



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Π.Μ.Σ. « Ενεργειακά και περιβαλλοντικά έργα»



Θέμα: «Εξοικονόμηση πόρων (υλικών, ενέργειας και νερού) από την επαναχρησιμοποίηση υλικών (Αξιοποίηση Λογισμικού Ανάλυσης Κύκλου Ζωής)»

Ζαρούλα Μιχαηλία

Επιβλέπων: Δρ. Κονδύλη Αιμιλία

Ιούλιος 2023

Περίληψη

Τα θερμικά/φωτοβολταϊκά συστήματα προσφέρονται ως μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για τη μείωση των ρύπων που προέρχονται από την ηλεκτροπαραγωγή, μιας και θεωρούνται από τις πιο βασικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας της εποχής μας. Εν τούτοις, νέες μελέτες παρουσιάζουν περιβαλλοντικούς κινδύνους τόσο για τον αυξανόμενο όγκο τους, όσο και για την σύστασή τους. Η λειτουργία τους χαρακτηρίζεται, ως επί το πλείστον, φιλική προς το περιβάλλον καθώς δεν παράγονται τοξικά αέρια ή αέρια θερμοκηπίου. Ωστόσο, έχουν συνήθως μικρό προσδόκιμο ζωής, ενώ μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους τίθεται το ζήτημα της ορθής διαχείρισης για το περιβάλλον. Με τον περιορισμό της αλόγιστης διάθεσής τους μετριάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως και η πιθανή απώλεια πόρων, λόγω της μη ανάκτησης των διάφορων πολύτιμων υλικών και σπάνιων μετάλλων που περιέχονται σε αυτά. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τρεις κατηγορίες θερμικών/φωτοβολταϊκών ως προς την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά, και την ανάλυση του κύκλου ζωής τους, με τη βοήθεια των λογισμικών Sima Pro και CES Edupack αντίστοιχα. Παρατίθενται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της συγκριτικής μελέτης, παρουσιάζοντας περαιτέρω ευκαιρίες και προκλήσεις σχετικά με τις διαδικασίες ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και ανάκτησης υλικών.

Λέξεις κλειδιά: θερμικά/φωτοβολταϊκά, ανάκτηση πόρων, περιβαλλοντική συμπεριφορά, ανάλυση κύκλου ζωής, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση

Abstract

Thermal/photovoltaic systems are offered as a sustainable alternative for reducing pollutants from electricity generation, as they are considered one of the primary renewable energy sources of our time. However, new studies present environmental risks in terms of both their increasing volume and their composition. Their operation is mostly considered environmentally friendly as they do not produce toxic gases or contribute to the greenhouse effect. Nevertheless, they usually have a relatively short lifespan, and at the end of their life cycle, proper disposal becomes an environmental concern. By limiting their improper disposal, the environmental impacts and potential resource losses, due to the non-recovery of various valuable materials and rare metals they contain, can be mitigated. In this study, three categories of thermal/photovoltaic systems were examined in terms of their environmental behavior and life cycle analysis, using Sima Pro and CES Edupack software, respectively. The results of the comparative study are presented and discussed, highlighting further opportunities and challenges regarding recycling, reuse, and material recovery processes.

Key words: Thermal/photovoltaics, resource recovery, environmental behavior, life cycle analysis, reuse, recycling

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΚΟΝΔΥΛΗ ΑΙΜΙΛΙΑ

ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ζαρούλα Μιχαηλία του Χριστοφόρου, με αριθμό μητρώου ΕΕΔ 202110 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Έργα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανολόγων – Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Ζαρούλα Μιχαηλία

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή	8
1.1. Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας.....	8
1.2. Ερευνητικά ερωτήματα, δομή και μεθοδολογία εκπόνησης	9
Κεφάλαιο 2^ο : Ανάλυση Κύκλου Ζωής	10
2.1. Ιστορική Αναδρομή.....	10
2.2. Ορισμός σκοπού, στόχου και πεδίου εφαρμογής.....	11
2.3. Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	13
2.4. Πλαίσιο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	15
2.5 Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής.....	20
2.5.1. Επιλογή.....	20
2.5.2. Ταξινόμηση	20
2.5.3. Χαρακτηρισμός	21
2.5.4. Κανονικοποίηση.....	22
2.5.5. Στάθμιση	23
2.6 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα AKZ	23
2.7 Εφαρμογές.....	25
2.7.1. Κυβερνητική προοπτική	26
2.7.2. Προοπτικές στη βιομηχανία	27
2.7.3. Εφαρμογές στη καθημερινότητα των πολιτών.....	29
2.8. Λογισμικά AKZ.....	29
2.8.1. Λογισμικό openLCA	29
2.8.2. Λογισμικό GaBi.....	30
2.8.3. Λογισμικό One Click.....	30
2.8.4. Λογισμικό Umberto.....	31
Κεφάλαιο 3^ο : Κατηγορίες επιπτώσεων	31
3.1. Σημασία περιβαλλοντικών δεικτών	32
3.2. Κριτήρια επιλογής δεικτών.....	33
3.3. Κλιματική αλλαγή	33
3.4. Στρώμα του όζοντος	34
3.5. Φωτοχημικός σχεδιασμός όζοντος	35
3.6. Όξινη	36
3.7. Ευτροφισμός.....	37
3.8. Οικοτοξικότητα	39
3.9. Τοξικότητα στον άνθρωπο.....	40

3.10. Αιωρούμενα σωματίδια	41
3.11. Εξάντληση αβιοτικών πόρων.....	42
Κεφάλαιο 4° : Κυκλική οικονομία και επέκταση κύκλου ζωής	43
4.1. Κυκλική οικονομία.....	43
4.2. Αρχές Κυκλικής οικονομίας.....	44
4.3. Διάρκεια ζωής και επέκταση κύκλου ζωής προϊόντος.....	46
4.4. Αξία επέκτασης κύκλου ζωής.....	47
4.5 Κυκλική οικονομία και επέκταση κύκλου ζωής στο τομέα των κατασκευών και της βιομηχανίας.....	50
4.6. Κυκλική οικονομία και επέκταση κύκλου ζωής στον μεταλλευτικό τομέα	52
4.7. Κυκλική οικονομία και επέκταση κύκλου ζωής σε συστήματα ΑΠΕ.....	54
4.7.1. Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.....	55
4.7.2. Πτερύγια ανεμογεννητριών	57
4.7.3. Μπαταρίες ιόντων λιθίου.....	58
4.7.4. Φωτοβολταϊκά συστήματα	59
4.8. Σύνδεση καταναλωτών με επέκταση κύκλου ζωής.....	61
Κεφάλαιο 5° : Φωτοβολταϊκά/Θερμικά συστήματα και συμβατικά φ/β	63
5.1. Παρούσα κατάσταση.....	63
5.2.Φωτοβολταϊκά συστήματα	65
5.2.1. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πάνελ.....	66
5.2.2. Υλικά κατασκευής.....	69
5.2.3. Περιβαλλοντική συμπεριφορά και ΑΚΖ φωτοβολταϊκών πάνελ.....	71
5.3. Θερμικά/ Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	74
5.3.1. Κατηγορίες θερμικών φωτοβολταϊκών	75
5.3.2. Περιβαλλοντική συμπεριφορά και Ανάλυση κύκλου ζωής θερμικών φωτοβολταϊκών	77
5.4. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα θερμικών φωτοβολταϊκών	80
5.5. Σύγκριση συμβατικών και θερμικών φωτοβολταϊκών	81
5.6. Εφαρμογές θερμικών φωτοβολταϊκών.....	82
Κεφάλαιο 6° : Τεχνολογίες και προϊόντα ανάκτησης.....	84
6.1. Αναμενόμενα θερμικά/ φωτοβολταϊκά απόβλητα	84
6.2. Επιπτώσεις στο τέλος ζωής των πάνελ	85
6.2.1. Ρύπανση εδάφους	86
6.2.2. Απώλεια πόρων	87
6.3 Διαχείριση αποβλήτων θερμικών φωτοβολταϊκών συστημάτων	88
6.3.1. Συλλογή.....	88

6.3.2. Διαχείριση αποβλήτων	88
6.3.3. Υγειονομική ταφή & αποτέφρωση	89
6.4. Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών θερμικών συστημάτων	90
6.4.1. Ανακύκλωση θερμικών φωτοβολταϊκών κρυσταλλικού πυριτίου	90
6.4.2. Ανακύκλωση θερμικών φωτοβολταϊκών thin films	91
6.4.3. Παραδείγματα εταιριών ανακύκλωσης θερμικών φωτοβολταϊκών.....	92
6.5. Αξία ανάκτησης μετάλλων στο τέλος του κύκλου ζωής.....	95
Κεφάλαιο 7° : Περιγραφή λογισμικού CES Edupack	96
7.1. Βάσεις δεδομένων - Υλικά	96
7.2. Γραφήματα	99
7.3. Eco Audit	106
7.4. Παράδειγμα στο Eco Audit	110
7.5. Hybrid Synthesizer	112
Κεφάλαιο 8°: Μελέτη περίπτωσης – Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής θερμικών/	
φωτοβολταϊκών συστημάτων	116
8.1. Σκοπός και αντικείμενο μελέτης.....	116
8.2. Περιγραφή του συστήματος και διάγραμμα ροής.....	117
8.3. Αποτελέσματα λογισμικού Sima Pro – Περιβαλλοντική συμπεριφορά.....	120
8.4. Αποτελέσματα CES Edupack – Εισροές ενέργειας και εκροές διοξειδίου του άνθρακα.....	125
Συμπεράσματα	129
Βιβλιογραφία.....	131_Toc138260647
Παράρτημα.....	140

