των επικρατουσών συνθηκών, καθώς επίσης και των απαιτητών μετρήσεων. Η συνολική λειτουργία (ο στόχος και οι περιορισμοί) και το περιεχόμενο (τα στοιχεία και οι ιδιότητες) αποτελούν την κεντρική έννοια του σχεδιασμού μαζί με τους δεδομένους περιορισμούς.

Το δεύτερο βήμα εργασίας είναι μια συστηματική έρευνα για τα στοιχεία επίλυσης και τω συνδυασμών τους στα μέσα εργασίας και στις αρχές.

Μεγάλη σημασία αποδίδεται στο τρίτο βήμα της προσέγγισης κατά Hansen, στο οποίο οι αδυναμίες στην εξέλιξη των μέσων της εργασίας αναλύονται με σεβασμό στις ιδιότητες και στη ποιότητα των χαρακτηριστικών και αν κριθεί απαραίτητο βελτιώνονται.

Στο τέταρτο και τελευταίο βήμα, τα βελτιωμένα μέσα εργασίας του προηγούμενου βήματος αποτιμώνται για να καθοριστεί το βέλτιστο μέσο εργασίας για το σχεδιασμό.

Το 1974 παρουσιάστηκε από τον Hansen μια άλλη εργασία, που ονομάστηκε Η Επιστήμη του Σχεδιασμού (Konstruktionswissenschaft-Science of Design) [26].

Το βιβλίο αυτό ασχολείται κυρίως με τις θεωρητικές βάσεις και όχι με τους κανόνες του σχεδιασμού.

Όμοια, ο Müller [27] στην έρευνα του Οι Βάσεις των Συστηματικών Πιθανών Λύσεων (Grundlagen der systematischen Heuristik-Fundamentals of Systematic Heuristics) παρουσιάζει μια θεωρητική και περιγραφική άποψη της διαδικασίας σχεδιασμού [28, 29, 30].

Αργότερα από τη συμβολή του Hansen στο συστηματικό σχεδιασμό, ο Rodenacker [12, 31, 32], που χαρακτηρίζεται εξέχουσα προσωπικότητα στην εξελικτική πορεία του σχεδιασμού, ανέπτυξε μια πρωτότυπη μέθοδο σχεδιασμού. Η προσέγγιση του χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη της απαιτούμενης και συνολικής αλληλοσύνδεσης των λειτουργιών καθορίζοντας τις λογικές, φυσικές και ενσωματωμένες συνάψεις τους. Δίνεται έμφαση στην αναγνώριση και καταστολή των επιρροών και των αποτυχιών που διαταράσσουν τη συνέχεια της διεργασίας του σχεδιασμού, όσο το δυνατό νωρίτερα κατά τη διάρκεια της διατύπωσης των φυσικών διεργασιών, της υιοθέτησης της γενικής στρατηγικής επιλογής από το απλό στο πολύπλοκο όπως και της αποτίμησης όλων των παραμέτρων του τεχνικού συστήματος έναντι των κριτηρίων της ποσότητας, της ποιότητας και του κόστους. Άλλα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι η έμφαση στις λογικές λειτουργικές δομές που βασίζονται στη δυαδική λογική (σύνδεση και διαχωρισμός) και στο στάδιο του βασικού σχεδιασμού που βασίζεται στην αναγνώριση ότι η βελτίωση του προϊόντος μπορεί να ληφθεί υπόψη και να αναλυθεί μόνο αν μια αρχή κατάλληλης λύσης έχει βρεθεί. Η πιο σημαντική πτυχή στην προσέγγιση του συστηματικού σχεδιασμού από τον Rodenacker είναι αδιαμφισβήτητα η έμφαση που δίνεται στην καθιέρωση των φυσικών διεργασιών. Βασιζόμενος σε αυτή τη δήλωση, δεν ασχολείται μόνο με τη συστηματική διεργασία συμπαγών σχεδιαστικών εργασιών, αλλά και με μια μεθοδολογία για την επινόηση νέων τεχνικών συστημάτων. Η περιγραφόμενη διαδικασία ξεκινά με την εκάστοτε απάντηση στο ερώτημα: Για ποια νέα εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια γνωστή φυσική ενέργεια; Στη συνέχεια, γίνεται η συστηματική έρευνα εύρεσης νέων λύσεων από την αρχή.

Συμπληρωματικά στις μεθόδους που έχουν περιγραφεί, υπάρχει η γνώμη πως έχει δοθεί μονομερώς έμφαση σε ασυνάρτητες μεταξύ τους μεθόδους και δεν παρουσιάζεται η πλήρης εικόνα του σχεδιασμού. Για το λόγο αυτό ο Wächter [33, 34] αναπτύσσει την θεωρία, αναλογικά με τις αυτοματοποιημένες αρχές όπως ο έλεγχος και η μάθηση, ότι ο δημιουργικός σχεδιασμός (creative design) αποτελεί μια πιο σύνθετη μορφή της «διαδικασίας της μάθησης». Η γνώση που αποκτάται παρουσιάζεται ως μια ανώτερη μορφή ελέγχου που περιέχει, πέρα από ποσοτικές αλλαγές στους συνεχείς κανόνες της ποιότητας, αλλαγές και στην ίδια την ποιότητα.

Το σημαντικότερο γεγονός, για την επίτευξη της βελτιστοποίησης, είναι ότι η διαδικασία του σχεδιασμού πρέπει να διαχειρίζεται, όχι στατικά, αλλά δυναμικά σαν

μια διαδικασία ελέγχου που η ανάδραση των πληροφοριών πρέπει να επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη λύση.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθεί η προσπάθεια προσέγγισης του σχεδιασμού και μια αναφορά σε σύγχρονες μεθόδους σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται από την επιστήμη του μηχανικού.

## **2.3 Η προσέγγιση του σχεδιασμού**

Η προσέγγιση της λύσης ενός σχεδιαστικού προβλήματος είναι πιθανό να έχει όμοια μορφή ανεξάρτητα από το μέγεθος και τη σπουδαιότητα του προβλήματος. Εν συντομία τα βήματα που ακολουθούνται αναγράφονται [1]:

- αναφορά του προβλήματος
- συλλογή των απαραίτητων δεδομένων και πληροφοριών
- μελέτη των πιθανών πακέτων ενεργειών
- επιλογή της καταλληλότερης λύσης
- λεπτομερής ανάπτυξη του σχεδιασμού
- κατασκευή πρωτοτύπου και εξέλιξη εργασίας
- παραγωγή

Στην πράξη, τα βήματα δεν είναι τόσο ξεκάθαρα όπως σημειώθηκαν παραπάνω στην παρούσα εργασία, ενώ μπορεί να υπάρξει ανάδραση πληροφοριών από το ένα επίπεδο στο άλλο. Ωστόσο, ακόμη και αν ο σχεδιαστής μηχανικός δεν ακολουθεί τα προαναφερθέντα βήματα μπορεί να οδηγηθεί στη λύση. Η μορφοποίηση αυτών των βημάτων βοηθά στον προγραμματισμό και την εκτέλεση των προσπαθειών που συνθέτουν το σχεδιασμό.

Παρά το γεγονός της φαινομενικής απλότητας της διαδικασίας, η αρχική διατύπωση του προβλήματος αποτελεί αυτή καθαυτή ένα σημαντικό βήμα που μπορεί να επηρεάσει την επιτυχία ολόκληρου του προγράμματος. Η ελευθερία των δράσεων του σχεδιαστή μπορεί να είναι περιορισμένη στο επίπεδο αν για παράδειγμα του ζητηθεί να μην ορίσει λύση για κάποια ιδιαίτερη απαίτηση, αλλά να σχεδιάσει ένα συγκεκριμένο τύπο μηχανής για την εκπλήρωση της εκάστοτε ειδικής ανάγκης. Ο σχεδιαστής μηχανικός πρέπει να εξασφαλίσει ότι η δήλωση του προβλήματος που του παρουσιάζεται είναι όντως η σωστή και πως η συνοπτική του αναφορά δεν είναι έτσι δομημένη και συνταγμένη ώστε να περιορίζεται αυστηρά η κίνηση και ελευθερία των δράσεων του. Υπάρχουν, για παράδειγμα, πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί ένα δοκιμαστικό όχημα να επιταχυνθεί. Η ενέργεια που καταναλώνεται μπορεί να προέρχεται από την ελαστική ενέργεια στερεών ή αερίων, η κινητική ενέργεια από

έναν τροχό, από χημικές αντιδράσεις, από βασικούς κινητήρες ή από γραμμικά επαγωγικούς κινητήρες. Όλα τα παραπάνω έχουν πιθανότητες υλοποίησης και εξαρτώνται από τη μάζα και από την απαιτούμενη επιτάχυνση. Η τοποθέτηση ενός προβλήματος αυτού του τύπου ως «ο σχεδιασμός ενός συστήματος πεπιεσμένου αέρα για την επιτάχυνση ενός δοκιμαστικού οχήματος κατά μήκος οριζόντιας τροχιάς» θα περιορίσει την ελευθερία των ενεργειών του σχεδιαστή, αλλά μπορεί και να έχει την πρόθεση της υπόδειξης ότι οι εναλλακτικοί τρόποι έχουν δοκιμαστεί και κρίθηκαν ανεπαρκείς για κάποιο λόγο. Ο σχεδιαστής μηχανικός πρέπει να κατοχυρώσει την ισχύ των γεγονότων πριν τοποθετήσει σωστά το πρόβλημα.

Η συλλογή των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος μπορεί να είναι μέρος της εργασίας του σχεδιαστή μηχανικού, σε άλλη περίπτωση οφείλει να παρουσιάσει τις απαιτούμενες πληροφορίες σε κάποια προδιαγραφή. Το φάσμα φόρτισης από τις εντάσεις μιας γέφυρας θα χρειαστεί αν η γέφυρα σχεδιαστεί με βάση την επιτρεπόμενη αντοχή και με τον πιο οικονομικό τρόπο. Τέτοιου είδους δεδομένα ίσως είναι διαθέσιμα από προηγούμενες έρευνες ή πρέπει να γίνουν μετρήσεις αντοχής σε ήδη υπάρχουσες γέφυρες [1].

Όταν σχεδιάζεται ένα αεροσκάφος για να συμμετάσχει σε προγραμματισμένα δρομολόγια, πρέπει να συλλεχθεί ένα μεγάλο μέγεθος πληροφοριών πριν διαμορφωθεί σε γενικές γραμμές ένα πλάνο των πιθανών λύσεων. Ένα μέρος αυτών των πληροφοριών είναι πραγματικές, κάποιο στατιστικού χαρακτήρα και ίσως να εξαχθούν συμπερασματικά στο μέλλον, και κάποιο μέρος θα βασίζεται σε κρίσεις και απόψεις. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν πληροφορίες ποσοτήτων όπως το μήκος των διαδρόμων, το ύψος του αεροδρομίου και τα επιτρεπόμενα φορτία των διαδρόμων του αεροδρομίου. Στη δεύτερη κατηγορία είναι τα μεγέθη όπως η καταγραφή του αριθμού των επιβατών και οι μετεωρολογικές προβλέψεις. Την τελευταία κατηγορία συνθέτουν οι εκφράσεις ελπίδας και προσδοκιών από τους ανθρώπους που μπορεί να χρησιμοποιήσουν τον εξοπλισμό, καθώς και γεγονότα αλλά και ανακριβή στοιχεία για την προτίμηση των καταναλωτών. Η ανάγκη για μεγάλα παράθυρα ή καθόλου παράθυρα, η απαίτηση για καθίσματα που κοιτούν μπροστά ή για πίσω καθίσματα, οι προτιμήσεις συγκεκριμένων στυλ και χρωμάτων των επίπλων είναι κάποιοι από τους αστάθμητους παράγοντες που θα χρειαστούν κάποιους συμβιβασμούς και θα περιπλέξουν την διαδικασία λήψης της απόφασης.

Η επικρατέστερη και ορθολογική άποψη είναι ότι κάποιες από τις πληροφορίες πρέπει να παρουσιάζονται εν συντομία στο σχεδιαστή μηχανικό ενώ άλλες πιο λεπτομερώς. Για το λόγο αυτό η σύνταξη των προδιαγραφών θεωρείται ένα σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού και μπορεί να καταστήσει σαφές το γεγονός της επιτυχίας ή της αποτυχίας ενός προϊόντος.

Στο τέλος του δεύτερου σταδίου, ο σχεδιαστής μπορεί να σχηματίσει μια σαφή εικόνα για έναν αριθμό λύσεων, που κάποιες από αυτές θα είναι αναμφίβολες

και κάποιες θα είναι ιδέες που μπορεί να εξελιχθούν και να επιτευχθούν. Οι λύσεις αυτές θα πρέπει να αποτυπωθούν συνολικά σε ένα σχεδιάγραμμα ώστε να κριθούν, να απομακρυνθούν, να επανασχεδιαστούν, να βελτιωθούν ή να απορριφθούν, μέχρι να μπορεί να περιγραφεί ένας αριθμός πιθανών διαδικασιών, που όλες τους θα έχουν την ευκαιρία να επιβιώσουν μέχρι την τελική λύση. Στο σημείο αυτό, μπορεί να κριθεί αναγκαία η απόρριψη κάποιων ευνοούμενων ιδεών που αρχικά φαινόταν πολλά υποσχόμενες αλλά δεν μπορούν να υποστηριχθούν σε κάποια πιο προσεκτική ανάλυση ή για τις οποίες το υπόβαθρο των πληροφοριών δεν επαρκεί. Μπορούν όμως να αποθηκευτούν για μελλοντική χρήση.

Παρόλο που μεγάλο μέρος της εργασίας αυτής αποτελεί πνευματική άσκηση, είναι πολύ σημαντικό ο μηχανικός να μπορεί να καταγράφει τις ιδέες και τις αποφάσεις του, όπως και να τις μεταδίδει στους υπόλοιπους συνεργάτες ξεκάθαρα και αναμφίβολα. Τα σχεδιαγράμματα των μηχανικών είναι ζωτικής σημασίας για το σκοπό αυτό, και η διαθεσιμότητα τέτοιων σχεδίων, αποτυπωμένα σε κλίμακα, προάγει την αξία των πρόχειρων συζητήσεων σε αυτό το στάδιο. Τα σχέδια απαιτούνται επίσης για τον έλεγχο της επιτευξιμότητας διαφορετικών διευθετήσεων και για την εξασφάλιση πλήρως επεξεργασμένων μεγεθών για τους υπολογισμούς που θα επιβεβαιώσουν ή θα τροποποιήσουν μεγέθη που έχουν ήδη υιοθετηθεί. Τα σχέδια και οι υπολογισμοί μπορεί να μην είναι πολύ λεπτομερείς, αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη μέχρι να ελαχιστοποιηθούν οι μη εμφανείς δυσκολίες που μπορεί να εμφανιστούν όταν δημιουργηθεί το τελικό λεπτομερές σχέδιο [1].

Περνώντας στο τέταρτο βήμα, την επιλογή της προτιμώμενης λύσης υπάρχει η επιλογή της πραγματοποίησης του βήματος ατομικά ή από κάποια επιτροπή. Σε κάποιες περιπτώσεις, περισσότερα από ένα σχέδια θα επιλεγθούν για λεπτομερή εξέλιξη ενώ η τελική επιλογή θα γίνει όταν δημιουργηθεί μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της αξίας των φαινομένων. Στο σημείο αυτό εντοπίζεται για μια ακόμη φορά η δοκιμασία της ικανότητας του μηχανικού να μεταδίδει τις ιδέες του στα υπόλοιπα μέλη της ομάδας σχεδιασμού. Συχνά, απαιτείται από τη διεύθυνση να παραδοθεί μια αναφορά του σχεδίου στο οποίο τα αξιοσημείωτα μέρη του επιλεγμένου σχεδίου θα συζητηθούν και ίσως θα συγκριθούν με άλλες εναλλακτικές λύσεις.

Το λειτουργικό μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού τερματίζεται με την συμπλήρωση του λεπτομερούς σχεδίου, αλλά ο σχεδιαστής μηχανικός αναμένεται ακόμη να κρατήσει επαφή με τα προβλήματα και τις επιτεύξεις που θα προκύψουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής ή κατασκευής αλλά και αργότερα όταν το ερευνητικό έργο είναι στην συντήρηση. Το τμήμα του σχεδιασμού δεν μπορεί να ενεργήσει απομονωμένα από τα υπόλοιπα μέρη σε ένα οργανισμό μηχανικών και η σχεδιαστική εργασία πρέπει να εναρμονίζεται στο συνολικό τρόπο δράσεων.

Καθώς τα προϊόντα μέσω της ανάπτυξης της τεχνολογίας γίνονται όλο και πιο περίπλοκα και η διαδικασία σχεδιασμού πιο απαιτητική, αναπτύσσεται μεγάλο

ενδιαφέρον στις λεπτομέρειες του τρόπου που ο κάθε σχεδιαστής μηχανικός θέτει την διαδικασία σχεδιασμού. Ένα μεγάλο εύρος μεθόδων και τεχνικών έχουν ερευνηθεί και μορφοποιηθεί, και οι διαδικασίες έχουν εξελιχθεί προς βοήθεια και έλεγχο για την έρευνα νέων ιδεών και απαντήσεων. Σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες [1], έχουν δοθεί κάποιες περιγραφές των μεθόδων αυτών. Στην προσπάθεια ταξινόμησης διάφορων σχεδιαστικών μεθόδων έχουν αποτυπωθεί τρία στάδια στην διαδικασία σχεδιασμού, η απόκλιση, η τροποποίηση και η σύγκληση.

Η συλλογή νέων δεδομένων και η δημιουργία πιθανών λύσεων απαρτίζουν, στο περίγραμμα της σχεδιαστικής διαδικασίας, το στάδιο της απόκλισης. Στο δεύτερο στάδιο, ο επιδέξιος χειρισμός των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί γίνονται σε γλωσσικό ή μαθηματικό επίπεδο, ή ακόμη η τροποποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω κάποιας άλλης δημιουργικής τεχνικής, που πιθανά να περιλαμβάνει προσομοιωτικές μεθόδους. Στο τελικό στάδιο της σύγκλησης προσεγγίζεται η λεπτομερής μορφή και παρουσίαση της λύσης από τη στιγμή που τα ποικίλα υπο-προβλήματα αποκλειστούν. Τα τρία αυτά στάδια της σχεδιαστικής διαδικασίας συνδέονται με τα βασικά βήματα που προαναφέρθηκαν στην αρχή της ενότητας αυτής.

Ακόμη, σύμφωνα με προηγούμενη βιβλιογραφία [1], υποδεικνύεται πως ο στόχος της τροποποίησης των δεδομένων πρέπει να είναι η αποτύπωση του προβλήματος με τέτοιο τρόπο ώστε κανένα υπο-πρόβλημα να μην βρεθεί στο στάδιο της σύγκλησης των ιδεών για την τελική λύση, για το λόγο ότι αν τα προβλήματα αυτά χρίζουν περαιτέρω κρίσης, υπάρχει η πιθανότητα επανάληψης της διαδικασίας.

Στην συνέχεια θα ακολουθήσει η ανάλυση των μεθόδων που χαρακτηρίζονται ως βασικά μέρη των σταδίων της μελέτης των πιθανών πακέτων ενεργειών και της επιλογής της καταλληλότερης λύσης.

## **2.4 Σύγχρονες μέθοδοι**

### **2.4.1 Θεωρία συστημάτων**

Στις κοινωνικές, οικονομικές και τεχνικές εφαρμογές οι διεργασίες, οι διαδικασίες και οι μέθοδοι της θεωρίας συστημάτων γίνονται εξαιρετικά σημαντικά εργαλεία. Στην επιστήμη της θεωρίας συστημάτων, που περιλαμβάνονται πολλές διαφορετικές αρχές, χρησιμοποιούνται μέθοδοι, διαδικασίες και άλλα βοηθήματα για την ανάλυση, τον προγραμματισμό, την επιλογή και το βέλτιστο σχεδιασμό πολύπλοκων συστημάτων [35-37, 38, 39].

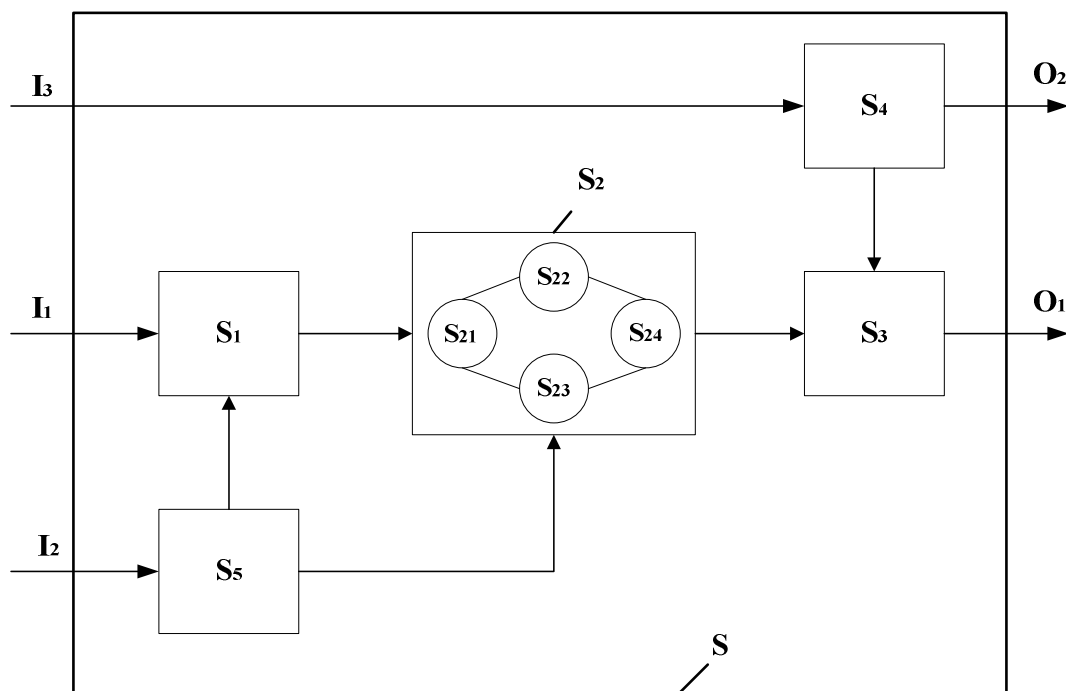
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων των προϊόντων ελαφριάς και βαριάς βιομηχανίας, είναι επιτηδευμένα, τα στατικά καθώς και τα περισσότερα δυναμικά συστήματα που απαρτίζονται από ομάδες διατεταγμένων στοιχείων, αλληλοσχετίζονται από τα προτερήματα των ιδιοτήτων τους. Ένα σύστημα, επίσης, χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι έχει ένα περιοριστικό όριο στο οποίο κόβονται οι δεσμοί του με το περιβάλλον (Σχήμα 2.1). Αυτές οι διασυνδέσεις προσδιορίζουν την εξωτερική συμπεριφορά του συστήματος, έτσι ώστε να είναι πιθανό να οριστεί μια λειτουργία που να εκφράζει τη σύνδεση μεταξύ των εισόδων και των εξόδων, και λόγω των προηγούμενων αλλάζουν τη σπουδαιότητα των μεταβλητών του συστήματος.

Η ιδέα ότι τα τεχνικά χαρακτηριστικά μπορούν να παρουσιαστούν ως συστήματα ήταν ένα μικρό βήμα στην εφαρμογή της θεωρίας των συστημάτων στην διαδικασία του σχεδιασμού. Όσο περισσότερο αποδίδουν οι στόχοι της θεωρίας των συστημάτων στις προσδοκίες τότε είναι καλή η σχεδιαστική μέθοδος. Η προσέγγιση των συστημάτων αντανακλά τη γενική εκτίμηση ότι τα πολύπλοκα προβλήματα διαχειρίζονται καλύτερα με συγκεκριμένα βήματα, καθένα από τα οποία συνεπάγεται την ανάλυση και τη σύνθεση των δεδομένων που το αφορούν.

Στο Σχήμα 2.2 αποτυπώνονται τα βήματα της προσέγγισης των συστημάτων. Το πρώτο από αυτά είναι η συλλογή των πληροφοριών για το υπο εξέταση σύστημα με μέσα τις αναλύσεις της αγοράς, γνώσεις των τάσεων της εποχής ή γνωστές απαιτήσεις. Σε γενικό βαθμό, το βήμα αυτό μπορεί να ονομαστεί ανάλυση του προβλήματος. Ο στόχος εδώ είναι να διατυπωθεί ξεκάθαρα το πρόβλημα (ή τα υπο-προβλήματα) που τίθεται προς λύση και αποτελεί το σημείο εκκίνησης της εξέλιξης του συστήματος. Στο δεύτερο βήμα, ή ίσως και κατά τη διάρκεια του πρώτου, σχεδιάζεται ένα πρόγραμμα ώστε να τυποποιηθεί η έκφραση των στόχων του συστήματος (διατύπωση του προβλήματος). Ο καθορισμός των στόχων εξασφαλίζει σημαντικά κριτήρια για την επακόλουθη αποτίμηση των πιθανών λύσεων και την μετέπειτα επιλογή της τελικής βέλτιστης λύσης. Διάφορες πιθανές λύσεις εν συνεχεία συνθέτονται στη βάση των επίκτητων πληροφοριών κατά τη διάρκεια των δυο βημάτων.

Πριν αποτιμηθούν αυτές οι διαφορετικές επιλύσεις, η απόδοση της καθεμίας πρέπει να αναλυθεί όσο αφορά τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά της. Στην αποτίμηση που ακολουθεί, η απόδοση της κάθε λύσης συγκρίνεται με τους αρχικούς στόχους, και σε αυτή τη βάση λαμβάνεται η απόφαση της επιλογής της βέλτιστης λύσης. Τελικά, δίνονται πληροφορίες στη μορφή συστήματος για τις υλοποιήσεις των πλάνων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2, τα βήματα δεν οδηγούν πάντα κατευθείαν στον τελικό στόχο, για το λόγο αυτό μπορεί να χρειαστούν οι επαναληπτικές διαδικασίες. Τα δομημένα βήματα αποφάσεων διευκολύνουν την διεργασία βελτιστοποίησης, που αποτελεί μια τροποποίηση των πληροφοριών.



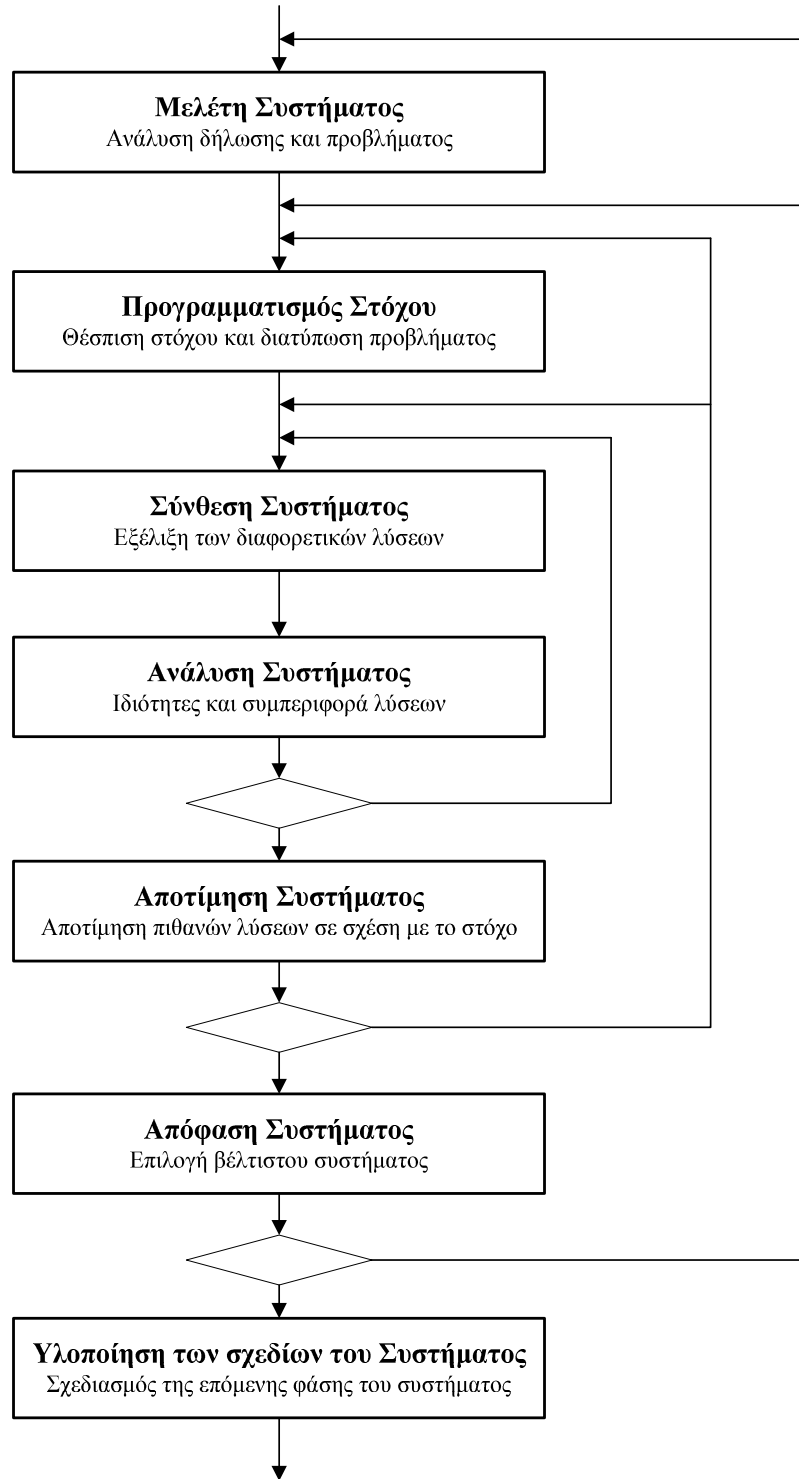


**Σχήμα 2.1:** Απεικόνιση της δομής ενός συστήματος  $S$ : όρια συστήματος,  $S_1$ - $S_5$ : υποσυστήματα του  $S$ ,  $S_{21}$ - $S_{24}$ : υποσυστήματα ή στοιχεία του  $S_2$ ,  $I_1$ - $I_3$ : είσοδοι,  $O_1$ - $O_2$ : έξοδοι

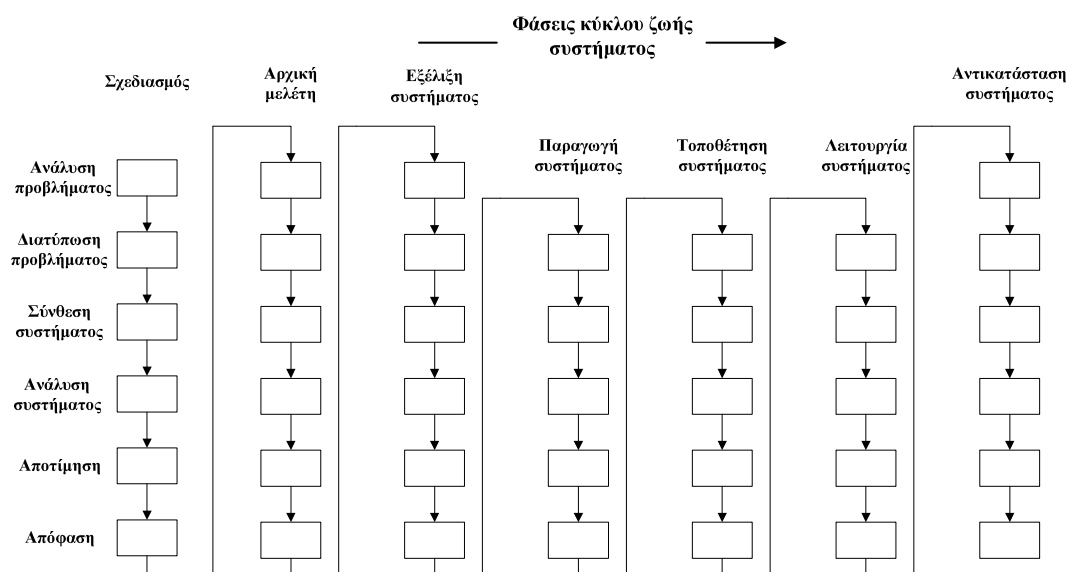
Στο μοντέλο της διαδικασίας της θεωρίας συστημάτων [38, 40], τα βήματα επαναλαμβάνονται στις φάσεις του κύκλου ζωής, όπως αποκαλούνται, του συστήματος στο οποίο η χρονολογική πρόοδος του συστήματος οδηγείται από σύντομη σε διαρκείας (Σχήμα 2.3).

### 2.4.2 Ανάλυση αποτίμησης

Ο κύριος στόχος της ανάλυσης αποτίμησης, όπως περιγράφεται στο DIN 69910 [41, 42, 43, 44], είναι η μείωση του κόστους. Σύμφωνα με τη λογική αυτή, προτείνεται μια συνολική συστηματική προσέγγιση που είναι εφαρμόσιμη, και στην πράξη, για την μελλοντική εξέλιξη των ήδη υπαρχόντων προϊόντων. Στον Πίνακα 2.1 αποτυπώνονται τα βασικά βήματα εργασίας της ανάλυσης αποτίμησης. Γενικά, η αρχή γίνεται με ένα ήδη υπάρχον σχέδιο, το οποίο αναλύεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τα κόστη. Οι ιδέες επίλυσης προτείνονται στη συνέχεια για να συναντήσουν τους στόχους.



Σχήμα 2.2: Τα βήματα της προσέγγισης των συστημάτων



Σχήμα 2.3: Μοντέλο της προσέγγισης των συστημάτων [38, 40]

Λόγω της έμφασης που δίνεται στις λειτουργίες και στη βηματική αναζήτηση για καλύτερες λύσεις, η ανάλυση αποτίμησης έχει πολλά κοινά στοιχεία με το συστηματικό σχεδιασμό.

Διάφορες μέθοδοι είναι διαθέσιμες για την εκτίμηση του κόστους και την αποτίμηση της ταξινόμησης του κόστους, ενώ και η ομαδική εργασία καθίσταται απαραίτητη. Η σωστή επικοινωνία του προσωπικού στις πωλήσεις, στην αγορά, το σχεδιασμό, την παραγωγή και την απαλοιφή του κόστους (που αποτελεί η ομάδα της ανάλυσης αποτίμησης) βεβαιώνει μια ολιστική αξιολόγηση των απαιτήσεων, του ενσωματωμένου σχεδιασμού, της επιλογής υλικών, των διεργασιών παραγωγής, των απαιτήσεων αποθήκευσης και των επιπέδων του μάρκετινγκ.

Μια ακόμη σημαντική πτυχή είναι η διαίρεση της συνολικής απαιτούμενης λειτουργίας σε υπο-λειτουργίες έτσι ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα σύμφωνα με την κατανομή τους στους φορείς των λειτουργιών (συναρμολογήσεις και ξεχωριστά τμήματα). Τα κόστη εκπλήρωσης όλων των λειτουργιών και της συνολικής λειτουργίας μπορεί να εκτιμηθεί από τα κόστη που αναλογούν σε κάθε τμήμα. Τέτοιου είδους λειτουργικά κόστη μπορούν να εξασφαλίσουν τη βάση αποτίμησης των ιδεών και των ενσωματωμένων παραλλαγών. Ο στόχος είναι η μείωση αυτών των λειτουργικών κοστών και όπου είναι δυνατό η απαλοιφή των λειτουργιών που δεν κρίνονται απαραίτητες.

Έχει προταθεί στο παρελθόν ότι η εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης αποτίμησης δεν πρέπει να παραμερίζεται μέχρι τη στιγμή που το συνολικό σχέδιο και τα λεπτομερή σχέδια τελειώσουν, αλλά θα πρέπει να ξεκινά κατά τη διάρκεια θεμελιώδους σχεδιασμού, έτσι ώστε «να σχεδιαστεί» η αξία της εργασίας. Με αυτό

τον τρόπο, η ανάλυση αποτίμησης προσεγγίζει τους στόχους του συστηματικού σχεδιασμού.