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

1.1. Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Σημαντικός παράγοντας για την παραγωγή ενέργειας παγκοσμίως αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα, με τα βασικότερα εξ' αυτών να είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Στις μέρες μας, έχει αρχίσει και γίνεται αντιληπτό το πρόβλημα της μείωσής τους ή ακόμη και της εξάντλησής τους. Η ζήτηση των ορυκτών καυσίμων αυξάνεται συνεχώς, μιας και είναι άμεσα συνδεδεμένα με την οικονομική ανάπτυξη, την αύξηση του πληθυσμού και τη βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης των ανθρώπων. Συνεπώς, ένα από τα μελλοντικά θέματα που έχει να αντιμετωπίσει η κοινωνία είναι μια ενδεχόμενη ενεργειακή κρίση. Πέραν αυτού, θα πρέπει να βρεθεί λύση στις εκπομπές ρυπαντών, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου κ.ά., που προκαλούν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στο περιβάλλον. Τις τελευταίες δεκαετίες, γίνονται εντατικές προσπάθειες στροφής σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, με τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία να προωθείται ως μια από τις πιο «καθαρές» και φέρελπις τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Ωστόσο, μόλις το 5% - 15% της ηλιακής ενέργειας μετατρέπεται ανάλογα με το είδος του φωτοβολταϊκού, ενώ το μεγαλύτερο μέρος μετατρέπεται σε θερμότητα (περίπου το 70% - 80%), αυξάνοντας την θερμοκρασία των πάνελ. Αξιοποιώντας την πληροφορία αυτή, μια νέα γενιά φωτοβολταϊκών έρχεται στο προσκήνιο, τα φωτοβολταϊκά/θερμικά συστήματα, όπου ηλεκτρική και θερμική ενέργεια παράγονται ταυτόχρονα. Δεδομένου ότι τα φωτοβολταϊκά κύτταρα γενικά γίνονται λιγότερα αποτελεσματικά με την αύξηση της θερμοκρασίας των κυψελών, η απομάκρυνση θερμότητας προσφέρει διπλό όφελος: η απορριπτόμενη θερμότητα αξιοποιείται και οι μονάδες ψύχονται. Ωστόσο, η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν έχει αναπτυχθεί αρκετά λόγω του υψηλού της κόστους και μέχρι τώρα οι πλειοψηφία των εφαρμογών τους είναι κυρίως πιλοτικές.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης μελέτης της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ) και της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των φωτοβολταϊκών/θερμικών πλαισίων, με έμφαση στην κατανόηση της βιωσιμότητας και των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας AKZ, τίθεται στόχος η αξιολόγηση ολόκληρου του κύκλου ζωής των πάνελ PVT και η απόκτηση γνώσεων σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τη χρήση νερού και άλλες πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Θα περιλαμβάνει επίσης συγκριτική ανάλυση, συγκρίνοντας τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των θερμικών/φωτοβολταϊκών πλαισίων με άλλες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, όπως τα συμβατικά φωτοβολταϊκά. Αυτή η συγκριτική προσέγγιση θα παράσχει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών οφελών και των αντισταθμιστικών λύσεων που σχετίζονται με τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες, βοηθώντας στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την εφαρμογή και την ενσωμάτωσή τους σε βιώσιμα ενεργειακά συστήματα.

Η έρευνα αυτή αποσκοπεί στην παροχή πολύτιμων πληροφοριών για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, τους ενεργειακούς σχεδιαστές και τα ενδιαφερόμενα μέρη που εμπλέκονται σε βιώσιμα ενεργειακά συστήματα, επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και προωθώντας την υιοθέτηση τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον.

1.2. Ερευνητικά ερωτήματα, δομή και μεθοδολογία εκπόνησης

Η εργασία είναι δομημένη σε οχτώ κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται ο σκοπός, το αντικείμενο της εργασίας και τα ερευνητικά ερωτήματα που πρόκειται να απαντηθούν. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η Ανάλυση κύκλου ζωής, τα στάδια υλοποίησης, κάποιες βασικές εφαρμογές και λογισμικά όπου μπορούν να αξιοποιηθούν για την υλοποίησή της. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στη κυκλική οικονομία, στην επέκταση του κύκλου ζωής και τους τομείς που μπορεί να επιτευχθεί αυτό. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένοι περιβαλλοντικοί δείκτες, η σημασία τους, καθώς και τα κριτήρια επιλογής τους. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα θερμικά/φωτοβολταϊκά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτηματά, οι βασικές εφαρμογές τους και γίνεται σύγκριση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά. Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται τεχνο-λογίες ανακύκλωσης, και διαχείρισης των πάνελ και γενικά των υλικών και η αξία της ανάκτησης. Στο έβδομο κεφάλαιο αναλύεται το λογισμικό που θα αξιοποιηθεί για την ανάλυση του κύκλου ζωής των πάνελ και τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Για το θεωρητικό μέρος γίνεται εκτενής βιβλιογραφική αναζήτηση, ενώ για το υπολογιστικό μέρος γίνεται χρήση δύο λογισμικών (CES Edupack & Sima Pro)

Τα ερευνητικά ερωτήματα που πρόκειται να απαντηθούν είναι τα ακόλουθα:

- Ποιες είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων ξεκινώντας από την εξόρυξη των πρώτων υλών, συνεχίζοντας με την κατασκευή, τη μεταφορά, την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τελικά τη διαχείριση στο τέλος της ζωής τους;
- Πώς συγκρίνεται η κατανάλωση ενέργειας των πάνελ PVT με άλλες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, όπως τα συμβατικά φωτοβολταϊκά;
- Ποιες είναι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή και τη χρήση των θερμικών/φωτοβολταϊκών πλαισίων και πώς συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή;
- Ποιες είναι οι συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των θερμικών φωτοβολταϊκών πλαισίων όσον αφορά την εξάντληση των πόρων, τις επιπτώσεις στο οικοσύστημα και την ανθρώπινη υγεία;
- Ποιες τεχνολογίες διαχείρισης είναι διαθέσιμες μετά το τέλος του κύκλου ζωής των θερμικών/φωτοβολταϊκών;

Κεφάλαιο 2^ο : Ανάλυση Κύκλου Ζωής

2.1. Ιστορική Αναδρομή

Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ως ιδέα έχει διατυπωθεί εδώ και περίπου 35 έτη. Τις τελευταίες δεκαετίες η κοινωνία συνειδητοποίησε ότι η κατανάλωση πρώτων υλών και οι διαδικασίες μετατροπής τους, έχουν αρνητικές συνέπειες τόσο στα αποθέματα ενέργειας και όσο και στο περιβάλλον, που απειλείται να καταστραφεί λόγω της αλόγιστης χρήσης φυσικών πόρων.

Κατά τη δεκαετία του 1960-1970 αρχίζει να προβληματίζει την ερευνητική κοινότητα η βέβαιη μελλοντική εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων, αλλά και των ακατέργαστων πρώτων υλών. Μία από τις πρώτες εργασίες που εντοπίζει αυτό το θέμα ήταν αυτή του Harold Smith στη World Energy Conference το 1963, όπου επιχειρήθηκε ο υπολογισμός της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή διαφόρων χημικών προϊόντων, αποτελώντας και την αρχή τέτοιων ερευνών. Η επόμενη Ανάλυση Κύκλου Ζωής υλοποιείται το 1969 όπου το Midwest Research Institute αναλαμβάνει την διεξαγωγή έρευνας για την τυποποίηση προϊόντων της εταιρείας Coca Cola. Στόχος της έρευνας, η αναζήτηση νέων υλικών για μείωση της ενεργειακής απώλειας κατά την εμφύλαση με ταυτόχρονη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στην έρευνα αξιολογήθηκαν και τα μέχρι τότε χρησιμοποιηθέντα υλικά. Η συγκεκριμένη μέθοδος συναντάται στην βιβλιογραφία με την ονομασία REPA (Resource and Environmental Profile Analysis). [1,2]

Οι παραπάνω έρευνες και τα αποτελέσματά τους οδήγησαν στις αρχές της δεκαετίας του 1970 να εμφανιστούν εκδόσεις όπως το «The Limits to Growth» και το «A Blueprint for Survival», οι οποίες προειδοποιούσαν για την εξάντληση των φυσικών πόρων, ακόμη και μέσα σε λίγες δεκαετίες, εξαιτίας των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών. Το 1970-1980 και άλλες εταιρείες των Ηνωμένων Πολιτειών διεξήγαγαν παρόμοιες έρευνες, οι οποίες έμειναν γνωστές ως έρευνες οικολογικού ισοζυγίου (Ecobalances) από τους Mueller - Wenk. Όσο οξυνόταν η πετρελαϊκή κρίση, το ενδιαφέρον για την ΑΚΖ ολοένα και αυξανόταν. Στις αρχές του 1980, το ενδιαφέρον της Αμερικής μειωνόταν σταδιακά, κυρίως λόγω της εξασθένησης της επίδρασης της ενεργειακής κρίσης. Στον αντίποδα, το ενδιαφέρον της Ευρώπης, κυρίως στην Γερμανία, την Ελβετία, την Βρετανία και τις σκανδιναβικές χώρες όπου, οι σχετικές δραστηριότητες εξακολουθούν να είναι πολύ διαδεδομένες. αυξανόταν ολοένα και περισσότερο και σύντομα με την ίδρυση της η Περιβαλλοντική Διεύθυνση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας έθεσε το 1985 ως θέμα έρευνας τη συσκευασία των υγρών τροφίμων. Ως αποτέλεσμα είχε να ανατεθεί σε μέλη εταιριών η επιμέλεια της ενέργειας και της κατανάλωσης ακατέργαστων υλών, όπως και η έρευνα παραγωγής προβληματικών συσκευασιών τροφίμων. Στη Βρετανία, η πρώτη μελέτη τύπου ανάλυσης κύκλου ζωής πραγματοποιήθηκε το 1972 με αντικείμενο την βιομηχανία γυαλιού. Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, οι Boustead και Hancock εκπόνησαν λεπτομερή ανάλυση σχετικά με την απαιτούμενη ενέργεια και τις αναγκαίες πρώτες ύλες για την παραγωγή αλλά και την χρήση ειδών συσκευασίας υγρών η οποία έγινε για λογαριασμό του Βρετανικού Συμβουλίου για τη διαχείριση των απορριμμάτων. Τελικά, αυτό ενθάρρυνε τη χρήση του οικολογικού ισοζυγίου στην Ευρώπη. [1,3]

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980, σε Αμερική και Ευρώπη η ΑΚΖ ξαναέρχεται στο προσκήνιο (ως μέθοδος για την ανάλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων).

Αυτό, γιατί η παραγωγή και διάθεση επιζήμιων για το περιβάλλον συσκευασιών αναγνωρίζεται ότι πρέπει να αντιμετωπιστεί. Δεν είναι σύμπτωση ότι το ίδιο χρονικό διάστημα η ανακύκλωση συσκευασιών ξαναγίνεται μέρος της ζωής όλο και περισσότερων πολιτών.

Το 1990 μια έρευνα για βρεφικές πάνες γίνεται ορόσημο για μελλοντικές μελέτες. Η AKZ του Arthur D. Little χρηματοδοτείται από την εταιρεία Procter & Gamble και αποδεικνύει ότι οι πάνες μιας χρήσης είναι λιγότερο επιβλαβείς από τις επαναχρησιμοποιούμενες υφασμάτινες. Τα αποτελέσματα της έρευνας ήρθαν σε αντίθεση με την μέχρι πρότινος αντίληψη των πολιτών, ότι οι πάνες μιας χρήσης είναι αυτές που γεμίζουν τις χωματερές άρα είναι και πιο επιβλαβείς για το περιβάλλον. Από τότε, σε παγκόσμιο επίπεδο, το ενδιαφέρον για την AKZ από πανεπιστήμια, χώρες και βιομηχανίες διαρκώς αυξάνεται.

Έως και σήμερα, η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αξιοποιείται ευρύτατα σε ποσοτικές αναλύσεις κύκλου ζωής, στον σχεδιασμό και την στρατηγική λήψης αποφάσεων. Ωστόσο, στην Ελλάδα μέχρι στιγμής, η AKZ σπάνια επιλέγεται ως μέθοδος. Εφαρμόζεται αποκλειστικά από μεγάλες εταιρείες με μητρικές στο εξωτερικό όπου μεταφέρεται αυτούσια η τεχνογνωσία που χρειάζεται για την εκπόνηση μιας μελέτης AKZ.

2.2. Ορισμός σκοπού, στόχου και πεδίου εφαρμογής

Για να ξεκινήσει μια AKZ, αρχικά, πρέπει να γίνει σαφής ο σκοπός της μελέτης, όπου θα απαντάει σε ερωτήματα σχετικά με τον λόγο που διεξάγεται, τα κενά που σκοπεύει να καλύψει και σε ποιόν απευθύνεται. Ο προσδιορισμός του σκοπού, βοηθάει ώστε να τεθεί ένα πλαίσιο για τη μελέτη και οι αποφάσεις που λαμβάνονται να είναι συνεπείς στο σκοπό.

Οι παρακάτω παράμετροι ορίζουν το πεδίο εφαρμογής:

- **Λειτουργική μονάδα:** Μέσω της λειτουργικής μονάδας περιγράφεται με ποσοτικό τρόπο η λειτουργία ή η υπηρεσία όπου διεξάγεται η ανάλυση και αποτελεί τη βάση προσδιορισμού της ροής αναφοράς του προϊόντος η οποία ορίζει την κλίμακα συλλογής δεδομένων στο στάδιο της απογραφής δεδομένων.
- **Σύστημα:** Το υπό εξέταση σύστημα πρέπει να ορίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι σαφές ποιες δραστηριότητες και διεργασίες περιλαμβάνει.
- **Κατηγορίες επίπτωσης:** Οι κατηγορίες επίπτωσης οι οποίες εξετάζονται στην εν λόγω ανάλυση καθώς και η μέθοδος με την οποία εκτιμώνται πρέπει επίσης να ορίζονται στο στάδιο αυτό.

Ο σκοπός και το πεδίο εφαρμογής είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων, καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένα με τις επιλογές που ορίζουν τη συλλογή των δεδομένων και τον τρόπο μοντελοποίησης και αξιολόγησης του συστήματος και κατ' επέκταση με τα αποτελέσματα της AKZ.

Συνεπώς, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εγκυρότητα των συμπερασμάτων και των προτάσεων. [4]

Η βασική αρχή της μεθόδου, είναι ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε στάδιο της ζωής ενός προϊόντος και ότι αλλαγές γίνονται σε κάποιο από τα στάδια αυτά είναι πιθανόν να έχει θετικές ή αρνητικές συνέπειες στα υπόλοιπα στάδια, στον τομέα τόσο της δημιουργίας οποιασδήποτε μορφής ρύπανσης, όσο και της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών. Τα διάφορα περιβαλλοντικά προγράμματα και στρατηγικές εστιάζονται συνήθως στην ρύπανση ενός μόνο μέσου (αέρα, υδάτων ή εδάφους) με αποτέλεσμα συχνά οι προσπάθειες για μείωση αυτού να έχουν ως συνέπεια την αύξηση της ρύπανσης κάποιου άλλου μέσου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διαχείριση των στερεών αστικών και λοιπών απορριμμάτων που ως λύση επιλέγεται η αποτέφρωση. Η επιλογή αυτή, απαιτεί μεγάλες μονάδες καύσης οι οποίες με την σειρά τους επιβαρύνουν το περιβάλλον με την εκπομπή στον ατμοσφαιρικό αέρα μεγάλων ποσοτήτων αέριων ρυπαντών, και αρκετές φορές πολύ επικίνδυνων. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα, αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογία ελέγχου και περιορισμού των ρυπαντών. Η τεχνολογία αυτή με τη σειρά της είχε ως επακόλουθο την δημιουργία υγρών ρυπαντών οι οποίοι, αν δεν ελεγχθούν, προκαλούν μόλυνση των υδάτων. Συνεπώς, η AKZ βοηθάει όχι μόνο στην εξακρίβωση προτεινόμενης αλλαγής σε προϊόντα ή διεργασίες που ενδεχομένως έχουν αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον, αλλά και στο να καταγραφούν ποσοτικά οι παρενέργειες αυτές. Αποτέλεσμα της καταγραφής αυτής είναι να καθίσταται δυνατή τόσο η εκτίμηση των συνολικών επιπτώσεων του προϊόντος ή της δραστηριότητας στο περιβάλλον, όσο και η βελτίωση της κατάστασης ύστερα από σχετικές προτάσεις και αλλαγές.[5] Ωστόσο, υπάρχουν και άλλοι επιμέρους στόχοι που τίθενται κάθε φορά και ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να είναι:

1. Ο προσανατολισμός στη λήψη αποφάσεων για το περιβάλλον βάση επιστημονικών μεθοδολογιών και όχι αυθαίρετων εκτιμήσεων
2. Η θέσπιση περιβαλλοντικών κανόνων, καθορίζοντας αντίστοιχες προτεραιότητες στη σχεδίαση και παραγωγή διαφόρων προϊόντων
3. Η αξιολόγηση ενός υλικού σε σχέση με ένα άλλο σε διαφορετικές εφαρμογές (π.χ. στη συσκευασία) και γενικά ο προσδιορισμός του ρόλου διαφόρων υλικών στις σύγχρονες στρατηγικές διαχείρισης του περιβάλλοντος
4. Η δημιουργία μιας αξιόπιστης βάσης, μέσω της οποίας θα καθίσταται δυνατό να ανταλλάσσονται πληροφορίες στον τομέα της περιβαλλοντικής διαχείρισης, ούτως ώστε να γίνει πιο εύκολη η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων φορέων με σκοπό περιβαλλοντικά οφέλη
5. Η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον από προϊόντα που χρησιμοποιούν και δραστηριότητες που ασκούν. Αυτή επιτυγχάνεται είτε με την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων μελετών ανάλυσης κύκλου ζωής σε κάθε ενδιαφερόμενο φορέα (κρατικές αρχές, οικολογικές ομάδες κ.λπ.), είτε με την εφαρμογή της οικολογικής σήμανσης στα προϊόντα

(οικολογική ετικέτα ή οικολογικό σήμα) είτε, τέλος, με την πιστοποίηση αυτών για την περιβαλλοντική τους ποιότητα (certification)

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι στόχος της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι η μέτρηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ενός οικονομικού συστήματος κατά την διάρκεια της ζωής του, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσοτική προσέγγιση. Έως σήμερα η Ανάλυση Κύκλου Ζωής ήταν άμεσα συνδεδεμένη με προϊόντα, ωστόσο έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να συσχετιστεί και με οποιοδήποτε άλλο οικονομικό σύστημα όπως είναι οι πρώτες ύλες, οι υπηρεσίες και οι επιχειρησιακές στρατηγικές.

2.3. Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η ανάλυση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος από την αρχή της δημιουργίας του έως το τέλος της ζωής του. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει την απόκτηση των πρώτων υλών, την κατασκευή υλικών και προϊόντων, την συσκευασία- τυποποίηση, την μεταφορά- διανομή, την χρήση- επαναχρησιμοποίηση- συντήρηση, την ανακύκλωση- ανάκτηση αποβλήτων και την τελική διάθεση- απόρριψη.