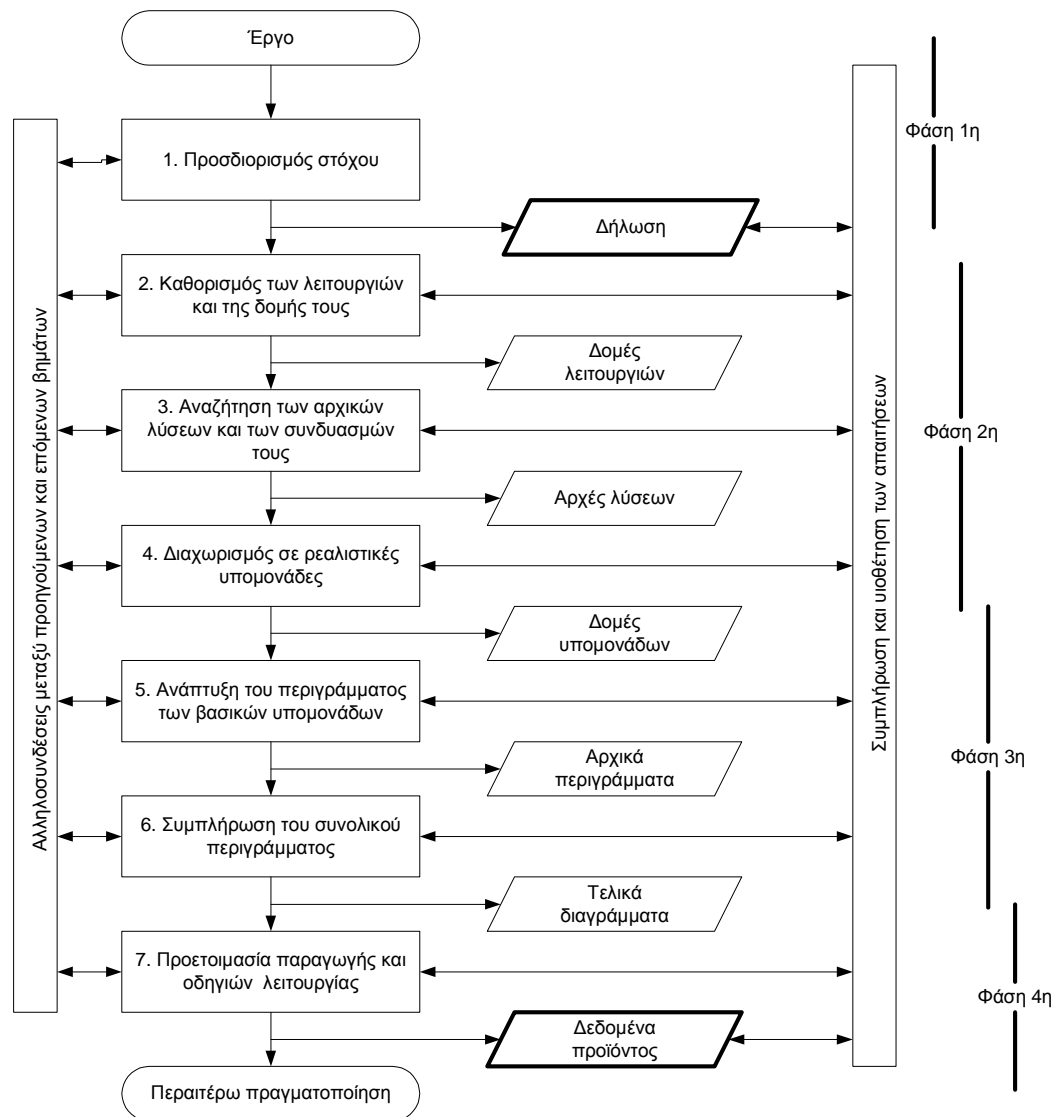
**Πίνακας 2.1:** Βασικά βήματα εργασίας της Ανάλυσης Αποτίμησης

<p><b>Προετοιμασία έργου</b> Ομάδα συνάντησης Προσδιορισμός σκοπού της Ανάλυσης Αποτίμησης (Value Analysis) Καθορισμός οργάνωσης και διαδικασίας</p> <p><b>Ανάλυση της παρούσας κατάστασης</b> Αναγνώριση λειτουργιών Καθορισμός κόστους λειτουργιών</p> <p><b>Καθορισμός στόχου</b> Καθορισμός λειτουργιών στόχου Αναγνώριση προστιθέμενων απαιτήσεων Εναρμόνιση κόστους στόχου με τις λειτουργίες</p>	<p><b>Εξέλιξη ιδεών λύσεων</b> Συλλογή υπαρχόντων ιδεών Αναζήτηση νέων ιδεών</p> <p><b>Καθορισμός λύσεων</b> Αποτίμηση ιδεών Ανάπτυξη ιδεών σε λύσεις Αποτίμηση και απόφαση των λύσεων</p> <p><b>Αναγνώριση λύσεων</b> Λεπτομερής ανάλυση επιλεγμένων λύσεων Σχεδιασμός υλοποίησης λύσεων</p>
---	---

### 2.4.3 Μέθοδοι σχεδιασμού

Η οδηγία VDI 2222 [45, 46] ορίζει μια συνολική προσέγγιση αλλά και ξεχωριστές μεθόδους για το θεμελιώδη σχεδιασμό τεχνικών προϊόντων και επομένως είναι κατάλληλη για την εξέλιξη νέων προϊόντων. Η πιο πρόσφατη οδηγία VDI 2221[47, 48] προτείνει μια γενική προσέγγιση του σχεδιασμού τεχνικών συστημάτων και προϊόντων, δίνοντας έμφαση στη γενική δυνατότητα εφαρμογής της προσέγγισης στα πεδία της μηχανολογίας, ακρίβειας, ελέγχου, λογισμικού και διεργασιών της επιστήμης των μηχανικών. Η προσέγγιση (Σχήμα 2.4) περιλαμβάνει πέντε βασικά βήματα εργασίας που συνάδουν με τις θεμελιώδεις αρχές των τεχνικών συστημάτων και των στρατηγικών των εταιριών παραγωγής. Και οι δύο οδηγίες έχουν αναπτυχθεί από την Επιτροπή VDI περιλαμβάνοντας ανώτερους σχεδιαστές της παραγωγής αλλά και πολλούς από τους προαναφερθέντες στην ιστορική αναδρομή θεωρητικούς του σχεδιασμού από την πρώην Δυτική Γερμανία. Επειδή ο στόχος είναι μια γενικότερη δυνατότητα εφαρμογής, η διαδικασία του σχεδιασμού έχει δομηθεί περιγραμματακά, ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε προϊόν και από κάθε εταιρία. Το Σχήμα 2.4 ορίζεται ως η κατευθυντήρια γραμμή στην οποία λεπτομερείς διαδικασίες εργασίας μπορούν να εκχωρηθούν. Επιπρόσθετη έμφαση δίνεται στην αλληλεπιδραστική φύση της προσέγγισης και η συνέχεια των βημάτων δεν πρέπει να θεωρείται αυστηρή. Κάποια από τα βήματα μπορεί να παραλειφθούν ενώ άλλα να επαναληφθούν συχνά. Η ευκαμψία βρίσκεται σε συνάρτηση με την πρακτική εμπειρία του σχεδιασμού και

αποτελεί πολύ σημαντικό γεγονός για την εφαρμογή όλων των σχεδιαστικών μεθόδων.



Σχήμα 2.4: Γενική προσέγγιση του σχεδιασμού [48]

Οι έμπειροι σχεδιαστές της παραγωγής και οι θεωρητικοί του σχεδιασμού που συνεργάστηκαν για την ανάπτυξη αυτών των οδηγιών VDI, συχνά παρουσιάζονται από διαφορετικές σχολές σκέψης και νοοτροπίας ή έχουν εξελίξει τις δικές τους μεθόδους σχεδιασμού.

## **2.5 Σύνοψη και συμπεράσματα**

Στα πλαίσια των δραστηριοτήτων των μηχανικών σημαντικό μέρος λαμβάνει και ο σχεδιασμός. Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκε μια γενικότερη προσέγγιση του σχεδιασμού, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκαν κάποιες από τις κύριες μεθόδους που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία του σχεδιασμού. Σύμφωνα με την ιστορική αναδρομή που πραγματοποιήθηκε, αποτυπώνεται η εξέλιξη του σχεδιασμού σε διάφορες χρονικές περιόδους αλλά και τα αναλλοίωτα βασικά χαρακτηριστικά που τον διέπουν. Ενώ γίνεται και η εισαγωγή στον συστηματικό σχεδιασμό όπως και αναλύεται στο κεφάλαιο.

Στη συνέχεια, θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση ενός αλληλένδετου μέρους του σχεδιασμού της επιστήμης του μηχανικού που είναι ο βιομηχανικός σχεδιασμός. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά του βιομηχανικού σχεδιασμού αλλά και ο σημαντικός ρόλος της επιλογής των υλικών σε αυτόν. Μέσω της ενοποίησης του καλού τεχνικού σχεδιασμού ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα, της κατάλληλης θεώρησης των αναγκών του χρήστη στο σχεδιασμό αλληλεπίδρασης και του επινοητικού βιομηχανικού σχεδιασμού επιτυγχάνεται ο βέλτιστος σχεδιασμός προϊόντων.

## 2.6 Βιβλιογραφία

- [1] John Stephenson, *Senior Lecturer in Mechanical Engineering, The University of Auckland*, and R. A. Callander, *Associate of Civil Engineering, The University of Auckland*, Engineering Design, John Wiley & Sons Australasia PTY LTD 1974, ISBN 0471 82210 8
- [2] N.N.: Leonardo da Vinci. Das Lebensbild eines Genies. Wiesbaden: Vollmer 1955, 493–505
- [3] Redtenbacher, F.: Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus. Mannheim: Bassermann 1852, 257–290
- [4] Reuleaux, F.; Moll, C.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Braunschweig: Vieweg 185
- [5] Bach, C.: Die Maschinenelemente. Stuttgart: Arnold Bergsträsser Verlagsbuchhandlung, 1. Aufl. 1880, 12. Aufl. 1920
- [6] Franke, H.-J.; Lux, S.: Internet-basierte Angebotserstellung für komplexe Produkte. Konstruktion 52 (2000) H. 5, 24–26
- [7] Gausemeier, J.; Ebbesmeyer, P.; Kallmeyer, F.: Produktinnovation. Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen, München, Wien: Hanser
- [8] Laudien, K.: Maschinenelemente. Leipzig: Dr. Max Junecke Verlagsbuchhandlung 1931
- [9] Erkens, A.: Beiträge zur Konstruktionserziehung. Z. VDI 72 (1928) 17–21
- [10] Wögerbauer, H.: Die Technik des Konstruierens. 2. Aufl. München: Oldenbourg 1943
- [11] Franke, R.: Vom Aufbau der Getriebe. Düsseldorf: VDI-Verlag 1948/1951
- [12] Rodenacker, W.G.: Methodisches Konstruieren. Konstruktionsbücher, Bd. 27. Berlin: Springer 1970, 2. Aufl. 1976, 3. Aufl. 1984, 4. Aufl. 1991
- [13] VDI-Fachgruppe Konstruktion (ADKI): Engpass Konstruktion. Konstruktion 19 (1967) 192–195
- [14] Kesselring, F.: Die starke Konstruktion. VDI-Z. 86 (1942) 321–330, 749–752
- [15] Kesselring, F.: Technische Kompositionslehre. Berlin: Springer 1954
- [16] Kesselring, F.: Bewertung von Konstruktionen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1951
- [17] VDI-Richtlinie 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag 1977, Blatt 3: 1990, Blatt 4: 1994
- [18] Tschochner, H.: Konstruieren und Gestalten. Essen: Girardet 1954
- [19] Niemann, G.: Maschinenelemente, Bd. 1. Berlin: Springer 1. Aufl. 1950, 2. Aufl. 1965, 3. Aufl. 1975 (unter Mitwirkung von M. Hirt)

- [20] Matousek, R.: Konstruktionslehre des allgemeinen Maschinenbaus. Berlin: Springer 1957 Reprint
- [21] Leyer, A.: Maschinenkonstruktionslehre. Hefte 1–6 technica-Reihe. Basel: Birkhäuser 1963–1971
- [22] Bischoff, W.; Hansen, F.: Rationelles Konstruieren. Konstruktionsbücher Bd. 5. Berlin: VEBVerlagTechnik 1953
- [23] Bock, A.: Konstruktionssystematik – die Methode der ordnenden Gesichtspunkte. Feingerätetechnik 4 (1955)
- [24] Hansen, F.: Konstruktionssystematik. Berlin: VEB-Verlag Technik 1956
- [25] Hansen, F.: Konstruktionssystematik, 2. Aufl. Berlin: VEB-Verlag Technik 1965
- [26] Hansen, F.: Konstruktionswissenschaft – Grundlagen und Methoden. München: Hanser 1974
- [27] Müller, J.: Grundlagen der systematischen Heuristik. Schriften zur soz. Wirtschaftsführung. Berlin: Dietz 1970
- [28] Müller, J.: Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften – Systematik, Heuristik, Kreativität. Berlin: Springer 1990
- [29] Müller, J.: Probleme schöpferischer Ingenieurarbeit. Manuskriptdruck TH Karl-Marx-Stadt 1984
- [30] Müller, J.; Koch, P. (Hrsg.): Programmbibliothek zur systematischen Heuristik für Naturwissenschaften und Ingenieure. Techn.wiss. Abhandlungen des Zentralinstituts für Schweißtechnik Nr. 97–99. Halle 1973
- [31] Rodenacker, W.G.: Neue Gedanken zur Konstruktionsmethodik. Konstruktion 43 (1991) 330–334
- [32] Rodenacker, W.G.; Claussen, U.: Regeln des Methodischen Konstruierens. Mainz: Krausskopf 1973/74
- [33] Wächtler, R.: Die Dynamik des Entwickelns (Konstruierens). Feinwerktechnik 73 (1969) 329–333
- [34] Wächtler, R.: Beitrag zur Theorie des Entwickelns (Konstruierens). Feinwerktechnik 71 (1967) 353–358
- [35] Beitz, W.: Design Science – The Need for a Scientific Basis for Engineering Design Methodology. Journal of Engineering Design 5 (1994), Nr. 2, 129–133
- [36] Beitz, W.: Systemtechnik im Ingenieurbereich. VDI-Berichte Nr. 174. Düsseldorf: VDI-Verlag 1971 (mit weiteren Literaturhinweisen)
- [37] Beitz, W.: Systemtechnik in der Konstruktion. DIN-Mitteilungen 49 (1970) 295–302
- [38] Björnemo, R.: Evaluation and Decision Techniques in the Engineering Design Process – In Practice. Proceedings of ICED 91, Schriftenreihe WDK 20. Zürich: HEURISTA 1991



- [39] Büchel, A.: Systems Engineering: Industrielle Organisation 38 (1969) 373–385
- [40] Franke, H.-J.: Der Lebenszyklus technischer Produkte. VDI-Berichte Nr. 512. Düsseldorf: VDI-Verlag 1984
- [41] DIN 69910:Wertanalyse, Begriffe, Methode. Berlin Beuth
- [42] Gierse, F.J.: Funktionen und Funktionen-Strukturen, zentrale Werkzeuge der Wertanalyse. VDI Berichte Nr. 849, Düsseldorf: VDI-Verlag 1990
- [43] VDI-Richtlinie 2801. Blatt 1–3:Wertanalyse. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993
- [44] VDI-Richtlinie 2803 (Entwurf): Funktionenanalyse – Grundlage und Methode. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Produktgestaltung 1995
- [45] VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1: Konzipieren technischer Produkte: Düsseldorf: VDI-Verlag (Entwurf) 1973, überarbeitete Fassung: 1977. Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Düsseldorf: VDI-EKV 1996
- [46] VDI-Richtlinie 2222 Blatt 2: Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982
- [47] VDI: Anforderungen an Konstruktions- und Entwicklungsingenieure – Empfehlungen der VDI-Gesellschaft Entwicklung – Konstruktion – Vertrieb (VDI-EKV) zur Ausbildung. Jahrbuch 92. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992
- [48] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993
- [49] Proceedings of ICED 1981–1995 (ed. by V. Hubka and others), Schriftenreihe WDK7, 10, 12, 13, 16, 18, 19, 20, 22, 23. Zürich: HEURISTA 1981–1995

## Κεφάλαιο 3

# Υλικά και βιομηχανικός σχεδιασμός

### ***Περιεχόμενα***

---

3.1 Εισαγωγή .....	42
3.2 Η πυραμίδα των απαιτήσεων.....	43
3.3 Ο χαρακτήρας των προϊόντων.....	45
3.4 Η χρήση των υλικών και των διεργασιών για τη δημιουργία της προσωπικότητας των προϊόντων.....	48
3.4.1 Υλικά και αισθήσεις: αισθητικά χαρακτηριστικά.....	48
3.4.2 Υλικά και πνεύμα: συσχετισμοί και αντίληψη.....	53
3.4.3 Μελέτες περιπτώσεων.....	56
3.5 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	60
3.6 Βιβλιογραφία.....	61

### **3.1 Εισαγωγή**

Ο καλός σχεδιασμός είναι αποτελεσματικός. Ο έξοχος σχεδιασμός προσφέρει και ευχαρίστηση. Η ευχαρίστηση προέρχεται από τη μορφή, το χρώμα, τη συνολική δομή, την αίσθηση και τους συνειρμούς που όλα τα παραπάνω προκαλούν. Ο «ευχάριστος» σχεδιασμός αναδεικνύει το προϊόν, ακόμη σε γενικές γραμμές οι ειλικρινείς παρουσιάσεις είναι περισσότερο ικανοποιητικές από την ψευδαίσθηση, ωστόσο τα εκκεντρικά ή τα χιουμοριστικά σχεδιασμένα προϊόντα θεωρούνται ευχάριστα.

Τα υλικά είναι στο επίκεντρο και κατέχουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό. Ένας μείζων λόγος για την εισαγωγή νέων υλικών είναι η μεγαλύτερη ελευθερία που προσφέρουν στο σχεδιασμό. Τα μέταλλα, στον προηγούμενο αιώνα, επέτρεψαν την κατασκευή δομών που δεν μπορούσαν να κατασκευαστούν πριν- με το χυτοσίδηρο κατασκευάστηκε στο Κρυστάλλινο Παλάτι (Crystal Palace), με το σφυρήλατο σίδηρο ο πύργος του Άιφελ, με το σφυρήλατο χάλυβα η γέφυρα της Χρυσής Πύλης (Golden Gate Bridge), όλα αδιαμφισβήτητης ομορφιάς. Τα πολυμερή έχουν προσδώσει στα προϊόντα ζωηρά χρώματα, ικανοποιητικές δομές και μεγάλη ελευθερία στη μορφή. Με τη χρήση των πολυμερών, δημιουργήθηκαν νέες τάσεις στον σχεδιασμό, ενώ μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα εμφανίζονται στον τομέα των συσκευών οικιακής χρήσης- εξοπλισμός κουζίνας, ραδιόφωνο και συσκευές αναπαραγωγής οπτικών δίσκων (CD-players), στεγνωτήρας μαλλιών, τηλέφωνα και ηλεκτρικές σκούπες που κάνουν εκτεταμένη και εφευρετική χρήση υλικών ώστε να επιτραπεί στον τρόπο σχεδίασης, στο βάρος, την αίσθηση και τη μορφή να είναι απολαυστικά. Όσοι εμπλέκονται σε αυτή την καλαίσθητη διάσταση της επιστήμης του μηχανικού αποκαλούνται, μάλλον συγχυσμένα, «βιομηχανικοί σχεδιαστές». Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται μερικές από τις ιδέες στις οποίες βασίζεται ο βιομηχανικός σχεδιασμός, ενώ δίνεται έμφαση στο ρόλο των υλικών. Ακόμα, αναλύονται κάποιες μελέτες περίπτωσης αλλά αρχικά πραγματοποιείται μια γενικότερη αναφορά για το βιομηχανικό σχεδιασμό [1].

Μια από τις μεθόδους επιλογής υλικών και διεργασιών που είναι ευρέως διαδεδομένη είναι η συστημική προσέγγιση. «Συστημική» με απλούς όρους σημαίνει πως αν ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία από δύο άτομα θα καταλήξουν στο ίδιο αποτέλεσμα καθώς και ότι το αποτέλεσμα αυτό αν η διαδικασία επαναληφθεί τον επόμενο χρόνο θα είναι το ίδιο. Ο βιομηχανικός σχεδιασμός με αυτή την έννοια δεν είναι συστημικός. Η επιτυχία του βιομηχανικού σχεδιασμού περιλαμβάνει και αισθητικότητα στη μόδα, το αγοραστικό κοινό και το εκπαιδευτικό υπόβαθρο, ενώ

επηρεάζεται και από τις διαφημίσεις και τους συνεταιρισμούς μεταξύ των επιχειρήσεων.

## 3.2 Η πυραμίδα των απαιτήσεων

Μια πένα γενικής χρήσεως, που χρησιμοποιούν οι φοιτητές για παράδειγμα, κοστίζει 3€ (Σχήμα 3.1, πρώτο δείγμα). Υπάρχουν όμως και πένες που κοστίζουν πάνω από 1000€ (Σχήμα 3.1, τελευταίο δείγμα). Είναι άγνωστο αν γράφουν 200 φορές καλύτερα από τον πρώτο τύπο πένας, ενώ θεωρείται καθαρά θέμα του αγοραστή η ποιότητα γραφής. Υπάρχει όμως το πεδίο της αγοράς για ακριβές πένες και εδώ θα εξεταστεί ο λόγος.

Κάθε προϊόν έχει ένα *κόστος*-το σύνολο των δαπανών για την κατασκευή του και το *μάρκετινγκ*. Έχει και μία *τιμή*-η αποτίμηση στην οποία προσφέρεται στον καταναλωτή. Επιπρόσθετα έχει και μια *αξία*-μια εκτίμηση με βάση κάποια κριτήρια που θεωρεί ο καταναλωτής ότι αξίζει. Όσο αφορά τις ακριβές πένες, η τιμή που κοστίζουν υποστηρίζεται από τους αγοραστές, σύμφωνα με την αξία που αυτοί αντιλαμβάνονται. Πρέπει όμως να αναλυθεί ποιο είναι το στοιχείο που προσδιορίζει την αξία ενός προϊόντος.



**Σχήμα 3.1:** Η πυραμίδα των απαιτήσεων. Το κάτω μέρος της πυραμίδας καλείται τεχνικό, ενώ το πάνω βιομηχανικό, δίνοντας την έννοια ότι είναι ξεχωριστές δραστηριότητες υπό την γενική όμως έννοια του σχεδιασμού προϊόντων [1]

Σημαντικό ρόλο παίζει η *λειτουργικότητα*, που εξασφαλίζεται από τον βασικό τεχνικό σχεδιασμό. Είναι η βάση της πυραμίδας των απαιτήσεων για ένα προϊόν, που θα πρέπει να δουλεύει σωστά, να είναι ασφαλές και οικονομικό. Η λειτουργικότητα μόνη της δεν είναι αρκετή, πρέπει το προϊόν να είναι εύκολο στην κατανόηση και την λειτουργία, και αυτά είναι τα ερωτήματα της *χρηστικότητας*, που είναι η δεύτερη βαθμίδα της πυραμίδας. Η τρίτη βαθμίδα που συμπληρώνει την πυραμίδα είναι η

απαίτηση να προσφέρει το προϊόν *ικανοποίηση*: να εμπλουτίζει τη ζωή του ιδιοκτήτη του.



**Σχήμα 3.2:** Πένες, οικονομικές και ακριβές. Το επιλεγμένο κάθε φορά υλικό δημιουργεί την αισθητική του προϊόντος και την αντίληψη που δημιουργεί στον καταναλωτή

Η αξία ενός προϊόντος είναι η μέτρηση του βαθμού που συναντά ή υπερβαίνει τις προσδοκίες του καταναλωτή και στους τρεις τομείς-λειτουργικότητα, χρηστικότητα και ικανοποίηση. Έτσι διαμορφώνεται ο «χαρακτήρας» του προϊόντος. Είναι σαν έναν ανθρώπινο χαρακτήρα. Ένας αξιοθαύμαστος χαρακτήρας θεωρείται αυτός που λειτουργεί αποδοτικά, αλληλεπιδρά αποτελεσματικά και είναι ικανοποιητική συντροφιά. Αντίθετα, ένας απεχθής χαρακτήρας είναι εκείνος που πραγματοποιεί κάποια πράγματα με τόσο άσχημο τρόπο που προκαλεί αποκρουστικότητα [2].

Με τον ίδιο τρόπο λειτουργούν και τα προϊόντα. Όλες οι πένες στο Σχήμα 3.1 λειτουργούν σωστά και είναι εύκολες στη χρήση. Η τεράστια διαφορά στην τιμή υποδηλώνει πως τα δύο τελευταία δείγματα προσφέρουν έναν βαθμό ικανοποίησης που δεν προσφέρεται από τα υπόλοιπα. Η πιο προφανής διαφορά μεταξύ των πενών είναι αυτή στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους-το πρώτο ζευγάρι αποτελείται από ακριλικό υλικό που υπόκειται σε χύτευση, ενώ το δεύτερο ζευγάρι από χρυσό, άργυρο και αδαμαντίνη. Το ακριλικό είναι το υλικό από το οποίο αποτελείται και η οδοντόβουρτσα, που έπειτα από την χρήση πετιέται. Ο χρυσός και ο άργυρος είναι υλικά από τα οποία δημιουργούνται πολύτιμα κοσμήματα, ενώ έχουν σχέση και με την επιδεξιότητα του τεχνίτη και περνούν ως κειμήλια από τη μία γενιά στην επόμενη. Αυτό αποτελεί το ένα μέρος της διαφοράς μεταξύ των δύο τύπων πένες, αλλά υπάρχουν και περισσότερα. Υπολείπεται να αναλυθεί πως δημιουργείται ο χαρακτήρας ενός προϊόντος.

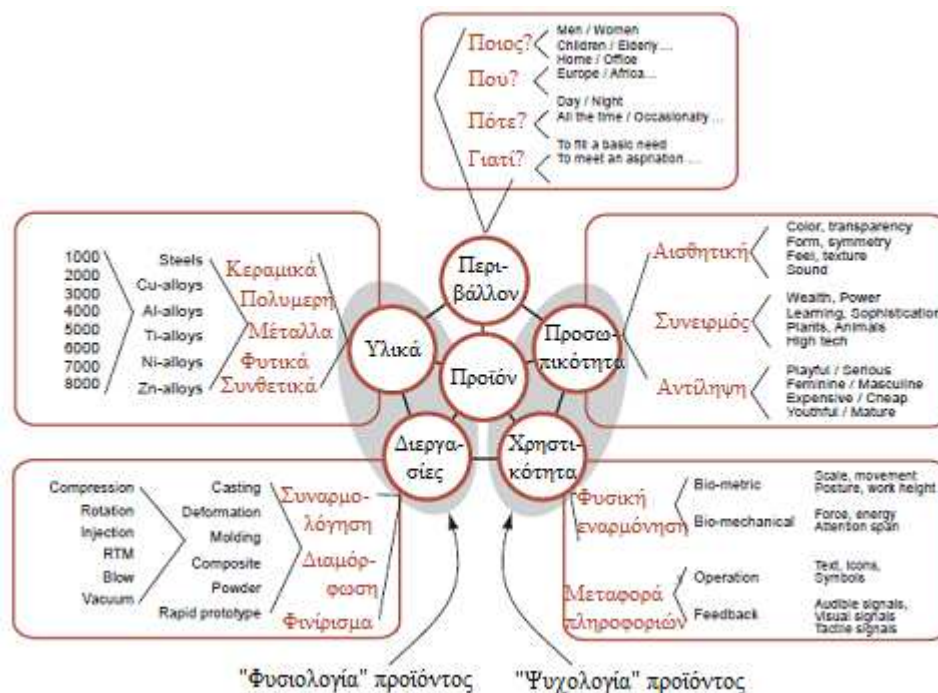
### 3.3 Ο χαρακτήρας των προϊόντων

Το Σχήμα 3.3 απεικονίζει τον τρόπο που αναλύεται ανατομικά ο χαρακτήρας των προϊόντων. Θα λειτουργήσει ως χάρτης για τις ιδέες που πρόκειται να εξεταστούν παρακάτω. Όπως σε κάθε χάρτη υπάρχουν πολλές διαδρομές και ο κάθε χρήστης πρέπει να βρει το δρόμο που θα ακολουθήσει. Στο κέντρο δίνονται πληροφορίες για το προϊόν: οι βασικές σχεδιαστικές απαιτήσεις, η λειτουργία του και τα χαρακτηριστικά. Ο τρόπος με τον οποίο αυτά συνδέονται και εξελίσσονται ακολουθείται από το *περιβάλλον*, που φαίνεται στον κύκλο πάνω από το προϊόν. Το περιβάλλον δομείται από τις απαντήσεις των ερωτήσεων: *Ποιος; Που; Πότε; Γιατί;* Η απάντηση στην πρώτη ερώτηση δίνεται από το σχεδιαστή, που όταν ερευνά, για παράδειγμα, να δημιουργήσει ένα προϊόν που απευθύνεται στο γυναικείο κοινό θα κάνει επιλογές που διαφέρουν από εκείνες για ένα προϊόν που θα προτεινόταν σε παιδιά, ηλικιωμένους ανθρώπους ή σε αθλητές. Η απάντηση στην ερώτηση «που;», τεκμηριώνεται με την δήλωση, ότι όταν ένα προϊόν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο σπιτικό των αγοραστών απαιτεί διαφορετική επιλογή υλικών και μορφή από αυτό που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα σχολείο ή σε ένα νοσοκομείο. Η απάντηση στο «πότε» ασχολείται με τη χρήση του προϊόντος, όταν το προϊόν προορίζεται για περιστασιακή χρήση σχεδιάζεται με διαφορετικό τρόπο από ότι ένα άλλο που θα χρησιμοποιείται πάντα, ένα άλλο που θα χρησιμοποιηθεί σε επίσημες περιστάσεις διαφέρει από αυτό που θα έχει χρήση σε ανεπίσημες ή καθημερινές περιστάσεις. Το ερώτημα «γιατί;» απαντάται με τον ισχυρισμό πως όταν ένα προϊόν είναι πρωταρχικά λειτουργικό περικλείει διαφορετικές αποφάσεις όσο αφορά το σχεδιασμό του από ένα άλλο που αποτελεί σε μεγάλο βαθμό μία δήλωση πολυτέλειας. Το περιβάλλον επηρεάζει και θέτει υπό όρους όλες τις αποφάσεις που λαμβάνονται από το σχεδιαστή για την εύρεση μιας λύσης. Θέτει τη «διάθεση».

Αριστερά του προϊόντος βρίσκονται οι πληροφορίες για τα υλικά και τις διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την διαμόρφωση, τη σύνθεση και την τελειοποίηση του. Σε κάθε ομάδα υλικών και διεργασιών εικονοποιείται η εκάστοτε βάση δεδομένων κάποιου λογισμικού επιλογής υλικών και διεργασιών (π.χ. CES EduPack 2008, Granta που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία), από την οποία γίνονται οι επιλογές. Η εκλογή αυτή, θεωρείται επιτακτική για να εξασφαλιστεί η λειτουργικότητα του προϊόντος. Το υλικό και η κατεργασία δίνουν στο προϊόν την χειροπιαστή μορφή του, «τη σάρκα και τα οστά», δημιουργούν δηλαδή τη *φυσιολογία του προϊόντος*.

Στο δεξί μέρος του Σχήματος 3.3 υπάρχουν δύο ακόμη πακέτα πληροφοριών. Εκείνο που βρίσκεται χαμηλότερα-η χρησιμότητα-χαρακτηρίζει τον τρόπο που το

προϊόν επικοινωνεί με το χρήστη: τις αλληλεπιδράσεις με τις αισθητηριακές, γνωστικές και τις κινητήριες λειτουργίες.



Σχήμα 3.3: Ανάλυση του χαρακτήρα του προϊόντος [1]

Η επιτυχία ενός προϊόντος απαιτεί μια αρχή λειτουργίας που, στο μέτρο του δυνατού, θα είναι διαισθητική, και δεν απαιτεί επαχθή προσπάθεια, καθώς και μια διασύνδεση που θα μεταδίδει την κατάσταση του προϊόντος και την ανταπόκριση όσο αφορά τη λειτουργία του χρήστη μέσω ορατής, ακουστικής ή αισθητής ανταπόκρισης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της αποτυχίας μεγάλου αριθμού προϊόντων σε αυτό τον τομέα ενώ με την αποτυχία αυτή αποκλείονται πολλοί ενδεχόμενοι χρήστες. Σήμερα, υπάρχει η σχετική ενημερότητα της προηγούμενα αναφερθείσας κατάστασης, που αναπτύσσει την έρευνα στον *περιεκτικό σχεδιασμό*: σχεδιασμό για προϊόντα που προσφέρουν τη δυνατότητα χρήσης σε μεγαλύτερο εύρος του πληθυσμού.

Στον κύκλο του Σχήματος 3.3 παραμένει η περιγραφή της προσωπικότητας. Η προσωπικότητα ενός προϊόντος απορρέει από την *αισθητική, τους συνειρμούς και την αντίληψη*.

Η κακή αισθητική αδρανεύει τις αισθήσεις. Η καλή αισθητική λειτουργεί ακριβώς αντίθετα, αναζωογονεί τις πέντε αισθήσεις: όραση, ακοή, αφή, γεύση, όσφρηση και μέσω αυτών τον εγκέφαλο. Η πρώτη γραμμή του πλαισίου της προσωπικότητας εκπονείται ως εξής: οι κατασκευαστές ενδιαφέρονται για το χρώμα, τη μορφή, τη βασική δομή, την αίσθηση, την όσφρηση και τον ήχο. Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα είναι το άρωμα που οσφραίνεται σε ένα καινούριο αυτοκίνητο και τον

ήχο όταν κλείνει η πόρτα, που δεν γίνονται τυχαία αλλά οι κατασκευαστές δαπανούν εκατομμύρια για την επίτευξη τους.

Ένα προϊόν προσφέρει και συνειρμούς στο χρήστη, όπως φαίνεται στη δεύτερη γραμμή του πλαισίου. Οι συνειρμοί ορίζονται ως τα πράγματα που φέρνουν στη μνήμη τα προϊόντα, αυτά που προκαλούν. Τα αυτοκίνητα όπως το Land Rover και άλλα τύπου SUV έχουν τη μορφή και συνήθως μιμούνται τα χρώματα των στρατιωτικών οχημάτων. Οι αεροδυναμικές γραμμές των αμερικάνικων αυτοκινήτων των δεκαετιών 1960 και 1970 είχαν συνειρμικές επιδράσεις από την αεροδιαστημική. Μπορεί να θεωρείται ατύχημα που το μοντέλο της VW Beetle είχε μορφή που θύμιζε το ομώνυμο έντομο, όμως όλα τα υπόλοιπα δεν ήταν ατυχείς επιλογές. Ήταν επιτηδευμένη επιλογή του σχεδιαστή ώστε να ελκύσει το συγκεκριμένο κοινό των καταναλωτών (απάντηση στο ερώτημα *ποιος;*) που στόχευε το προϊόν.

Τελικά, θα αναλυθεί η πιο αφηρημένη ποιότητα της προσωπικότητας ενός προϊόντος, η αντίληψη. Η αντίληψη ορίζεται ως το σύνολο των αντιδράσεων που επιφέρει το προϊόν σε έναν παρατηρητή, δηλαδή ο τρόπος που τον κάνει να αισθάνεται. Στο σημείο αυτό και με βάση τα παραπάνω, προκύπτουν πολλές διαφωνίες. Η αίσθηση που αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής για ένα προϊόν αλλάζει με το χρόνο, ενώ εξαρτάται και από την κουλτούρα και το υπόβαθρο του καθενός. Στο τελικό, βέβαια, στάδιο η διαίσθηση/ αντίληψη είναι η κινητήρια δύναμη για τον καταναλωτή, όταν διαλέγει ανάμεσα σε ένα μεγάλο πλήθος παρόμοιων προϊόντων, να προτιμήσει κάποιο από τα υπόλοιπα. Η διαίσθηση/ αντίληψη δημιουργεί το αίσθημα του «πρέπει να το αποκτήσω». Στον Πίνακα 3.1 καταγράφονται κάποια στοιχεία διαίσθησης/ αντίληψης και τα αντίθετα τους, ώστε να γίνει πιο κατανοητός ο όρος της. Αντλήθηκαν από κριτικές προϊόντων και από περιοδικά που ειδικεύονται στο σχεδιασμό προϊόντων, ακόμη αποτελούν μέρος ενός λεξιλογίου που χρησιμοποιείται για την μετάδοση των απόψεων για το χαρακτήρα των προϊόντων.

**Πίνακας 3.1:** Αντιλαμβανόμενα χαρακτηριστικά προϊόντων, με τα αντίθετα τους [1]

Συνειρμοί/Αντιλήψεις (με τα αντίθετα τους)	
Επιθετικό-Παθητικό	Υπερβολικός-Περιορισμένος
Φθινό-Ακριβό	Θηλυκός-Αρρενωπός
Κλασσικό-Μοντέρνο	Τυπικός-Ανεπίσημος
Ψυχρά αποστασιοποιημένος-Φιλικός	Χειροποίητος-Μαζικά παραγόμενος
Έξυπνο-Ανόητος	Αξιόπιστος-Παραπλανητικός
Συνήθης-Αποκλειστικός	Πνευματώδης-Σοβαρός
Κοσμημένος-Απλός	Ανεπίσημος-Επίσημος
Εκλεπτυσμένος-Ακανόνιστος	Εκνευριστικός-Αξιαγάπητος
Απορριπτέος-Διαρκής	Διαρκής-Απορριπτέος
Αδιάφορος-Ερωτικός	Ωριμος-Νεανικός
Κομπός-Αδέξιος	Νοσταλγικός-Φουτουριστικός



### **3.4 Η χρήση των υλικών και των διεργασιών για τη δημιουργία της προσωπικότητας των προϊόντων**

Το ερώτημα αν τα υλικά, χωρίς επεξεργασία, έχουν προσωπικότητα είναι μέρος ενός τρόπου σκέψης που ως κεντρική θεωρία τοποθετείται η άποψη ότι τα υλικά πρέπει να χρησιμοποιούνται «αξιόπιστα». Με την παραπάνω δήλωση εννοείται πως η εξαπάτηση και η απόκρυψη όσο αφορά τη χρήση των υλικών είναι ανεπιθύμητες ενέργειες-κάθε υλικό πρέπει να χρησιμοποιείται με τέτοιους τρόπους ώστε να εκτίθενται οι πραγματικές και εσωτερικές του ποιότητες/ιδιότητες και η φυσική του εμφάνιση. Η λογική αυτή έχει τις ρίζες της στην παράδοση της επιδεξιότητας-η χρήση του πηλού και των υαλωδών επιστρώσεων από τον αγγειοπλάστη, η χρήση της ξυλείας από τον ξυλουργό, οι ικανότητες των αργυροχόων και των δημιουργών των υαλικών στη χειροποίητη κατασκευή πανέμορφων αντικειμένων που αναδεικνύουν τις μοναδικές ιδιότητες των υλικών με τα οποία εργάζονται, αποδίδουν την ακεραιότητα τους στην επιδεξιότητα και τα υλικά.