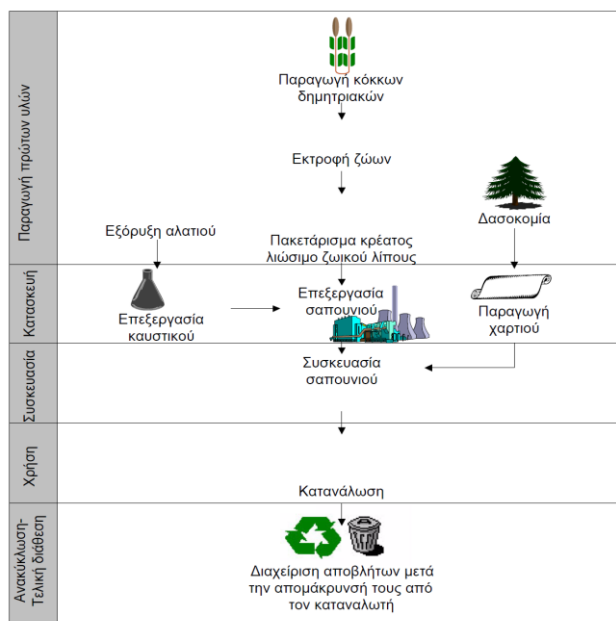
Οποιοδήποτε προϊόν κυκλοφορεί στην αγορά έχει περάσει από διάφορα στάδια και επιδρά στο περιβάλλον διαφορετικά, από το στάδιο κατασκευής του έως και την τελική του διάθεση. Τα στάδια ζωής ενός προϊόντος περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια: [6]

- **Σχεδιασμός:** Κατά την φάση του σχεδιασμού, συγκεντρώνονται μηχανικοί, σχεδιαστές και κατασκευαστές, συζητούν και αναλύουν ποικίλες ιδέες για τη δημιουργία νέων προϊόντων και κάποιες εξ' αυτών υλοποιούνται. Ωστόσο, πριν το τελικό προϊόν κυκλοφορήσει στην αγορά, περνάει από το στάδιο της έρευνας και του ελέγχου. Ο αρχικός σχεδιασμός είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα, καθώς επηρεάζει τόσο τις επόμενα στάδια όσο και την περιβαλλοντική συμπεριφορά του τελικού προϊόντος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα επαναχρησιμοποιούμενα προϊόντα, όπου εμφανίζουν μεγαλύτερο κύκλο ζωής και μέσω της χρήσης τους, παρατηρείται μειωμένος όγκος απορριμμάτων και εξοικονόμηση φυσικών πόρων.
- **Απόκτηση πρώτων υλών:** Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει τις δραστηριότητες που απαιτούνται για την εξόρυξη των πρώτων υλών από το έδαφος ή την συλλογή τους. Παρθένα υλικά, όπως ξύλα ή η εξόρυξη ακατέργαστου πετρελαίου, είναι υλικά απαραίτητα για την κατασκευή προϊόντων ανθρωπογενούς ή φυσικής προέλευσης.
- **Επεξεργασία υλικών:** Μετά την εξόρυξη των πρώτων υλών ή την συλλογή, θεωρείται αναγκαίο να γίνουν κάποιες διεργασίες προκειμένου οι πρώτες ύλες να διαμορφωθούν κατάλληλα και να φτάσουν σε μια αξιοποιήσιμη μορφή. Για παράδειγμα, για την παραγωγή χαρτιού, απαραίτητο συστατικό είναι τα ξύλα όπου προέρχονται από τα δέντρα. Το ξύλο μετατρέπεται σε χαρτί μέσω ποικίλων διεργασιών, με καταναλώσεις ενέργειας και δημιουργία αποβλήτων. Με την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση του, υπολογίζεται ότι για κάθε τόνο επαναχρησιμοποιούμενου χαρτιού σώζονται περίπου 17 δέντρα, μειώνεται η απελευθέρωση 2,5 τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην

ατμόσφαιρα, καταναλώνεται 64% λιγότερη ενέργεια και εξοικονομούνται περίπου 2,3 κυβικά μέτρα χώρου ταφής.

- **Κατασκευή:** Το στάδιο της κατασκευής μπορεί να διαχωριστεί σε δύο επιμέρους στάδια, της κατασκευής των υλικών και της κατασκευής των προϊόντων. Στο στάδιο της κατασκευής των υλικών, περιλαμβάνεται η μετατροπή της πρώτης ύλης σε μορφή όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου τελικού προϊόντος. Παραδείγματος χάριν, για την παραγωγή ρητίνης πολυαιθυλενίου από ακατέργαστο πετρέλαιο απαιτούνται διάφορες κατασκευαστικές διεργασίες. Το ακατέργαστο πετρέλαιο πρέπει να διυλιστεί, να παραχθεί αιθυλένιο από ολεφίνες μέσω αντιδράσεων αντικατάστασης, και μετά να πολυμεριστεί για την παραγωγή του πολυαιθυλενίου. Επιπλέον, μέρος αυτού του σταδίου, αποτελεί και η μεταφορά της πρώτης ύλης στο σημείο κατασκευής του τελικού προϊόντος, αλλά και οι επιμέρους διεργασίες κατασκευής. Στο στάδιο κατασκευής του προϊόντος, πραγματοποιείται η δημιουργία του τελικού προϊόντος συμπεριλαμβανομένου και την επεξεργασία του κατασκευασμένου υλικού.
- **Συσκευασία:** Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει όλες τις κατασκευαστικές διεργασίες που απαιτούνται για την συσκευασία του τελικού προϊόντος. Αν και η συσκευασία είναι απαραίτητη ούτως ώστε να προστατεύονται τα προϊόντα από φυσικές ή χημικές φθορές και να διατηρείται η αρχική τους ποιότητα, ορισμένες φορές γίνεται υπερβολική χρήση.
- **Διανομή:** Στο στάδιο αυτό γίνεται η διοχέτευση των προϊόντων στην αγορά οδικώς, αεροπορικώς, σιδηροδρομικώς ή και ακτοπλοϊκώς. Περιλαμβάνει, επίσης, την ενέργεια και τα περιβαλλοντικά απόβλητα που προκύπτουν από τη μεταφορά στα κέντρα λιανικής πώλησης ή στον καταναλωτή.
- **Χρήση:** Το συγκεκριμένο στάδιο είναι το στάδιο με το οποίο οι καταναλωτές είναι περισσότερο εξοικειωμένοι. Τα προϊόντα όπου ανακυκλώνονται, επαναχρησιμοποιούνται ή είναι μεγάλης διάρκειας εξοικονομούν πόρους, ενέργεια και παράγουν λιγότερα απορρίμματα συγκριτικά με τα προϊόντα μίας χρήσης. Παραδείγματος χάριν οι κοινές λάμπες καταναλώνουν περίπου 4 με 5 φορές περισσότερη ενέργεια συγκριτικά με τις λάμπες εξοικονόμησης. Επιπλέον, παρατηρείται και διαφορά στις εκπομπές CO₂, καθώς με την αξιοποίηση των λαμπτήρων εξοικονόμησης εκπέμπονται περίπου 116 λιγότεροι τόνοι ρύπων.
- **Επαναχρησιμοποίηση – ανακύκλωση:** Μέσω της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης εξοικονομούνται πόροι και ενέργεια. Επιπλέον μεγαλώνει ο κύκλος ζωής των προϊόντων και ανακτώνται πρώτες ύλες για μελλοντική χρήση. Για παράδειγμα, με την ανακύκλωση ενός κιλού χαρτιού μπορούν να κατασκευαστούν δεκαέξι νέα κουτιά δημητριακών.
- **Διάθεση:** Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την απόρριψη του προϊόντος στα απορρίμματα, και στην ουσία σηματοδοτείται το τέλος του κύκλου ζωής του. Με την συγκεκριμένη επιλογή, όχι μόνο αυξάνεται σημαντικά ο όγκος των απορριμμάτων, αλλά και χάνονται πολύτιμοι πόροι.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ανάλυσης κύκλου ζωής βάσει των σταδίων που μόλις αναφέρθηκαν.



Εικόνα 2.1. Ανάλυση Κύκλου Ζωής πλάκας σαπουνιού [7]

2.4. Πλαίσιο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Το πλαίσιο μεθοδολογίας της ΑΚΖ που προτείνεται από τον SETAC (Society of Environmental Toxicology and Applied Chemistry) αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια:



Εικόνα 2.2. Στάδια μεθοδολογίας κατά SETAC [9]

1^ο Στάδιο: Προσδιορισμός του σκοπού και αντικειμένου της μελέτης

Η εφαρμογή της διαδικασίας της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής ξεκινά με τον προσδιορισμό του σκοπού και στόχου της μελέτης που πραγματοποιείται. Επιπλέον, αναφέρεται ο λόγος όπου διεξάγεται η μελέτη και γίνεται καθορισμός της προοριζόμενης χρήσης των αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα, σε αυτό το σημείο ορίζεται ο τύπος και η μορφή της μελέτης όπου πρόκειται να διεξαχθεί.

Το πιο σημαντικό βήμα, ώστε να θεωρηθεί επιτυχημένη η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής, είναι ο ακριβής καθορισμός του σκοπού της μελέτης, όπου σχετίζεται με τον λόγο διεξαγωγής της μελέτης, την μελλοντική χρήση των αποτελεσμάτων αλλά και την ομάδα – στόχο στην οποία απευθύνονται τα αποτελέσματα.

Ο καθορισμός του σκοπού της μελέτης στοχεύει να απαντάει κάποια βασικά ερωτήματα όπως:

- ✓ Η μελέτη αφορά μόνο την παροχή πληροφοριών για την περιβαλλοντική απόδοση προϊόντων, υπηρεσιών ή λειτουργιών;
- ✓ Η μελέτη αφορά τη σύγκριση μεταξύ διάφορων προϊόντων, υπηρεσιών ή λειτουργιών;
- ✓ Τα αποτελέσματα αποσκοπούν στην περιβαλλοντική βελτίωση προϊόντων, υπηρεσιών ή λειτουργιών;

Πέραν του σκοπού, είναι απαραίτητο να γίνει και ο ορισμός του αντικειμένου της μελέτης, το οποίο μπορεί να είναι ένα προϊόν, μία υπηρεσία ή μία λειτουργία. Ο ακριβής ορισμός του αντικειμένου παρέχει πληροφορίες τόσο για τα εισαγόμενα στοιχεία όσο και για τα αποτελέσματα, και δίνει τη δυνατότητα σύγκρισής τους, μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Παράλληλα, καθορίζεται και η λειτουργική μονάδα της μελέτης, δηλαδή η βάση του αντικειμένου της. Η λειτουργική μονάδα πρέπει να είναι καθορισμένη, μετρήσιμη και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου του συστήματος.

Τέλος, ένα κρίσιμο σημείο είναι ο ορισμός της έκτασης της μελέτης καθώς και το απαραίτητο χρονικό διάστημα υλοποίησής της.[8]

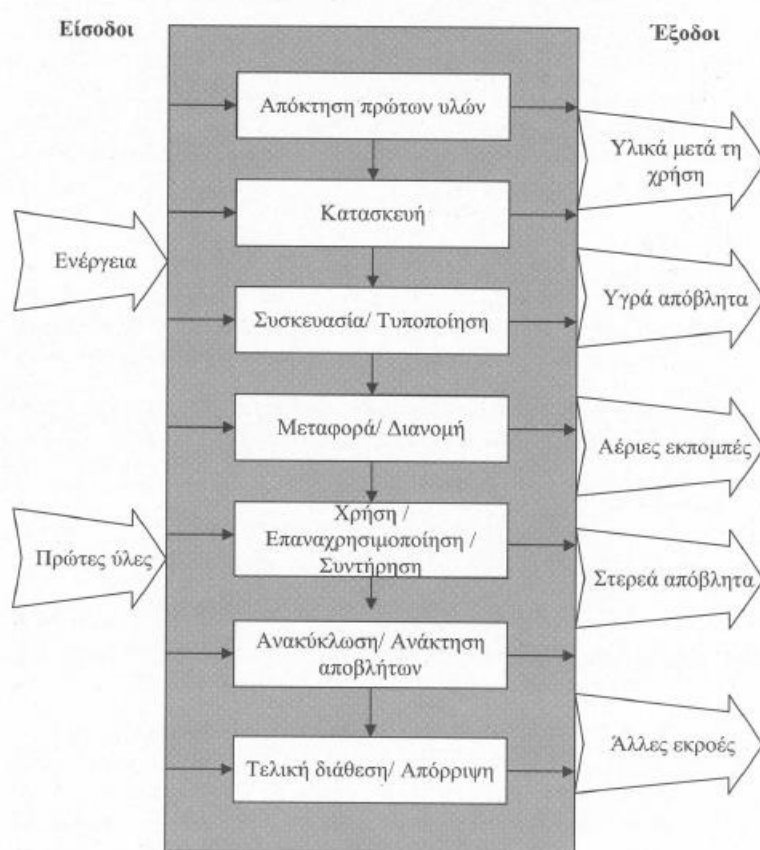
2^ο Στάδιο: Απογραφή δεδομένων

Η απογραφή δεδομένων είναι το σημαντικότερο και το πιο χρονοβόρο στάδιο, καθώς αφορά διαδικασίες κατασκευής διαγραμμάτων ροής, συλλογής δεδομένων, καθορισμού ορίων συστήματος και επεξεργασίας δεδομένων.

Διάγραμμα ροής

Το διάγραμμα ροής παρουσιάζει ποιοτικά, το σύνολο των διαδικασιών που διεξάγονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του συστήματος που εξετάζεται. Πρακτικά, περιλαμβάνει όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός συστήματος ξεκινώντας από την εξόρυξη των πρώτων υλών και καταλήγοντας στην τελική απόθεση. Κάθε σύστημα μπορεί να παρουσιαστεί σαν ένα κουτί, όπου το σύνολο των διεργασιών περικλείεται μέσα σε αυτό. Το περίγραμμα του κουτιού επισημαίνει τα όρια του συστήματος και διαχωρίζει το σύστημα από τον περιβάλλοντα χώρο του. Η είσοδος πρέπει να ξεκινάει με την εξόρυξη της πρώτης ύλης και η έξοδος πρέπει πάντα να καταλήγει στις ατμοσφαιρικές εκπομπές ή την τελική απόθεση του προϊόντος. [9]

Η κατασκευή του διαγράμματος ροής είναι το βασικότερο βήμα για την τελική οριοθέτηση του συστήματος, καθώς και για την κατανόηση του συστήματος και τη συλλογή δεδομένων. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα ροής.



Εικόνα 2.3. Διάγραμμα ροής [10]

Συνεπώς, το διάγραμμα ροής είναι ένα απαραίτητο στοιχείο, καθώς παρουσιάζονται με παραστατικό τρόπο οι ροές ενός συστήματος και είναι απαραίτητο να περιλαμβάνει μόνο όσα στάδια αναλύονται.

Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή, η επεξεργασία και η απογραφή των δεδομένων είναι απαραίτητη ούτως ώστε να αξιοποιηθούν στους υπολογισμούς, των καταναλώσεων της πρώτης ύλης, των αποβλήτων και των ρύπων τόσο κατά την κάθε μια φάση του κύκλου ζωής όσο και ολόκληρου του κύκλου.

Η συλλογή των δεδομένων είναι χρονοβόρα διαδικασία, αφού είναι αναγκαίο να ελεγχθούν όλα τα στοιχεία για την εγκυρότητα τους μιας και από αυτά εξαρτάται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. [11]

Καθορισμός και οριοθέτηση του συστήματος

Κατά το στάδιο της απογραφής δεδομένων, κάθε προϊόν θα πρέπει να παρουσιάζεται ως ένα σύστημα. Ως σύστημα ορίζεται ένα σύνολο από διεργασίες που

συνδέονται υλικά ή ενεργειακά (π.χ. διαδικασία κατασκευής, διαδικασία μεταφοράς ή διαδικασία εξόρυξης καυσίμων) το οποίο πραγματοποιεί κάποια καθορισμένη λειτουργία. Το σύστημα διαχωρίζεται από αυτά που το περιβάλλουν μέσω κάποιων ορίων. Μέσω του σαφή ορισμού των ορίων, επιτυγχάνεται η ομαλή συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, διασφαλίζεται η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της μελέτης και περιορίζεται σε λογικά πλαίσια το κόστος και ο χρόνος διεξαγωγής της μελέτης. Ωστόσο, ο καθορισμός των ορίων του συστήματος είναι μία υποκειμενική διεργασία και περιλαμβάνει τα ακόλουθα όρια:

Τέλος, σε αυτό το στάδιο, καταγράφονται και όλες οι παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη ούτως ώστε να διευκολυνθεί η μελέτη. Οι παραδοχές έχουν να κάνουν με το αντικείμενο μελέτης, τη συλλογή των δεδομένων αλλά και τα όρια του συστήματος και αποσκοπούν στην απλοποίηση υπολογισμών και στην επίτευξη γενικεύσεων σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην αλλοιώνονται τα αποτελέσματα. [12]

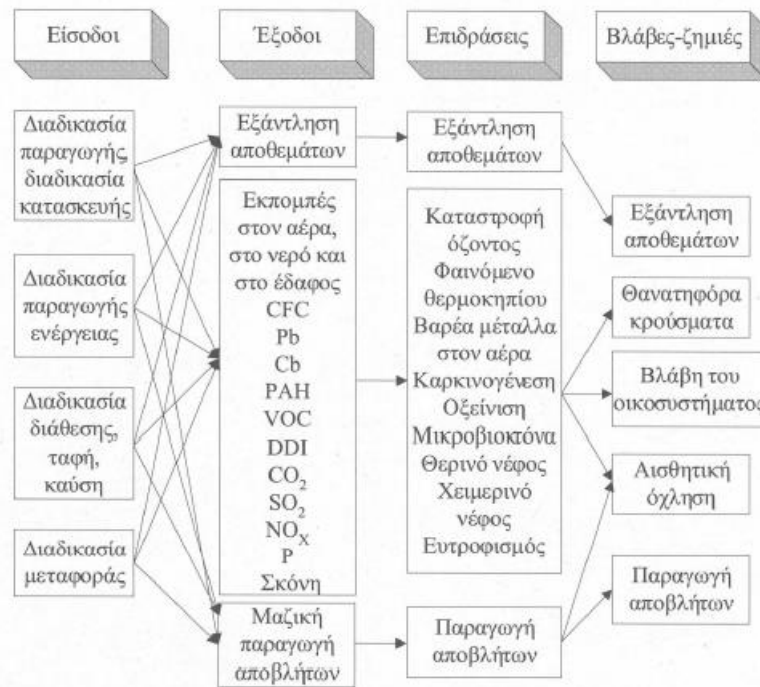
3^ο Στάδιο: Εκτίμηση των επιπτώσεων

Η εκτίμηση επιπτώσεων στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι μία ποσοτική ή/και ποιοτική διεργασία που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει και να εκτιμήσει τις αρνητικές συνέπειες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προσδιορίζονται κατά την φάση της απογραφής. Περιλαμβάνει την αναγνώριση, τη σύνοψη και την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων του συστήματος όπου μπορούν να περιγραφούν με ποικίλους τρόπους όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.