Η παραπάνω θεώρηση είναι αξιόσηβαστη αλλά δεν είναι η μόνη που επικρατεί. Η σχεδιαστική τιμότητα είναι μια ποιότητα που εκτιμάται από τους καταναλωτές, όμως οι καταναλωτές εκτιμούν και άλλες ιδιότητες όπως το χιούμορ στο σχεδιασμό, την αρμονία, την έκπληξη, την πρόκληση ακόμα και την αιφνίδια διαταραχή των συναισθημάτων. Πρέπει να είναι πολύ ικανός ο σχεδιαστής για να δημιουργήσει ένα προϊόν που θα χαρακτηρίζεται έστω και από μια από τις προαναφερθείσες ιδιότητες, ενώ συνήθως επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας υλικά με τρόπους που παραπλανούν. Τα πολυμερή συχνά χρησιμοποιούνται κατά αυτό τον τρόπο, εφόσον η προσαρμοστικότητα τους προκαλεί αυτή τη χρήση. Ενώ όπως θα αναμενόταν, είναι εν μέρει ένα καθοριστικό ερώτημα αν θεωρείται χαρακτηριστικό γνώρισμα των πολυμερών η ικανότητα τους να μιμούνται άλλα υλικά, τότε η χρήση τους με αυτό τον τρόπο θεωρείται αξιόπιστη.

#### **3.4.1 Υλικά και αισθήσεις: αισθητικά χαρακτηριστικά**

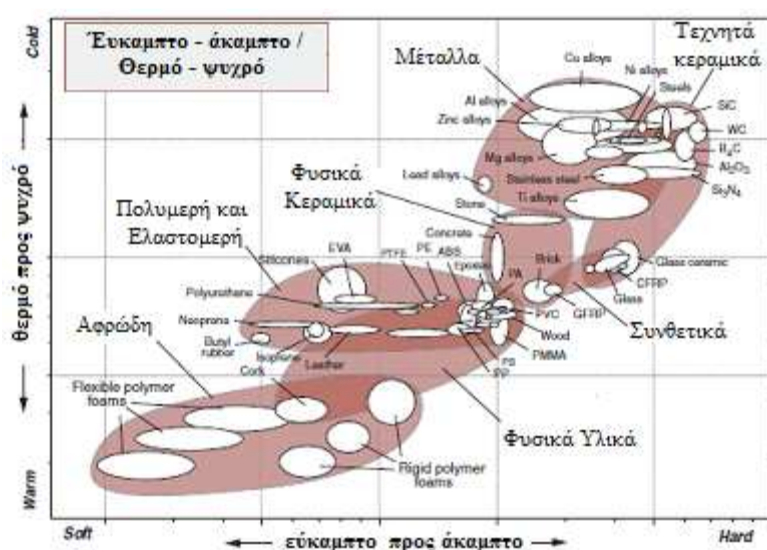
Αισθητικά χαρακτηριστικά θεωρούνται εκείνα που σχετίζονται με τις αισθήσεις: την αφή, την όραση, την ακοή, τη γεύση και την όσφρηση (Πίνακας 3.2). Αποτελεί γενική εικόνα ότι τα μέταλλα για παράδειγμα έχουν την αίσθηση του «ψυχρού», ότι ο φελλός έχει την αίσθηση του «θερμού», ότι ένα ποτήρι κρασιού σε

μια πρόποση θα «αντηχήσει», ότι ένα κύπελλο από κασσίτερο ακούγεται «αδιάφορα», ακόμη και «άψυχα». Ένα ποτήρι νερού κατασκευασμένο από πολυστυρένιο μπορεί να φαίνεται δυσδιάκριτο από ένα ίδιο κατασκευασμένο από γυαλί, αλλά αν το σηκώσει κανείς νιώθει τη διαφορά στο βάρος, το πλαστικό ποτήρι είναι ελαφρύτερο, πιο ζεστό, λιγότερο άκαμπτο και με ένα ελαφρύ χτύπημα δεν έχουν τον ίδιο ήχο. Η εντύπωση που αφήνει είναι τελείως διαφορετική από αυτή του γυαλιού που σε ένα ακριβό και καθωσπρέπει εστιατόριο θα ήταν ανεπίτρεπτη η χρήση του. Έτσι, καταληκτικά, τα υλικά προσδιορίζονται από αισθητικά χαρακτηριστικά. Εν συνεχεία, θα γίνει μια προσπάθεια ανάλυσης των χαρακτηριστικών αυτών.

*Αφή: εύκαμπτο-άκαμπτο/θερμό-ψυχρό.* Ο χάλυβας όπως και το γυαλί είναι σκληρά υλικά και το διαμάντι είναι πιο σκληρό και από τα δυο. Τα άκαμπτα υλικά δεν χαράζονται εύκολα, αλλά αντιθέτως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την χάραξη άλλων υλικών. Γενικά επιδέχονται ισχυρό λουστράρισμα, έχουν αντοχή στη φθορά και χαρακτηρίζονται ως διαρκή/στέρεα. Η εντύπωση ότι ένα υλικό είναι άκαμπτο συνδέεται άμεσα με δείκτη σκληρότητας του Vickers  $H$ . Η παρακάτω ανάλυση αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ενός αισθητηριακού χαρακτηριστικού που σχετίζεται άμεσα με ένα τεχνικό [1].

Ο χαρακτηρισμός «εύκαμπτο» θεωρείται ως το αντίθετο του «άκαμπτου» αλλά σχετίζεται πολύ περισσότερο με το συντελεστή ελαστικότητας  $E$  παρά με το συντελεστή σκληρότητας  $H$ . Ένα εύκαμπτο υλικό αποκλίνει όταν κάποιος το μεταχειρίζεται και δίνει την αίσθηση ότι είναι πολύ μαλακό αλλά επιστρέφει στην αρχική του μορφή όταν απελευθερώνεται. Τα ελαστομερή (π.χ. σβηστήρες) έχουν μαλακή αίσθηση όπως και τα αφρώδη πολυμερή. Και οι δυο τύποι υλικών έχουν συντελεστή ελαστικότητας  $E$  100 με 10,000 χαμηλότερο από τα συνήθη «σκληρά» στερεά υλικά, και αυτό είναι που τα κάνει να έχουν μαλακή αίσθηση. Στον ένα άξονα του Σχήματος 3.4 χρησιμοποιείται η διαβάθμιση εύκαμπτο προς άκαμπτο και ως μέτρο γίνεται χρήση της ποσότητας  $\sqrt{EH}$ .

Ένα υλικό δίνει την αίσθηση του «ψυχρού» στην αφή αν άγει τη θερμότητα μακριά από το δάχτυλο γρήγορα, σε αντίθετη κατάσταση το υλικό θεωρείται «θερμό». Η διαδικασία σχετίζεται εν μέρει με το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  αλλά υπάρχουν και πολλά ακόμη όπως ένας συγκεκριμένος βαθμός θερμότητας  $C_p$ . Ένα μέτρο για την αντιλαμβανόμενη ψυχρότητα ή την θερμότητα ενός υλικού ορίζεται η ποσότητα  $\sqrt{\lambda C_p \rho}$ , που φαίνεται στον κάθετο άξονα του Σχήματος 3.4 και απεικονίζει τις απτές ιδιότητες των υλικών. Τα αφρώδη πολυμερή και η χαμηλής πυκνότητας ξυλεία είναι θερμά και εύκαμπτα, όπως και το μπάλσα και ο φελλός. Τα κεραμικά υλικά και τα μέταλλα είναι ψυχρά και άκαμπτα, όπως και το γυαλί. Ενώ τα πολυμερή και τα συνθετικά υλικά βρίσκονται κάπου στο ενδιάμεσο.

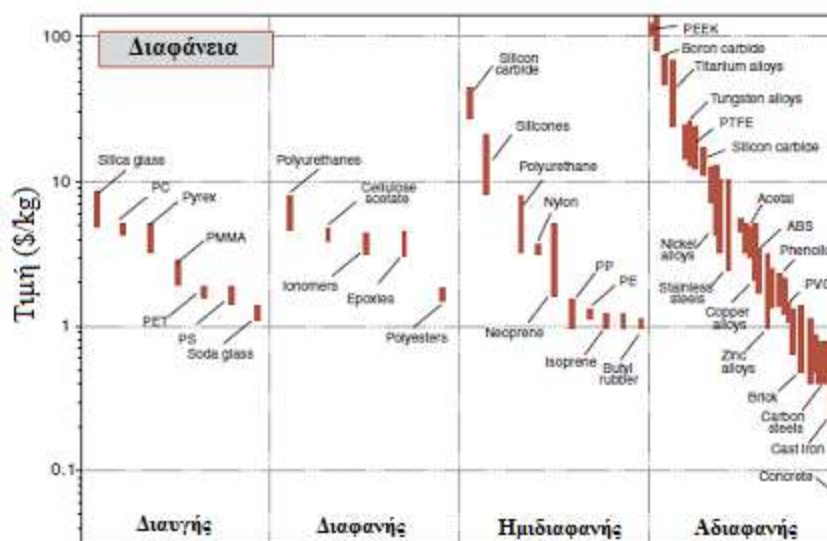


Σχήμα 3.4: Αισθητές ποιότητες των υλικών [1]

*Οραση: διαφάνεια, χρώμα, αντανακλαστικότητα.* Τα μέταλλα είναι αδιαφανή. Το μεγαλύτερο ποσοστό των κεραμικών, λόγω του γεγονότος ότι είναι πολυκρυσταλλικά και οι κρύσταλλοι διαχέουν το φως, είναι είτε αδιαφανή ή διαφανή. Τα γυαλιά και κάποια μονοκρυσταλλικά κεραμικά είναι διαφανή. Τα πολυμερή έχουν την μεγαλύτερη ποικιλία στην οπτική διαφάνεια, με διακύμανση από διαφανή σε τελείως αδιαφανή. Η διαφάνεια συνήθως περιγράφεται με μια τεσσάρων επιπέδων διαβάθμιση/κλίμακα ενώ χρησιμοποιούνται καθημερινές έννοιες: «αδιαφανής», «ημιδιαφανής», «διαφανής» και «διαυγής». Στο Σχήμα 3.5 απεικονίζεται η κατάταξη των υλικών με κριτήριο τη διαφάνεια τους. Με σκοπό την ανάλυση των δεδομένων από μια χρήσιμη σκοπιά, αποτυπώνεται γραφικά σε συνάρτηση με το κόστος. Τα φθηνότερα υλικά που προσφέρουν οπτική διαφάνεια υψηλής ποιότητας («διαύγιανερού») είναι το γυαλί και τα πολυμερή PS, PET και PMMA. Τα συγκολλητικά υλικά (epoxies) είναι διαφανή, αλλά όχι διαυγή. Τα νάιλον υλικά είναι στην καλύτερη δυνατή περίπτωση ημιδιάφανη. Όλα τα μέταλλα, τα περισσότερα κεραμικά και τα πολυμερή με ποσοστά συμπλήρωσης άνθρακα ή τα ενισχυμένα είναι αδιαφανή.

Η έννοια του χρώματος μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω της ανάλυσης του φάσματος, αλλά από την πλευρά του σχεδιασμού δεν είναι αποδοτική. Μια πιο αποτελεσματική μέθοδος είναι αυτή της εναρμόνισης των χρωμάτων, χρησιμοποιώντας διαγράμματα χρωμάτων όπως αυτά που εξασφαλίζονται από την Pantone. Από τη στιγμή που θα επιτευχθεί η εναρμόνιση, μπορεί να περιγραφεί μέσω ενός κωδικού που κατέχει κάθε χρώμα. Τέλος, υπάρχει και η αντανακλαστικότητα, ένα χαρακτηριστικό που εξαρτάται μερικώς από το υλικό και μερικώς από την κατάσταση της επιφάνειάς του. Όπως και η διαφάνεια, συνήθως περιγράφεται από

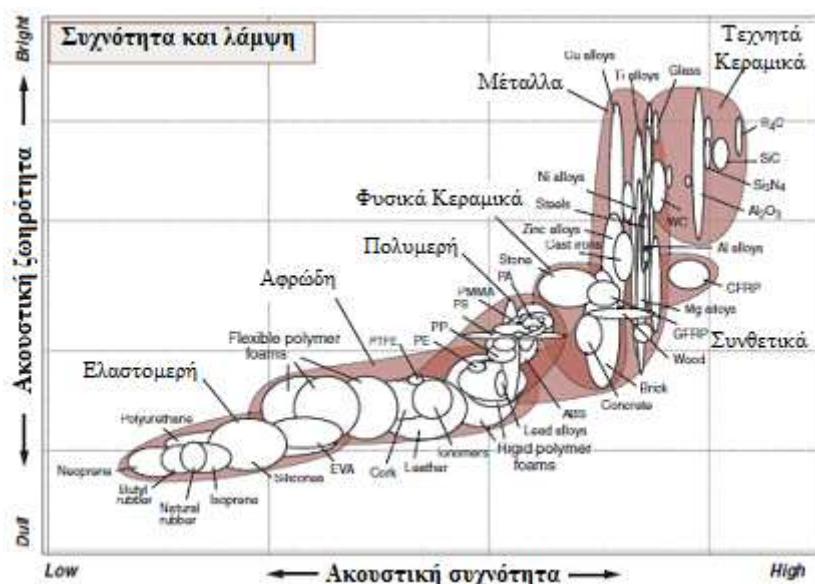
μια κλίμακα επιπέδων: «ματ», «επιφάνεια λεπτού υμένιου (eggshell)», «ημι-επιφανειακό λούστρο», «επιφανειακό λούστρο» και «κάτοπτρο».



**Σχήμα 3.5:** Στο διάγραμμα αυτό η διαφάνεια σε τέσσερα στάδια, από την πλήρη διαύγεια μέχρι την αδιαφάνεια [1]

*Ακοή: συχνότητα και ζωηρότητα.* Η συχνότητα του ήχου (pitch) που εκπέμπεται όταν ένα αντικείμενο ηχεί συνδέεται με τις ιδιότητες των υλικών που το απαρτίζουν. Το μέτρο της συχνότητας ορίζεται ως  $\sqrt{E/\rho}$ , και χρησιμοποιείται ως ο οριζόντιος άξονας στο Σχήμα 3.6. Η συχνότητα όμως δεν είναι η μοναδική πτυχή που αφορά την ακουστική απόκριση, η άλλη πτυχή συνδέεται με την απόσβεση του πλάτους ταλάντωσης ή με το συντελεστή απόσβεσης,  $\eta$ . Ένα ηχομονωμένο υλικό ακούγεται αδιάφορα και απωθητικά, δηλαδή κάποιο με πολύ χαμηλή αντήχηση. Η ακουστική ζωηρότητα, το αντίθετο της απόσβεσης του πλάτους ταλάντωσης, χρησιμοποιείται ως κάθετος άξονας του Σχήματος 3.6. Ομαδοποιεί τα υλικά που έχουν παρόμοια ακουστική συμπεριφορά.

Όσο αφορά τον μπρούτζο, το γυαλί και τους δακτυλίους από χάλυβα όταν ηχούν, σε μια συγκριτική κλίμακα, ο ήχος που εκπέμπουν έχει υψηλή συχνότητα. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κουδουνιών και καμπανών, όπως και το αλουμίνιο που στην ίδια κλίμακα έχει παρεμφερείς ιδιότητες. Τα ελαστικά, τα αφρώδη και πολλά άλλα πολυμερή ηχούν αδιάφορα, και όμοια με τα μέταλλα, εκπέμπουν σε χαμηλές συχνότητες. Χρησιμοποιούνται για ηχητική απόσβεση πλάτους ταλάντωσης. Επίσης, ο μόλυβδος ακούγεται αδιάφορα και θεωρείται χαμηλών συχνοτήτων, ενώ χρησιμοποιείται ως υλικό για στρώματα ηχητικής μόνωσης σε κτίρια.



Σχήμα 3.6: Ακουστικές ιδιότητες των υλικών [1]

Τα τρία Σχήματα 3.4,3.5,3.6, αποτυπώνουν ότι κάθε κλάση υλικών έχει ένα συγκεκριμένο και αναγνωρίσιμο αισθητικό χαρακτήρα. Τα κεραμικά είναι άκαμπτα, ψυχρά, υψηλών συχνοτήτων και ακουστικά ζωηρά. Τα μέταλλα, επίσης, είναι σχετικά άκαμπτα και ψυχρά, με κάποια όπως ο μπρούτζος να αντηχούν όταν προσκρούουν με κάποιο άλλο αντικείμενο, ενώ άλλα όπως ο μόλυβδος είναι αδιάφορα σε θέματα ακουστικής ζωηρότητας. Τα πολυμερή και τα αφρώδη μοιάζουν περισσότερο στις ιδιότητες των φυσικών υλικών, είναι θερμά, εύκαμπτα, χαμηλών συχνοτήτων και καταπνίγουν τον ήχο, με κάποια όμως να έχουν αξιοσημείωτη οπτική διαύγεια ενώ τα περισσότερα μπορούν να χρωματιστούν. Βέβαια, η χαμηλή τους σκληρότητα υπονοεί ότι μπορούν να χαραχθούν εύκολα και να χάσουν την επιφανειακή τους γυαλάδα.

Αυτές οι ιδιότητες των υλικών συμβάλουν στην δημιουργία της προσωπικότητας των προϊόντων. Το εκάστοτε προϊόν αποκτά κάποια από τα χαρακτηριστικά των υλικών από τα οποία κατασκευάζεται, μια επίπτωση που αναγνωρίζεται από τους σχεδιαστές και χρησιμοποιείται και επιζητείται για την δημιουργία της προσωπικότητας του. Ένα πρόσωπο ανοξείδωτου χάλυβα, είτε εφαρμοστεί σε ένα αυτοκίνητο είτε σε ένα σύστημα ήχου, έχει διαφορετική προσωπικότητα από εκείνο ενός στιλβωμένου ξύλου ή κάποιου δέρματος, και αυτό συμβαίνει γιατί το προϊόν έχει αποκτήσει κάποια από τα αισθητικά χαρακτηριστικά του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο.

### 3.4.2 Υλικά και πνεύμα: συσχετισμοί και αντίληψη

Εν συνεχεία, ένα υλικό έχει σίγουρα αισθητικές ιδιότητες, αλλά δεν μπορεί να ειπωθεί το ίδιο συγκεκριμένα ότι έχει και προσωπικότητα. Με μια πρώτη προσέγγιση κάποιος θα απαντούσε «όχι», αποκτά μόνο αν χρησιμοποιηθεί σε ένα προϊόν. Όπως το παράδειγμα ενός ηθοποιού, που μπορεί να αξιώσει πολλές προσωπικότητες ανάλογα με τον ρόλο που θα του ζητηθεί να ερμηνεύσει. Η ξυλεία σε εκλεπτυσμένα έπιπλα απαιτεί επιδεξιότητα, αλλά αντίθετα σε ένα κουτί αποθήκευσης αντικειμένων απαιτεί φθηνή χρησιμότητα. Το γυαλί στους φακούς μιας φωτογραφικής μηχανής σχετίζεται με τη μηχανική ακρίβεια, αλλά σε ένα μπουκάλι εμφιάλωσης μύρας σχετίζεται με την εύκολη εναπόθεση του. Ακόμη και ο χρυσός, που είναι συνδυασμένος με την εξουσία και την ευμάρεια, έχει διαφορετικούς συσχετισμούς όταν για παράδειγμα χρησιμοποιείται σε μικροκυκλώματα, αυτούς της τεχνικής λειτουργικότητας.

Το αντικείμενο του Σχήματος 3.7 προκαλεί το δικό του μελαγχολικό συνειρμό. Φαίνεται να είναι κατασκευασμένο από λουστραρισμένο σκληρό ξύλο, το παραδοσιακό υλικό από το οποίο κατασκευάζονται τα φέρετρα. Αν έπρεπε κάποιος να διαλέξει ένα, δεν θα είχε κάποια αποστροφή προς το συγκεκριμένο του Σχήματος 3.7, αποτελεί ένα τυπικό παράδειγμα. Αλλά αν κάποιος άλλος πρότεινε ένα που θα ήταν κατασκευασμένο από πλαστικό δεν θα ήταν ίδιο το αίσθημα του καταναλωτή. Η χρήση του πλαστικού παραπέμπει σε κουτί αποθήκευσης, κάδο απορριμμάτων που είναι ανάρμοστο για την συγκεκριμένη περίπτωση. Έτσι, φαίνεται πως τα υλικά έχουν προσωπικότητα.



Σχήμα 3.7: Προϊόν φτιαγμένο από ξύλο

*Έκφραση μέσω των υλικών.* Το ξύλο είναι ένα φυσικό υλικό με χαρακτηριστική ποιότητα, δομή επιφάνειας, μορφή, χρώμα και αίσθηση που δεν έχει κανένα άλλο υλικό. Θεωρείται απτό, ακόμη έχει διακριθεί πιο θερμό μεταξύ πολλών άλλων υλικών και κατά τα φαινόμενα πιο απαλό. Είναι συσχετισμένο με χαρακτηριστικό ήχο και μυρωδιά. Βέβαια, έχει και παράδοση αφού συνδέεται άμεσα με την επιδεξιότητα. Κανένα ξύλινο κομμάτι δεν είναι ακριβώς το ίδιο, ο ξυλουργός

διαλέγει το κομμάτι πάνω στο οποίο θα δουλέψει για την ποιότητα και τη μορφή του. Το ξύλο εμπλουτίζει την αξία ενός προϊόντος, όπως στα αυτοκίνητα, το εσωτερικό των φθηνών αυτοκινήτων είναι πλαστικό, ενώ των ακριβών είναι από φρεζαρισμένο ξύλο καρυδιάς και δέρμα από μοσχάρι. Ακόμη παλαιώνεται καλά, αποκτώντας επιπρόσθετο χαρακτήρα με το χρόνο. Τα ξύλινα αντικείμενα εκτιμούνται πιο υψηλά όταν παλαιώσουν παρά όταν είναι καινούρια. Υπάρχει κάτι παραπάνω από απλή αισθητική, είναι η διαδικασία δημιουργίας της προσωπικότητας από το σχεδιαστή.

Τα μέταλλα είναι ψυχρά, καθαρά και ακριβή. Ηχούν με την πρόσκρουση τους σε άλλο αντικείμενο και αντανακλούν το φως, ειδικά αν είναι λουστραρισμένα. Θεωρούνται αποδεχθέντα και άξια εμπιστοσύνης όσο αφορά την απόδοση τους: τα επεξεργασμένα μέταλλα φαίνονται δυνατά και η ίδια τους η φύση υπονοεί ότι είναι μηχανικά επεξεργασμένα. Είναι συνδεδεμένα με την δύναμη, την αξιοπιστία και την διάρκεια. Η αντοχή των μετάλλων επιτρέπει τη δημιουργία των φαινομενικά αδύνατων κατασκευών, όπως τις κατασκευές των χώρων των σταθμών των σιδηροδρομικών σταθμών και των τόξων των γεφυρών. Μπορούν να επεξεργαστούν σε καλούπια σε ρευστή μορφή όπως μια περίπλοκη αλυσίδα ή να χυτευτούν σε στέρεα καλούπια με περίτεχνες και πολύπλοκες λεπτομέρειες. Η ιστορία του ανθρώπου και των μετάλλων συνδέονται, καθώς οι ονομασίες «εποχή του χαλκού» και «εποχή του σιδήρου» δείχνουν πόσο σημαντικά ήταν τα μέταλλα αυτά στη ζωή του ανθρώπου. Παράλληλα, οι ιδιότητες τους είναι τόσο δηκτικά ορισμένες που έχουν μετατραπεί σε εκφράσεις που χαρακτηρίζουν κάποιες ανθρώπινες ιδιότητες-σιδερένια θέληση, ασημένια (κρυστάλλινη) φωνή, χρυσό άγγιγμα ή μολυβένιο ύφος (μουντό). Όπως και το ξύλο, έτσι και τα μέταλλα παλαιώνουν ωραία, αποκτώντας μια πατίνα (σκουριά) που τα κάνει πιο ελκυστικά από ότι όταν είναι καινούρια και λουστραρισμένα, όπως τα μπρούτζινα αγάλματα ή τη ζεστασιά που εκπέμπει ο κασσίτερος.

Τα κεραμικά και τα γυαλιά έχουν εξαιρετικά μεγάλη παράδοση. Παραδείγματα αποτελούν η Ελληνική κεραμοποιία και η Ρωμαϊκή παρασκευή γυαλικών. Η αποδοχή σχεδόν κάθε χρώματος μαζί με την πλήρη αντίσταση τους στο χάραγμα, την απόξεση, τον αποχρωματισμό και τη διάβρωση τους προσδίδουν την αποδεδειγμένη αθανασία τους που απειλείται μόνο από την ευθραυστότητα τους. Στο παρελθόν υπήρξαν τα βασικά υλικά των βιομηχανιών που βασίζονταν στη δεξιοτεχνία, παραδείγματα τέτοιων εταιριών είναι: τα γυαλιά της Βενετίας, οι πορσελάνες Μάισεν, η κεραμοποιία Wedgwood που εκτιμούνται πολύ παραπάνω από τις κατασκευές από άργυρο. Ακόμη, μπορούν να δημιουργηθούν ανθεκτικές και λειτουργικές κατασκευές, όπως οι φιάλες μπίρας. Η διαφάνεια του γυαλιού, του προσδίδει μια εφήμερη ποιότητα, κάποιες φορές είναι εμφανής κάποιες άλλες όχι. Αλληλεπιδρά με το φως, το μεταδίδει, το διαθλά και το αντανακλά. Τα κεραμικά

σήμερα, έχουν και επιπρόσθετες συσχετίσεις με την προοδευμένη τεχνολογία (αιχμής?), όπως οι επιφάνειες των κουζινών, οι υψηλής πίεσης ή θερμοκρασίας βαλβίδες, οι διαστημικοί μηχανισμοί νημάτων. Τα κεραμικά και τα γυαλιά θεωρούνται υλικά για ακραίες συνθήκες.

Όσο αφορά τα πολυμερή, παλαιότερα κυριαρχούσε η άποψη ότι είναι μια «φθηνή, πλαστική απομίμηση» και είναι πολύ σκληρή φήμη για να ξεπεραστεί. Προέρχεται από την αρχική χρήση των πλαστικών για την προσομοίωση του χρώματος και της επιφανειακής λάμψης των Γιαπωνέζικων χειροποίητων κεραμικών που ήταν πολύ προσφιλή στην Ευρώπη. Τα εμπορεύσιμα πολυμερή είναι φθηνά. Βάφονται και υπόκεινται σε χύτευση εύκολα, αυτός είναι και ο λόγος που αποκαλούνται ευρέως «πλαστικά», και με τον τρόπο αυτό γίνεται εύκολη η απομίμηση. Αντίθετα με τα κεραμικά, το επιφανειακό τους λούστρο χαράσσεται εύκολα και τα χρώματα τους ξεθωριάζουν, δεν παλαιώνουν ωραία. Έτσι, γίνεται κατανοητό το γεγονός της κακής τους φήμης. Δεν είναι βέβαιο όμως το γεγονός της κρίσης των πολυμερών ως χειρότερα υλικά. Καμία άλλη κλάση υλικών δεν προσλαμβάνει τόσες μορφές και χαρακτήρες όπως τα πολυμερή: έγχρωμα δείχνουν σαν κεραμικά, αν τυπωθούν μπορούν να δείξουν σαν ξύλο ή σαν ύφασμα, ενώ με τη δημιουργία μεταλλικών κραμάτων δείχνουν ακριβώς όπως τα μέταλλα. Μπορούν να γίνουν διαφανή όπως το γυαλί ή αδιαφανή όπως ο μόλυβδος, τόσο εύκαμπτα όσο ένα ελαστικό ή τόσο ανθεκτικά, όταν ενισχύονται, όσο το αλουμίνιο. Τα πλαστικά εξομοιώνουν πολύτιμους λίθους των κοσμημάτων, το γυαλί στα ποτήρια και στις υαλοκατασκευές, το ξύλο στις επιφάνειες κατασκευών, το βελούδο και τις γούνες στην ένδυση, ακόμη και το γρασίδι. Παρά την προσαρμοστική συμπεριφορά τους έχουν και κάποια συγκεκριμένη προσωπικότητα, δίνουν την αίσθηση του θερμού, πολύ περισσότερο από το γυαλί και τα μέταλλα. Η προσαρμοστικότητα τους αποτελεί μέρος του ιδιαίτερου χαρακτήρα τους, ακόμη έχει δημιουργηθεί η τάση να υποστηρίζουν τα πολυμερή χρωματικά έντονο, ευχάριστο και χιουμοριστικό σχεδιασμό. Όμως, η πολύ χαμηλή τιμή τους δημιουργεί προβλήματα όσο και πλεονεκτήματα, παράδειγμα προς αποφυγή αποτελούν πολλοί δρόμοι, επαρχιακές περιοχές και ποτάμια που υπάρχουν απορριφθείσες πλαστικές σακούλες και άλλα σκουπίδια που αποσυντίθενται πάρα πολύ αργά.

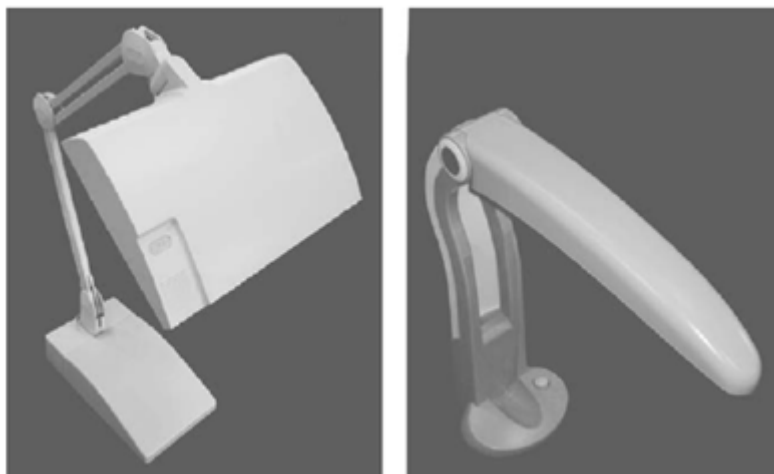
Οι τρόποι με τους οποίους συνδυάζονται τα υλικά, οι διεργασίες, η χρησιμότητα και η προσωπικότητα που δημιουργούν το χαρακτήρα των προϊόντων σε συνδυασμό με την ουσιώδη έννοια και τον προορισμό ή το «αίσθημα» που αποδίδεται από το εκάστοτε προϊόν θα αποτυπωθούν για την ορθότερη κρίση με παραδείγματα-μελέτες περιπτώσεων.



### **3.4.3 Μελέτες περιπτώσεων**

Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζεται το πρώτο παράδειγμα. Ο λαμπτήρας στα αριστερά της εικόνας είναι ειδικά σχεδιασμένος για χρήση σε γραφείο. Είναι γωνιακός, λειτουργικός, βαρύς και σε απόχρωση του φωτεινού γκρι. Ο αντίκτυπος της μορφής και της απόχρωσης του αποδίδει την ίδια αίσθηση με τις κονσόλες των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των πληκτρολογίων καθώς δημιουργεί συσχετισμούς με τη σύγχρονη τεχνολογία εξοπλισμού γραφείου. Ο τύπος όπως και το βάρος του μεταδίδουν τις ιδέες της σταθερότητας, της ανθεκτικότητας, της αποδοτικότητας και της δυνατότητας εκπλήρωσης των καθηκόντων, αυτών ενός γραφείου και όχι ενός καθιστικού χώρου για παράδειγμα. Τα υλικά και οι διεργασίες έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να ενδυναμώνουν αυτούς τους συσχετισμούς και τις αντιλήψεις. Η στιλβωμένη επιφάνεια πλαισίου αποτελείται από πρεσαρισμένο και αναδιπλωμένο έλασμα χάλυβα, η βαριά βάση του είναι από χυτοσίδηρο ενώ ο ανακλαστήρας από ανοξείδωτο ατσάλι που περικλείεται από υψηλής απόδοσης επικάλυψη από πολυμερές (ABS).

Ο λαμπτήρας στα δεξιά του Σχήματος 3.8 έχει τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά, λειτουργικότητα και χρησιμότητα με τον λαμπτήρα που αναλύθηκε προηγούμενα. Εδώ όμως σταματά και η ομοιότητα. Το προϊόν αυτό δεν είναι σχεδιασμένο για το πολυάσχολο διοικητικό στέλεχος μιας εταιρίας αλλά για παιδιά και μεγάλους ως λαμπτήρας δωματίου. Έχει διαμορφωμένα περιγράμματα, χαρακτηρίζεται από διαφορετικά διαφανή χρώματα και είναι πολύ ελαφρύ. Είναι κατασκευασμένο από έγχρωμο ακριλικό υλικό σε διαφανείς και αδιαφανείς διαβαθμίσεις ώστε το εξωτερικό μέρος της λάμπας να παρουσιάζεται σαν επιγραφή νέον όταν είναι αναμμένη. Η μορφή του προέρχεται εν μέρει από τη φύση, από τα κινούμενα σχέδια και σειρές αστείων σχεδίων, αποδίδοντας έναν ευχάριστο χαρακτήρα. Θα μπορούσε κανείς να το αντιληφτεί ως χιουμοριστικό, αστείο, φαιδρό, έξυπνο καθώς επίσης εκκεντρικό αλλά και εύθραυστο. Η αντίληψη των προϊόντων όμως είναι τελείως υποκειμενική διαδικασία και εξαρτάται και από το υπόβαθρο του καθενός. Οι επιδέξιοι σχεδιαστές διαχειρίζονται τις αντιλήψεις ώστε να προσελκύουν στο αγοραστικό κοινό στο οποίο στοχεύουν.



**Σχήμα 3.8:** Δύο τύποι επιτραπέζιων φωτιστικών, που έχουν τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά διαφορετική χρήση

Το Σχήμα 3.9 απεικονίζει το δεύτερο παράδειγμα, που αποτυπώνονται δυο αντίθετοι τρόποι παρουσίασης ηλεκτρονικών οικιακών συστημάτων ψυχαγωγίας. Αριστερά, είναι ένα στερεοφωνικό ηχητικό σύστημα που στοχεύει σε επιτυχημένους επαγγελματίες με υπεραρκετά έσοδα, που είναι εξοικειωμένοι με την υψηλή τεχνολογία και για τους οποίους μόνο η καλύτερη ποιότητα είναι αρκετή. Η γραμμική του μορφή, η χρήση φυσικών στοιχείων (τετράγωνα, κύκλοι, κύλινδροι, κώνοι) και το ματ ασήμι και μαύρο χρώμα δηλώνουν ότι το προϊόν αυτό δεν έχει απλά κατασκευαστεί αλλά έχει σχεδιαστεί. Η τυπική γεωμετρία και η τελειοποίηση υποδηλώνουν τη χρήση ακριβών οργάνων, τηλεσκοπίων, ηλεκτρονικών μικροσκοπίων και οι μορφές μοιάζουν με αυτές των σωληνώσεων των οργάνων (λόγω συσχέτισης με τη μουσική και την κουλτούρα). Η αντίληψη που κυριαρχεί είναι αυτή της τεχνολογίας αιχμής, ένα σύμβολο «οξυδερκούς γούστου». Η μορφή συνδέεται άμεσα με τις συσχετίσεις και τις αντιλήψεις όπως και τα υλικά (π.χ. χρωματισμένο αλουμίνιο, ανοξείδωτο ατσάλι, μαύρο σμάλτο).

Δεξιά στο Σχήμα 3.9, τα ηλεκτρονικά παρουσιάζονται με έναν άλλο τρόπο. Η συγκεκριμένη εταιρία έχει διατηρήσει το μερίδιο που κατέχει στην αγορά, ή ακόμα το έχει αυξήσει, με την διατήρηση/μη αλλαγή, τουλάχιστον όσο αφορά την εμφάνιση των προϊόντων που προσφέρει. Από τη άλλη, όσο αφορά το περιεχόμενο ως στόχο έθεσε πιθανόν τους καταναλωτές που δεν είναι τόσο εξοικειωμένοι με την σύγχρονη τεχνολογία, παρόλο που η τεχνολογία των ηλεκτρονικών σε αυτού του τύπου τα ραδιόφωνα είναι αρκετά σύγχρονη, ή σε αυτούς που απλά ασπάζονται την άποψη ότι συγκρούεται με όμορφο τρόπο με το περιβάλλον της οικίας. Κάθε ραδιόφωνο έχει απλή μορφή, είναι χρωματισμένα σε απαλούς τόνους παστέλ, ενώ είναι θερμά και απαλά στην αφή. Τα υλικά κάνουν τη διαφορά, τα προϊόντα αυτά είναι διαθέσιμα σε σουέτ ή δέρμα σε έξι ή και παραπάνω χρωματικές αποχρώσεις. Ο συνδυασμός της

μορφής και των υλικών δημιουργούν συνειρμούς αναπαυτικών επίπλων, δερμάτινων πορτοφολιών και τσαντών, τις αισθήσεις δηλαδή της πολυτέλειας, της άνεσης και του στυλ. Ακόμη δημιουργούν την αίσθηση του παρελθόντος, της σταθερότητας και τις αντιλήψεις της ακλόνητης δεξιοτεχνίας, της αξιοπιστίας, την ελκυστικότητα του ρετρό και του παραδοσιακού αλλά σε συνδυασμό με έναν δυναμικό σχεδιασμό.



**Σχήμα 3.9:** Δύο τύποι ηλεκτρονικών προϊόντων, που ανταποκρίνονται σε διαφορετικό καταναλωτικό κοινό

Έτσι, πίσω από κάθε υλικό υπάρχει ο χαρακτήρας ακόμα και πριν πάρει αναγνωρίσιμη μορφή, ένα είδος εμπεριεχόμενης προσωπικότητας που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί επιφυλακτική και όχι πάντα εμφανής, που είναι εύκολο να κρυφτεί ή να συγκαλυφθεί, αλλά όταν διαχειριστεί κατάλληλα, μεταδίδει τις ιδιότητες στον σχεδιασμό του προϊόντος. Αυτός είναι και ο λόγος που πολλά υλικά είναι τόσο στενά συνδεδεμένα με συγκεκριμένους *τρόπους σχεδιασμού*. Το στυλ είναι ένας χρησιμοποιούμενος όρος για τον τρόπο σχεδιασμού με συγκεκριμένα κριτήρια αισθητικής, συσχετίσεων και αντιλήψεων. Το Πρώιμο Βιομηχανικό στυλ (1800-1890<sup>3</sup>) αποτύπωνε τις τεχνολογίες της βιομηχανικής επανάστασης, χρησιμοποιώντας χυτοσίδηρο και χάλυβα, πολλές φορές επιδιώκοντας να δημιουργήσει κάποια ιστορική πρόσοψη. Στο κίνημα των Τεχνών και των Επιδεξιοτήτων (1860-1910) απορρίφθηκαν οι προηγούμενες ιδέες, επιλέγοντας σε αντικατάσταση τους φυσικά υλικά και υφάσματα για να δημιουργηθούν προϊόντα με παραδοσιακό χαρακτήρα και χειροποίητη ποιότητα. Το Νέο Κύμα (1890-1918) αντίθετα, εκμεταλλεύτηκε τις ρευστές μορφές και την δυναμικότητα τους χρησιμοποιώντας σφυρήλατο σίδηρο και χυτό μπρούτζο, την αίσθηση θερμότητας και τη δομή των άκαμπτων ξύλων καθώς και την διαφάνεια του γυαλιού για να δημιουργήσει προϊόντα με ανερχόμενο και οργανικό χαρακτήρα. Το Κίνημα της Art Deco (1918-1935) διεύρυνε το εύρος των

χρησιμοποιούμενων υλικών και για πρώτη φορά (Bakelite and Catalin) συμπεριλήφθηκαν τα πλαστικά, επιτρέποντας την παραγωγή πολυτελών ειδών για τους εύπορους αλλά και την μαζική παραγωγή προϊόντων για ένα ευρύτερο αγοραστικό κοινό. Η απλότητα και ο αναμφίβολος χαρακτήρας των σχεδίων του Bauhaus (1919-1933) εκφράστηκε ξεκάθαρα με τη χρήση συστημάτων σωληνώσεων από χρωμιούχο χάλυβα, γυαλιού και κόντρα πλακέ σε απόχρωση καστανοχώματος. Τα πλαστικά εδραιώθηκαν στο σχεδιασμό των προϊόντων στην εποχή της Pop Art (1940-1960) με τον εικονοκλαστικό χαρακτήρα της περιόδου. Έτσι, συμπεραίνεται πως το εύρος των χρησιμοποιούμενων υλικών συνεχώς αυξάνεται ενώ ο ρόλος και η συμβολή τους στο σχεδιασμό του χαρακτήρα των προϊόντων παραμένει [4].

### **3.5 Σύνοψη και συμπεράσματα**

Το στοιχείο της ικανοποίησης είναι το κέντρο του σύγχρονου σχεδιασμού προϊόντων. Έχει επιτευχθεί μέσω της ενοποίησης του καλού τεχνικού σχεδιασμού ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα, της κατάλληλης θεώρησης των αναγκών του χρήστη στο σχεδιασμό αλληλεπίδρασης και του επινοητικού βιομηχανικού σχεδιασμού για την δημιουργία προϊόντων που θα έλκουν το εκάστοτε σκοπευμένο αγοραστικό κοινό.

Τα υλικά παίζουν κεντρικό ρόλο στην προαναφερθείσα διαδικασία. Η λειτουργικότητα εξαρτάται από την κατάλληλη επιλογή των υλικών και των διεργασιών ώστε να ικανοποιηθούν οι τεχνικές απαιτήσεις για τον ασφαλή και οικονομικό σχεδιασμό. Η χρηστικότητα στηρίζεται στις οπτικές και αισθητές ιδιότητες των υλικών να μεταβιβάζουν πληροφορίες που ανταποκρίνονται στις ενέργειες του χρήστη. Επιπλέον σε όλα τα προηγούμενα, η αισθητική, οι συνειρμοί και η αντίληψη ενός προϊόντος επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή των υλικών και την κατεργασία στην οποία υπόκεινται, ενισχύοντας το προϊόν με μια προσωπικότητα, που σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, αντανακλά αυτή του υλικού.

Οι αγοραστές αναζητούν κάτι παραπάνω από την λειτουργικότητα στα προϊόντα που καταναλώνουν. Στις σύγχρονες αγορές των ανεπτυγμένων εθνών ο «καταναλωτής διαρκείας» αποτελεί πλέον παρελθόν. Η πρόκληση για το σχεδιαστή δεν έγκειται πλέον μόνο στην ικανοποίηση των λειτουργικών απαιτήσεων αλλά στόχος είναι η ικανοποίηση αυτών με τέτοιο τρόπο που θα ευχαριστεί και τις αισθητικές και συναισθηματικές ανάγκες. Το προϊόν πρέπει να μεταφέρει και να μεταβιβάζει το νόημα που αναζητά ο καταναλωτής, όπως για παράδειγμα η κομψότητα ανεπηρέαστη από το χρόνο ή η σύγχρονη τεχνολογία αιχμής. Ένας Γιαπωνέζος παραγωγός με κάποια δόση υπερβολής έλεγε: «Η επιθυμία αντικαθιστά την ανάγκη ως κινητήρια δύναμη του σχεδιασμού».

Δεν είναι εύκολη η αποδοχή της προηγούμενα αναφερθείσας δήλωσης. Έτσι, καταληκτικά, και με απλά λόγια ο καλός σχεδιασμός είναι αποδοτικός, ο έξοχος σχεδιασμός προσφέρει και ευχαρίστηση. Ενώ η εφευρετική χρήση των υλικών εξασφαλίζει τον κατάλληλο σχεδιασμό.

Η χρήση των υλικών όμως σχετίζεται άμεσα με το περιβάλλον και τις επιδράσεις των υλικών αλλά και των παραγόμενων προϊόντων σε αυτό. Στο κεφάλαιο 4, που ακολουθεί, πραγματοποιείται μια ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων σύμφωνα με τον κύκλο ζωής τους αλλά και κάποιες προτάσεις για ορθολογική χρήση των υλικών και των ποσών ενέργειας που καταναλώνονται στις φάσεις του κύκλου ζωής των προϊόντων.

### **3.6 Βιβλιογραφία**

- [1] Michael F. Ashby, *Material Selection in Mechanical Design*, Third Edition 2005, Elsevier Butterworth-Heinemann
- [2] Ashby, M.F. and Johnson, K. (2002) *Materials and Design—The Art and Science of Materials Selection in Product Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK. ISBN0-7506-5554-2.
- [3] Clark, P. and Freeman, J. (2000) *Design, a Crash Course*, The Ivy Press Ltd, Watson-Guptil Publications, BPI Communications Inc. New York, NY, USA. ISBN 0-8230-0983-1.
- [4] Dormer, P. (1993) *Design since 1945*, Thames and Hudson, London UK. ISBN 0-500-20269-9.
- [5] Forty, A. (1986) *Objects of Desire—Design in Society Since 1750*, Thames and Hudson, London, UK. ISBN 0-500-27412-6.
- [6] Haufe, T. (1998) *Design, a Concise History*, Laurence King Publishing, London, UK (originally in German). ISBN 1-5669-134-9.
- [7] Jordan, P.S. (2000) *Designing Pleasurable Products*, Taylor and Francis, London, UK. ISBN 0-748-40844-4.
- [8] Julier, G. (1993) *Encyclopedia of 20th Century Design and Designers*, Thames & Hudson, London, UK. ISBN 0-500-20261-3.
- [9] Manzini, E. (1989) *The Material of Invention*, The Design Council, London UK. ISBN 0-85072-247-0
- [10] McDermott, C. (1999) *The Product Book, D & AD in association with Rotovision*, UK
- [11] Norman, D.A. (1988) *The Design of Everyday Things*, Doubleday, New York, USA. ISBN 0-385-26774-6.

# Κεφάλαιο 4

## Υλικά και περιβάλλον

### **Περιεχόμενα**

---

4.1 Εισαγωγή.....	63
4.2 Ο κύκλος ζωής των υλικών.....	63
4.3 Υλικά και συστήματα κατανάλωσης ενέργειας.....	65
4.3.1 Πρότυπα χρήσης προϊόντων.....	66
4.4 Οι περιβαλλοντικές αποδόσεις των υλικών (eco-attributes).....	68
4.4.1 Παραγωγή υλικών: ενέργεια και εκπομπές.....	68
4.4.2 Ενέργειες διεργασίας υλικών με .....	70
4.4.3 Τέλος ζωής .....	71
4.4.4 Περιβαλλοντικοί Δείκτες, eco-indicators .....	72
4.5 Επιλογή υλικών για περιβαλλοντικό σχεδιασμό (eco design).....	74
4.5.1 Η φάση εξόρυξης των υλικών.....	75
4.5.2 Η φάση παραγωγής του προϊόντος.....	79
4.5.3 Η φάση «χρήσης» του προϊόντος.....	80
4.5.4 Η φάση διάθεσης του προϊόντος.....	81
4.6 Μελέτες περιπτώσεων.....	82
4.6.1 Συσκευασίες αναψυκτικών και ποτών.....	82
4.6.2 Προστατευτικά κικλιδώματα.....	84
4.7 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	86
4.8 Βιβλιογραφία.....	87

## 4.1 Εισαγωγή

Κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα έχει κάποιο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από μια δυναμικότητα που μπορεί να ανταπεξέλθει στις επιπτώσεις που προκαλούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, ώστε μέχρι κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο επίδρασης να μπορεί να αφομοιώνεται χωρίς μόνιμη βλάβη. Βέβαια, είναι ξεκάθαρο πως οι σημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες υπερβαίνουν αυτό το όριο με συνεχώς αυξανόμενη συχνότητα, ελαττώνοντας την ποιότητα του κόσμου που μας φιλοξενεί και απειλώντας την ευημερία των μελλοντικών γενεών. Η παραγωγή και η χρήση των προϊόντων, με την σχετική κατανάλωση υλικών και ενέργειας, είναι μεταξύ των ενεργειών που ευθύνονται. Η κατάσταση δραματοποιείται από την ακόλουθη δήλωση: με ένα παγκόσμιο ρυθμό ανάπτυξης περίπου 3% ανά έτος οι άνθρωποι θα εξορύξουν, θα κατεργαστούν και θα διαθέσουν περισσότερα «υλικά» στα επόμενα 25 χρόνια από ότι σε ολόκληρη την ιστορία της ανθρωπότητας. *Ο σχεδιασμός για το περιβάλλον* μεταφράζεται γενικά ως η προσπάθεια να προσαρμοστούν οι παρούσες μέθοδοι σχεδιασμού για την βελτίωση του γνωστού και μετρήσιμου υποβιβασμού του περιβάλλοντος, ο χρονικός προγραμματισμός αυτής της προσπάθειας τοποθετείται περίπου στα 10 έτη, δηλαδή ο μέσος όρος ζωής ενός τυπικού προϊόντος. *Ο σχεδιασμός για βιωσιμότητα* είναι ο επόμενος, μακροπρόθεσμος στόχος της προσαρμογής σε ένα τρόπο διαβίωσης που ικανοποιεί τις παρούσες ανάγκες χωρίς να εκθέτει τις ανάγκες των μελλοντικών γενεών [1]. Ο χρονικός προγραμματισμός εδώ δεν είναι τόσο σαφής-μετρημένος σε δεκαετίες ή αιώνες-και η προσαρμογή που απαιτείται είναι ευρύτερη. Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει στο ρόλο των υλικών και των διεργασιών στην επίτευξη του σχεδιασμού για το περιβάλλον. Η βιωσιμότητα/αιεφορία απαιτεί κοινωνικές και πολιτικές αλλαγές που είναι πέρα από το σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

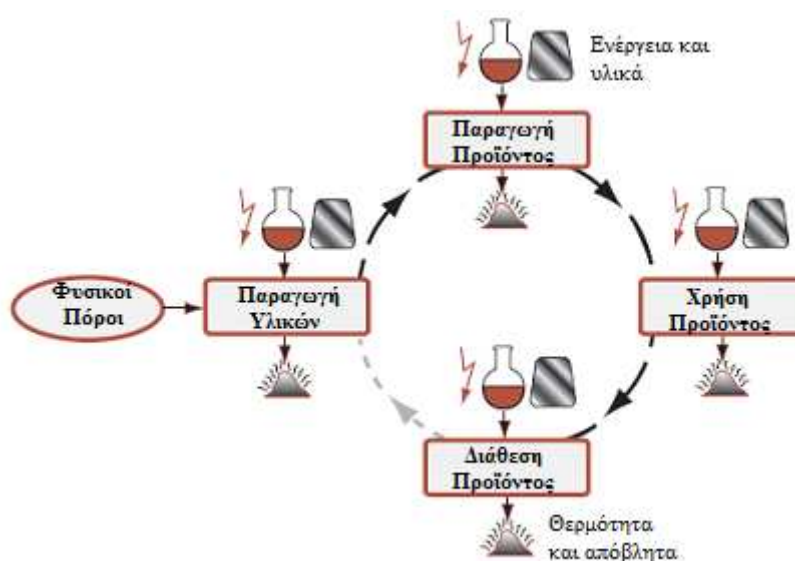
## 4.2 Ο κύκλος ζωής των υλικών

Η φύση του προβλήματος γίνεται κατανοητή και εστιάζεται εξετάζοντας τον κύκλο ζωής των υλικών, όπως αποτυπώνονται στο Σχήμα 4.1. Τα ορυκτά και οι πρώτες ύλες τροφοδοσίας, που στο μεγαλύτερο βαθμό δεν είναι ανανεώσιμα, κατεργάζονται για την δημιουργία των υλικών. Τα υλικά μεταποιούνται σε προϊόντα που χρησιμοποιούνται και στο τέλος της ζωής τους διατίθενται, με ένα ποσοστό που ίσως να εισέρχεται σε κάποια διαδικασία ανακύκλωσης, και το υπόλοιπο να αποτεφρώνεται ή να δεσμεύεται σε χώρους υγειονομικής ταφής (Χ.Υ.Τ.Α). Σε κάθε



σημείο του κύκλου ζωής, που από εδώ και στο εξής σε αυτό το κεφάλαιο θα καλούνται «φάσεις», καταναλώνεται ενέργεια και υλικά, συγχρόνως με το μειονέκτημα εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> και άλλων στοιχείων, όπως θερμότητα και αέρια, υγρά και στερεά απόβλητα.

Το πρόβλημα, στην ουσία του, είναι πως το άθροισμα υπερβολικών ποσών ενέργειας, υλικών, διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> και άλλων αποβλήτων συχνά υπερβαίνει τη δυναμικότητα του περιβάλλοντος ώστε να μπορεί να τα απορροφήσει. Ένα μέρος του προβλήματος εντοπίζεται τοπικά και οι ρίζες του μπορούν να ανιχνευτούν, καθώς και να τεθούν σε εφαρμογή επιδιορθωτικές ενέργειες. Το υπόλοιπο εντοπίζεται σε εθνική και παγκόσμια κλίμακα, εδώ οι επιδιορθωτικές ενέργειες διακατέχονται από ευρύτερες κοινωνικές και οργανωτικές, αναγκαίες προϋποθέσεις. Το μεγαλύτερο κομμάτι της σημερινής περιβαλλοντικής νομοθεσίας στοχεύει στην αξιοπρεπή μείωση των ζημιωγόνων δραστηριοτήτων. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι ο κανονισμός που απαιτεί 20% μείωση στο μέσο όρο της κατανάλωσης βενζίνης των επιβατικών αυτοκινήτων και αξιολογείται από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων ως σημαντική πρόκληση.



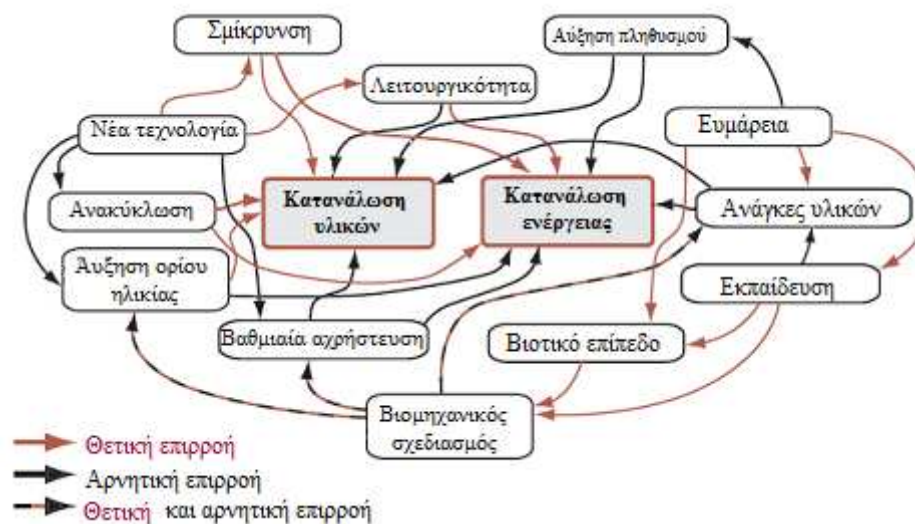
Σχήμα 4.1: Ο κύκλος ζωής των υλικών [1]

Η βιωσιμότητα/αειφορία απαιτεί τελείως διαφορετικές λύσεις. Ακόμη και συντηρητικοί υπολογισμοί των απαραίτητων ρυθμίσεων για την αποκατάσταση της μακροπρόθεσμης ισορροπίας του περιβάλλοντος ελπίζουν σε μείωση των ροών του Σχήματος 4.1 κατά ένα παράγοντα του τέσσερα ή και παραπάνω [3]. Η αύξηση του πληθυσμού και η ανάπτυξη των προσδοκιών αυτού του πληθυσμού ακυρώνουν όμως και την πιο αξιοπρεπή μείωση που τα αναπτυγμένα έθνη μπορεί να πετύχουν. Αυτή είναι και η μεγαλύτερη πρόκληση, που απαιτεί δύσκολη προσαρμογή και που δεν

υπάρχουν ακόμα γενικά αποδεκτές λύσεις. Βέβαια, παραμένει ο γενικός στόχος για τον σχεδιασμό για το περιβάλλον (eco-design), που θα εξασφαλίζεται ως υπόβαθρο για κάθε δημιουργική σκέψη και ενέργεια.

### 4.3 Υλικά και συστήματα κατανάλωσης ενέργειας

Δίνεται η εντύπωση πως ο προφανής τρόπος να διατηρηθούν τα υλικά είναι να κατασκευάζονται τα προϊόντα σε μικρότερη κλίμακα, να διαρκούν περισσότερο και να ανακυκλώνονται όταν φτάνουν στο τέλος της ζωής τους. Αλλά πολλές φορές το φαινομενικά προφανές μπορεί να είναι παραπλανητικό. Τα υλικά και η ενέργεια που καταναλώνεται αποτελούν ένα μέρος από ένα πολύπλοκο και ένα πολύ ισχυρά αλληλεπιδραστικό σύστημα, του οποίου η απεικόνιση στο Σχήμα 4.2 είναι πολύ απλή σε σχέση με την πραγματικότητα. Εδώ οι βασικοί καταλύτες της κατανάλωσης όπως η νέα τεχνολογία, η προγραμματισμένη αχρήστευση, η αύξηση της ευμάρειας και της εκπαίδευσης και η αύξηση του πληθυσμού επηρεάζουν πτυχές της χρήσης των προϊόντων και μέσω αυτών την κατανάλωση υλικών και ενέργειας και τα υποπροϊόντα που παράγονται από αυτές.



Σχήμα 4.2: Οι επιπτώσεις της κατανάλωσης υλικών και ενέργειας [1]

Οι συνδεδεμένες γραμμές υποδεικνύουν τις επιδράσεις, το κόκκινο χρώμα δηλώνει την θετική και ευρέως επιθυμητή επίδραση ενώ το μαύρο την αρνητική και ανεπιθύμητη, η μαυροκόκκινη γραμμή δηλώνει πως για τον προς επίτευξη στόχο υπάρχει η ικανότητα για θετική και αρνητική επίδραση.

Από το διάγραμμα διαφαίνεται η πολυπλοκότητα της κατάστασης. Αν ακολουθηθούν, για παράδειγμα, οι γραμμές επίδρασης της νέας τεχνολογίας και οι συνέπειες τους, παρατηρείται ότι προσφέρει μεγαλύτερο εύρος υλικών, ενεργειακά πιο αποδοτικά προϊόντα, αλλά συγχρόνως με την νέα λειτουργικότητα των προϊόντων δημιουργείται μια βαθμιαία αχρήστευση και η επιθυμία αντικατάστασης ενός προϊόντος που ήταν χρήσιμο και δεν έχει φτάσει στο τέλος της ζωής του. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αποτελούν τα ηλεκτρονικά προϊόντα με ποσοστό 80% να απορρίπτονται όσο είναι ακόμα λειτουργικά. Ακόμη και από αυτό το απλό επίπεδο παρατηρούνται οι συνέπειες της *μακρύτερης ζωής*. Είναι βέβαιο πως θα βοηθούσε η συντήρηση των υλικών (που θεωρείται θετική επίπτωση), σε μια εποχή όμως που με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας παράγονται προϊόντα που είναι πιο αποδοτικά ενεργειακά (π.χ. αυτοκίνητα, ηλεκτρονικά, οικιακές συσκευές), η παράταση του χρόνου ζωής των παλαιών προϊόντων μπορεί να αποφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας.

Ως τελικό παράδειγμα, παρουσιάζεται η δυσμενής επίδραση του βιομηχανικού σχεδιασμού. Τα σχέδια διάρκειας του παρελθόντος αποτελούν απόδειξη των δυνατοτήτων τους να δημιουργούν προϊόντα που εκτιμώνται και διατηρούνται. Αλλά σήμερα χρησιμοποιείται συχνά ως αποτελεσματικό εργαλείο η διέγερση της αίσθησης της κατανάλωσης μέσω της επιτηδευμένης βαθμιαίας αχρήστευσης των παλαιών προϊόντων, δημιουργώντας την αντίληψη ότι το «καινούριο» είναι επιθυμητό και το ελάχιστα «παλιό» θεωρείται άχαρο.

### **4.3.1 Πρότυπα χρήσης προϊόντων**

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται συνοπτικά ένα πρότυπο χρήσης των προϊόντων. Αυτά που αναγράφονται στην πρώτη γραμμή απαιτούν ενέργεια για την εκτέλεση της πρωταρχικής τους λειτουργίας. Τα αναγραφόμενα της δεύτερης γραμμής θα μπορούσαν να λειτουργήσουν και χωρίς ενέργεια αλλά, για λόγους άνεσης, ευκολίας ή ασφάλειας, καταναλώνουν ενέργεια για την εκτέλεση δευτερευουσών λειτουργιών. Τα προϊόντα της τελευταίας γραμμής εκτελούν τις αρχικές τους λειτουργίες χωρίς καμία ανάγκη για ενέργεια εκτός της ανθρώπινης προσπάθειας. Ο παράγοντας βάρους κατά μήκος των στηλών είναι ένας προσεγγιστικός δείκτης της έντασης της χρήσης και φυσικά ποικίλει.

Η επιλογή των υλικών και των διεργασιών επηρεάζει όλες τις φάσεις του Σχήματος 4.1: *την παραγωγή*, μέσω της διοχέτευσης των πόρων και των ανεπιθύμητων υποπροϊόντων από το φινιρίσμα, *την κατασκευή*, μέσω του επιπέδου της αποδοτικότητας και της καθαρότητας των διαδικασιών της διαμόρφωσης, της συνένωσης και του φινιρίσματος, *τη χρήση*, μέσω της ικανότητας να διατηρείται

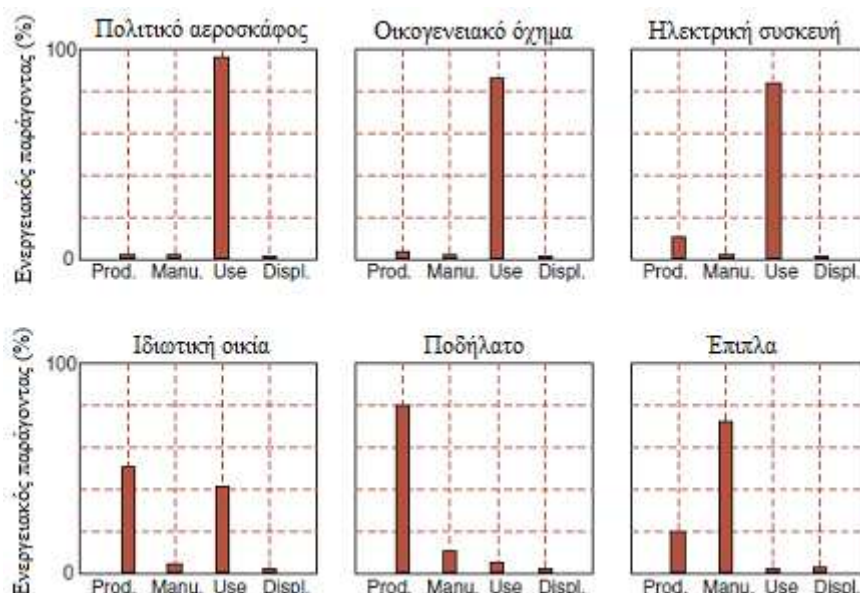
ενέργεια από το σχεδιασμό ελαφρύτερων προϊόντων, με υψηλότερη θερμική απόδοση και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, και τελικά *τη διάθεση*, μέσω της αύξησης της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης, αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης.

**Πίνακας 4.1:** Πρότυπο χρήσης κλάσεων προϊόντων

Παράγοντας επιβάρυνσης	Υψηλός	Μέτριος	Χαμηλός	
Πρωτεύουσα κατανάλωση ενέργειας	Ιδιωτικό όχημα	Τηλεόραση	Καφετιέρα	Εντατικά όσο αφορά την ενέργεια
Δευτερεύουσα κατανάλωση ενέργειας	Τραίνο	Καταμύκτης	Ηλεκτρική σκούπα Πλυντήριο	
Μηδενική κατανάλωση ενέργειας	Αεροσκάφος	Φωτισμός χώρων	Σερβίτσια οικιακής χρήσης	Εντατικά όσο αφορά τα υλικά
	Οικιακή χρήση (θέρμανση & φωτισμός)	Φωτισμός χώρων στάθμευσης	Κανό	
	Γέφυρα	Έπιπλα	Κανό	
	Δρόμος	Ποδήλατο	Τέντα	
	Υψηλός αντίκτυπος		Χαμηλός αντίκτυπος	

Αποτελεί γενική αλήθεια ότι μια από τις τέσσερις φάσεις του Σχήματος 4.1 κυριαρχεί. Αν απλοποιηθεί η κατάσταση και σαν μέτρο τεθεί η κατανάλωση ενέργειας για τις εισόδους αλλά και για τα ανεπιθύμητα υποπροϊόντα κάθε φάσης ώστε να χρησιμοποιηθεί ως μέσο αποτίμησης των ιδιοτεροτήτων των παραγόντων χρήσης παρατηρείται η αποτύπωση, στο Σχήμα 4.3, των ποσοστών κατανάλωσης ενέργειας. Αξιοσημείωτα είναι δύο χαρακτηριστικά με σημαντικές επιπτώσεις. Πρώτα, μια φάση σχεδόν κυριαρχεί, υπολογίζοντας περίπου ότι κυμαίνεται σε ποσοστό 80% της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, μερικές φορές και παραπάνω. Αν ο στόχος είναι να πραγματοποιηθούν μεγάλες αλλαγές, στο επίκεντρο τίθεται αυτή η φάση, η μείωση σε οποιαδήποτε άλλη φάση κατά έναν παράγοντα 2 ή ακόμη και 10 θα επιφέρει μικρές αλλαγές στο σύνολο. Έπειτα, όταν οι διαφορές είναι τόσο μεγάλες όπως στο Σχήμα 4.3 δεν είναι η ακρίβεια το ζήτημα. Ένα ποσοστό σφάλματος της τάξης του 2 ενέχει ελάχιστες διαφορές. Είναι εφικτό και συμβαίνει στην πραγματικότητα, να προχωρήσει η εκάστοτε μελέτη, και πολλές φορές ακριβείς κρίσεις να προέρχονται από

πληροφορίες που έχουν κάποιο ποσοστό σφάλματος. Μια σημαντική πληροφορία που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι πολλές πληροφορίες για τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά (eco-attributes) είναι ανακριβή.



Σχήμα 4.3: Εκτιμώμενα ποσά καταναλισκόμενης ενέργειας κάθε φάσης του κύκλου ζωής διάφορων προϊόντων [1]

## 4.4 Τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των υλικών (eco-attributes)

### 4.4.1 Παραγωγή υλικών: ενέργεια και εκπομπές

Τα μεγαλύτερα ποσά καταναλισκόμενης ενέργειας στις τέσσερις φάσεις του Σχήματος 4.1 προέρχονται από φυσικά καύσιμα. Ένα μέρος των ποσών αυτών καταναλώνονται σε αυτή τη φάση παραγωγής των υλικών, σε μορφή αερίων, ελαίων και καύσεων άνθρακα. Μεγάλο μέρος πρώτα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο απόδοσης μετατροπής περίπου 30%. Βέβαια, δεν παράγεται όλο το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικά καύσιμα, υπάρχει συνεισφορά και από υδροηλεκτρική παραγωγή, πυρηνική, αιολική και κυματική. Με εξαίρεση τη Νορβηγία (70% υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας) και τη Γαλλία (80% πυρηνική παραγωγή ενέργειας) η επικρατούσα πηγή ενέργειας είναι τα ορυκτά καύσιμα, και από τη στιγμή που τα εθνικά ηλεκτρικά δίκτυα των Ευρωπαϊκών χωρών συνδέονται, με τον ηλεκτρισμό να ρέει από τη μία στην άλλη εφόσον υπάρχει η

ανάγκη, είναι λογική η διαδικασία προσέγγισης ενός Ευρωπαϊκού μέσου όρου ενέργειας από φυσικούς πόρους ανά kilowatt παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας [1].

Η ενέργεια από ορυκτά καύσιμα που καταναλώνεται για την παραγωγή ενός κιλού υλικού καλείται *ενέργεια παραγωγής*. Ένα ποσό της ενέργειας αυτής αποθηκεύεται στο δημιουργημένο υλικό και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, κατά κάποια έννοια, στο τέλος της ζωής του. Τα πολυμερή που παράγονται από έλαια (στο μεγαλύτερο ποσοστό τους) περιέχουν ενέργεια σε άλλη μορφή, αυτή του ελαίου που εισέρχεται στην παραγωγή ως βασική ύλη τροφοδοσίας. Τα φυσικά υλικά όπως το ξύλο, ομοίως, περιέχουν «εγγενή» ή «εσωτερική» ενέργεια, που αυτή τη φορά προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Οι απόψεις δίστανται όσο αφορά το γεγονός της προσμέτρησης της εγγενούς ενέργειας στην ενέργεια παραγωγής ή όχι. Υπάρχει η λογική κατά την οποία όχι μόνο τα πολυμερή και η ξυλεία, αλλά και τα μέταλλα «κουβαλούν» εγγενή ενέργεια, που με κάποια χημική αντίδραση ή καύση του μετάλλου έρχεται στη μορφή εξαιρετικά διανεμημένης πούδρας, η οποία θα μπορούσε να ανακτηθεί. Έτσι αν παραβλέπεται αυτό το ποσό ενέργειας από την ενέργεια παραγωγής όσο αφορά τα πολυμερή αλλά περικλείεται για τα μέταλλα είναι ασύμβατη διαδικασία. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία, θα συνυπολογίζεται η εγγενής (intrinsic) ενέργεια των υλικών που προέρχονται από μη-ανανεώσιμες πηγές στις ενέργειες παραγωγής, και γενικά κυμαίνονται στο εύρος των 25-250 MJ/kg, αν και για μερικά υλικά τα ποσά αυτά είναι πολύ μικρότερα. Η ύπαρξη της εγγενούς ενέργειας ενέχει και μία ακόμη συνέπεια: η ενέργεια ανακύκλωσης του υλικού κάποιες φορές είναι πολύ λιγότερη από αυτή που απαιτείται για την αρχική παραγωγή του, γιατί η εγγενής ενέργεια διατηρείται. Οι τυπικές τιμές κυμαίνονται στο εύρος 10-100 MJ/kg.

Η παραγωγή 1kg υλικού είναι συνδυασμένη με την *ανεπιθύμητη εκπομπή αερίων*, μεταξύ των οποίων το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub>, οξείδια του θείου SO<sub>x</sub> και το μεθάνιο CH<sub>4</sub> προκαλούν γενικές επιπτώσεις (παγκόσμια αύξηση θερμοκρασίας, οξοποίηση, κένωση του στρώματος του όζοντος). Οι ποσότητες είναι μεγάλες- κάθε κιλό αλουμινίου που παράγεται χρησιμοποιώντας ενέργεια από ορυκτά καύσιμα δημιουργεί 12Kg από CO<sub>2</sub>, 40g NO<sub>x</sub> και 90g SO<sub>x</sub>. Η παραγωγή είναι γενικά συνδεδεμένη και με άλλες ανεπιθύμητες εξόδους, κυρίως τοξικά απόβλητα και σωματίδια, αλλά αυτές οι εξοδοί κατά κανόνα διαχειρίζονται στην πηγή.

Το ξύλο, το μπαμπού και άλλα φυτικά υλικά, επίσης, περιέχουν εσωτερική ενέργεια, αλλά σε αντίθεση με τα ανθρωπογενή υλικά προέρχεται από το φως του ήλιου και όχι από μη-ανακυκλώσιμες πηγές. Τα δεδομένα για την ενέργεια παραγωγής των φυτικών υλικών δεν περιέχουν την εγγενή ενέργεια, ενώ όσο αφορά τις εκπομπές λαμβάνονται υπόψη τα ποσά διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> που

απορροφώνται κατά τη διάρκεια ανάπτυξης τους. Λόγω των παραπάνω, η ξυλεία έχει σχεδόν φυσικό ενεργειακό ισοζύγιο, και αρνητική τιμή για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

#### 4.4.2 Ενέργειες διεργασίας υλικών

Πολλές διεργασίες εξαρτώνται από την χύτευση (molding), τις διεργασίες επιστροφάτωσης (vaporization) και την διαμόρφωση (deformation) των υλικών. Είναι πολύ σημαντική η γνώση των προσεγγιστικών ποσών των ενεργειών που απαιτούνται για τις διεργασίες αυτές [1].

*Τήξη.* Για να τηχθεί ένα υλικό, πρέπει πρώτα να φτάσει στο σημείο τήξης του, απαιτώντας την είσοδο θερμότητας, κατά ελάχιστο, της ποσότητας  $C_p(T_m - T_0)$ , και στη συνέχεια για την επίτευξη της τήξης, απαιτείται η λανθάνουσα θερμότητα τήξης,  $L_m$

$$H_{min} = C_p(T_m - T_0) + L_m \quad (4.1)$$

όπου  $H_{min}$  (MJ/kg) είναι η ελάχιστη ενέργεια ανά κιλό για την τήξη,  $C_p$  η ειδική θερμότητα που απαιτείται,  $T_m$  είναι το σημείο τήξης και  $T_0$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Υπάρχει στενή συσχέτιση μεταξύ  $L_m$  και  $C_p T_m$

$$L_m \approx 0.4C_p T_m \quad (4.2)$$

ενώ για τα μέταλλα και τα κράματα τους ισχύει  $T_m \gg T_0$  δίνοντας

$$H_{min} \approx 1.4C_p T_m \quad (4.3)$$

υπολογίζοντας την αποδοτικότητα 30%, η εκτιμώμενη ενέργεια για να τηχθεί 1kg κάποιου υλικού,  $H_m^*$ , είναι

$$H_m^* \approx 4.2C_p T_m \quad (4.4)$$

ο αστερίσκος τοποθετήθηκε για να θυμίσει ότι είναι εκτιμώμενο αυτό το ποσό ενέργειας. Για τα μέταλλα και τα κράματα τους, η ποσότητα  $H_m^*$  κυμαίνεται από 0.4 έως 4 MJ/kg.