Βάση των προτύπων ISO 14040 και 14044, η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών μπορεί να αναφέρεται είτε σε ενδιάμεσους (midpoint) είτε σε τελικούς αποδέκτες (endpoint). Η προσέγγιση ενδιάμεσων αποδεκτών περιλαμβάνει κατηγορίες επιπτώσεων όπως η αλλαγή κλίματος, η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, η δημιουργία τροποσφαιρικού όζοντος (αιθαλομίχλη), ο ευτροφισμός, η οξίνιση, οι τοξικολογικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα, η μείωση των μη ανανεώσιμων ορυκτών πόρων, η χρήση ύδατος, η χρήση εδάφους, η δημιουργία θορύβου κ.α. [13]

Όσον αφορά την προσέγγιση του τελικού αποδέκτη, οι επιπτώσεις διαχωρίζονται σε τρία βασικά επίπεδα:

- ❖ *Της εξάντλησης των φυσικών πόρων (Resources)*, όπου οι πόροι κατηγοριοποιούνται ως ανανεώσιμους, μη ανανεώσιμους και βιοτικούς
- ❖ *Της ανθρώπινης υγείας (Human Health)*, όπου διακρίνονται δύο επίπεδα, το άμεσο που προκαλεί οξείες επιπτώσεις (π.χ. από πυρκαγιές, εκρήξεις, κ.λπ.) και έμμεσο, δηλαδή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις που προκαλούνται από τη χρόνια έκθεση των ανθρώπων σε τοξικές ουσίες (π.χ. βενζόλιο, εντομοκτόνα)
- ❖ *Της ποιότητας του οικοσυστήματος (Ecosystem Quality)*, όπου εξετάζονται οι πιθανές επιπτώσεις τόσο στη δομή (πληθυσμός, επίπεδα διατροφής, φυσικό περιβάλλον), όσο και στην λειτουργία (παραγωγικότητα, διεργασία)



Εικόνα 2.4.Σχηματική απεικόνιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων [14]

4^ο Στάδιο: Ερμηνεία αποτελεσμάτων – Εκτίμηση βελτιώσεων

Η ερμηνεία αποτελεσμάτων – εκτίμηση βελτιώσεων είναι το τελευταίο στάδιο της ΑΚΖ. Γίνεται ερμηνεία και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων, ούτως ώστε να ληφθούν αποφάσεις για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος και ταυτόχρονα να υπάρξει μείωση στην περιβαλλοντική επιβάρυνση. Στο δεύτερο στάδιο, όπου γίνεται η απογραφή των δεδομένων, εξυπηρετεί στον εντοπισμό των σημείων όπου επιδέχονται βελτίωση.

Τα βασικά στοιχεία για την ερμηνεία είναι:

- η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (ως προς την συνέπεια και την πληρότητα)
- η ανάλυση των αποτελεσμάτων (όσον αφορά την ευρωστία)
- η εξαγωγή τελικών συμπερασμάτων και προτάσεων για μελλοντική δουλειά

Η διαδικασία της εκτίμησης κύκλου ζωής είναι μοναδική, καθώς περιλαμβάνει ολόκληρη τη διαδικασία από τη φάση εξαγωγής των πρώτων υλών και την καταναλισκόμενη ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή και τη δημιουργία του προϊόντος έως τη χρήση και την τελική απόθεσή του. Όταν πρέπει να γίνει επιλογή μεταξύ δύο διαφορετικών προϊόντων, κρίνεται κρίσιμο να γίνει εκτίμηση κύκλου ζωής, ώστε να μπορούν να συγκριθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι διεργασίες του κάθε προϊόντος και να βρεθεί η ιδανικότερη λύση.[15]

2.5 Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής

Το στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων περιλαμβάνει τα στάδια της επιλογής, της ταξινόμησης, του χαρακτηρισμού, της κανονικοποίησης, της ομαδοποίησης και της στάθμισης. Τα τρία πρώτα στοιχεία κρίνονται απαραίτητα προκειμένου να διεξαχθεί η εκτίμηση των επιπτώσεων, ενώ τα επόμενα τρία είναι προαιρετικά.

2.5.1. Επιλογή

Η επιλογή των επιπτώσεων και των κατηγορικών δεικτών γίνεται με σκοπό να αξιοποιηθούν οι πιο κατάλληλες για ένα δεδομένο σκοπό. Ο σκοπός της μελέτης προκύπτει βάση των στοιχειωδών ροών και τη συλλογή των δεδομένων απογραφής. Μεταξύ των διαφόρων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπου έχουν επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον, οι κυριότερες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα: [16]

ΤΥΠΟΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
<i>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις</i>	Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας
	Όξινη
	Ευτροφισμός
	Εξάντληση στοιβάδας όζοντος
	Φωτοχημικό νέφος
	Τοξικότητα στο περιβάλλον
<i>Εξάντληση πόρων</i>	Ορυκτά καύσιμα και ανόργανα μεταλλεύματα
	Κατανάλωση νερού
	Χρήση γης
<i>Ανθρώπινη υγεία</i>	Τοξικότητα στον άνθρωπο
	Μυρωδιά
	Θόρυβος

Πίνακας 2.1 Κατηγορίες επιπτώσεων κύκλου ζωής

Επιπλέον, για να είναι πιο εύκολη η διαδικασία της επιλογής οι επιπτώσεις μπορούν να ταξινομηθούν και σε παγκόσμιες, περιφερειακές και τοπικές. Κατηγορίες επιπτώσεων που περιλαμβάνονται συνήθως σε μια αποτίμηση κύκλου ζωής είναι η παγκόσμια υπερθέρμανση, η καταστροφή του όζοντος, η ρύπανση των υδάτων, η ατμοσφαιρική ρύπανση, ο ευτροφισμός, η τοξικότητα στον άνθρωπο και η εξάντληση των φυσικών πόρων. [16]

Στην πράξη, οι κατηγορίες των επιπτώσεων βασίζονται σε ορισμένα μοντέλα και συνδυάζονται με σύνολα ή μεθόδους, όπου καταγράφονται ως μέθοδοι Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (EEKZ). Χαρακτηριστικά παραδείγματα μεθόδων είναι οι: ReCiPe, CML, TRACI, EDIP, LIME, IMPACT 2002+

2.5.2. Ταξινόμηση

Στο στάδιο της ταξινόμησης η ενέργεια, οι πρώτες ύλες, και γενικά όλες οι ροές ενέργειας και υλικών που επιλέχθηκαν στο προηγούμενο στάδιο αξιολογούνται

βάση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχουν καθοριστεί νωρίτερα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο συσχετισμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τα δεδομένα του κύκλου ζωής.

Κατηγορία επίπτωσης	Κλίμακα	Ταξινόμηση δεδομένων απογραφής AKZ	Πιθανοί κοινοί παράγοντες χαρακτηρισμού
Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας	Παγκόσμια	Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	Εν δυνάμει παράγοντες αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας
		Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	
		Μεθάνιο (CH ₄)	
		CO	
		CFCs/ HCFCs	
		N ₂ O	
		NMHC	
CHCl ₃			
Εξάντληση στοιβάδας Οζόντος	Παγκόσμια	CFCs/ HCFCs	Εν δυνάμει παράγοντες εξάντλησης του όζοντος
		Αλογονάνθρακες	
Οξίνιση	Περιφερειακή Τοπική	Οξείδια του θείου (SO _x)	Εν δυνάμει παράγοντες οξίνισης
		Οξείδια του αζώτου (NO _x)	
		Υδροχλωρικό οξύ (HCl)	
		Υδροφθορικό οξύ (HF)	
		Αμμωνία	
		N ₂ O	
		H ₂ SO ₄	
H ₂ S			
Ευτροφισμός	Τοπική	Φωσφορικό ανιόν (PO ₄ ⁻³)	Εν δυνάμει παράγοντες ευτροφισμού
		Οξείδια του αζώτου (NO _x)	
		Αμμωνιακό ιόν NH ₄ ⁺ (νερό)	
		Αμμωνία NH ₃ (αέρα)	
		N	
		P	
		P ₂ O ₅	
		BOD	
		COD	
		TOC	
Αιωρούμενα στερεά			
Φωτοχημικό νέφος	Τοπική	Υδρογονάνθρακες εκτός μεθανίου (NMHC)	Εν δυνάμει παράγοντες φωτοχημικού νέφους
		Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	
		Μεθάνιο (CH ₄)	
		Αλογονάνθρακες	
		VOCs	
Ανθρώπινη υγεία	Παγκόσμια	Εκπομπές στον αέρα νερό έδαφος	LC50

Πίνακας 2.2. Ταξινόμηση δεδομένων απογραφικής AKZ ανά κατηγορίας επιπτώσεων

2.5.3. Χαρακτηρισμός

Αφού γίνει η ταξινόμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κατηγορίες ακολουθεί το στάδιο του χαρακτηρισμού. Σε αυτό το στάδιο, γίνεται ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων, δηλαδή με τη βοήθεια συντελεστών χαρακτηρισμού μετατρέπονται όλα τα δεδομένα απογραφής σε βασικούς δείκτες. Παραδείγματος χάριν, η κλιματική αλλαγή (GWP) έχει ως δείκτη μέτρησης το CO₂, άρα οι εκπομπές του CH₄ θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τον αντίστοιχο συντελεστή, ούτως ώστε να μετατραπούν σε ισοδύναμες εκπομπές CO₂. [17]

Η βασική σχέση υπολογισμού των δεικτών είναι:

$$\text{Δείκτης Κατηγορίας} = \sum \text{Δείκτης Χαρακτηρισμού} * \text{απογραφή εκπομπών}$$

Τα στοιχεία της απογραφής δεδομένων είναι εκφρασμένα σε κιλά, συνεπώς μια τιμή για την κλιματική αλλαγή GWP=100, δηλώνει ότι 1kg της συγκεκριμένης εκπομπής έχει την ίδια επίπτωση στην κλιματική αλλαγή με 100kg CO₂. [17,19]

Ο χαρακτηρισμός διευκολύνει την άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων της απογραφής σε διάφορες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τη χρήση ισοδύναμων συντελεστών για την ερμηνεία των εισροών της απογραφής σε δείκτες που μπορούν να συγκριθούν άμεσα.