*Διεργασίες επιστροφάτωσης.* Ως γενικός κανόνας η λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης,  $L_v$ , είναι μεγαλύτερη από τη λανθάνουσα θερμότητα της τήξης,  $L_m$ , κατά ένα παράγοντα  $24 \pm 5$ , ενώ όμοια το σημείο βρασμού,  $T_b$ , είναι και αυτό

μεγαλύτερο από το σημείο τήξης,  $T_m$ , κατά ένα παράγοντα  $2.1 \pm 0.5$ . Χρησιμοποιώντας τις ίδιες αξιώσεις όπως προηγουμένως, παρατίθεται μια εκτίμηση του ποσού ενέργειας που καταναλώνεται για την διεργασία επιστρωμάτωσης 1kg ενός υλικού (όπως για παράδειγμα στην διεργασία PVD- Physical Vapor Deposition)

$$H_v^* \approx 38C_p T_m \quad (4.5)$$

υπολογίζοντας ξανά την αποδοτικότητα 30%. Για τα μέταλλα και τα κράματα τους, η ποσότητα  $H_v^*$  εκτείνεται στο εύρος 3-30MJ/kg.

*Διαμόρφωση.* Οι διεργασίες διαμόρφωσης όπως η έλαση και η σφυρηλάτηση, γενικά, περιλαμβάνουν μεγάλες τάσεις. Υποθέτοντας ένα μέσο όρο ροής-τάσεων  $(\sigma_y + \sigma_{uts})/2$ , με ένταση  $\varepsilon = 90\%$  και με σταθερό όρο αποδοτικότητας 30% εκτιμάται η ενέργεια για την παραμόρφωση ανά κιλό υλικού να είναι

$$W_D^* \approx 1.5(\sigma_y + \sigma_{uts})\varepsilon = 1.35(\sigma_y + \sigma_{uts}) \quad (4.6)$$

όπου  $\sigma_y$  είναι το κρίσιμο σημείο ελαστικότητας και  $\sigma_{uts}$  η αντοχή σε εφελκυσμό (N/m<sup>2</sup>). Για τα μέταλλα και τα κράματα τους, η ποσότητα  $W_D^*$  παίρνει τιμές μεταξύ 0.01-1MJ/kg.

Καταληκτικά, η χύτευση ή η παραμόρφωση απαιτούν ενέργειες διεργασίας μικρότερες σε σύγκριση με την ενέργεια παραγωγής του υλικού που θα κατεργαστεί, αλλά οι μεγαλύτερες ενέργειες που απαιτούνται για την διεργασία της φάσης της εξάτμισης μπορεί να είναι συγκρίσιμες με τις ενέργειες που απαιτούνται για την παραγωγή του υλικού.

### 4.4.3 Τέλος ζωής

Η ποσοτικοποίηση της ανακύκλωσης των υλικών είναι δύσκολη διαδικασία. Η ανακύκλωση δαπανά ενέργεια, και η ενέργεια αυτή μεταφέρει και την επιβάρυνση από εκπομπές αερίων. Αλλά η *ενέργεια ανακύκλωσης* είναι γενικά μικρή σε σύγκριση με την αρχική ενέργεια της φάσης παραγωγής, η πραγματοποίηση όμως της ανακύκλωσης- όταν είναι εφικτή- ενέχει ενεργειακά αποδοτικές προτάσεις. Μπορεί η διαδικασία της ανακύκλωσης να μην είναι αποδοτική σε κόστος, γιατί εξαρτάται από το βαθμό που το υλικό είναι «διασκορπισμένο». Τα εσωτερικά απορρίμματα, που παράγονται στο σημείο της παραγωγής ή της κατασκευής, εντοπίζονται και ανακυκλώνονται αποτελεσματικά (σχεδόν 100% ανάκτηση). Όσο αφορά τα ευρέως διανεμημένα απορρίμματα-που περιέχουν υλικά από απορριπτόμενα προϊόντα-αποτελούν μέρος μιας πολύ πιο ακριβούς πρότασης/προσπάθειας ώστε να επιτευχθεί η συλλογή τους, ο διαχωρισμός και ο καθαρισμός τους. Πολλά υλικά δεν μπορούν να



ανακυκλωθούν, παρόλο που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε χαμηλότερων απαιτήσεων δραστηριότητες, όπως τα σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες, για παράδειγμα, που ο επαναδιαχωρισμός τους δεν είναι πραγματοποιήσιμος από οικονομική σκοπιά σε ίνες και πολυμερή με σκοπό την ανακύκλωση τους, αν και μπορούν τα τεμαχιστούν και να χρησιμοποιηθούν σε ενδιάμεσα κενά άλλων εφαρμογών. Τα περισσότερα των υπόλοιπων υλικών χρειάζονται την είσοδο από «παρθένο» υλικό για να αποφευχθεί η σταδιακή ανάπτυξη ανεξέλεγκτων ακαθαρσιών. Για το λόγο αυτό, το ποσοστό της παραγωγής υλικού που μπορεί εν τέλει να επανεισχωρήσει στον κύκλο του Σχήματος 4.1 εξαρτάται και από το υλικό αλλά και από το προϊόν στο οποίο έχει ενσωματωθεί/μεταποιηθεί. Παρά την πολυπλοκότητα, κάποια από τα δεδομένα για το ποσοστό που επανεισχωρεί στον κύκλο του Σχήματος 4.1 είναι ευρέως διαθέσιμα σε βιβλιογραφίες και βάσεις δεδομένων. Συχνότερα, η κατάσταση ενός υλικού χαρακτηρίζεται υποδεικνύοντας, απλά, αν το υλικό έχει τη δυνατότητα ή όχι να *ανακυκλωθεί*, να *ανακυκλωθεί μερικώς* με χρήση σε άλλες εφαρμογές (down-cycled), να *βιοδιασπαστεί*, να *αποτεφρωθεί* ή να *δεσμευτεί σε χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (X.Y.T.A)*.

*Bio-data.* Κάποια υλικά είναι τοξικά, δημιουργώντας ενδεχόμενα προβλήματα κατά τη διάρκεια της παραγωγής, της χρήσης, αλλά κυρίως στην διάρκεια της διάθεσης τους.

#### **4.4.4 Περιβαλλοντικοί Δείκτες, *eco-indicators***

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών ενός υλικού, ενός κράματος αλουμινίου. Ένας σχεδιαστής μηχανικός, που επιχειρεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς πολλές ανεξάρτητες αποφάσεις που κάθε σχεδιασμός περιλαμβάνει, έρχεται αντιμέτωπος με δυσκολίες διαχείρισης των περιβαλλοντικών πληροφοριών των υλικών. Όπως για παράδειγμα, ποια είναι τα ποσά των ενεργειών που απαιτούνται για την παραγωγή του υλικού, πως πρέπει να διαχειριστούν και να εξισορροπηθούν τα βάρη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> και των οξειδίων του θείου SO<sub>x</sub> απέναντι στην μείωση των φυσικών πόρων, την τοξικότητα ή την ευκολία στην ανακύκλωση. Η αντίληψη αυτή, έχει οδηγήσει τις προσπάθειες στην συμπύκνωση των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών των υλικών σε μια απλή μέτρηση ή *δείκτη*, που δίνει στο σχεδιαστή μια απλή και αριθμητική βαθμολογία.

Για την επίτευξη της μεθοδολογίας εξαγωγής ενός περιβαλλοντικού δείκτη (*eco-indicator*) είναι απαραίτητα τέσσερα βήματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4 [4]. Το πρώτο είναι η *ταξινόμηση* των πληροφοριών που καταγράφονται στον Πίνακα 4.2 σύμφωνα με τον αντίκτυπο που προκαλεί το κάθε χαρακτηριστικό (π.χ. παγκόσμια

υπερθέρμανση, κένωση των στρωμάτων όζοντος, οξοποίηση), δίνοντας ένα περιβαλλοντικό προφίλ του υλικού. Στο δεύτερο βήμα είναι αυτό της κανονικοποίησης για να απαλειφθούν οι μονάδες μέτρησης (Πίνακας 4.2) και να αναχθούν σε μία κοινή κλίμακα (0-100 για παράδειγμα). Το τρίτο, στη σειρά, βήμα είναι αυτό της αποτίμησης του βάρους κάθε χαρακτηριστικού ώστε να αντανακλάται η αντιλαμβανόμενη σοβαρότητα κάθε επίδρασης, βασισμένη στην ταξινόμηση του πρώτου βήματος: έτσι, η παγκόσμια υπερθέρμανση μπορεί να εκλαμβάνεται ως πιο

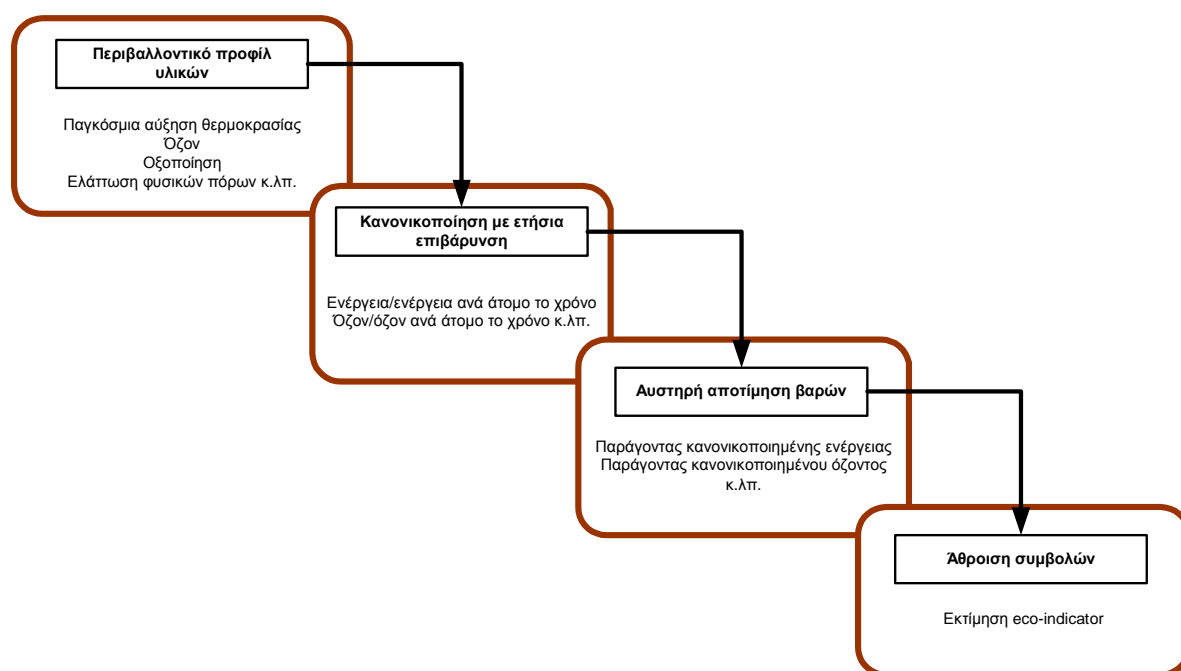
**Πίνακας 4.2:** Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά επεξεργασμένου κράματος αλουμινίου

Επεξεργασμένο αλουμίνιο 1200			
<u>Παραγωγή υλικών: ενέργεια και εκπομπές</u>			
Ενέργεια παραγωγής		1.9e2-2.1e2	MJ/kg
Διοξείδιο άνθρακα	*	12-13	kg/kg
Οξείδια αζώτου	*	72-79	g/kg
Οξείδια θείου	*	1.2e2-1.4e2	g/kg
<u>Δείκτες για την κύρια συνιστώσα</u>			
Eco indicator		7.4e2-8.2e2	milipoints/kg
<u>Ενέργειες διεργασιών υλικών</u>			
Ελάχιστη ενέργεια τήξης		3.5-3.8	MJ/kg
Ελάχ. ενέργεια εξαέρωσης		29-32	MJ/kg
Ελάχ. ενέργεια 90% παραμόρφωσης		0.04-0.044	MJ/kg
<u>Τέλος ζωής</u>			
Ανακύκλωση	Ναι		
Δευτερογενής ανακύκλωση	Ναι		
Αποτέφρωση	Όχι		
Βιοδιάσπαση	Όχι		
X.Y.T.A	Αποδεκτό		
Ενέργεια ανακύκλωσης	*	23-26	MJ/kg
Βαθμός ανακύκλωσης		34-38	%
<u>Βιο-δεδομένα</u>			
Εκτίμηση τοξικότητας	Μη τοξικό		

σοβαρή συνέπεια από την οξοποίηση, και να αποδίδεται μεγαλύτερο βάρος. Στο τελικό στάδιο, οι κανονικοποιημένες και αποτιμημένες με βάρη, μετρήσεις *αθροίζονται* για να δοθεί ο δείκτης (eco-indicator).

Κάποιοι αποδοκιμάζουν τη χρήση ενός δείκτη που παίρνει μια μόνο τιμή. Το υπόβαθρο για την επίκριση είναι πως δεν υπάρχει συμφωνία στην κανονικοποίηση ή στους σταθερούς όρους των βαρών που αποδίδονται, ότι η μέθοδος είναι αδιαφανής

από τη στιγμή που η τιμή του δείκτη δεν έχει κανένα φυσικό νόημα και πως η προώθηση των σχεδιαστικών αποφάσεων βασισμένες σε μετρήσιμες ποσότητες όπως η κατανάλωση ενέργειας ή η παραγωγή CO<sub>2</sub> ενέχει περισσότερη βεβαιότητα από την ίδια διαδικασία μέσω ενός δείκτη. Κατά τη διάρκεια εξέλιξης της παρούσας εργασίας, δεν υπάρχει κάποια γενική συμφωνία για τη βέλτιστη χρήση των περιβαλλοντικών δεδομένων (eco-data) στα πλαίσια του σχεδιασμού. Βέβαια, σε κάποιο βαθμό υπάρχει διεθνής συμφωνία (το Πρωτόκολλο του Κιότο 1997): τα ανεπτυγμένα έθνη θα πρέπει σταδιακά να μειώσουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub>- μια αξιοσημείωτη πρόκληση σε περίοδο βιομηχανικής ανάπτυξης, περισσότερης ευμάρειας και αύξησης του πληθυσμού.



Σχήμα 4.4: Τα βήματα υπολογισμού του eco-indicator [1]

Έτσι, προκύπτει πως υπάρχει λογική στην χρήση της εκπομπής CO<sub>2</sub> ως δείκτη, αν και σήμερα είναι πιο συχνή η χρήση της ενέργειας ως δείκτη.

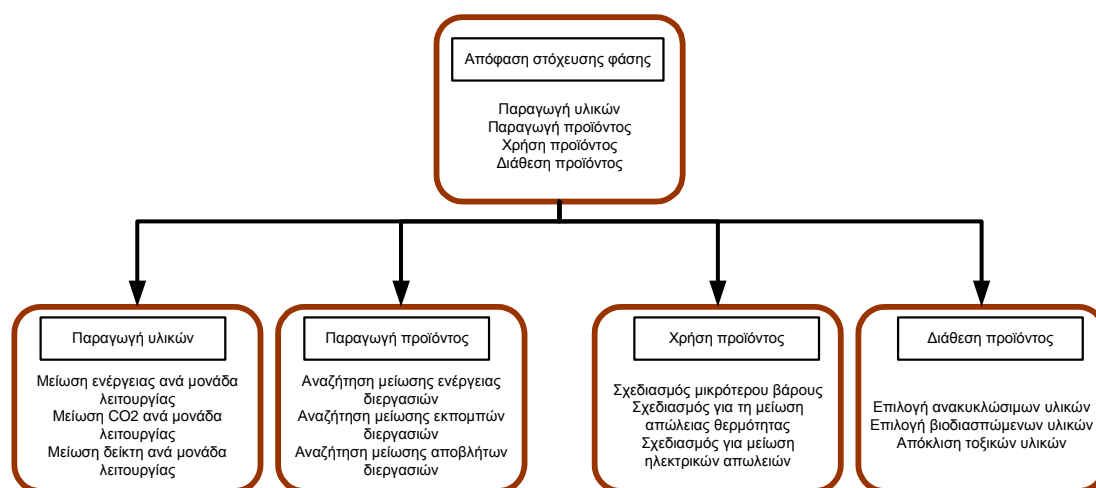
## 4.5 Επιλογή υλικών για περιβαλλοντικό σχεδιασμό (eco-design)

Για την επιλογή υλικών στα πλαίσια ενός σχεδιασμού υπεύθυνου προς το περιβάλλον, που θα οδηγήσουν στη μείωση των επιδράσεων στο περιβάλλον πρέπει πρώτα να ελεγχθεί ποια είναι η φάση του κύκλου ζωής που συνεισφέρει περισσότερο.

Η απάντηση σε αυτή τη διαδικασία οδηγεί την επιλογή της στρατηγικής για την βελτίωση (Σχήμα 4.5). Παρακάτω αναλύονται οι στρατηγικές αυτές.

### 4.5.1 Η φάση εξόρυξης των υλικών

Αν η εξόρυξη των υλικών είναι η επικρατούσα φάση του κύκλου ζωής πρέπει να τεθεί ως στόχος. Οι συσκευασίες αναψυκτικών και ποτών θα περιγραφούν σαν παράδειγμα της γενικότερης μεθόδου που ακολουθείται. Καταναλώνονται υλικά και ενέργεια κατά τη φάση εξόρυξης των υλικών και της παραγωγής αλλά εκτός από την μεταφορά τους, που σε σχέση με την ενέργεια παραγωγής των υλικών καταναλώνονται ελάχιστα ποσά, δεν καταναλώνονται άλλα ποσά. Σαν μέτρο ορίζεται η ενέργεια που διατίθεται στην εξόρυξη των υλικών και στην επεξεργασία τους (η ενέργεια παραγωγής του Πίνακα 4.2), οι εκπομπές CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub> συνδέονται με το μέτρο αυτό αλλά όχι με απλό τρόπο. Η ενέργεια που συνδέεται με την παραγωγή ενός κιλού υλικού είναι  $H_p$ , ενώ αυτή ανά μονάδα όγκου είναι  $H_p\rho$ , και όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του υλικού. Τα ραβδογράμματα των Σχημάτων 4.7(α) και (β) αποτυπώνουν τις ποσότητες αυτές για τα κεραμικά, τα μέταλλα, τα πολυμερή και τα σύνθετα υλικά. Σε μια βάση «ανά kg» (Σχήμα 4.7(α)), το γυαλί που είναι το υλικό της πρώτης συσκευασίας (Σχήμα 4.6), έχει το μικρότερο μειονέκτημα. Ο χάλυβας έχει υψηλότερο. Η παραγωγή πολυμερούς έχει πολύ μεγαλύτερη επιβάρυνση από το χάλυβα για το περιβάλλον. Το αλουμίνιο και τα ελαφριά κράματα έχουν μεγαλύτερο



**Σχήμα 4.5:** Ο ορθολογικός σχεδιασμός για το περιβάλλον, ξεκινά με την ανάλυση της φάσης του κύκλου ζωής που επικεντρώνεται [1]

μειονέκτημα από όλα σε αυτό τον τομέα. Αλλά αν τα ίδια υλικά συγκριθούν σε «ανά m<sup>3</sup>» βάση (Σχήμα 4.7(β)) αλλάζουν τα συμπεράσματα: το γυαλί παραμένει χαμηλότερα, αλλά τώρα τα πολυμερή όπως το PE και το PP έχουν χαμηλότερο

μειονέκτημα από το χάλυβα, ενώ το συνθετικό CFRP βρίσκεται ελάχιστα υψηλότερα. Αλλά πρέπει να δοθεί απάντηση στην ερώτηση ποιος είναι ο σωστός τρόπος σύγκρισης «ανά kg» ή «ανά m<sup>3</sup>». Η απάντηση είναι ότι σπάνια χρησιμοποιείται ο τρόπος αυτός σύγκρισης, όταν αντιμετωπίζονται θέματα περιβαλλοντικών επιδράσεων στη φάση παραγωγής ορθότερα πρέπει να γίνεται προσπάθεια μείωσης των ποσών ενέργειας που καταναλώνονται, των εκπομπών CO<sub>2</sub> ή της τιμής του περιβαλλοντικού δείκτη (eco-indicator) *ανά μονάδα λειτουργίας*.

Οι δείκτες των υλικών που περιλαμβάνουν τα ποσά ενέργειας εξάγονται με τον ίδιο τρόπο που εξάγονται οι δείκτες του βάρους και του κόστους. Ως παράδειγμα, αναλύεται η επιλογή υλικού για μία δοκό που έχει περιορισμούς στην αντοχή σε τάσεις σε συνδυασμό με μικρή κατανάλωση ενέργειας που είναι και ο στόχος. Αφού μελετηθεί μηχανικά και με σκοπό τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας



**Σχήμα 4.6:** Συσκευασίες ποτών, από αριστερά προς δεξιά τα υλικά είναι γυαλί, πολυαιθυλένιο, PET και αλουμίνιο

για την κατασκευή της προκύπτουν κάποιες εξισώσεις απόδοσης και κάποιοι δείκτες για την επιλογή υλικών. Με γνώμονα την μονάδα όγκου  $H_p p$ , τα προτιμότερα υλικά για να μειωθεί η ενέργεια παραγωγής μιας δοκού με καθορισμένη αντοχή και μήκος είναι αυτά με τις μεγαλύτερες τιμές του δείκτη

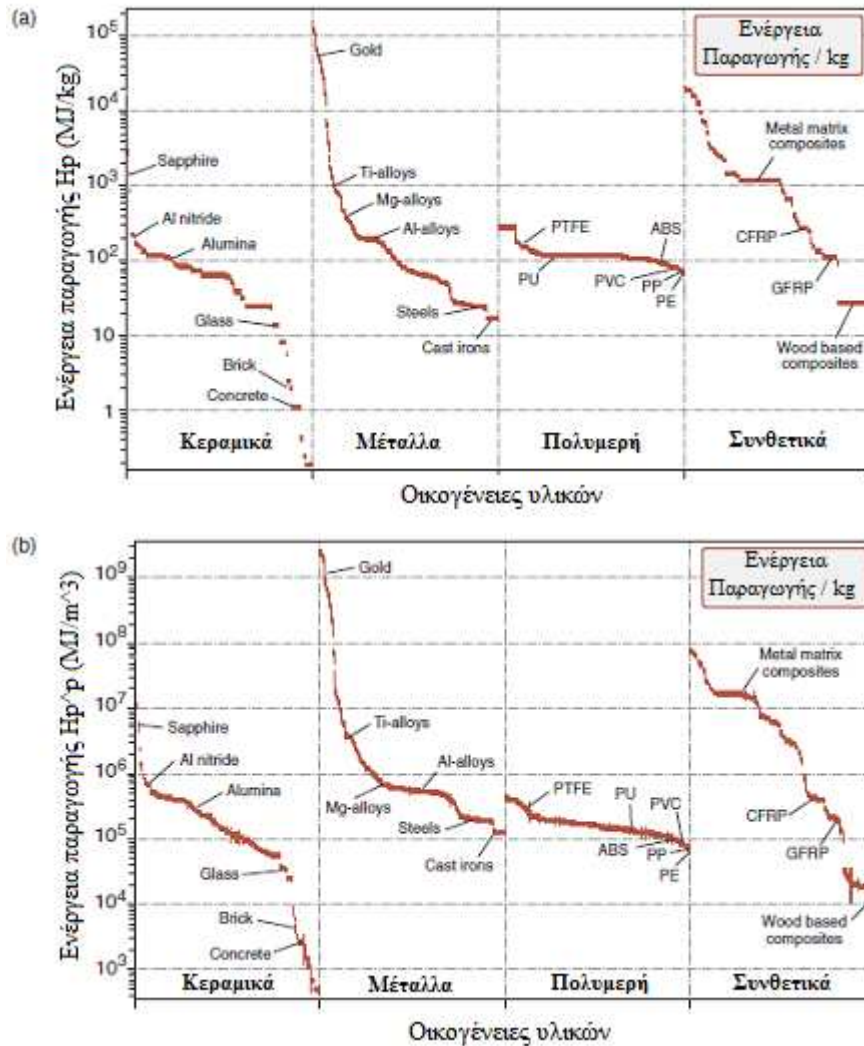
$$M = \frac{E^{1/2}}{H_p p} \quad (4.7)$$

όπου  $E$  είναι το επιτρεπόμενο όριο ελαστικότητας του υλικού της δοκού. Το κατώτερο όριο του μικρότερου δυνατού καταναλισκόμενου ποσού ενέργειας επιτυγχάνεται από υλικά με υψηλές τιμές της ποσότητας  $E/H_p p$ , ενώ το ανώτερο όριο από υλικά με υψηλές τιμές της ποσότητας  $E^{1/3}/H_p p$ . Η αντοχή λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο. Τα καλύτερα υλικά για την κατασκευή μιας δοκού με συγκεκριμένη αντοχή στην κάμψη και ελάχιστο ποσό ενέργειας παραγωγής είναι αυτά με υψηλές τιμές της ποσότητας

$$M = \frac{\sigma_f^{2/3}}{H_p p} \quad (4.8)$$

όπου  $\sigma_f$  είναι το όριο αντοχής στην κάμψη του υλικού της δοκού.

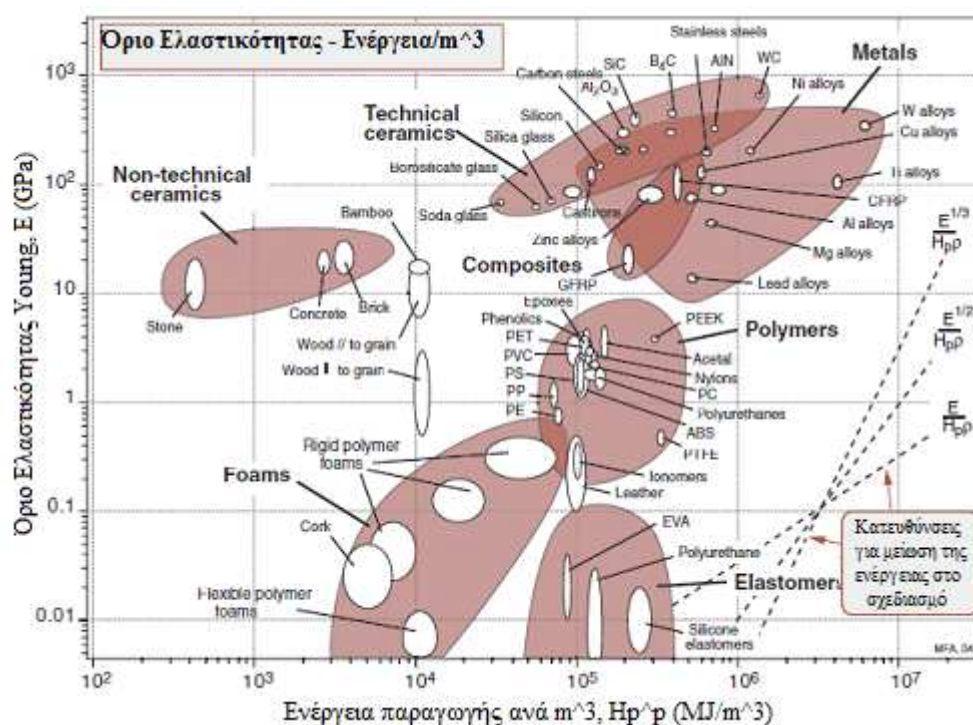
Τα Σχήματα 4.8 και 4.9 αποτελούν ένα ζευγάρι διαγραμμάτων επιλογής υλικών για την μείωση της ενέργειας παραγωγής  $H_p$  ανά μονάδα λειτουργίας. Το πρώτο απεικονίζει το όριο ελαστικότητας  $E$  σε συνάρτηση με την ποσότητα  $H_p p$ ; οι



**Σχήμα 4.7 (α, β):** Ενέργεια ανά μονάδα μάζας και ανά μονάδα όγκου σε συνδυασμό με την παραγωγή των υλικών [1]

κατευθυντήριες γραμμές δείχνουν τις κλίσεις των τριών πιο κοινών δεικτών απόδοσης. Στο δεύτερο (Σχήμα 4.9), δείχνει την αντοχή  $\sigma_f$  σε συνάρτηση με την ποσότητα  $H_p p$  και οι κατευθυντήριες γραμμές λειτουργούν όμοια. Τα δύο διαγράμματα αποτυπώνουν μια ανασκόπηση των δεδομένων για την ελαχιστοποίηση της ενέργειας.

Τα περισσότερα πολυμερή παράγονται από έλαια. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι ενεργειακά-εντατικά (energy-intensive), με επαγωγικά συμπεράσματα για τη μελλοντική τους χρήση. Τα διαγράμματα των Σχημάτων 4.8 και 4.9 δείχνουν ότι ανά μονάδα λειτουργίας όσο αφορά την αντοχή στην κάμψη, που είναι το συνηθέστερο μέτρο φόρτισης, τα περισσότερα πολυμερή έχουν μικρότερα μειονεκτήματα όσο αφορά τα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται από το αλουμίνιο, το μαγνήσιο ή το τιτάνιο και πολλά από αυτά είναι ανταγωνιστικά προς το χάλυβα.



**Σχήμα 4.8:** Διάγραμμα επιλογής για ελάχιστη ενέργεια παραγωγής σε συνάρτηση με το όριο ελαστικότητας [1]

Τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται κατά την παραγωγή κραμάτων μετάλλων όπως του χάλυβα, του αλουμινίου ή του μαγνησίου είναι για να μειωθεί η εξόρυξη των στοιχειωδών μετάλλων, έτσι ώστε τα υλικά αυτά όταν ανακυκλώνονται, να απαιτούν πολύ λιγότερη ενέργεια. Η αποδοτική συλλογή και ανακύκλωση συμβάλει πολύ στην μείωση της ενέργειας.

Ο Πίνακας 4.3 περιέχει παραδείγματα από άλλους δείκτες για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό ώστε να μειωθούν οι αντίκτυποι κατά τη διάρκεια της φάσης παραγωγής του κύκλου ζωής των προϊόντων.

### 4.5.2 Η φάση παραγωγής του προϊόντος

Η ενέργεια που απαιτείται για την μορφοποίηση ενός υλικού είναι συνήθως πολύ μικρότερη από αυτή που απαιτείται για να εξαχθεί το υλικό [3]. Φυσικά, είναι σημαντικό ζήτημα να εξοικονομηθεί ενέργεια από την παραγωγή των προϊόντων.

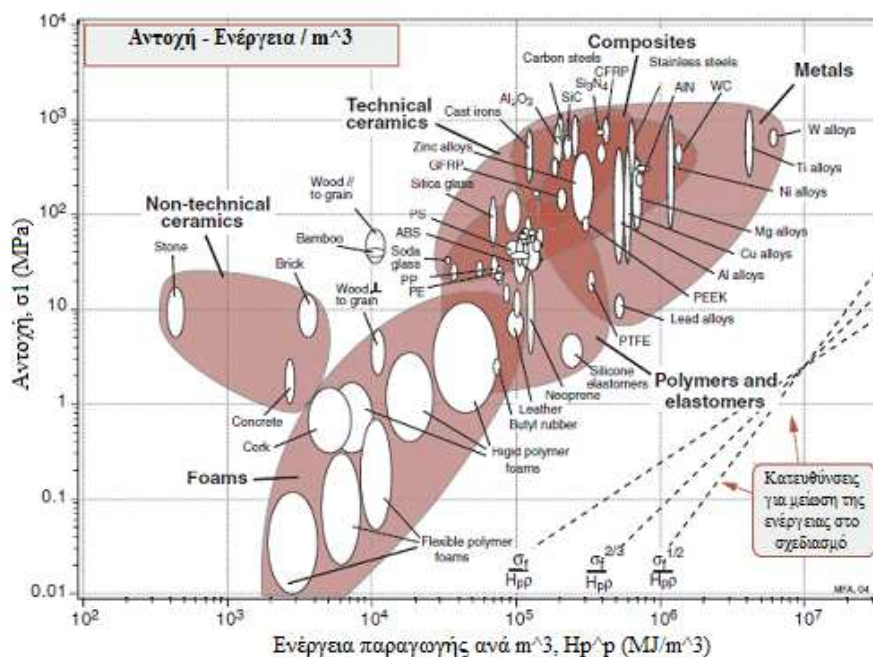
Αλλά υψηλή προτεραιότητα σχετίζεται συχνά και με τον τοπικό αντίκτυπο των εκπομπών και των τοξικών αποβλήτων κατά τη διάρκεια της παραγωγής και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις τοπικές συνθήκες. Η «καθαρή» παραγωγή είναι η απάντηση εδώ.

**Πίνακας 4.3:** Παραδείγματα δεικτών για την μείωση του αντίκτυπου στην φάση παραγωγής

Λειτουργία	Μεγιστοποίηση*
Ελάχιστη ενέργεια με δεδομένο όριο ελαστικότητας	$E/H_p p$
Ελάχιστες εκπομπές CO <sub>2</sub> με δεδομένο όριο ελαστικότητας	$\sigma_y/[CO_2]_p$
Ελάχιστη ενέργεια για δεδομένη αντοχή στην κάμψη (δοκός)	$E^{1/2}/H_p p$
Ελάχιστη ενέργεια για δεδομένη αντοχή στην κάμψη (πλαίσιο)	$E^{1/3}/H_p p$
Ελάχιστες εκπομπές CO <sub>2</sub> για δεδομένη αντοχή στην κάμψη (δοκός)	$\sigma_f^{2/3}/[CO_2]_p$
Ελάχιστες εκπομπές CO <sub>2</sub> για δεδομένη αντοχή στην κάμψη (πλαίσιο)	$\sigma_f^{1/2}/[CO_2]_p$
Ελάχιστοι πόντοι eco-indicator για δεδομένη θερμική αγωγιμότητα	$\lambda/l_e p$

\* $H_p$  = ενέργεια παραγωγής ανά κιλό,  $[CO_2]$  = παραγωγή CO<sub>2</sub> ανά κιλό,  $l_e$  = eco-indicator ανά κιλό





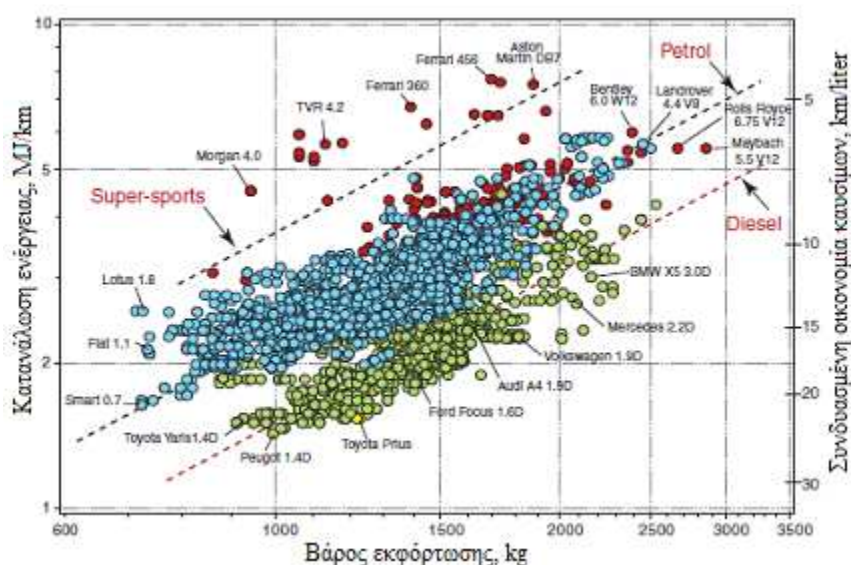
Σχήμα 4.9: Διάγραμμα επιλογής ελάχιστης ενέργειας παραγωγής σε συνάρτηση με την αντοχή [1]

### 4.5.3 Η φάση «χρήσης»

Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της φάσης «χρήσης» από τα προϊόντα που για την χρήση τους απαιτείται ενέργεια δεν έχει καμία συσχέτιση με την εμπεριεχόμενη ενέργεια των υλικών, σε αντίθεση ελαχιστοποιώντας την εμπεριεχόμενη ενέργεια, συχνά, μπορεί να έχει το αντίθετο αποτέλεσμα στην ενέργεια χρήσης. Η ενέργεια χρήσης εξαρτάται από το βαθμό των μηχανικών, θερμικών και ηλεκτρικών αποδόσεων, καθώς μειώνεται αν αυξηθούν αυτά τα χαρακτηριστικά.

Ο βαθμός απόδοσης των καυσίμων στα συστήματα μεταφοράς (τα οποία μετρούνται σε MJ/km) συνδέεται στενά με τη μάζα του οχήματος. Έτσι ως στόχος τίθεται η μείωση της μάζας. Οι αποδείξεις για τα παραπάνω φαίνονται στην εικόνα 4.13, αποτυπώνοντας την κατανάλωση καυσίμων περίπου 4.000 Ευρωπαϊκών μοντέλων αυτοκινήτων έναντι στο καθαρό τους βάρος, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο τύπος του κινητήρα (τα υπέρ-σπορ και τα πολυτελή αυτοκίνητα, που φαίνονται με κόκκινο, διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα, γιατί για αυτά η οικονομία στα καύσιμα δεν αποτελεί προτεραιότητα στο σχεδιασμό). Οι γραμμές δείχνουν τις γραμμικές εναρμονίσεις των πληροφοριών : στο χαμηλότερο επίπεδο, μεταξύ των πράσινων κουκίδων, για κινητήρες diesel, και το παραπάνω επίπεδο, μεταξύ των μπλε κουκίδων, για κινητήρες βενζίνης. Ακόμη, περιλαμβάνεται ένα υβριδικό μοντέλο στο Σχήμα 4.10, που παρουσιάζεται με κίτρινη κουκίδα. Η συσχέτιση μεταξύ κατανάλωσης καυσίμων και βάρους αυτοκινήτου είναι ξεκάθαρη. Εδώ η λύση είναι ο σχεδιασμός με γνώμονα την ελαχιστοποίηση της μάζας.

Ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης στα συστήματα ψύξης ή θέρμανσης επιτυγχάνεται μειώνοντας τη ροή θερμότητας στην είσοδο ή στην έξοδο του συστήματος, έτσι ο στόχος εδώ είναι η ελαχιστοποίηση της θερμικής αγωγιμότητας ή της θερμικής αδράνειας. Η ενεργειακή αποδοτικότητα στη δημιουργία, στη μεταφορά και στη μετατροπή ηλεκτρισμού μεγιστοποιείται ελαχιστοποιώντας τις ωμικές απώλειες στον αγωγό. Στην περίπτωση αυτή ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η ηλεκτρική αντίσταση κατά τη διάρκεια συνάντησης απαραίτητων περιορισμών στην ισχύ, το κόστος κ.α.



Σχήμα 4.10: Κατανάλωση ενέργειας και οικονομία καυσίμων για τα ευρωπαϊκά αυτοκίνητα το 2005 [1]

#### 4.5.4 Η φάση διάθεσης του προϊόντος

Οι περιβαλλοντικές συνέπειες της τελευταίας φάσης του κύκλου ζωής των προϊόντων έχει πολλές όψεις. Η ιδανική κατάσταση περιγράφεται παρακάτω από τις οδηγίες :

- Αποφυγή τοξικών υλικών όπως βαριά μέταλλα και οργανομεταλλικών μειγμάτων που στην υγειονομική ταφή σκουπιδιών προκαλούν μακροχρόνιες ρυπάνσεις του εδάφους και του υπόγειου νερού.
- Εξέταση της χρήσης των υλικών που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν, από τη στιγμή που η ανακύκλωση είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες τόσο στην εξοικονόμηση υλικών όσο και ενέργειας, ακόμη πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις που επηρεάζουν και τις άλλες φάσεις του κύκλου ζωής.

- Επιχείρηση αύξησης της ανακύκλωσης των υλικών τα οποία έχουν τη δυνατότητα, παρόλο που η ανακύκλωση μπορεί να είναι δύσκολη στην επίτευξη για λόγους που έχουν προαναφερθεί.
- Κατά τη διάρκεια της ανακύκλωσης δεν είναι πρακτικό να γίνει επιχείρηση ανάκτησης της ενέργειας με ελεγχόμενη καύση.
- Χρήση των υλικών που είναι βιοδιασπώμενα ή φωτοδιασπώμενα, παρόλο που δεν είναι επιτυχή στην υγειονομική ταφή σκουπιδιών γιατί οι αναερόβιες συνθήκες σε αυτά αναστέλλουν παρά ενεργοποιούν την διάσπαση.

## 4.6 Μελέτες περιπτώσεων

### 4.6.3 Συσκευασίες αναψυκτικών και ποτών

*Το πρόβλημα.* Οι συσκευασίες του Σχήματος 4.6 αποτελούν παραδείγματα προϊόντων που στην πρώτη και την δεύτερη φάση του κύκλου ζωής τους-φάση παραγωγής των υλικών και φάση παραγωγής του προϊόντος- καταναλώνουν ποσά ενέργειας. Για το λόγο αυτό απαιτείται η σωστή επιλογή υλικών ώστε να μειωθούν τα ποσά ενέργειας και κατά συνέπεια η εκπομπή αέριων ρύπων και σωματιδίων. Στον Πίνακα 4.4 συνοψίζονται οι απαιτήσεις του προϊόντος.

Οι μάζες των πέντε τύπων συσκευασιών που εξετάζονται, τα υλικά από τα οποία αποτελούνται και τα ποσά ενέργειας που σπαταλούνται για το καθένα παρατίθενται στους Πίνακες 4.5(α) και (β). Η παραγωγή τους περικλείει την διεργασία της χύτευσης ή της παραμόρφωσης/σφυρηλάτησης, ενώ καταγράφονται και τα εκτιμώμενα ποσά ενέργειας που απαιτούνται. Όλα τα υλικά από τα οποία αποτελούνται οι συσκευασίες έχουν τη δυνατότητα ανακύκλωσης. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η μέθοδος επιλογής της καταλληλότερης συσκευασίας όσο αφορά το μικρότερο ποσό ενέργειας ανά μονάδα υγρού που περιλαμβάνεται.

**Πίνακας 4.4:** Σχεδιαστικές απαιτήσεις για τις συσκευασίες

Λειτουργία Συσκευασίες	Συσκευασία για κρύο ποτό Πρέπει να είναι ανακυκλώσιμη
Στόχος	Μείωση ενέργειας παραγωγής ανά μονάδα χωρητικότητας
Ελεύθερες μεταβλητές	Επιλογή υλικών

**Πίνακας 4.5 α:** Λεπτομέρειες των συσκευασιών

Τύπος συσκευασίας	Υλικό	Μάζα (g)	Μάζα/λίτρο (g)	Ενέργεια/λίτρο (MJ/l)
Φιάλη PET 400ml	PET	25	62	5.4
Φιάλη γάλατος PE I	Υψηλής πυκνότητας PE	38	38	3.2
Γυάλινη φιάλη 750 ml	Γυαλί ανθρακούχου νατρίου	325	433	8.2
Κονσέρβα Al 440 ml	Κράμα Al σειρά 5000	20	45	9.0
Κονσέρβα steel 440 ml	Καθαρός ανθρακούχος χάλυβας	45	102	<u>2.4</u>

**Πίνακας 4.5 β:** Δεδομένα για τα υλικά των συσκευασιών

Υλικό	Ενέργεια παραγωγής (MJ/kg)	Μέθοδος μορφοποίησης	Ενέργεια μορφοποίησης (MJ/kg)
PET	84	Χύτευση	3.1
PE	80	Χύτευση	3.1
Γυαλί ανθρακούχου νατρίου	14	Χύτευση	4.9
Κράμα Al σειρά 5000	200	Deep drawing	0.13
Καθαρός ανθρακούχος χάλυβας	23	Deep drawing	0.15

*Μέθοδος και αποτελέσματα.* Η σύγκριση μεταξύ των ποσών ενέργειας που αναγράφονται στους Πίνακες 4.5 (α) και (β) δείχνει ότι η ενέργεια για την διαμόρφωση της συσκευασίας, σε ολόκληρο το εύρος των δεδομένων, είναι πάντα μικρότερη από την ενέργεια παραγωγής των υλικών. Μόνο στην περίπτωση του γυαλιού η ενέργεια μορφοποίησης είναι σημαντική. Η επικρατούσα φάση είναι αυτή της παραγωγής των υλικών. Αθροίζοντας τα ποσά ενέργειας του κάθε υλικού και πολλαπλασιάζοντας με τη μάζα του περιεχομένου ανά λίτρο χωρητικότητας δημιουργείται σειρά κατάταξης που φαίνεται στην τελευταία στήλη του Πίνακα 4.5(α). Ο χάλυβας έχει τα μικρότερα ποσά ενέργειας ενώ το γυαλί και το αλουμίνιο έχουν τα μεγαλύτερα.

#### 4.6.4 Προστατευτικά κιγκλιδώματα

*Το πρόβλημα.* Τα κιγκλιδώματα που προστατεύουν τους οδηγούς και τους επιβαίνοντες των αυτοκινήτων είναι δύο τύπων: τα στατικά, όπως για παράδειγμα το κεντρικό διαχωριστικό μιας λεωφόρου, και τα κινούμενα, όπως ο προφυλακτήρας που υπάρχει επάνω στο όχημα. Τα στατικά προστατευτικά εκτείνονται σε χιλιάδες χιλιόμετρα δρόμου. Ακόμη, από τη στιγμή που τίθενται σε λειτουργία δεν καταναλώνουν ενέργεια, δεν έχουν εκπομπές CO<sub>2</sub> και αντέχουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι επικρατούσες φάσεις ζωής τους όσο αφορά την κατανάλωση ενέργειας είναι εκείνες της παραγωγής των υλικών και της κατασκευής τους. Ο προφυλακτήρας σε αντίθεση, είναι μέρος του αυτοκινήτου, προσθέτει μάζα στο βάρος του, επομένως και στην κατανάλωση του καυσίμου. Η επικρατούσα φάση εδώ είναι αυτή της χρήσης του προϊόντος. Συμπερασματικά, από τη στιγμή που ο σχεδιασμός για το περιβάλλον (eco-design) είναι ο στόχος, τα κριτήρια διαφέρουν μεταξύ των δύο τύπων των προστατευτικών. Το κριτήριο για τον πρώτο τύπο είναι η μεγιστοποίηση της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει το κιγκλιδίωμα ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας. Ενώ για τον προφυλακτήρα είναι η ενέργεια που μπορεί να αφομοιωθεί ανά μονάδα μάζας. Ο Πίνακας 4.6 αποτυπώνει τα προαναφερθέντα δεδομένα.



**Σχήμα 4.11:** Δυο τύποι προστατευτικών κιγκλιδωμάτων, τα στατικά και τα κινούμενα [1]

**Πίνακας 4.6:** Σχεδιαστικές απαιτήσεις για τα κιγκλιδώματα

Λειτουργία	Ενέργεια απορρόφησης κιγκλιδωμάτων
Περιορισμοί	Πρέπει να είναι ανακυκλώσιμο
Στόχος	Μεγιστοποίηση απορροφημένης ενέργειας ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας ή
	Μεγιστοποίηση απορροφημένης ενέργειας ανά μονάδα μάζας
Ελεύθερες μεταβλητές	Επιλογή υλικών

*Μέθοδος και συμπεράσματα.* Η ενέργεια που απορροφάται ανά μονάδα όγκου ενός υλικού όταν επιμηκύνεται μέχρι το όριο θραύσης του είναι προσεγγιστικά

$$U = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \approx \sigma_y \varepsilon_f \quad \frac{MJ}{m^3} \quad (4.9)$$

Όπου  $\sigma_y$  είναι η τάση διαρροής και  $\varepsilon_f$  είναι η επιμήκυνση πριν τη θραύση. Τα κιγκλιδώματα φορτίζονται και υπόκεινται σε ελέγχους πολύ πιο πολύπλοκους, αλλά όταν το κομμάτι που επιμηκύνεται σπάσει, το προστατευτικό χάνει την αποτελεσματικότητά του. Τα υλικά με τη μεγαλύτερη ενέργεια απορρόφησης  $U$ , ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας είναι αυτά με τις μεγαλύτερες τιμές της ποσότητας

$$M = \frac{\sigma_f \varepsilon_f}{H_p \rho} \quad (4.10)$$

και ανά μονάδα μάζας είναι αυτά με τις μεγαλύτερες τιμές της ποσότητας

$$M = \frac{\sigma_f \varepsilon_f}{\rho} \quad (4.11)$$

Στα Σχήματα 4.11(α) και (β) συγκρίνονται τα μέταλλα και τα πολυμερή σε αυτή τη βάση. Στο πρώτο διάγραμμα γίνεται η επιλογή για τα στατικά προστατευτικά κιγκλιδώματα. Μεταξύ των μετάλλων ο ανθρακούχος χάλυβας είναι η καλύτερη επιλογή, ενώ αν τα προστατευτικά κατασκευάζονταν από πολυπροπυλένιο ή πολυαιθυλένιο θα ήταν το ίδιο αποδοτικά. Στο δεύτερο διάγραμμα αποτυπώνεται η επιλογή για τους προφυλακτήρες. Μεταξύ των μετάλλων τα κράματα τιτανίου είναι η καλύτερη επιλογή σε συνδυασμό με μικρότερη μάζα, ενώ τα κράματα χάλυβα λειτουργούν εξίσου αποδοτικά και είναι πολύ πιο φθηνά. Αλλά σε αυτή την περίπτωση τα πολυμερή αποτελούν πολύ ελκυστική επιλογή. Ένας προφυλακτήρας από πολυμερές είναι πολύ πιο ελαφρύς από έναν μεταλλικό.

## **4.7 Σύνοψη και συμπεράσματα**

Η ορθολογική επιλογή υλικών για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων ξεκινά προσδιορίζοντας τη φάση του κύκλου ζωής που ενέχει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον: εξόρυξη υλικών, κατασκευή, χρήση ή διάθεση. Για τη σωστή αντιμετώπιση όλων αυτών απαιτούνται δεδομένα όχι μόνο για τα εμφανή περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά (ενέργεια, CO<sub>2</sub> και άλλες εκπομπές, τοξικότητα, ικανότητα ανακύκλωσης) αλλά και δεδομένα για μηχανολογικές, θερμικές, ηλεκτρικές και χημικές ιδιότητες. Έτσι αν η παραγωγή των υλικών είναι η επικρατούσα φάση, η επιλογή βασίζεται στην μείωση της ενέργειας παραγωγής ή στις σχετικές εκπομπές (π.χ. παραγωγή CO<sub>2</sub>). Αλλά αν η επικρατούσα φάση είναι αυτή της χρήσης, η επιλογή αντίθετα βασίζεται στο μικρό βάρος, υπεροχή στην θερμική μόνωση, ή στην ηλεκτρική αγωγιμότητα (σε συνάρτηση με άλλους περιορισμούς στην σκληρότητα, στην αντοχή, το κόστος κ.λπ.). Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύχθηκαν μέθοδοι και παραδείγματα αντιμετώπισης των παραπάνω. Οι μέθοδοι αυτές είναι πιο αποδοτικές με τη χρήση κάποιου λογισμικού, όπως θα πραγματοποιηθεί σε επόμενο κεφάλαιο για την μελέτη περίπτωσης υπολογισμού του ενεργειακού δείκτη αποπληρωμής φωτοβολταϊκού πάρκου με τη χρήση του λογισμικού CES EduPack 2008, Granta.

## 4.8 Βιβλιογραφία

- [1] Michael F. Ashby, *Material Selection in Mechanical Design*, First published by Pergamon Press 1992, Third Edition 2005, Elsevier Butterworth-Heinemann, ISBN 0 7506 6168 2
- [2] CES'05 (2005) *The Cambridge Engineering Selector*, Granta Design, Cambridge
- [3] Fuad-Luke, A. (2002) *The Eco-Design Handbook*, Thames and Hudson, London, UK. ISBN 0-500-28343-5.
- [4] Goedkoop, M.J., Demmers, M. and Collignon, M.X. (1995) *Eco-Indicator '95, Manual*, Pre Consultants, and the Netherlands Agency for Energy and the Environment, Amersfort, Holland. ISBN 90-72130-80-4.
- [5] Goedkoop, M., Effting, S. and Collignon, M. (2000) *The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment, Manual for Designers*. (PRE Consultants market a leading life-cycle analysis tool and are proponents of the eco-indicator method. <http://www.pre.nl>) ISO 14001 (1996) and ISO 14040 (1997, 1998, 1999) International Organisation for Standardisation (ISO), *Environmental management system-specification with guidance for use*, Geneva, Switzerland.
- [6] Kyoto Protocol (1997) United Nations, *Framework Convention on Climate Change. Document FCCC/CP1997/7/ADD.1 Environmental management—life cycle assessment and subsections*, Geneva, Switzerland.
- [7] Lovins, L.H., von Weizsäcker, E. and Lovins, A.B. (1998) *Factor Four: Doubling Wealth, Halving Resource Use*, Earthscan publications, London, UK. ISBN1-853834-068
- [8] Mackenzie, D. (1997) *Green design: design for the environment*, 2nd edition, Lawrence King Publishing, London, UK. ISBN 1-85669-096-2.
- [9] Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. and Behrens, W.W. (1972) *The Limits to Growth—1st Report of the Club of Rome*, Universe Books, New York, USA.
- [10] Schmidt-Bleek, F. (1997) *How much environment does the human being need—factor 10—the measure for an ecological economy*, Deutscher Taschenbuchverlag, Munich, Germany.
- [11] Wenzel, H. Hauschild, M. and Alting, L. (1997) *Environmental Assessment of Products*, Vol. 1, Chapman and Hall, London UK.
- [12] Michael F. Ashby, Hugh Shercliff and David Cebon, University of Cambridge, *Materials Engineering, Science, Proceeding and Design*, First



Edition, 2007, Elsevier Butterworth-Heinemann, ISBN -13: 978-0-7506-8391-3, ISBN-10: 0-7506-8391-0

## Κεφάλαιο 5

# Εκτίμηση ενεργειακής αποπληρωμής (EPR) ως δείκτης περιβαλλοντικού σχεδιασμού- Μελέτη περίπτωσης μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου για την περιφέρεια Ανατ. Μακεδονίας και Θράκης

### **Περιεχόμενα**

---

5.1 Εισαγωγή .....	90
5.2 Σχεδιασμός για το περιβάλλον .....	92
5.3 Μελέτη περίπτωσης.....	94
5.3.1 Εισαγωγή .....	94
5.3.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο .....	95
5.3.2.1 Δομή-Υλικά-Κατεργασίες .....	97
5.3.2.2 Εκτίμηση ενέργειας πλαισίου με βιβλιογραφική προσέγγιση ....	99
5.3.2.3 Εκτίμηση ενέργειας πλαισίου με CES EduPack 2008, Granta ...	102
5.3.3 Φωτοβολταϊκό πάρκο .....	104
5.3.3.1 Εκτίμηση ενέργειας πάρκου με βιβλιογραφική προσέγγιση .....	105
5.3.3.2 Εκτίμηση ενέργειας πάρκου με CES EduPack 2008, Granta.....	106
5.3.4 Υπολογισμός ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (EPBT/EPR).....	107
5.3.4.1 Εκτίμηση 1 <sup>η</sup> (δεδομένα βιβλιογραφίας) .....	108
5.3.4.2 Εκτίμηση 2 <sup>η</sup> (CES EduPack 2008, Granta) .....	112
5.4 Σύνοψη και συμπεράσματα .....	117
5.5 Βιβλιογραφία .....	118

## **5.1 Εισαγωγή**

Στην πραγματικότητα, η επιστήμη των μηχανικών ασχολείται με την δημιουργία προϊόντων και διεργασιών. Οι μηχανικοί χρειάζεται να γνωρίζουν τον τρόπο δημιουργίας των πραγμάτων με τις επιθυμητές ιδιότητες. Οι παραδοσιακές ιδιότητες που ενδιέφεραν παραγωγούς και καταναλωτές περικλείουν την απόδοση, την αξιοπιστία και το κόστος. Η μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των νέων προϊόντων και διεργασιών αποτελεί πλέον προτεραιότητα διαρκώς αυξανόμενη. Οι περισσότερο αυστηροί κανονισμοί, το ευρέως διαδεδομένο δημόσιο ενδιαφέρον και οι νέες εταιρικές περιβαλλοντικές πολιτικές παρακινούν αυτό το ενδιαφέρον για το περιβάλλον. Εξαιρετικής σημασίας για την εφαρμογή της περιβαλλοντικής συνείδησης, είναι ο σχεδιασμός για το περιβάλλον ή «πράσινος» σχεδιασμός των προϊόντων, που εμπεριέχει τη γνώση, τα εργαλεία, τις μεθόδους παραγωγής και τα κίνητρα που μπορούν να εφαρμοστούν κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού [6].

Υπάρχει συσσωρευμένη γνώση όσο αφορά τη φόρμα των ικανών σχεδιαστικών λύσεων και εργαλείων για τον πράσινο σχεδιασμό. Με προσήλωση στο ευρύ πεδίο της ροής των πηγών πληροφοριών η βιομηχανική οικολογία λειτουργεί επικουρικά στον κυρίαρχο ρόλο της επιστήμης των μηχανικών όσο αφορά τον σχεδιασμό για το περιβάλλον. Επιπλέον, πολλές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για περιβαλλοντική ανάλυση δεν είναι κατάλληλες για την λήψη αποφάσεων στο σχεδιασμό. Οι οικολογικές απογραφές και η συμβατική ανάλυση του κύκλου ζωής των προϊόντων ενεργούν με ανάγκες δεδομένων και χρονικές απαιτήσεις που δυσχεραίνουν την ενσωμάτωση τους στη διαδικασία σχεδιασμού, ειδικά κατά τη διάρκεια του σημαντικού σταδίου του θεμελιώδους σχεδιασμού. Ακόμη, τα συμβατικά εργαλεία όπως η στοχαστική μοντελοποίηση και η ανάλυση αποφάσεων μπορούν να αναστείλουν τη φάση του βασικού σχεδιασμού ή να επιμηκυνθεί πάρα πολύ ο χρόνος που χρειάζεται να ληφθεί υπόψη κάθε εναλλακτική λύση. Ιδεατά, τα εργαλεία για περιβαλλοντικό σχεδιασμό θα πρέπει να είναι «αόρατα» από τον σχεδιαστή και να θεωρούνται επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην εξέλιξη ενός σχεδιασμού. Οι φάσεις παρέμβασης των περιβαλλοντικών και ενεργειακών πτυχών οφείλουν να είναι προσεκτικά επιλεγμένες ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα και να προκαθοριστεί το γεγονός ότι τα νέα εργαλεία και οι περιβαλλοντικοί στόχοι είναι κατάλληλα και χρήσιμα. Πιο συγκεκριμένα, οι σχεδιαστές χρειάζονται ικανές απεικονίσεις των περιβαλλοντικών κριτηρίων, πρόσβαση στις νεότερες τεχνολογικές ευκαιρίες, εύκολα εφαρμοσμένα συστήματα εκτιμήσεων για τον σχεδιαστικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και εργαλεία για την πρόσβαση στις επιπτώσεις του κύκλου ζωής, περιβαλλοντικές και ενεργειακές,

συμπεριλαμβάνοντας λογιστικά συστήματα για την απεικόνιση του ολοκληρωμένου περιβαλλοντικού κόστους των νέων σχεδίων [6].

Στα πλαίσια του σχεδιασμού για το περιβάλλον υπόκειται και το ισχυρό εργαλείο της ανάλυσης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (LCA). Η μελέτη Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι ένα σύνολο συστηματικών διεργασιών με σκοπό τη συλλογή και εξέταση των στοιχείων εισόδου και εξόδου των ενεργειακών ισοζυγίων και ισοζυγίων μάζας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με αυτά και προσδιορίζονται απευθείας μέσω της λειτουργίας του προϊόντος ή του συστήματος εξυπηρέτησης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής [5].

Πρόκειται δηλαδή για ένα εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που σκοπό έχει να αποτιμήσει τις επιδράσεις από τη χρήση ενέργειας και την επεξεργασία υλικών, συμπεριλαμβανομένης της απόρριψης αποβλήτων στο περιβάλλον, και να εκτιμήσει τις δυνατότητες επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας [5].

Η εκτίμηση του ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (Energy Payback Time-EPBT, or Energy Payback Ratio-EPR) λειτουργεί επικουρικά και τίθεται ως στόχος για τη σωστή διαχείριση της ενέργειας, στην διαδικασία ανάλυσης του κύκλου ζωής των προϊόντων, για να αποτιμήσει το χρόνο που χρειάζεται ένα προϊόν για να αποδώσει την ενέργεια που καταναλώθηκε για να δημιουργηθεί σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής του. Αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη που δεσπόζει στα πλαίσια των ενεργειακών ισοζυγίων, και συλλέγονται δεδομένα χρήσιμα για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό των προϊόντων. Ο δείκτης αυτός εκφράζει το λόγο της συνολικής ενέργειας που δαπανήθηκε για την παραγωγή ενός προϊόντος προς την ενέργεια που παράγει το προϊόν στη διάρκεια της ζωής του. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της σύνδεσης του ενεργειακού δείκτη αποπληρωμής με την ανακύκλωση των υλικών και την επαναχρησιμοποίηση κάποιων αναλλοίωτων μερών των εκάστοτε προϊόντων, αφού γίνεται συλλογή πληροφοριών για την βελτίωση της διαχείρισης της ενέργειας που καταναλώνεται και των κερδών που μπορεί να αποφέρει η ανακύκλωση ή η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων.

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να αναδείξει τη σημαντικότητα και τις πτυχές του σχεδιασμού για το περιβάλλον καθώς και να παρουσιάσει, στη συνέχεια, την μελέτη περίπτωσης της εκτίμησης του ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, συγκεκριμένα στην πόλη της Ξάνθης.

## 5.2 Σχεδιασμός για το περιβάλλον

Η λήψη αποφάσεων κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού είναι κρίσιμη για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων. Έχει εκτιμηθεί ότι ποσοστό 70% ή και παραπάνω του κόστους του κύκλου ζωής ενός τυπικού προϊόντος καθορίζεται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού. Πολλές από τις διεργασίες παραγωγής και τις λειτουργικές επιδράσεις ενός προϊόντος καθορίζονται μέσω αποφάσεων όπως η επιλογή των υλικών ή ο παράγοντας κατανάλωσης ισχύος. Ένα παραδοσιακό μέσο επίτευξης των περιβαλλοντικών απαιτήσεων είναι η πρόσθεση διεργασιών ελέγχου των αποβλήτων ακριβώς πριν τη απόρριψη τους στο περιβάλλον (end of pipe control). Ενώ μεγάλο μέρος των μηχανικών περιβάλλοντος εστιάζει στις διεργασίες διαχείρισης αποβλήτων, έχει γίνει ευρέως ξεκάθαρο ότι η παρεμπόδιση της μόλυνσης και η μείωση των αποβλήτων μέσω του σχεδιασμού μπορεί να είναι πολύ πιο αποδοτική [6].

Ο σχεδιασμός είναι μία πολύπλοκη και δύσκολη, όσο αφορά τη διευθέτηση και τη γρήγορη λήψη αποφάσεων, διαδικασία με πολυάριθμες ανταγωνιστικές απαιτήσεις. Οι σχεδιαστές συνήθως υπερφορτώνονται με αντιτιθέμενα κριτήρια και δεδομένα. Τα βοηθητικά δεδομένα για τον σχεδιασμό για το περιβάλλον πρέπει να εφαρμόζονται εύκολα και γρήγορα για να είναι αποδοτικά. Η αποτίμηση των περιβαλλοντικών αποτυπωμάτων απαιτεί ανάλυση των παράλληλων επιδράσεων κατά τη διάρκεια της παραγωγής, της λειτουργίας και της διάθεσης. Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός του προσδιορισμού των σχεδιαστικών αλλαγών που έχουν χαμηλό κόστος αλλά αξιοσημείωτα παράλληλα πλεονεκτήματα. Ένα παράδειγμα αποτελεί η πρόσθεση χαρακτηριστικών όπως «εύκολα και γρήγορα κλιπ» (snap fits) που έχουν ελάχιστο ή μηδαμινό αρχικό κόστος αλλά κάνουν εύκολη την αποσυναρμολόγηση και εν συνεχεία την επαναχρησιμοποίηση. Τα αποδοτικά και ενσωματωμένα περιβαλλοντικά ενδιαφέροντα στη λήψη αποφάσεων απαιτούν επεκτάσεις ή τροποποιήσεις στις μεθόδους σύνθεσης για να ληφθεί υπόψη ένα μεγαλύτερο εύρος εναλλακτικών λύσεων και απαιτήσεων. Για παράδειγμα, τα εφαρμόσιμα περιβαλλοντικά κριτήρια πρέπει να είναι διαθέσιμα σε κατάλληλη μορφή για την προσπέλαση ενός σχεδίου με βάση την δυνατότητα αποδοχής του ή να προσφέρουν κατάλληλες τροποποιήσεις [6].

Οι διαδικασίες του σχεδιασμού διαφέρουν κατά πολύ όσο αφορά την έκταση, τη διάρκεια και την πολυπλοκότητα. Κάποιες τυπικές αιτίες των αποκλίσεων εμπεριέχουν τα ακόλουθα:

- έκταση της έρευνας για καινοτομία
- δυνατότητα αποσυναρμολογησιμότητας

- βαθμός υλοποίησης ρυθμιστικών παραμέτρων
- τύπος της ροής δεδομένων στη διαδικασία σχεδιασμού
- σπουδαιότητα της δράσης του σχεδιασμού
- ποικιλία των πεδίων ειδίκευσης που εμπεριέχονται
- σπουδαιότητα του σχεδιασμένου προϊόντος ή διεργασίας
- έκταση σημαντικότητας της γεωμετρίας του προϊόντος
- αριθμός των προϊόντων ή διεργασιών που θα παραχθούν
- μακροβιότητα του τελικού προϊόντος ή διεργασίας

Οι διαφορετικές στρατηγικές για τον καταμερισμό των πληροφοριών, τα κίνητρα των δομών και τα βοηθήματα στο σχεδιασμό μπορεί να απαιτηθούν κατά τη διάρκεια των διαφορετικών αυτών αιτίων απόκλισης μεταξύ των διαδικασιών σχεδιασμού, αλλά θα πρέπει να είναι και βασικό τμήμα της υπόθεσης εκπλήρωσης περιβαλλοντικών στόχων που σχετίζονται με τοξικά υλικά, χρήση ενέργειας αλλά και υλικών [6].

Ο πράσινος σχεδιασμός συχνά βασίζεται στην πρακτική γνώση. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται έχουν τη μορφή των προτάσεων λύσεων του σχεδιασμού, τεχνολογικών παραδειγμάτων (όπως διαλυτικά υποκατάστατα) και παραδειγμάτων επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων (όπως επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων θερμότητας). Λίγα αυτοματοποιημένα σχεδιαστικά βοηθήματα είναι διαθέσιμα, ενώ πολλές διαδικασίες σχεδιασμού βασίζονται σε λογισμικά προγράμματα για γεωμετρική απεικόνιση, απεικόνιση της αντοχής και της σύνθεσης [6].

Ο προσδιορισμός κατάλληλων στόχων για τον σχεδιασμό για το περιβάλλον είναι ένα μαχητικό αντικείμενο συζήτησης μέσα στο συνολικό πεδίο του πράσινου σχεδιασμού. Η αύξηση του παράγοντα της ανακύκλωσης δεν είναι η καταλληλότερη από τη στιγμή που η ανακύκλωση μπορεί να προκύψει με υπερβολικό κόστος ή με δευτερογενής περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ομοίως, η απόκλιση όλων των τοξικών υλικών που χρησιμοποιούνται στα προϊόντα δεν είναι η κατάλληλη λύση, αφού τα τοξικά υλικά μπορεί να φανούν χρήσιμα και η απόρριψη τους στο περιβάλλον να αποφευχθεί κατά τη διάρκεια αλλά και μετά τη χρήση. Ακολουθώντας τις έννοιες της σωστής διαχείρισης της ενέργειας αλλά και της βιομηχανικής οικολογίας θα αναλυθεί η παρακάτω μελέτη περίπτωσης εκτίμησης της ενεργειακής αποπληρωμής ενός μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.

## 5.3 Μελέτη περίπτωσης

### 5.3.1 Εισαγωγή

Στόχος της εργασίας αυτής, μέσω της ανάλυσης του κύκλου ζωής (Life Cycle Analysis, LCA) ενός μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 9.2 KWp, που απαρτίζεται από 50 φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 185 Wp και διαστάσεων 1660\*830\*50\* mm (Υ\*Μ\*Π) και βάρους 17kg, είναι η εκτίμηση του χρόνου αποπληρωμής ή απόδοσης της καταναλισκόμενης για την κατασκευή του ενέργειας, με τη χρήση του δείκτη Energy Payback Time ή Energy Payback Ratio (EPBT/EPR) [1]. Οι πληροφορίες για την ανάλυση του κύκλου ζωής (LCA) αλλά και του χρόνου απόδοσης (EPR) αντλήθηκαν από προηγούμενες έρευνες [1,2] καθώς και από τη χρήση δυο προγραμμάτων για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων:

- CES EduPack 2008 , eco-audit tool, Granta (ενεργειακή επιθεώρηση)
- RETScreen 2005, RETScreen (εκτίμηση απόδοσης Φ/Β πλαισίου)

Η ανάλυση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (LCA) είναι η διαδικασία που χρησιμοποιείται για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του, λαμβάνοντας υπόψη κάθε βήμα του κύκλου ζωής του- από τη λήψη των πρώτων υλών και την παραγωγή του μέχρι το τέλος της ωφέλιμης ζωής του και την εναπόθεση του.

Μέσα στα πλαίσια της ανάλυσης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος εντάσσεται και το (EPBT) που είναι ένας δείκτης εκτίμησης ενεργειακής αποπληρωμής ενός προϊόντος, στην παρούσα εργασία ενός μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου. Ο δείκτης αυτός εκφράζει το λόγο της συνολικής ενέργειας που δαπανήθηκε για την παραγωγή ενός προϊόντος (Φ/Β πάρκου) προς την ενέργεια που παράγει το προϊόν (Φ/Β πάρκου) σε ένα χρόνο ζωής του, όπως αυτή εκφράζεται από το λόγο [1]

Ενέργεια εξόρυξης των πρώτων υλών + ενέργεια παραγωγής + ενέργεια ενσωμάτωσης των τμημάτων του κάθε πλαισίου + ενέργεια τοποθέτησης του κάθε πλαισίου στο χώρο λειτουργίας + ενέργεια συντήρησης των πλαισίων για το χρόνο ζωής τους + ενέργεια κατασκευής και τοποθέτησης υποστηρικτικών συστημάτων (BOS)

---

Παραγόμενη ενέργεια σε ένα χρόνο ζωής του προϊόντος

Συνήθης μονάδες μέτρησης του λόγου (EPR) για ένα Φ/Β πάρκο είναι τα έτη ή οι μήνες.

Για την σωστή ανάλυση και εκτίμηση του EPR, θεωρήθηκε σκόπιμη η εκτίμηση του EPR ενός πλαισίου, ώστε να γίνουν και πιο κατανοητά τα καταναλισκόμενα ποσά ενέργειας για τη δημιουργία των πλαισίων, και στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η εκτίμηση του συνολικού EPR του πάρκου.

### 5.3.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Η ανάλυση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, σε γενικότερο επίπεδο, ξεκινά με τον προσδιορισμό του στόχου και του πλαισίου στο οποίο θα κινηθεί η ανάλυση. Ως στόχος αναφέρεται η εκτίμηση του δείκτη ενεργειακής αποπληρωμής. Ενώ ως πλαίσιο αναφέρονται οι συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται ο στόχος, αναλυτικότερα η λειτουργική μονάδα η οποία μελετάται καθώς και οι κλιματικές συνθήκες.

Συγκεκριμένα στην έρευνα αυτή, ως στόχος τέθηκε η εύρεση και επαλήθευση, σύμφωνα και με άλλες έρευνες [1,2], του χρόνου απόδοσης (επιστροφής) της ενέργειας που καταναλώνεται για την κατασκευή αρχικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου συγκεκριμένων διαστάσεων, τεχνολογίας και ικανότητας παραγωγής και στη συνέχεια ενός μικρού φωτοβολταϊκού πάρκου.

Η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν ένα πολυκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο ισχύος 185\*Wp της εταιρίας Aleo, τύπου s\_16 με χαρακτηριστικά, όπως αυτά αναγράφονται στον Πίνακα 5.1.

**Πίνακας 5.1:** Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίου ( [7]-πηγή: <http://www.aleo-solar.de>)

Διαστάσεις πλαισίου	1660*830*50 mm
Βάρος	17kg
PMPP	185Wp
UMPP	24,1V
ISC	8,20A
UOC	30,5V
Μέγιστη τάση συστήματος	1.000V DC
Πιστοποίηση	IEC 612 15:2005





**Σχήμα 5.1:** Φωτογραφική απεικόνιση πλαισίου δοκιμών ([7]-πηγή: <http://www.aleo-solar.de>)

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για λειτουργία του (Φ/Β) πλαισίου στη γεωγραφική περιοχή του νομού Ξάνθης, στην πόλη της Ξάνθης, με γεωγραφικό πλάτος  $41,1^\circ$  και μήκος  $24,9^\circ$ . Στον Πίνακα 5.2 αναφέρονται τα κυριότερα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής.

Αναλυτικά, η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή έχει την τιμή των  $12,1^\circ\text{C}$  ενώ κυμαίνεται από  $0,5^\circ\text{C}$  (μέση τιμή για το μήνα Ιανουάριο) μέχρι και  $23,7^\circ\text{C}$  (μέση τιμή για το μήνα Ιούλιο). Η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας είναι  $60,3\%$  με μέγιστη τιμή  $78,1\%$  (μέση τιμή για το μήνα Δεκέμβριο) και ελάχιστη  $44,7\%$  (μέση τιμή για το μήνα Ιούλιο). Οι τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης λαμβάνουν τιμές μεταξύ  $96,6\text{ kPa}$  (μέση τιμή για το μήνα Ιανουάριο) και  $96,0\text{ kPa}$  (μέση τιμή για το μήνα Ιούλιο), με μέση ετήσια τιμή  $96,3\text{ kPa}$ . Η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι  $3,4\text{m/s}$  με μέγιστη τιμή  $3,9\text{m/s}$  (μέση τιμή για το μήνα Ιανουάριο) και ελάχιστη  $2,8\text{m/s}$  (μέση τιμή για το μήνα Ιούνιο). Στο Σχήμα 2 αναφέρονται ακόμη οι τιμές της μέσης ημερήσιας οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας ( $3,88\text{KWh/m}^3/\eta\mu$ ), της θερμοκρασίας εδάφους ( $13,2^\circ\text{C}$ ) καθώς και οι βαθμο-ημέρες θέρμανσης και ψύξης.