Εκπομπές	Βασική Μονάδα Μέτρησης	Συντελεστής Χαρακτηρισμού
<i>Κλιματική Αλλαγή</i>		
CO ₂	g CO ₂ – eq/g	1
CH ₄		23
N ₂ O νιτρώδες οξείδιο		296
CO		1,57
<i>Οξίνιση</i>		
SO _x	g SO ₂ – eq/g	1
NO _x		0,7
HCl		0,88
NH ₃		1,88
HF		1,6
H ₂ S		1,88
NH ₄ ⁺		1,88
<i>Ευτροφισμός</i>		
NO _x	g PO ₄ ⁻³ – eq/g	0,13
NH ₃		0,35
Φωσφορικά ιόντα PO ₄ ⁻³		1
COD		0,022
BOD		0,022
<i>Φωτοχημικό νέφος</i>		
PAH	g C ₂ H ₆ – eq/g	0,761
CH ₄		0,007
C ₂ H ₆		1
VOCs		0,398
CO		0,032

Πίνακας 2.3. Συντελεστές χαρακτηρισμού εκπομπών [19]

2.5.4. Κανονικοποίηση

Το στάδιο της κανονικοποίησης, αποτελεί την συνέχεια του σταδίου του χαρακτηρισμού, και εκφράζει την συσχέτιση των δεικτών με μία τιμή αναφοράς. Πρακτικά, συγκρίνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του προϊόντος με εκπομπές σε παγκόσμιο επίπεδο, διαιρώντας το δείκτη της κατηγορίας με την τιμή αναφοράς. Η κανονικοποίηση έχει διπλό στόχο, αφενός τα αποτελέσματα των επιπτώσεων να τοποθετηθούν σε ένα πιο ευρύ πλαίσιο, και αφετέρου να γίνει επεξεργασία των αποτελεσμάτων έτσι ώστε να έχουν κοινές διαστάσεις.

Η βασική σχέση υπολογισμού είναι: $N_k = \frac{S_k}{R_k}$, όπου [20]

N είναι ο δείκτης που κανονικοποιείται

k είναι η κατηγορία της επίπτωσης

S είναι το άθροισμα από το στάδιο του χαρακτηρισμού

R είναι η τιμή αναφοράς

Η τιμή αναφοράς, αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, όπου συσχετίζεται είτε σε μια συγκεκριμένη χωρική ή χρονική κλίμακα, είτε σε έναν τομέα οικονομικής δραστηριότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μια δημοσίευση, όπου έγινε για χάρη της Ολλανδίας και συγκεκριμένα για την χώρα προτείνει τιμές κανονικοποίησης μεταξύ των ετών 1997 και 1998, για τη Δυτική Ευρώπη λαμβάνεται ως έτος αναφοράς το 1995 και για ολόκληρο τον κόσμο έτη αναφοράς θεωρούνται το 1990 και το 1995. Τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την ανάδειξη της σχετικής σπουδαιότητας των διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων. [21]

2.5.5. Στάθμιση

Το στάδιο της στάθμισης χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της σημασίας και της σχετικής σπουδαιότητας των διαφόρων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, επιτρέποντας συγκρίσεις μεταξύ διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων. Ωστόσο, το στάδιο αυτό είναι αμφιλεγόμενο, καθώς απαιτεί τη λήψη επιλογών με βάση κοινωνικές, πολιτικές και ηθικές αξίες. Η στάθμιση χρησιμεύει ως πολύτιμο εργαλείο για:

- τον υπολογισμό τιμών διαφορετικών κατηγοριών επίπτωσης είτε πρόκειται για ποικιλία δεικτών είτε για έναν μοναδικό δείκτη
- τη σύγκριση μεταξύ των κατηγοριών επιπτώσεων

Μπορεί να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα ή μη κανονικοποιημένα αποτελέσματα με τη χρήση γραμμικών συντελεστών στάθμισης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει επιστημονική ομοφωνία ή αντικειμενική βάση για το συγκεκριμένο στάδιο. Αυτό έχει ως επακόλουθο, ότι ανεξάρτητα από ποια μέθοδος στάθμισης πρόκειται να αξιοποιηθεί, θα βασίζεται πάντα στις υποκειμενικές επιλογές ενός ατόμου ή μιας ομάδας ατόμων. [22, 23]

2.6 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα AKZ

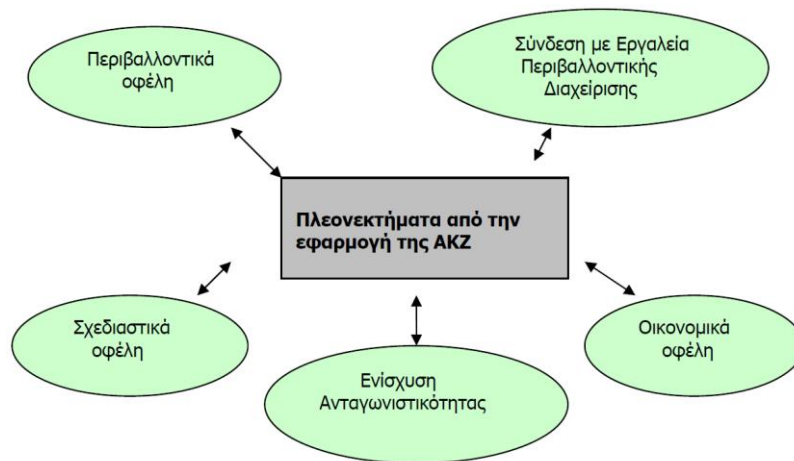
Όπως είναι φανερό, η Ανάλυση Κύκλου Ζωής για ένα προϊόν επιφέρει πολλά οφέλη σε διάφορους τομείς, τόσο στις επιχειρήσεις, όσο και στο κοινωνικό σύνολο και το περιβάλλον. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα είναι: [24,25, 26, 27]

- ❖ *Περιβαλλοντικά οφέλη:* Αρχικά, μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής καθίσταται δυνατό να αναπτυχθεί μια συστηματική αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων άμεσα συνδεδεμένη με το προϊόν. Επιπλέον, υπολογίζονται οι ρύποι που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, στο νερό και το έδαφος, ανά στάδιο κύκλου ζωής αλλά και στο σύνολο και αξιολογούνται οι επιδράσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον. Με τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων δίνεται η δυνατότητα στους υπεύθυνους να κατανοήσουν τις

περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων τους και να λάβουν υπόψη τους περισσότερες παραμέτρους.

- ❖ *Οικονομικά οφέλη:* Μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής εξετάζεται ολόκληρος ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος και εντοπίζονται οι βασικότερες επιπτώσεις του. Εν τούτοις, υπάρχει δυνατότητα μείωσής τους, μέσω της αύξησης της αποτελεσματικότητας όπου χρησιμοποιούνται οι φυσικοί πόροι και η ενέργεια. Έτσι, με την AKZ επιτυγχάνεται μείωση των πρώτων υλών, των φυσικών πόρων και της ενέργειας όπου χρησιμοποιούνται και συνεπώς αυξάνεται το κέρδος της επιχείρησης.
- ❖ *Σχεδιαστικά οφέλη:* Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για το στάδιο του σχεδιασμού ή του επανασχεδιασμού ενός προϊόντος, καθώς μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ διαφόρων μεθόδων παραγωγής και να καθοριστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθενός. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να καθοριστούν οι επιπτώσεις της κάθε επιλογής και να επιλεγεί η λύση με τις λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και το κοινωνικό σύνολο.
- ❖ *Ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας:* Η AKZ αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο μάρκετινγκ για τις επιχειρήσεις, μιας και μπορεί να αξιοποιηθεί για να αναδείξει την περιβαλλοντική συμπεριφορά των προϊόντων, να γίνουν συγκρίσεις με άλλα αντίστοιχα προϊόντα και να αυξήσει τις πωλήσεις. Ωστόσο, κρίνεται αναγκαίο, πριν γίνει χρήση της AKZ για την προώθηση ενός προϊόντος να έχει επιβεβαιωθεί η διαφάνεια των στοιχείων.
- ❖ *Σύνδεση με εργαλεία περιβαλλοντικής διαχείρισης:* Πέρα από τα οφέλη που προαναφέρθηκαν, η ανάλυση κύκλου ζωής είναι άμεσα συνδεδεμένη και με τη σειρά προτύπων ISO 14040, όπου ακολουθούν οι επιχειρήσεις που θέτουν ως στόχο τον περιορισμό των ρύπων κατά το στάδιο παραγωγής προϊόντων. Επιπλέον, η AKZ αποτελεί βασικό εργαλείο για τον έλεγχο προϊόντων και την τοποθέτηση οικολογικού σήματος, γεγονός που προσφέρει σε μια εταιρεία επιπλέον έσοδα και ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα.

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μεγάλο ενδιαφέρον στον πεδίο εφαρμογής της ανάλυσης κύκλου ζωής μιας και αποτελεί σημαντικό μέσο για την προστασία τόσο της ανθρώπινης υγείας όσο και του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό, είναι αναγκαία τόσο η συμβολή της κοινωνίας όσο και των επιχειρήσεων ούτως ώστε να υπάρξει μια ισορροπία, μεταξύ της παραγωγής προϊόντων και των συνεπειών που έχουν ως επακόλουθο. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα εφαρμογής AKZ.