**Πίνακας 5.2:** Απεικόνιση κλιματικών συνθηκών στην περιοχή της Ξάνθης (πηγή: RETScreen, RETScreen 2005)

Χώρα	Ελλάδα		
Νομός	Ξάνθη		
Πόλη	Ξάνθη		
Γεωγραφικό πλάτος	°B	41,1	
Γεωγραφικό μήκος	°A	24,9	Πηγή
Υψόμετρο	m	465	NASA
Θερμοκρασία θέρμανσης βάση σχεδιασμού	°C	-4,6	NASA
Θερμοκρασία ψύξης βάση σχεδιασμού	°C	28,5	NASA
Διακύμανση θερμοκρασίας εδάφους	°C	21,6	NASA

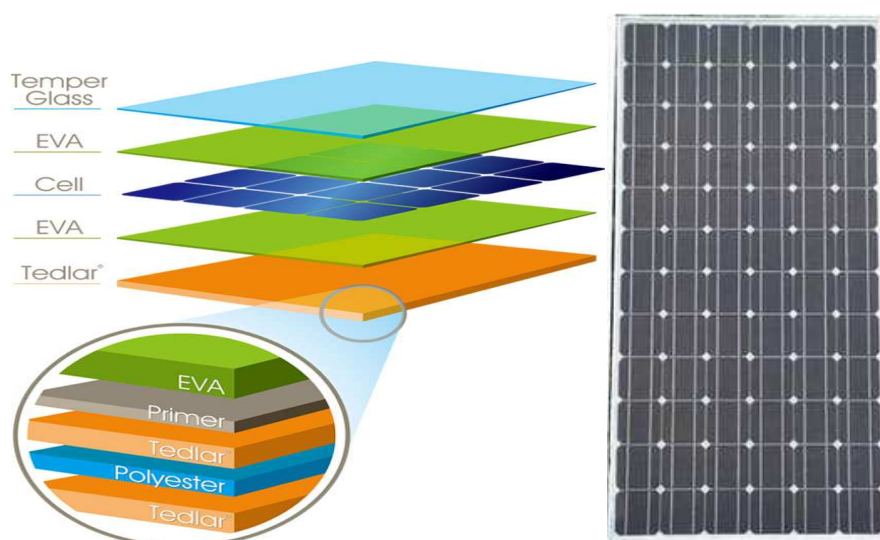
Μήνας	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (οριζόντια)	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμο-ημέρες θέρμανσης	Βαθμο-ημέρες ψύξης
	°C	%	KWh/m <sup>3</sup> /ημ.	kPa	m/s	°C	°C/ημ.	°C/ημ.
Ιαν.	0,5	77,5%	1,94	96,6	3,9	-0,1	543	0
Φεβ.	1,6	72,7%	2,68	96,4	4,0	1,6	460	0
Μάρ.	5,4	66,0%	3,64	96,3	3,6	6,4	389	0
Απρ.	11,2	57,1%	4,40	96,0	3,3	12,7	205	35
Μάι.	16,7	51,6%	5,18	96,1	2,9	18,7	39	209
Ιούν.	21,3	47,3%	6,02	96,1	2,8	23,6	0	340
Ιούλ.	23,7	44,7%	6,13	96,0	3,3	26,2	0	424
Αύγ.	23,2	46,4%	5,52	96,1	3,3	25,5	0	409
Σεπ.	19,0	50,3%	4,38	96,3	3,1	20,8	0	269
Οκτ.	13,2	60,3%	3,03	96,6	3,5	14,0	148	100
Νοέ.	6,6	73,0%	1,99	96,5	3,6	6,5	341	0
Δεκ.	1,6	78,1%	1,57	96,6	3,9	1,0	510	0
<b>Ετήσιο</b>	<b>12,1</b>	<b>60,3%</b>	<b>3,88</b>	<b>96,3</b>	<b>3,4</b>	<b>13,2</b>	<b>2.636</b>	<b>1.785</b>
Πηγή	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

### 5.3.2.1 Δομή-Υλικά-Κατεργασίες

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη (EPBT/EPR) θεωρήθηκε σκόπιμη η συνοπτική περιγραφή της επιλογής των υλικών και των διαδικασιών που πραγματοποιούνται για την παραγωγή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου. Άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια, τα άμορφου πυριτίου πλαίσια, πλαίσια λεπτού υμενίου αλλά και διάφορων άλλων υλικών όπως Cu<sub>2</sub>S/CdS, CuInSe<sub>2</sub>, CdTe και GaAs.

Για την παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα υλικά και απαιτούνται καθορισμένες διεργασίες για την κατασκευή του. Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από ένα στρώμα γυαλιού, ένα λεπτό έλασμα από υλικό EVA, τα κελιά πυριτίου Si, ακόμη ένα στρώμα EVA και τέλος το πίσω κάλυμμα από πολυμερές υλικό Tedlar, όπως χαρακτηριστικά φαίνονται στο Σχήμα

5.2. Στην έρευνα αυτή επιλέχθηκε για να αναλυθεί ένα φωτοβολταϊκό χωρίς το πλαίσιο του αλουμινίου. Τα κελιά είναι συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα για να παράγουν τάση κατάλληλη για χρήση. Το κάλυμμα από γυαλί περιέχει μια μικρή ποσότητα σιδήρου για να αυξάνεται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και γενικά υπόκεινται σε θερμή κατεργασία για την αύξηση της μηχανικής αντοχής, ειδικά για τις θύελλες με χαλάζι. Σκοπός του καλύμματος από γυαλί είναι επίσης η μείωση της ανακλώμενης ακτινοβολίας και η αύξηση της απορροφητικότητας. Τα τμήματα που αποτελούν το πλαίσιο ενσωματώνονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα το πλαίσιο να είναι ενιαίο.



**Σχήμα 5.2:** Χαρακτηριστική δομή ενός πλαισίου [1]

Κάθε τμήμα που συγκροτεί το πλαίσιο έχει συγκεκριμένη μάζα. Μελετώντας προηγούμενες έρευνες [1,2] έγιναν οι κατάλληλοι υπολογισμοί για τις μάζες και τις διαστάσεις κάθε τμήματος. Το συνολικό μέγεθος του πλαισίου που επιλέχθηκε είναι  $1,38\text{m}^2$ . Το γυαλί που καλύπτει την επιφάνεια του πλαισίου έχει πάχος  $3\text{mm}$  και μάζα  $13,2\text{kg}$ . Η συνολική μάζα του υλικού EVA είναι  $0,13\text{kg}$  και διαιρείται σε  $0,675\text{kg}$  εκατέρωθεν των κελιών. Το πάχος του ελάσματος από EVA είναι  $0,5\text{mm}$  συνολικά, δηλαδή  $0,25\text{mm}$  πάνω από τα κελιά και  $0,25\text{mm}$  κάτω. Όσο αφορά το φιλμ των κελιών, η μάζα του είναι  $0,9\text{kg}$  και το πάχος του  $0,5\text{mm}$ . Τέλος η μάζα του πίσω καλύμματος (Tedlar) είναι  $0,19\text{kg}$  και το πάχος του  $75\mu$ . Για κάθε τμήμα του πλαισίου με βάση το υλικό κατασκευής καθορίζεται και η ανάλογη διεργασία. Σύμφωνα με προηγούμενες βιβλιογραφικές αναφορές [4], υπάρχει αντιστοιχία στην παρούσα εργασία τόσο στα υλικά όσο και στις διεργασίες. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι στην εργασία αυτή, η προσέγγιση στις διεργασίες δεν είναι τόσο λεπτομερής, για λόγους που θα αναλυθούν σε επόμενη ενότητα. Στο μπροστά μέρος του γυαλιού γίνεται χύτευση σε μόνιμο καλούπι καθώς και στο φιλμ των κελιών. Ενώ

για την επίστρωση EVA και το πίσω κάλυμμα (Tedlar) επιλέγεται η εξώθηση. Τα παραπάνω δεδομένα αναγράφονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 5.3.

**Πίνακας 5.3:** Δομή πλαισίου σε ποσότητες [1]

Τμήμα	Υλικό	Διεργασία	Μάζα (kg)	Πάχος (mm)
Μπροστά κάλυμμα	Alkaline earth lead glass	Χύτευση σε μόνιμο καλούπι	13.2	3
Επίστρωση EVA	EVA (12% vinyl acetate, shore A95/D50)	Εξώθηση	0.675	0.25
Φίλμ κελιών	Silica (quartz fused)	Χύτευση σε μόνιμο καλούπι	0.9	0.5
Επίστρωση EVA	EVA (12% vinyl acetate, shore A95/D50)	Εξώθηση	0.675	0.25
Κάλυμμα Tedlar	PVC (flexible, shore 60A)	Εξώθηση	0.19	75μ

### **5.3.2.2 Εκτίμηση ενέργειας πλαισίου με βιβλιογραφική προσέγγιση**

Η κατασκευή ενός πλαισίου (Φ/Β) αποτελείται από τρεις φάσεις, σύμφωνα με τις προηγούμενες έρευνες [2]. Πρώτα παράγονται οι δίσκοι πυριτίου (wafer), έπειτα τα κελιά (cell film), στη συνέχεια πραγματοποιείται η ελασματοποίηση (lamination) του πλαισίου και τέλος η διαδικασία τοποθέτησης του πλαισίου στον επιλεγμένο χώρο και έναρξης της λειτουργίας του. Οι φάσεις παραγωγής αναγράφονται στον Πίνακα 5.4, όπως επίσης και κάποια επιπλέον στοιχεία, όπως το πάχος του δίσκου από πυρίτιο (wafer), η επιφάνεια των δίσκων πυριτίου (wafer) κ.α. Στην δεύτερη στήλη αναγράφονται οι μονάδες μέτρησης του κάθε στοιχείου της πρώτης στήλης ενώ στην τρίτη στήλη αναφέρονται και τα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται σε κάθε φάση παραγωγής [1].

Γενικά κατά την παραγωγή του πολυκρυσταλλικού πλαισίου ισχύος 185\*Wp για την εξαγωγή του συνολικού καταναλισκόμενου ποσού ενέργειας, είναι πιο πρακτικό για τον υπολογισμό του, να χωριστεί η παραγωγή ανάλογα με τη σειρά των φάσεων που ακολουθούνται. Σύμφωνα λοιπόν με τις φάσεις, όπως αυτές αναγράφονται στον Πίνακα 5.4, κατά την παραγωγή του δίσκου πυριτίου (wafer), λαμβάνονται υπόψη μια σειρά από χαρακτηριστικά. Ο αριθμός των δίσκων (wafer), από υπολογισμούς βασισμένους στη βιβλιογραφία [2], είναι 112,5 όσα και τα κελιά. Το πάχος του δίσκου (wafer) είναι 300μm, το διάκενο κοπής έχει πάχος 200μm ενώ η συνολική περιοχή των δίσκων πυριτίου (wafer) έχει επιφάνεια 100cm<sup>2</sup>. Το βάρος ενός δίσκου (wafer) είναι 6,99gr. Συμπληρωματικά αναφέρονται και άλλα στοιχεία (Πίνακας 5.4). Η συνολική ενέργεια παραγωγής ενός δίσκου πυριτίου (wafer) έχει την τιμή 0,3KWh ή 1,08MJ. Στη δεύτερη φάση κατασκευής των κελιών, η συνολική ενέργεια κατασκευής ενός κελιού λαμβάνει την τιμή 0,2KWh ή 0,78MJ. Η τρίτη φάση ενσωμάτωσης (lamination) των τμημάτων του πλαισίου αφορά στον συνολικό αριθμό των κελιών [2] που είναι 112,5. Η ισχύς του πλαισίου είναι 185\*Wp, όπως έχει προαναφερθεί, ενώ η απόδοση της παραγωγής είναι 97%. Τελικά η ενέργεια ενσωμάτωσης (lamination) έχει την τιμή 0,011KWh ή 0,042MJ. Έπειτα από τις τρεις φάσεις παραγωγής, το πλαίσιο περνάει στην διαδικασία τοποθέτησης του στον επιλεγμένο χώρο και η έναρξη της λειτουργίας του.

Για να μπορέσει όμως να εκτιμηθεί το συνολικό ποσό ενέργειας για την κατασκευή ενός Φ/Β πλαισίου θα πρέπει να πραγματοποιηθούν κατάλληλοι υπολογισμοί, όπως αυτοί αναγράφονται στον Πίνακα 5.5. Αναλυτικότερα, από προηγούμενες έρευνες [1,2] είναι γνωστά τα ποσά ενέργειας για την παραγωγή ενός δίσκου πυριτίου (wafer), για την κατασκευή ενός κελιού αλλά και το συνολικό ποσό ενέργειας ενσωμάτωσης των τμημάτων του πλαισίου (lamination) που αναφέρεται στο σύνολο των κελιών και των δίσκων πυριτίου. Έτσι, υπολογίστηκε το συνολικό ποσό ενέργειας της κατασκευής των 112,5 δίσκων πυριτίου (wafer), για το συγκεκριμένο πλαίσιο που χρησιμοποιείται, πολλαπλασιάζοντας την ενέργεια για την κατασκευή του ενός δίσκου με τον αριθμό των δίσκων. Το ποσό ενέργειας που προκύπτει έχει την τιμή 33,75KWh ή 121,5MJ. Στην φάση κατασκευής των κελιών ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, πολλαπλασιάστηκε το ποσό ενέργεια για την κατασκευή ενός κελιού, που ήταν γνωστή από προηγούμενη έρευνα [2], με τον αριθμό των κελιών. Το ποσό, λοιπόν, της ενέργειας κατασκευής των κελιών λαμβάνει την τιμή 22,5 KWh ή 81MJ. Τέλος, το ποσό ενέργειας για την ενσωμάτωση των τμημάτων του πλαισίου, όπως αναγράφεται στους Πίνακες 5.4,5.5 είναι 0,11KWh ή 0,042 MJ. Έτσι προκύπτει το συνολικό ποσό ενέργειας για την κατασκευή του συγκεκριμένου τύπου και χαρακτηριστικών πλαισίου που έχει την τιμή 56,36KWh ή 202,896MJ.

**Πίνακας 5.4:** Ποσά ενέργειας των τριών φάσεων κατασκευής [1]

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο 185 Wp	mc-Si	112,5 wafer
<i>Φάση 1<sup>η</sup> (παραγωγή δίσκων πυριτίου)</i>		
Πάχος δίσκου	μm	300
Διάκενο κοπής	μm	200
Επιφάνεια δίσκου	cm <sup>2</sup>	100
Βάρος	gr	6,99
Ισχύς κελιού	Wp	1,65
Απόδοση κελιού	%	16,50%
Χρήση μεταλλουργικής σιλικόνης	g/δίσκο	19
Χρήση ηλεκτρομαγνητικής σιλικόνης	g/ δίσκο	11,2
Καταναλισκόμενη ενέργεια διεργασίας	kWh/ δίσκο	0,3
<i>Φάση 2<sup>η</sup> (κατασκευή κελιών)</i>		
Καταναλισκόμενη ενέργεια διαδικασίας	kWh/κελί	0,2
<i>Φάση 3<sup>η</sup> (ενσωμάτωση τμημάτων πλαισίου)</i>		
Αριθμός κελιών	κελιά/πλαίσιο	112,5
Επιφάνεια πλαισίου	cm <sup>2</sup>	12529
Ενεργός επιφάνεια πλαισίου	cm <sup>2</sup>	11250
Ισχύς πλαισίου	Wp	185
Απόδοση διεργασίας	%	97%
Χρήση πολυκρυσταλλικών κελιών πυριτίου	κελιά/kWp	608
<b>Καταναλισκόμενη ενέργεια διεργασίας</b>	<b>KWh/185Wp</b>	<b>0,11</b>

**Πίνακας 5.5:** Συνολικά ποσά ενέργειας των τριών φάσεων κατασκευής για ένα πλαίσιο 185 Wp (m-Si)

Φάσεις κατασκευής προϊόντος	Απαραίτητοι υπολογισμοί	Ενέργεια (KWh)	Ενέργεια (MJ)
Φάση 1 <sup>η</sup> , Παραγωγή δίσκων πυριτίου	0,3kWh/wafer *112,5	33,75	121,5
Φάση 2 <sup>η</sup> , Κατασκευή κελιών	0,2kWh/cell*112,5	22,5	81
Φάση 3 <sup>η</sup> , Ενσωμάτωση τμημάτων πλαισίου		0,11	0,04255
Σύνολο		56,36	202,896

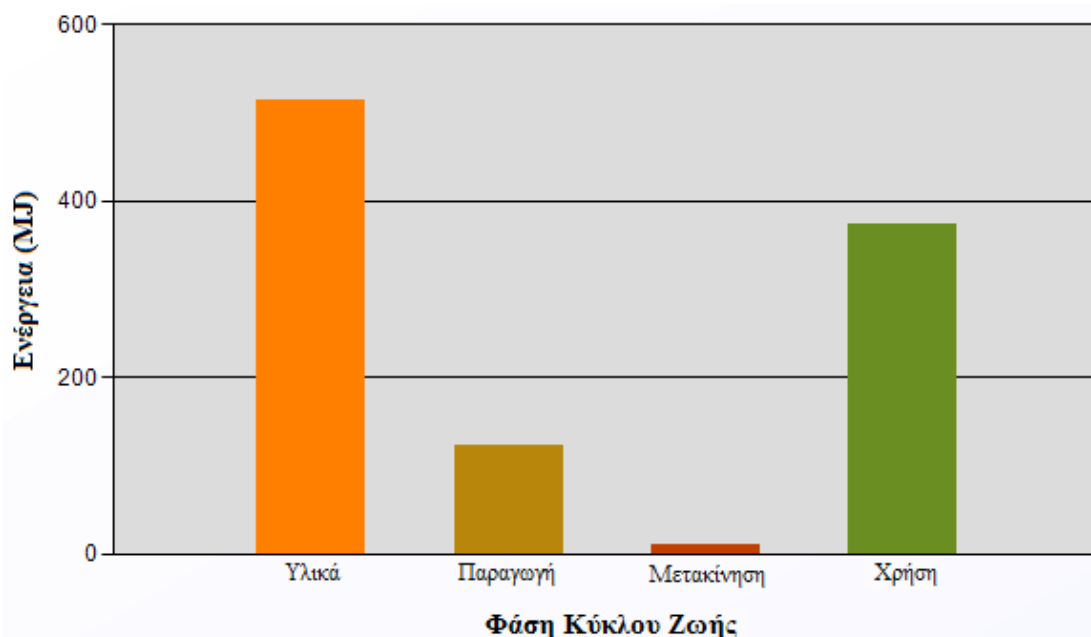
### 5.3.2.3 Εκτίμηση ενέργειας πλαισίου με CES EduPack 2008, Granta

Για τον ίδιο σκοπό, την εύρεση των ποσών ενέργειας που καταναλώνονται για την παραγωγή του επιλεγμένου (Φ/Β), έγινε χρήση και του προγράμματος CES EduPack 2008 της Granta. Με τη βοήθεια του λογισμικού αυτού, αφού εισήχθησαν τα δεδομένα των υλικών και των διεργασιών (Πίνακας 5.3) σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [1], με την εξαγωγή των πινάκων για τις δαπανώμενες ενέργειες κατά τη διάρκεια ζωής ενός πλαισίου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3, αναγράφονται ενδεικτικά οι κατανομές των ποσών ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό, επιχειρείται η ενεργειακή αποτίμηση της παραγωγής του Φ/Β πλαισίου αλλά με κάποιες αποκλίσεις. Στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι δυνατή στο χρήστη η αντιστοίχιση των διεργασιών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των πλαισίων αλλά οι διεργασίες μπαίνουν αυτόματα από το πρόγραμμα. Ακόμη, δεν λαμβάνεται υπόψη η διαδικασία ανακύκλωσης καθώς τα υλικά που χρησιμοποιούνται δεν είναι ανακυκλώσιμα.

**Πίνακας 5.6:** Αναλυτικές τιμές ποσών ενέργειας σε κάθε φάση παραγωγής (πηγή : CES EduPack 2008, Granta)

Φάση	Ενέργεια (MJ)	Ενέργεια (KWh)	Ενέργεια (%)
Υλικά	513,533	142,64	50,28
Παραγωγή	123,306	34,25	12,07
Μετακίνηση	10,510	2,96	1,03
Χρήση	373,915	103,86	36,61
Συνολικό ποσό	1021,24	283,67	100

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, για την εξόρυξη των πρώτων υλών και την παραγωγή των υλικών (υλικά) χρησιμοποιούνται τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας ενώ για τις διεργασίες (παραγωγή) τα ποσά είναι πολύ μικρότερα. Ο παράγοντας που επηρεάζει σε μικρότερο βαθμό το συνολικό ποσό ενέργειας είναι η τοποθέτηση του πλαισίου στο χώρο λειτουργίας (μετακίνηση) ενώ σημαντικά ποσά ενέργειας καταναλώνονται κατά τη συντήρηση του πλαισίου για το χρόνο ζωής του (χρήση).



**Σχήμα 5.3:** Κατανομή των ποσών ενέργειας στις φάσεις κατασκευής (πηγή : CES EduPack 2008, Granta)

Τα ποσά ενέργειας που δαπανώνται για την παραγωγή του (Φ/Β) δίνονται πιο αναλυτικά στον Πίνακα 5.6. Στην φάση της εξόρυξης των πρώτων υλών και παραγωγής των υλικών η καταναλισκόμενη ενέργεια έχει την τιμή των 513,5 MJ ή 142,64KWh , ενώ μικρότερο ποσό δαπανάται κατά την φάση της παραγωγής(123,3 MJ ή 34,25KWh). Αντίστοιχα κατά τη διαδικασία τοποθέτησης του πλαισίου καταναλίσκεται το μικρότερο ποσό ενέργειας (10,5 MJ ή 2,96KWh) και τέλος στη φάση συντήρησης του πλαισίου δαπανάται το ποσό των 373,9 MJ ή 103,86KWh. Οι φάσεις αυτές παραγωγής του πλαισίου είναι ορισμένες από το λογισμικό. Η φάση «υλικά» αναφέρεται στη εξόρυξη και τις κατάλληλες διεργασίες που χρειάστηκαν για να μεταποιηθούν τα υλικά στη μορφή που πρέπει να είναι ώστε να χρησιμοποιηθούν. Η φάση «παραγωγή» αφορά όλες εκείνες τις κατεργασίες και διαδικασίες που είναι απαραίτητες ώστε να δημιουργηθούν οι δίσκοι πυριτίου και τα κελιά. Ακόμη, η φάση «μετακίνηση» αναφέρεται στη διαδικασία εκείνη που απαιτείται ώστε να μεταφερθεί το πλαίσιο στο χώρο λειτουργίας του. Τέλος, η φάση «χρήση» αφορά στην ετήσια συντήρηση του Φ/Β πλαισίου.

Αφού έγινε προσπάθεια εκτίμησης των συνολικών ποσών ενέργειας σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα, τους υπολογισμούς που κρίθηκαν απαραίτητοι αλλά και σύμφωνα με το λογισμικό πακέτο CES EduPack 2008 της Granta, πραγματοποιείται μια κριτική των αποτελεσμάτων και των δυο μεθόδων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το συνολικό ποσό καταναλισκόμενης ενέργειας έχει την τιμή 56,36KWh ή 202,896MJ ενώ σύμφωνα με το λογισμικό το συνολικό ποσό της καταναλισκόμενης ενέργειας έχει την τιμή 1021,24MJ ή 283,67KWh. Παρατηρούμε



πως υπάρχει απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων. Το γεγονός αυτό της απόκλισης θα μπορούσε να αποδοθεί σε κάποιους παράγοντες όπως:

- Η πρώτη μέθοδος (βιβλιογραφική) δεν λαμβάνει υπόψη τα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται για την τοποθέτηση του πλαισίου στο χώρο λειτουργίας και την ετήσια συντήρηση του (transport, use).
- Στη δεύτερη μέθοδο (CES EduPack 2008, Granta) δεν λαμβάνεται υπόψη το ποσό ενέργειας που καταναλώνεται για την ενσωμάτωση των τμημάτων του πλαισίου (lamination).
- Η αντιστοίχιση των διεργασιών δεν είναι δυνατή από το χρήστη (CES EduPack 2008, Granta) και οι επιλεγόμενες διεργασίες δεν ανταποκρίνονται πλήρως στην τεχνολογία των Φ/Β συστημάτων.

Σε κάθε περίπτωση οι αναλυτικοί υπολογισμοί που επιχειρήθηκαν είναι δύσκολοι, όσο αφορά τη σύγκριση των πληροφοριών.

### **5.3.3 Φωτοβολταϊκό πάρκο**

Το φωτοβολταϊκό πάρκο της παρούσας εργασίας έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και είναι τοποθετημένο στην περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, στην πόλη της Ξάνθης. Αποτελείται από 50 φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 185 Wp και διαστάσεων 1660\*830\*50\* mm (Υ\*Μ\*Π) και βάρους 17kg όπως έχουν αναλυθεί εκτενώς σε προηγούμενες ενότητες. Η συνολική ισχύς του πάρκου είναι 9,2 KWp και η έκταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων που το απαρτίζουν είναι 60 m<sup>2</sup>. Ακόμη, ισχύουν οι κλιματικές συνθήκες που έχουν προαναφερθεί. Όσο αφορά την πλήρη περιγραφή του φωτοβολταϊκού πάρκου, πρέπει να σημειωθεί ότι πέρα από τα πλαίσια που το απαρτίζουν λαμβάνουν χώρα και τα συστήματα που βοηθούν στη λειτουργία του Φ/Β πάρκου (BOS), όπως είναι ο εξοπλισμός για τα καλώδια, η μπαταρία, το μπετόν ή το ασφάλι που χρησιμοποιείται στην τοποθέτηση του Φ/Β κ.α. Η καταναλισκόμενη ενέργεια για την κατασκευή αλλά και την τοποθέτηση των υποστηρικτικών συστημάτων προστίθεται στην συνολική ενέργεια που καταναλώνεται για την κατασκευή του πάρκου. Έτσι, ο ενεργειακός δείκτης αποπληρωμής παίρνει τη μορφή:

Ενέργεια εξόρυξης των πρώτων υλών + ενέργεια παραγωγής + ενέργεια ενσωμάτωσης των τμημάτων του κάθε πλαισίου + ενέργεια τοποθέτησης του κάθε πλαισίου στο χώρο λειτουργίας + ενέργεια συντήρησης των πλαισίων για το χρόνο ζωής τους + ενέργεια κατασκευής και τοποθέτησης υποστηρικτικών συστημάτων (BOS)

---

Παραγόμενη ενέργεια σε ένα χρόνο ζωής του συστήματος

### **5.3.3.1 Εκτίμηση ενέργειας πάρκου με βιβλιογραφική προσέγγιση**

Η διαδικασία εκτίμησης της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας για το φωτοβολταϊκό πάρκο περιλαμβάνει κάποιους απαραίτητους υπολογισμούς. Το συνολικό αυτό ποσό ενέργειας, όπως αναγράφεται και στο δείκτη του EPR, αποτελείται από την συνολική ενέργεια κατασκευής των 50 φωτοβολταϊκών πλαισίων, με τη διαδικασία υπολογισμού όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα, αλλά και την ενέργεια κατασκευής και τοποθέτησης των υποστηρικτικών συστημάτων [4]. Τα δεδομένα για την ενέργεια κατασκευής και τοποθέτησης των συστημάτων αυτών αντλήθηκαν από προηγούμενη έρευνα, όσο αφορά και τους δύο τρόπους εκτίμησης της ενέργειας του πάρκου [4].

Ξεκινώντας από τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας που καταναλώθηκε για την παραγωγή των υλικών, την κατασκευή, την μεταφορά, τη χρήση και συντήρηση καθώς και την συναρμολόγηση των 50 φωτοβολταϊκών στοιχείων, με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα, κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός του πολλαπλασιασμού της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας του ενός φωτοβολταϊκού επί τα 50 πλαίσια που απαρτίζουν το πάρκο. Το ποσό αυτό της ενέργειας είναι 8.168KWh ή 29.405MJ (σύμφωνα με τον Πίνακα 5.8 που ακολουθεί). Τα βιβλιογραφικά δεδομένα για την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για ένα πλαίσιο παρουσιάζουν κάποιες ελλείψεις όσο αφορά την συντήρηση και την μεταφορά του πλαισίου στο χώρο λειτουργίας. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμη η πρόσθεση των ποσών αυτών ενέργειας από την εκτίμηση με βάση το λογισμικό CES EduPack 2008, Granta. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει το συνολικό αυτό ποσό ενέργειας για το πάρκο που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.6.

Στην περίπτωση του πάρκου, πρέπει να προστεθεί και η ενέργεια παραγωγής και τοποθέτησης των υποστηρικτικών συστημάτων στο συνολικό ποσό ενέργειας που καταναλώνεται για την δημιουργία του. Είναι γνωστό από προηγούμενη έρευνα [4], ότι για ένα πάρκο η ενέργεια του υποστηρικτικού μηχανισμού είναι 500KWh/m<sup>2</sup>. Αφού ολοκληρώθηκαν οι υπολογισμοί για το συγκεκριμένο πάρκο επιφάνειας πλαισίων 60m<sup>2</sup>, το ποσό ενέργειας που καταναλώνεται είναι 30.000 KWh. Ακόμη,

**Πίνακας 5.7:** Συνολικό ποσό ενέργειας για το πάρκο (εκτίμηση 1<sup>η</sup>) [2]

Φάση	Ενέργεια (KWh)	Ενέργεια (MJ)
Παραγωγή δίσκων πυριτίου [2] 0,3kWh/δίσκο*112,5*50 (πλαίσια)	1.687,5KWh	6.075MJ
Κατασκευή κελιών [2] 0,2kWh/κελί*112,5*50 (πλαίσια)	1.125KWh	4.050MJ
Ενσωμάτωση τμημάτων πλαισίου [2]*50 (πλαίσια)	5,5KWh	2,13MJ
Μετακίνηση [5] *50 (πλαίσια)	150KWh	525MJ
Χρήση [5] *50 (πλαίσια)	5.200KWh	18.695,75MJ
Υποστηρικτικός μηχανισμός	30.000KWh	105.000MJ
Συνολικό ποσό ενέργειας	38.168KWh	134.404,8MJ

πρέπει να σημειωθεί ότι ο υποστηρικτικός αυτός μηχανισμός που εφαρμόζεται σε όλα τα πάρκα μειώνει την απόδοση παραγωγής ενέργειας στο 80%. Γεγονός που θα συνυπολογιστεί αργότερα. Τελικά το συνολικό ποσό ενέργειας που καταναλώνεται για την δημιουργία του συγκεκριμένου (Φ/Β) πάρκου.

### **5.3.3.2 Εκτίμηση ενέργειας πάρκου με CES EduPack 2008, Granta**

Αντίστοιχα, στην εκτίμηση ενέργειας με το CES EduPack 2008, Granta είναι απαραίτητοι οι υπολογισμοί για τα 50 πλαίσια που απαρτίζουν το πάρκο και για τον υποστηρικτικό μηχανισμό που οι υπολογισμοί είναι κοινοί και για τις δύο εκτιμήσεις. Προχωρώντας, η συνολική ενέργεια για την παραγωγή των υλικών, την παραγωγή, την μεταφορά, την χρήση και την συντήρηση αλλά και προσθετικά από τα βιβλιογραφικά δεδομένα η ενέργεια για συναρμολόγηση των πλαισίων, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.8.

Με τον ίδιο τρόπο εργασίας, όπως και στην βιβλιογραφική εκτίμηση, το συνολικό ποσό ενέργειας που καταναλώνεται για την δημιουργία του πάρκου είναι 44.200KWh ή 165.062,13MJ.

Σημαντική σημείωση αποτελεί η κριτική των αποτελεσμάτων που έχει γίνει στην ενότητα 5.3.2.3. Όπως και στην εκτίμηση των ενεργειών για το ένα πλαίσιο, τα αντίστοιχα στοιχεία ισχύουν και για τις εκτιμήσεις των ενεργειών στο πάρκο.

**Πίνακας 5.8:** Συνολικό ποσό ενέργειας για το πάρκο (εκτίμηση 2<sup>η</sup>) [2]

Φάση	Ενέργεια (MJ)	Ενέργεια (KWh)
Παραγωγή υλικών [5]*50 (πλαίσια)	25.675MJ	7.132KWh
Κατασκευή [5] *50 (πλαίσια)	6.165MJ	1.712,5KWh
Μεταφορά [5] *50 (πλαίσια)	525MJ	150KWh
Χρήση [5] *50 (πλαίσια)	18.695MJ	5.200KWh
Ενσωμάτωση τμημάτων [2] *50 (πλαίσια)	2,13MJ	5,5KWh
Υποστηρικτικός μηχανισμός Σύνολο	105.000MJ 165.062,13MJ	30.000KWh 44.200KWh

### 5.3.4 Υπολογισμός ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (EPBT/EPR)

Energy Payback Time (Energy Payback Ratio), όπως έχει ήδη αναφερθεί, ονομάζεται ο δείκτης εκτίμησης ενεργειακής αποπληρωμής ενός προϊόντος, στην παρούσα εργασία ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου (Φ/Β) και ενός μικρού (Φ/Β) πάρκου. Ο δείκτης αυτός εκφράζει το λόγο της συνολικής ενέργειας που δαπανήθηκε για την παραγωγή ενός προϊόντος (Φ/Β)/(Φ/Β) πάρκου προς την ενέργεια που παράγει το προϊόν σε ένα χρόνο της διάρκειας της ζωής του [1]. Ο δείκτης του EPR για το πλαίσιο είναι:

Ενέργεια εξόρυξης των πρώτων υλών + ενέργεια παραγωγής + ενέργεια ενσωμάτωσης των τμημάτων του πλαισίου + ενέργεια τοποθέτησης του πλαισίου στο χώρο λειτουργίας + ενέργεια συντήρησης του πλαισίου για το χρόνο ζωής του

---

Παραγόμενη ενέργεια σε ένα χρόνο της διάρκειας ζωής του προϊόντος

και αντίστοιχα για το πάρκο διαμορφώνεται ως εξής:

Ενέργεια εξόρυξης των πρώτων υλών + ενέργεια παραγωγής + ενέργεια ενσωμάτωσης των τμημάτων του κάθε πλαισίου + ενέργεια τοποθέτησης του κάθε πλαισίου στο χώρο λειτουργίας + ενέργεια συντήρησης των πλαισίων για το χρόνο ζωής τους + ενέργεια κατασκευής και τοποθέτησης υποστηρικτικών συστημάτων (BOS)

---

Παραγόμενη ενέργεια σε ένα χρόνο ζωής του συστήματος

Για τον υπολογισμό του EPR για τον συγκεκριμένο τύπο του φωτοβολταϊκού πλαισίου και πάρκου προς επαλήθευση των αποτελεσμάτων ακολουθήθηκαν δυο τρόποι εργασίας.

#### **5.3.4.1 Εκτίμηση 1<sup>η</sup> (δεδομένα βιβλιογραφίας)**

Με βάση προηγούμενη έρευνα [2], η συνολική ενέργεια για την παραγωγή ενός Φ/Β μελετάται μέσω των φάσεων παραγωγής (φάση 1<sup>η</sup>-φάση 2<sup>η</sup>). Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες μετατροπές ώστε να εκτιμηθεί το συνολικό ποσό ενέργειας για την κατασκευή του πλαισίου αλλά και του πάρκου. Ακόμη, με τη χρήση του προγράμματος RETScreen, RETScreen 2005, αφού επιλέχθηκε η περιοχή της Ξάνθης, υπολογίστηκε το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει ένα Φ/Β πλαίσιο αλλά και το (Φ/Β) πάρκο στην Ξάνθη για ένα χρόνο.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.9, παρατίθενται στοιχεία όπως η βέλτιστη κλίση του πλαισίου για την συγκεκριμένη περιοχή, που είναι 41,1°. Με βάση την ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, υπολογίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται στο δίκτυο κάθε μήνα αλλά και ετήσια. Ακόμη εισήχθησαν στοιχεία της δομής και του τύπου του (Φ/Β). Τελικά, η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει το συγκεκριμένου τύπου Φ/Β στο δίκτυο είναι 0,240 MWh ή 240 KWh ή 864 MJ ετήσια.

**Πίνακας 5.9:** Δεδομένα λειτουργίας του πλαισίου (πηγή:RET Screen, RETScreen 2005)

Τεχνολογία	Φωτοβολταϊκό			
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου	Σταθεροποιημένα			
Κλίση	41,1			
Αζιμούθιο	0,0			
	<b>Μήνας</b>	<b>Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία-οριζόντια KWh/m<sup>2</sup>/ημ.</b>	<b>Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία-κεκλιμένο KWh/m<sup>2</sup>/ημ</b>	<b>Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh</b>
	Ιανουάριος	1,94	3,37	0,017
	Φεβρουάριος	2,68	3,86	0,017
	Μάρτιος	3,64	4,34	0,021
	Απρίλιος	4,40	4,49	0,021
	Μάιος	5,18	4,78	0,022
	Ιούνιος	6,02	5,30	0,023
	Ιούλιος	6,13	5,60	0,025
	Αύγουστος	5,52	5,44	0,024
	Σεπτέμβριος	4,38	4,98	0,022
	Οκτώβριος	3,03	4,04	0,019
	Νοέμβριος	1,99	3,20	0,015
	Δεκέμβριος	1,57	2,76	0,014
	<b>Ετήσιο</b>	<b>3,88</b>	<b>4,34</b>	<b>0,240</b>
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία-οριζόντιο επίπεδο				
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία-κεκλιμένο επίπεδο				
<b>Φωτοβολταϊκό</b>				
Τύπος		Πολυκρυσταλλικό		
Ηλεκτρική ισχύς	kW	0,19		
Κατασκευαστής		Aleo		
Μοντέλο		Aleo_S16		
Βαθμός απόδοσης	%	13,0%		
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελιού	°C	45		
Συντελεστής θερμοκρασίας	%/°C	0,40%		
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m <sup>2</sup>	1		
Λοιπές απώλειες	%	3,0%		
<b>Μετατροπέας (inverter)</b>				
Βαθμός απόδοσης	%	90,0%		
Ισχύς	kW	2,0		
Λοιπές απώλειες	%	3,0%		
<b>Περίληψη</b>				
Συντελεστής ισχύος	%	14,8%		
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	0,240		

Στον Πίνακα 5.10, που ακολουθεί, υπολογίζεται το συνολικό ποσό ενέργειας για την εκτίμηση του EPR. Σε σχέση με τον Πίνακα 5.5 που προηγήθηκε, έχουν προστεθεί τα ποσά ενέργειας για την τοποθέτηση του πλαισίου και την ετήσια συντήρηση του, που δεν αναφερόταν από τα βιβλιογραφικά δεδομένα.

Στην πρώτη φάση πολλαπλασιάζεται η ενέργεια κατασκευής ενός δίσκου πυριτίου [2] με τον αριθμό των δίσκων για το συγκεκριμένο Φ/Β, που είναι 112,5 και εξάγεται το συνολικό ποσό ενέργειας. Στη δεύτερη φάση της κατασκευής των κελιών πολλαπλασιάζεται η ενέργεια που καταναλώνεται για το ένα κελί με τον αριθμό των κελιών και εξάγεται το συνολικό ποσό δαπανώμενης ενέργειας. Στην τρίτη φάση της συναρμολόγησης γίνεται ο υπολογισμός της ολικής ενέργειας για τα 185 Wp του (Φ/Β). Για την σωστή εκτίμηση του EPR, θεωρήθηκε σκόπιμο να προστεθούν στις ενέργειες από τα βιβλιογραφικά δεδομένα και αυτές που δεν υπολογίζονται, δηλαδή η ενέργεια τοποθέτησης του πλαισίου και η ενέργεια ετήσιας συντήρησης του σύμφωνα με το πρόγραμμα CES EduPack 2008, Granta. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια πιο ακριβής εκτίμηση του EPR.

**Πίνακας 5.10:** Συνολικό ποσό ενέργειας για την πρώτη εκτίμηση του EPR [2]

Φάση 1 <sup>η</sup> , Παραγωγή δίσκων πυριτίου [2] 0,3kWh/δίσκο*112,5	33,75KWh	121,5MJ
Φάση 2 <sup>η</sup> , Κατασκευή κελιών [2] 0,2kWh/κελί*112,5	22,5KWh	81MJ
Φάση 3 <sup>η</sup> , Ενσωμάτωση τμημάτων πλαισίου [2]	0,11KWh	0,04255MJ
Μετακίνηση [5]	3KWh	10,5MJ
Χρήση [5]	104KWh	373,915MJ
Συνολικό ποσό ενέργειας	163,36KWh	588,096MJ

Το EPR ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενέργειας προς την ενέργεια που παράγει το Φ/Β στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Συνολική ενέργεια : ενέργεια που δαπανήθηκε για την παραγωγή, συναρμολόγηση, μεταφορά και τοποθέτηση του Φ/Β

Ενέργεια που παράγει το Φ/Β ετήσια

$EPR = 163,36 \text{ KWh} / 240 \text{ KWh} \Rightarrow \text{EPR (α) πλαισίου} = 0,68 \text{ έτη ή } 8,17 \text{ μήνες}$  που είναι ο χρόνος ενεργής αποπληρωμής για ένα πλαίσιο 185\*Wp (m-Si).

Αντίστοιχα για το φωτοβολταϊκό πάρκο για να υπολογιστεί ο δείκτης του EPR, πρέπει να υπολογιστεί το παραγόμενο ποσό ενέργειας για ένα χρόνο λειτουργίας του. Με την χρήση του προγράμματος RETScreen, RETScreen 2005,

υπολογίστηκε το ποσό παραγόμενης ενέργειας από το φωτοβολταϊκό πάρκο για ένα χρόνο λειτουργίας, συνδεδεμένο στο δίκτυο, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.11.

**Πίνακας 5.11:** Δεδομένα λειτουργίας του πάρκου (πηγή:RET Screen, RETScreen 2005)

Τεχνολογία		Φωτοβολταϊκό		
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου		Σταθεροποιημένα		
Κλίση		41,1		
Αζιμούθιο		0,0		
	<b>Μήνας</b>	<b>Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία-οριζόντια KWh/m<sup>2</sup>/ημ.</b>	<b>Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία-κεκλιμένο KWh/m<sup>2</sup>/ημ.</b>	<b>Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh</b>
	Ιανουάριος	1,94	3,37	0,838
	Φεβρουάριος	2,68	3,86	0,861
	Μάρτιος	3,64	4,34	1,055
	Απρίλιος	4,40	4,49	1,035
	Μάιος	5,18	4,78	1,114
	Ιούνιος	6,02	5,30	1,168
	Ιούλιος	6,13	5,60	1,237
	Αύγουστος	5,52	5,44	1,221
	Σεπτέμβριος	4,38	4,98	1,101
	Οκτώβριος	3,03	4,04	0,950
	Νοέμβριος	1,99	3,20	0,753
	Δεκέμβριος	1,57	2,76	0,688
	<b>Ετήσιο</b>	<b>3,88</b>	<b>4,34</b>	<b>12,022</b>
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία-οριζόντιο επίπεδο	MWh/m <sup>2</sup>	1,42		
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία-κεκλιμένο επίπεδο	MWh/m <sup>2</sup>	1,58		
<b>Φωτοβολταϊκό</b>				
Τύπος		Πολυκρυσταλλικό		
Ηλεκτρική ισχύς	kW	9,25		
Κατασκευαστής		Aleo		
Μοντέλο		Aleo_S16		
Βαθμός απόδοσης	%	13,0%		
Ονομαστική θερμοκρασία	°C	45		
λειτουργίας κελιού				
Συντελεστής θερμοκρασίας	%/°C	0,40%		
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m <sup>2</sup>	56		
Λοιπές απώλειες	%	3,0%		
<b>Μετατροπέας (inverter)</b>				
Βαθμός απόδοσης	%	90,0%		
Ισχύς	kW	2,0		
Λοιπές απώλειες	%	3,0%		
<b>Περίληψη</b>				
Συντελεστής ισχύος	%	14,8%		
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	12,022		



Έτσι, υπολογίζεται ο δείκτης του EPR για το πάρκο ως εξής:

Συνολική ενέργεια : ενέργεια που δαπανήθηκε για την παραγωγή, συναρμολόγηση, μεταφορά και τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων + ενέργεια που δαπανήθηκε για την κατασκευή και την τοποθέτηση του υποστηρικτικού μηχανισμού

Ενέργεια που παράγει το Φ/Β πάρκο ετήσια

$EPR = 38.168 \text{ KWh} / 12.022 \text{ KWh} * 0.80 = 38.168 \text{ KWh} / 9.617,6 \text{ KWh} \Rightarrow \mathbf{EPR (\alpha)}$   
**πάρκου = 3,968 έτη ή 48 μήνες** που είναι ο χρόνος ενεργής αποπληρωμής για ένα πάρκο ισχύος 9.2 KWp, που απαρτίζεται από 50 πλαίσια ισχύος 185\*Wp (m-Si).

### **5.3.4.2 Εκτίμηση 2<sup>η</sup> (CES EduPack 2008, Granta)**

Με τη χρήση του εργαλείου eco-audit του προγράμματος CES EduPack 2008 της Granta, μετά την εισαγωγή των δεδομένων που είναι τα υλικά και οι διεργασίες, που στηρίχθηκαν σε προηγούμενες έρευνες [1], υπολογίζονται οι συνολικές ενέργειες κάθε φάσης παραγωγής, με τις αποκλίσεις που έχουν επισημανθεί σε προηγούμενες σελίδες. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται αναλυτικά τα δεδομένα εισαγωγής και τα αποτελέσματα για τα ποσά ενέργειας.

Στον Πίνακα 5.12 αναγράφονται τα υλικά που επιλέχθηκαν. Για το μπροστά κάλυμμα από γυαλί επιλέχθηκε το Alkaline Earth Lead Glass, για την επίστρωση EVA το αντίστοιχο EVA(12% Vinyl acetate, shore A95/D50), για τα κελιά το Silica(Quartz fused) και για το πίσω κάλυμμα (Tedlar) το PVC (flexible, shore 60A). Σε διπλανή στήλη παρουσιάζονται οι ποσότητες των υλικών όπως είχαν υπολογιστεί με βάση προηγούμενη έρευνα [1]. Τέλος στην προτελευταία στήλη αναγράφονται τα αποτελέσματα των ενεργειών σύμφωνα με το λογισμικό.

Στον Πίνακα 5.13 αποτυπώνονται τα δεδομένα αλλά και τα αποτελέσματα των ποσών ενέργειας στη φάση των διεργασιών για την παραγωγή των δίσκων πυριτίου και την κατασκευή των κελιών. Για κάθε κομμάτι που αποτελείται το πλαίσιο με βάση το υλικό, υποτέθηκε και επιλέχθηκε και η αντίστοιχη διεργασία. Για το μπροστά μέρος του γυαλιού η κατεργασία που επιλέχθηκε είναι η χύτευση σε μόνιμο καλούπι καθώς και για το υλικό των κελιών. Ενώ για την επίστρωση EVA και το πίσω κάλυμμα (Tedlar) επιλέχθηκε η εξώθηση. Αντίστοιχα στην προτελευταία στήλη αναγράφονται και τα ποσά ενέργειας που δαπανώνται. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν λαμβάνονται υπόψη τα ποσά ενέργειας που δαπανώνται για την ανακύκλωση των υλικών, αφού τα υλικά που χρησιμοποιούνται δεν είναι ανακυκλώσιμα.

**Πίνακας 5.12:** Ποσά ενέργειας στη φάση της παραγωγής των υλικών (πηγή : CES EduPack 2008, Granta)

Τμήμα	Υλικό	Ενέργεια εξόρυξης υλικών (MJ/kg)	Μάζα (kg)	Ενέργεια (MJ)	%
Μπροστά κάλυμμα	Alkaline Earth Lead Glass	26,215	13,200	346,041	67,38
Επίστρωση EVA	EVA(12% Vinyl acetate, shore A95/D50)	91,136	0,675	61,517	11,98
Φιλμ κελιών	Silica(Quartz fused)	31,412	0,900	28,271	5,51
Επίστρωση EVA	EVA(12% Vinyl acetate, shore A95/D50)	91,136	0,675	61,517	11,98
Κάλυμμα Tedlar	PVC (flexible, shore 60A)	85,192	0,190	16,186	3,15
Σύνολο			15,640	513,533	100

Στον Πίνακα 5.14 αναγράφονται τα στοιχεία για τη μεταφορά και τοποθέτηση του πλαισίου στην πόλη της Ξάνθης από απόσταση 24km καθώς και η συνολική ενέργεια της φάσης αυτής που είναι 10,5MJ ή 3KWh.

**Πίνακας 5.13:** Ποσά ενέργειας που καταναλώθηκαν κατά τη φάση των κατεργασιών (πηγή :CES EduPack 2008, Granta)

Τμήμα	Υλικό	Ενέργεια εξόρυξης υλικών (MJ/kg)	Μάζα (kg)	Ενέργεια (MJ)	%
Μπροστά κάλυμμα	Alkaline Earth Lead Glass	7,546	13,200	99,603	80,78
Επίστρωση EVA	EVA(12% Vinyl acetate, shore A95/D50)	2,617	0,675	1,766	1,43
Φιλμ κελιών	Silica(Quartz fused)	21,725	0,900	19,552	15,86
Επίστρωση EVA	EVA(12% Vinyl acetate, shore A95/D50)	2,617	0,675	1,766	1,43
Κάλυμμα Tedlar	PVC (flexible, shore 60A)	3,251	0,190	0,618	0,50
Σύνολο			15,640	123,306	100

**Πίνακας 5.14:** Συνολικό ποσό καταναλισκόμενης ενέργειας για τη μεταφορά και τοποθέτηση του πλαισίου (πηγή : CES EduPack 2008, Granta)

Μεταφορά και τοποθέτηση του πλαισίου στο χώρο λειτουργίας					
Συνολική μάζα πλαισίου = 16 kg					
Χώρος λειτουργίας	Τύπος οχήματος μεταφοράς	Ενέργεια μεταφοράς (MJ/ton.km)	Απόσταση (km)	Ενέργεια (MJ)	Ποσά ενέργειας %
Ξάνθη	Ιδιωτικό όχημα (I.X)	14,000	48,000	10,510	100,00
<u>Σύνολο</u>			<u>48,000</u>	<u>10,510</u>	<u>100,00</u>
Τμήματα	Μάζα (kg)	Ενέργεια (MJ)	Ποσά ενέργειας %		
Μπροστά κάλυμμα	13,200	8,870	84,40		
Επίστρωση EVA	0,675	0,454	4,32		
Φίλμ κελιών	0,900	0,605	5,75		
Επίστρωση EVA	0,675	0,454	4,32		
Κάλυμμα Tedlar	0,190	0,128	1,21		
<u>Σύνολο</u>	<u>15,640</u>	<u>10,510</u>	<u>100</u>		

Τέλος στον Πίνακα 5.15 που αφορά τη συντήρηση του Φ/Β σε ετήσια βάση αναγράφονται στοιχεία για τις ημέρες συντήρησης στον ένα χρόνο καθώς και τις ώρες συντήρησης για κάθε ημέρα. Το συνολικό ποσό ενέργειας για την συντήρηση του πλαισίου είναι 373,915MJ ή 104KWh.

Η συνολική ενέργεια που υπολογίστηκε με βάση το πρόγραμμα είναι 1021,264MJ ή 283kWh. Στην ενέργεια θεωρήθηκε και πάλι σκόπιμο να προστεθεί και η ενέργεια ενσωμάτωσης των τμημάτων που αποτελούν το πλαίσιο και δεν λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση της συνολικής ενέργειας παραγωγής με βάση το λογισμικό της Granta. Έτσι λοιπόν έχουμε συνολικό ποσό ενέργειας παραγωγής ίσο με 1021,28MJ ή 283,78KWh, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.16.

Όπως και στην πρώτη εκτίμηση του EPR, για να υπολογιστεί το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει το Φ/Β ετησίως στην περιοχή της Ξάνθης έγινε χρήση του προγράμματος RET Screen 2005, RET Screen. Έτσι, το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 240KWh ή 864MJ (Πίνακας 5.9).

Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε το EPR ως ο λόγος της συνολικής ενέργειας προς την ενέργεια που παράγει το Φ/Β στο δίκτυο.

**Πίνακας 5.15:** Συνολικά ποσά ενέργειας που καταναλώνονται για την ετήσια συντήρηση του Φ/Β (πηγή : CES EduPack 2008, Granta)

Στατική χρήση			
Μετατροπή ενέργειας	Φυσικό καύσιμο σε μηχανική	Ενέργεια (MJ)	Ενέργεια %
Απόδοση μετατροπής ενέργειας	35,000		
Εκπομπές CO <sub>2</sub> (kg/MJ)	71,000		
Βαθμός ισχύος (hp)	130,000		
Χρήση (ώρες/ημέρα)	0,500		
Χρήση (ημέρα/έτος)	3,000		
Χρόνος ζωής προϊόντος (έτη)	25,000		
Συνολικές ώρες χρήσης/συντήρησης στο χρόνο ζωής (ώρες)	37,500		
Σύνολο		373,915	100,00

**Πίνακας 5.16:** Συνολικό ποσό ενέργειας παραγωγής για την δεύτερη εκτίμηση του EPR [2]

Φάση	Ενέργεια (MJ)	Ενέργεια (KWh)
Παραγωγή υλικών [5]	513,5	142,64
Κατασκευή [5]	123,3	34,25
Μεταφορά [5]	10,5	3
Χρήση [5]	373,9	104
Ενσωμάτωση τμημάτων [2]	0,04255	0,11
Σύνολο	1021,28	283,78

Συνολική ενέργεια : ενέργεια που δαπανήθηκε για την παραγωγή, συναρμολόγηση, μεταφορά και τοποθέτηση του Φ/Β

Ενέργεια που παράγει το Φ/Β ετήσια

$EPR = 283,78 / 240 \Rightarrow$  **EPR (β) πλαισίου = 1,18 έτη ή 14,15 μήνες** που είναι ο χρόνος ενεργής αποπληρωμής για ένα πλαίσιο 185\*Wp (m-Si).

Ομοίως για τον υπολογισμό του EPR του πάρκου με τη 2<sup>η</sup> προσέγγιση ισχύει:

Συνολική ενέργεια : ενέργεια που δαπανήθηκε για την παραγωγή, συναρμολόγηση, μεταφορά και τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων + ενέργεια που δαπανήθηκε για την κατασκευή και την τοποθέτηση του υποστηρικτικού μηχανισμού

Ενέργεια που παράγει το Φ/Β πάρκο ετήσια

$EPR = 44.200 \text{ KWh} / 12.022 \text{ KWh} * 0.80 = 44.200 \text{ KWh} / 9.617,6 \text{ KWh} \Rightarrow \mathbf{EPR (\beta)}$   
**πάρκου = 4,595 έτη ή 55 μήνες** που είναι ο χρόνος ενεργής αποπληρωμής για ένα πάρκο ισχύος 9.2 KWp, που απαρτίζεται από 50 πλαίσια ισχύος 185\*Wp (m-Si).

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, παρατηρείται απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων. Η παρατήρηση αυτή ήταν αναμενόμενη στην εκτίμηση του EPR, ενώ οι παράγοντες που συντελούν στην απόκλιση των αποτελεσμάτων έχουν αναλυθεί προηγουμένως (υποενότητα 5.3.2.3).

## **5.4 Σύνοψη και συμπεράσματα**

Στην εργασία αυτή έγινε μια προσπάθεια εκτίμησης, με δυο διαφορετικούς τρόπους, ώστε να επαληθευτούν τα αποτελέσματα, του ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου 185 Wp συγκεκριμένου τύπου και χαρακτηριστικών και ενός πάρκου 9.2 KWp στην περιοχή της Ξάνθης.

Εφαρμόζοντας και τους δυο τρόπους παρατηρήθηκε σχετική απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων (0,68 χρόνια και 1,18 χρόνια για το πλαίσιο και 3,968 και 4,595 για το πάρκο) που ήταν αναμενόμενη. Στο δεύτερο τρόπο υπολογισμού του EPR (χρήση CES EduPack 2008, Granta) κατά τη διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων ο χρήστης δεν μπορεί να επέμβει στις διεργασίες για την παραγωγή του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η βάση δεδομένων, επειδή το πρόγραμμα διατίθεται για εκπαιδευτική χρήση, δεν καλύπτει επαρκώς τις διεργασίες για την παραγωγή ενός (Φ/Β). Συνοπτικά, ο χρόνος απόδοσης της καταναλισκόμενης ενέργειας ενός πολυκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πλαισίου 185 Wp στην περιοχή της Ξάνθης κυμαίνεται μεταξύ 8,17 και 14,15 μηνών, ενώ για το φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 9.2KWp κυμαίνεται μεταξύ 48 και 55 μηνών, γεγονός πολύ ενθαρρυντικό για την περαιτέρω χρήση τους.

## 5.5 Βιβλιογραφία

- [1] G.J.M. Phylipsen E.A. Alsema, “*Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules*”, Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, September 1995, Report no. 95057
- [2] Niels Jungbluth, Christian Bauer, Roberto Dones and Rolf Frischknecht, “*Life Cycle Assessment for Emerging Technologies: Case Studies for Photovoltaic and Wind Power*”, ESU-services, environmental consultancy for business and authorities, Paul Scherrer Institute (PSI), Systems/Safety Analysis, 2005
- [3] E.A. Alsema, M.J de Wild-Scholten, V.M. Fthenakis, “*Environmental impacts of PV electricity generation – a critical comparison of energy supply options*”, Presented at 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden, Germany, 4-8 September, 2006
- [4] I. Nawaz, G.N. Tiwari, “*Embodied energy analysis of photovoltaic (PV) system based on macro- and micro-level*”, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Jamia Millia Islamia, New Delhi, India, Center for Energy Studies, IIT Delhi, Hauz Khas, New Delhi, India, July 2005, Energy Policy, Volume 34, pages 3144-3152
- [5] Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ν. Μουσιόπουλος, Α. Μπούρα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Β Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 1999, ISBN 960-431-564-1
- [6] A Handbook of Industrial Ecology, Robert U. Ayres, *Sandoz Professor of Environment and Management, Professor of Economics and Director of the Centre for the Management of Environmental Resources at the European Business School, INSEAD, France* and Leslie W. Ayres, *Research Associate, Centre for the Management of Environmental Resources at the European Business School, INSEAD, France*, Edward Elgar Publishing, Inc, 2002, ISBN 2001033116
- [7] <http://www.aleo-solar.de>

## Κεφάλαιο 6

# Συμπεράσματα και Προτάσεις

### ***Περιεχόμενα***

---

6.1 Εισαγωγή .....	120
6.2 Συμπεράσματα .....	120
6.2.1 Σχεδιασμός προϊόντων και ενεργειακή διαχείριση .....	120
6.2.2 Εκτίμηση ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής .....	121
6.3 Προτάσεις.....	124



## **6.1 Εισαγωγή**

Έπειτα από την μελέτη μεθόδων σχεδιασμού προϊόντων αλλά και της ανάλυσης του στόχου (όπως αναφέρεται και στην ενότητα της Εισαγωγής σελ.ii), που ήταν η εκτίμηση του δείκτη ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (EPBT/EPR) για ένα μικρό φωτοβολταϊκό πάρκο που είναι εγκατεστημένο στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, στην πόλη της Ξάνθης, η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται επιτυχάνοντας το στόχο της. Παρακάτω παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν κατά την προσπάθεια ολοκλήρωσής της, καθώς και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προήλθαν από την εκτίμηση του EPR.

Ακόμη, καταγράφονται νέες ιδέες για την εξέλιξη του παρόντος θέματος, οι οποίες προήλθαν από τη γνώση που αποκομίστηκε κατά τη χρονική διάρκεια εκτέλεσης της παρούσας εργασίας. Οι ιδέες αυτές παρουσιάζονται ως προτάσεις.

## **6.2 Συμπεράσματα**

### **6.2.1 Σχεδιασμός προϊόντων και ενεργειακή διαχείριση**

Αρχικά ολοκληρώνοντας την μελέτη πάνω στους διάφορους τύπους σχεδιασμού προϊόντων, εξάγεται το συμπέρασμα πως για την επιλογή κάποιας μεθόδου σχεδιασμού τα βασικά κριτήρια είναι τα χαρακτηριστικά που πρέπει να δοθούν στο προϊόν και η χρήση που το προϊόν αυτό μέλλεται να έχει. Εκτός όμως από τα βασικά χαρακτηριστικά είναι πλέον θέμα ζωτικής σημασίας τα προϊόντα να σχεδιάζονται με σεβασμό προς το περιβάλλον και με σωστή διαχείριση της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την παραγωγή.

Κάποια από τα μέσα για το σχεδιασμό των προϊόντων με σεβασμό προς το περιβάλλον και σωστή ενεργειακή διαχείριση είναι ο σχεδιασμός για το περιβάλλον (Design for the Environment/Eco-Design) και η ανάλυση του κύκλου ζωής των προϊόντων (Life Cycle Analysis/Life Cycle Assessment, LCA).

Ο σχεδιασμός για το περιβάλλον αποτελεί μια γενική ιδέα και αναφέρεται σε διάφορες μεθόδους σχεδιασμού, που ως στόχο θέτει την μείωση των περιβαλλοντικών αποτυπωμάτων των προϊόντων, των διεργασιών ή και της συντήρησής τους, οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση του κύκλου ζωής των προϊόντων.

Στα πλαίσια του σχεδιασμού για το περιβάλλον εντάσσεται και το ισχυρό εργαλείο της ανάλυσης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (LCA). Η μελέτη Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι ένα σύνολο συστηματικών διεργασιών με σκοπό τη συλλογή και

εξέταση των στοιχείων εισόδου και εξόδου των ενεργειακών ισοζυγίων και ισοζυγίων μάζας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με αυτά και προσδιορίζονται απευθείας μέσω της λειτουργίας του προϊόντος ή του συστήματος εξυπηρέτησης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής (Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ν. Μουσιόπουλος, Α. Μπούρα, Θεσσαλονίκη 1999, ISBN 960-431-564-1).

### **6.2.2 Εκτίμηση ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής**

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένα στην εργασία, στα πλαίσια του σχεδιασμού για τον περιβάλλον αλλά και της ανάλυσης του κύκλου ζωής των προϊόντων, εντάσσεται και ο δείκτης ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής (EPBT/EPR). Ο δείκτης αυτός εκφράζει το λόγο της συνολικής ενέργειας που δαπανήθηκε για την παραγωγή ενός προϊόντος προς την ενέργεια που παράγει το προϊόν στο χρόνο ζωής του.

Στόχος της εργασίας αυτής, ήταν να εκτιμηθεί το EPR, για ένα μικρό φωτοβολταϊκό πάρκο που είναι εγκατεστημένο στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, στην πόλη της Ξάνθης.

Προηγούμενες μελέτες (G.J.M. Phylipsen E.A. Alsema, “*Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules*” September 1995) για την εκτίμηση του EPR εμφανίζουν τιμές 1,3 χρόνια ή 15,6 μήνες για την τοποθέτηση ενός πλαισίου στην περιοχή της Ολλανδίας, για Φ/Β χωρίς το πλαίσιο του αλουμινίου. Στην ίδια εργασία τα αποτελέσματα των G.J.M. Phylipsen και E.A. Alsema, για Φ/Β με το πλαίσιο του αλουμινίου, το EPR παίρνει την τιμή των 1,7 ετών ή 20,4 μηνών. Αρκετά πιο σύγχρονες μελέτες μας δείχνουν πως φωτοβολταϊκά συστήματα κρυσταλλικού πυριτίου απαιτούν μόλις 1,5 έως 2 χρόνια ενεργειακής εξόφλησης σε περιοχές της Νότιας Ευρώπης ενώ 2,7 έως 3,5 χρόνια απαιτούνται σε περιοχές της Κεντρικής Ευρώπης (E.A. Alsema, M.J de Wild-Scholten, V.M. Fthenakis, “*Environmental impacts of PV electricity generation – a critical comparison of energy supply options*”, September 2006). Ακόμη, τον Ιούλιο του 2005 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα για τον υπολογισμό του EPR, από τους I. Nawaz και G.N. Tiwari (I. Nawaz, G.N. Tiwari, “*Embodied energy analysis of photovoltaic (PV), system based on macro- and micro-level*”, July 2005) ενός Φ/Β συστήματος 1,2KWp. Το σύστημα αποτελείται από 16 πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα, ισχύος 75 Wp, τοποθετημένο στο Νέο Δελχί της Ινδίας. Στην εργασία αυτή, μελετήθηκε το EPR σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο. Σύμφωνα με τους ερευνητές, μακροσκοπικό επίπεδο θεωρείται όταν η μπαταρία που εφαρμόζεται στο πλαίσιο έχει τον ίδιο χρόνο ζωής με το πλαίσιο, ενώ μικροσκοπικό όταν η μπαταρία δεν έχει τον ίδιο χρόνο ζωής με το πλαίσιο και χρειάζεται αλλαγή. Οι

ερευνητές λαμβάνουν υπόψη τους πέρα από τις καταναλισκόμενες ενέργειες παραγωγής του πλαισίου και την ενέργεια που δαπανάται για τα συστήματα που βοηθούν στη λειτουργία του Φ/Β (BOS), όπως είναι ο εξοπλισμός για τα καλώδια, η μπαταρία, το μπετόν ή το ατσάλι που χρησιμοποιείται στην τοποθέτηση του Φ/Β κ.α. Έτσι, πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη μελέτη για την εκτίμηση του EPR και τα αποτελέσματα της είναι 16,44 έτη σε μακροσκοπικό επίπεδο και 19,09 έτη σε μικροσκοπικό επίπεδο.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας για την εκτίμηση του ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 9,2KWp στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, που αποτελείται από 50 φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 185 Wp και διαστάσεων 1660\*830\*50\* mm (Y\*M\*Π) και βάρους 17kg και η έκταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων που το απαρτίζουν είναι 60 m<sup>2</sup>, είναι 3,968 έτη ή 48 μήνες σύμφωνα με τα δεδομένα της προηγούμενης βιβλιογραφίας και 4,595 έτη ή 55 μήνες σύμφωνα με την εκτίμηση των ποσών ενέργειας που πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό CES EduPack 2008, Granta.

Ακόμη, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι για να καταστεί δυνατή η εκτίμηση του EPR για το (Φ/Β) πάρκο, μελετήθηκε και εκτιμήθηκε το EPR για ένα (Φ/Β) πλαίσιο ισχύος 185 Wp και διαστάσεων 1660\*830\*50\* mm (Y\*M\*Π) και βάρους 17kg. Τα αποτελέσματα της έρευνας με βάση την βιβλιογραφική προσέγγιση είναι 0,68 έτη ή 8,17 μήνες και με βάση το λογισμικό CES EduPack 2008, Granta είναι 1,18 έτη ή 14,15 μήνες.

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων αλλά και την ερμηνεία των αποκλίσεων που παρατηρούνται μεταξύ των δύο μεθόδων που ακολουθήθηκαν, ώστε να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματα, θεωρήθηκε αναγκαία η παράθεση κάποιων επιπρόσθετων πληροφοριών:

- Η πρώτη μέθοδος (βιβλιογραφική) δεν λαμβάνει υπόψη τα ποσά ενέργειας που καταναλίσκονται για την τοποθέτηση του πλαισίου στο χώρο λειτουργίας και την ετήσια συντήρηση του (transport, use).
- Στη δεύτερη μέθοδο (CES EduPack 2008, Granta) δεν λαμβάνεται υπόψη το ποσό ενέργειας που καταναλώνεται για την ενσωμάτωση των τμημάτων του πλαισίου (lamination).
- Η αντιστοίχιση των διεργασιών δεν είναι δυνατή από το χρήστη (CES EduPack 2008, Granta) και οι επιλεγόμενες διεργασίες δεν ανταποκρίνονται πλήρως στην τεχνολογία των Φ/Β συστημάτων.
- Τέλος, ο υπολογισμός της καταναλισκόμενης ενέργειας του υποστηρικτικού μηχανισμού δεν είναι λεπτομερής και πλήρως εναρμονισμένος στο φωτοβολταϊκό πάρκο που εξετάζεται.

Σε κάθε περίπτωση οι αναλυτικοί υπολογισμοί που επιχειρήθηκαν είναι δύσκολοι, όσο αφορά τη σύγκριση των πληροφοριών. Τέλος στον Πίνακα 6.1 πραγματοποιείται η παράθεση και σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με προηγούμενες έρευνες.

**Πίνακας 6.1:** Σύγκριση EPR με άλλες έρευνες

Πηγή	Περιγραφή (Φ/Β)	EPR (έτη)
G.J.M. Phylipsen E.A. Alsema (September 1995)	50 Wp (χωρίς πλαίσιο αλουμινίου)/ 50 Wp (με πλαίσιο αλουμινίου)	1.3/1.7
E.A. Alsema, M.J. de Wild-Scholten, V.M. Fthenakis (September 2006)	1 kWp (χωρίς πλαίσιο αλουμινίου)	1.5–2
I. Nawaz, G.N. Tiwari (July 2005)	1.2 kWp (μακροσκοπικά με BOS)	16.44
Παρούσα εργασία	185 Wp (χωρίς πλαίσιο αλουμινίου)	0.7–1.2
Παρούσα εργασία	9.2 kWp (χωρίς πλαίσιο αλουμινίου)	3.97-4.6

Επιστέγασμα των δράσεων της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η δημοσίευση με τίτλο «Estimation of the Energy Payback Time (EPR) for a PV module Installed in North Eastern Greece» (P. N. Botsaris and F. Filippidou, Democritus University of Thrace, School of Engineering Department of Production Engineering and Management, Greece, “*Estimation of the Energy Payback Time (EPR) for a PV module Installed in North Eastern Greece*” ISSN 0003-701X, Applied Solar Energy, 2009, Vol. 45, No. 3, pp. 166–175. © Allerton Press, Inc., 2009).

### **5.3 Προτάσεις**

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μέσω του σχεδιασμού για το περιβάλλον και της ανάλυσης του κύκλου ζωής, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση του δείκτη ενεργειακού χρόνου αποπληρωμής ενός (Φ/Β) πάρκου 9,2KWr. Μελλοντικά θα μπορούσε να γίνει μια πλήρης ανάλυση κύκλου ζωής ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Με την μελέτη αυτή θα μπορούσαν να προσεγγιστούν πιο ολοκληρωμένα τα καταναλισκόμενα ποσά ενέργειας σε συνδυασμό με την επιλογή υλικών αλλά και τα σενάρια διάθεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Ακόμη, θα μπορούσε να εξεταστεί ο παράγοντας της ανακύκλωσης των υλικών τμημάτων που αποτελούν το πλαίσιο και ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης κάποιων μερών που δεν φέρουν δείγματα φθοράς. Αν τα υλικά που χρησιμοποιούνται δεν είναι ανακυκλώσιμα, όπως στην παρούσα εργασία, η περίπτωση επαναχρησιμοποίησης κάποιων τμημάτων αυξάνει την ιδιότητα των Φ/Β πλαισίων να είναι περιβαλλοντικά ωφέλιμα προϊόντα.

Όσο αφορά τον αντίκτυπο στο περιβάλλον, μελλοντικές μελέτες με χρήση δεικτών όπως το ίχνος του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub> footprint) αλλά και άλλων οξειδίων, θα μπορούσαν να αποτιμήσουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο του (Φ/Β) πάρκου και να προτείνουν λύσεις για την βελτιστοποίηση του.

Τέλος, μια μελέτη που θα συμπεριλαμβάνει την ενεργειακή, την περιβαλλοντική αλλά και την οικονομική ανάλυση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου θα ήταν πολύ ενδιαφέροντα εργασία.



## ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

### Φιλίππιδου Φαίδρα

#### ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

---

**Διεύθυνση Κατοικίας:** Β Πάρδος Σάρδεων 2, Τ.Κ. 67100,  
Ξάνθη  
**Τηλέφωνο:** +30 2310 916311, 6936903916  
**E-mail:** [faidfili@pme.duth.gr](mailto:faidfili@pme.duth.gr),  
[filippidou.faidra@gmail.com](mailto:filippidou.faidra@gmail.com)  
**Ημερομηνία Γέννησης:** 20/06/1986

#### ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ-ΣΠΟΥΔΕΣ

---

**2004-Σήμερα** Προπτυχιακή Φοιτήτρια στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης,  
Πολυτεχνική Σχολή

**2001-2004** 1<sup>ο</sup> Ενιαίο Λύκειο Πυλαίας- Θεσσαλονίκη (Βαθμός  
Απολυτηρίου:17.9/20)

**1998-2001** 1<sup>ο</sup> Γυμνάσιο Πυλαίας- Θεσσαλονίκη (Βαθμός  
Απολυτηρίου:19/20)

#### ΣΥΝΕΔΡΙΑ-ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

---

**Συ-συγγραφέας,** P. N. Botsaris and F. Filippidou, "Estimation of the Energy Payback Time (EPR) for a PV Module Installed in North Eastern Greece". *Applied Solar Energy*, 2009, Vol. 45, No. 3, pp. 166–175

**Παρακολούθηση** 5<sup>th</sup> International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies - CM and MFPT, 15-18 Ιουλίου 2008, Εδιμβούργο, Σκωτία / U.K

---

### ***ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ***

---

- Αγγλικά Άριστη Γνώση (Cambridge Certificate of Proficiency in English (CPE)).
- Γαλλικά Βασική Γνώση (Delf A1, A2)

### ***ΠΡΟΣΟΝΤΑ-ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ***

---

- Άριστη γνώση Ηλεκτρονικών Υπολογιστών
  - Πολύ καλή γνώση λειτουργίας, εγκατάστασης και διαχείρισης του hardware ηλεκτρονικών υπολογιστών.
  - Άριστη γνώση των λειτουργικών συστημάτων MS Windows 2000/XP/VISTA.
  - Άριστη γνώση των προγραμμάτων MS Office, Internet Explorer.
  - Πολύ καλή γνώση των προγραμμάτων MS Visio, Adobe Acrobat Reader, Autodesk AutoCAD (Computer Aided Design Program), National Instruments LabVIEW, Mathworks Matlab, SPSS, CES EduPack – Granta (2008) (Λογισμικό επιλογής υλικών, διεργασιών και ενεργειακής αποτίμησης).
  - Άριστη ικανότητα εύρεσης δεδομένων στο διαδίκτυο και διαχείρισης online προγραμμάτων.
  - Πολύ καλή εξοικείωση και ικανότητα χρήσης πληροφοριακών συστημάτων (SAP, Tiny ERP, κ.ά.).
  - Καλή γνώση των γλωσσών προγραμματισμού C και C++.
- 
- Βελτιστοποίηση Γραμμής Παραγωγής
  - Τεχνολογία συστημάτων Παραγωγής
  - Διοίκηση Πληροφοριακών Συστημάτων
  - Γνώσεις marketing-management
  - Δίκτυα Η/Υ
  - Αριθμητικές Μέθοδοι Μοντελοποίησης
  - Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου
  - Τεχνολογία Μετρήσεων και Αισθητήρες
  - Ευφυή Συστήματα Βιομηχανικής Παραγωγής
  - Υπολογιστική Νοημοσύνη

### ***ΓΕΝΙΚΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ***

---

Περιβάλλον, Επιστήμες, Μουσική, Κινηματογράφος, Λογοτεχνία