Εικόνα 2.5. Πλεονεκτήματα εφαρμογής ΑΚΖ

Βάση των προαναφερθέντων, η ανάλυση κύκλου ζωής αποτελεί ένα πολύ βασικό εργαλείο, εν τούτοις παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα κατά την υλοποίησή της. Ένα βασικό πρόβλημα είναι οι απαιτούμενοι πόροι και ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου να γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη. Οι παράμετροι του χρόνου και των πόρων είναι πολλοί σημαντικοί, καθώς αν μια επιχείρηση επιλέξει να μην τα λάβει υπόψη σίγουρα θα βρεθεί σε αδιέξοδο και η μελέτη τα τεθεί σε κίνδυνο πληρότητας και περιεκτικότητας.

Ένα επιπλέον εμπόδιο, είναι η δυσκολία συγκέντρωσης των απαιτούμενων δεδομένων μιας και η διαθεσιμότητά τους δεν είναι πάντα δεδομένη. Αυτό έχει ως συνέπεια πολλές φορές στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων και στη τελική μελέτη. Οι επιλογές και οι υποθέσεις που γίνονται είναι υποκειμενικές από τη φύση τους, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυσκολία στην αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων και την ευρεία χρήση τους.

Τέλος, η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι σχεδόν ακατόρθωτο να εφαρμοστεί σε ορισμένες βιομηχανίες εξαιτίας της πολυπλοκότητάς της. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι βιομηχανίες τροφίμων, καθώς δεν μπορούν να οριοθετήσουν το σύστημά τους από την αγροτική παραγωγή έως και το στάδιο της κατανάλωσης του τελικού προϊόντος. [24, 25, 26, 27]

2.7 Εφαρμογές

Η ανάλυση κύκλου ζωής αποτελεί μέθοδο διαχείρισης του περιβάλλοντος και αξιοποιείται κυρίως από μεσαίες ή μεγάλες επιχειρήσεις δημοσίου ή ιδιωτικού τομέα και σε ερευνητικά έργα. Αναπτύχθηκε ούτως ώστε να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να διαλέγουν ανάμεσα σε ποικιλία παραγωγικών διαδικασιών ή καταλληλότερων υπηρεσιών όπου σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, με το πέρασμα του χρόνου η μέθοδος εξελίχθηκε και βρήκε εφαρμογή σε ένα μεγάλο εύρος θεμάτων όπως:

- Χρήση της ΑΚΖ στην ανάπτυξη και βελτίωση ενός προϊόντος
- Χρήση της ΑΚΖ στο στρατηγικό σχεδιασμό και στην πολιτική μιας επιχείρησης.

- Χρήση της AKZ στο Marketing
- Χρήση της AKZ στη χάραξη δημόσια πολιτικής, στους τομείς της περιβαλλοντικής σήμανσης, «πράσινη» παραγωγή και στη διαχείριση αποβλήτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών και εντοπίζονται τα κύρια κίνητρα και προκλήσεις για τη χρήση της AKZ για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων από τη σκοπιά των κυβερνήσεων, της βιομηχανίας και των πολιτών.

2.7.1. Κυβερνητική προοπτική

Η εφαρμογή της AKZ και προσεγγίσεων μπορεί να υποστηρίξει τη διαμόρφωση, την εφαρμογή και τη ρύθμιση της πολιτικής που επιβάλλεται. Στο πλαίσιο του πανευρωπαϊκού έργου CALCAS(Δράση συντονισμού για την καινοτομία στην ανάλυση του κύκλου ζωής για την αειφορία), διενεργήθηκαν ανασκοπήσεις στα μέσα της δεκαετίας του 2000 για τον εντοπισμό εφαρμογών AKZ προς υποστήριξη διαφόρων σταδίων του κύκλου πολιτικής. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τέτοιες εφαρμογές. Έκτοτε, έχει προκύψει η πιεστική ανάγκη να προχωρήσουμε προς πιο βιώσιμες κοινωνίες. Για παράδειγμα, στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει συμπεριλάβει την AKZ ως ένα από τα μοντέλα αναφοράς για τον αντίκτυπο αξιολόγηση των πολιτικών στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) στο πλαίσιο της «βελτίωσης της νομοθεσίας». [28]

Θέμα	Έτος έναρξης και/ή γεωγραφική εμβέλεια
<i>Η AKZ ως εργαλείο γνώσης στη διαμόρφωση πολιτικής</i>	
Σχέδιο δράσης για περιβαλλοντικές τεχνολογίες	Έτος έναρξης: 2004/ Γεωγραφική εμβέλεια: ΕΕ
Ολοκληρωμένη πολιτική προϊόντων	Έτος έναρξης: 2003/ Γεωγραφική εμβέλεια: ΕΕ
Οδηγία για τον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων που χρησιμοποιούν ενέργεια	Έτος έναρξης: 2005/ Γεωγραφική εμβέλεια: ΕΕ
Στρατηγική για την αειφόρο χρήση των φυσικών πόρων	Έτος έναρξης: 2005
Σχέδιο δράσης για την αειφόρο παραγωγή και κατανάλωση	Έτος έναρξης: 2007/ Γεωγραφική εμβέλεια: ΕΕ
Βιοκαύσιμα	Γερμανία
Εφαρμογή φυτοφαρμάκων	Κόστα Ρίκα
<i>Η AKZ ως εργαλείο αξιολόγησης πολιτικής</i>	
Θεματική στρατηγική για την πρόληψη και την ανακύκλωση των απορριμμάτων και Οδηγία για τα απόβλητα	Έτος έναρξης: 2005/ Γεωγραφική εμβέλεια: ΕΕ
Οδηγία για τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια	Έτος έναρξης: 2000/ Γεωγραφική εμβέλεια: ΕΕ

Πίνακας 2.4. Παραδείγματα εφαρμογών AKZ σε διαφορετικά στάδια του κύκλου πολιτικής [28]

2.7.2. Προοπτικές στη βιομηχανία

Η εφαρμογή της AKZ στις επιχειρήσεις μπορεί να διαχωριστεί σε πέντε βασικούς σκοπούς: (i) υποστήριξη αποφάσεων στην ανάπτυξη προϊόντων και διαδικασιών (ii) σκοπούς μάρκετινγκ (π.χ. οικολογική σήμανση) (iii) ανάπτυξη και επιλογή δεικτών που χρησιμοποιούνται στην παρακολούθηση περιβαλλοντικών επιδόσεων προϊόντων ή φυτών (iv) επιλογή προμηθευτών ή υπεργολάβων και (v) στρατηγικός σχεδιασμός. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές της ανάλυσης κύκλου ζωής μπορεί κάλλιστα να εξυπηρετήσουν περισσότερους από έναν σκοπούς. Για παράδειγμα η ανάπτυξη ενός προϊόντος μπορεί να συνδυαστεί με το μάρκετινγκ.

Επιπλέον, αν και η AKZ έχει αναπτυχθεί παραδοσιακά ως εργαλείο που χρησιμοποιείται σε επίπεδο προϊόντος, και εξακολουθεί κυρίως να αξιοποιείται εκεί, παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση της AKZ σε εταιρικό επίπεδο ούτως ώστε να αντανακλάται η απόδοση της εταιρίας ή μεμονωμένων ατόμων σε μια προοπτική του κύκλου ζωής. Αυτό είναι ιδιαίτερα σχετικό για μεγάλες επιχειρήσεις (αλλά δεν περιορίζεται μόνο εκεί) και για εφαρμογές που σχετίζονται με την παρακολούθηση περιβαλλοντικών επιδόσεων και τον στρατηγικό σχεδιασμό. [29]

Εφαρμογές σε επίπεδο προϊόντος

Σε επίπεδο προϊόντος, η AKZ χρησιμοποιείται συχνά κατά την ανάπτυξη του προϊόντος και για την αναγνώριση των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας είτε εντός του οργανισμού είτε εντός εφοδιαστικής του αλυσίδας. Παραδείγματος χάριν, μια έρευνα έδειξε ότι η γερμανική βιομηχανία τη δεκαετία του 1990 χρησιμοποιούσε κυρίως την AKZ εσωτερικά, για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών σε προϊόντα και συστήματα [30]

Μια άλλη έρευνα έδειξε ότι μεγάλες δανικές εταιρείες που καλύπτουν το 90–100% των δανικών επιχειρήσεων έχουν πρακτική εμπειρία της AKZ κατά τη δεκαετία του 1990. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα έδειξε ότι μέσω του αυτού του εργαλείου προσδιορίστηκαν νέες περιβαλλοντικές πτυχές των προϊόντων που δεν είχαν προβλεφθεί. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, το 79% των επιχειρήσεων που αντιμετώπισαν αυτή τη περίπτωση, να καθορίσουν νέες προτεραιότητες για περιβαλλοντικές προσπάθειες, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών σε προϊόντα και διαδικασίες, όπως η εξοικονόμηση ή η αντικατάσταση υλικών. [31]

Παράλληλα με την εφαρμογή στην ανάπτυξη προϊόντων και διεργασιών, η AKZ χρησιμοποιείται συχνά για σκοπούς μάρκετινγκ σε διαφορετικά επίπεδα. Καθώς οι ανησυχίες του κοινού για την κατάσταση του περιβάλλον έχουν γίνει ολοένα και πιο έντονες και οι καταναλωτές πιο περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένοι, οι επιχειρήσεις έχουν δώσει μεγαλύτερη έμφαση στον ποσοτικό προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιδόσεων, χρησιμοποιώντας την AKZ και δημοσιοποιώντας το στο ευρύ κοινό ως μέσο ώστε να χαρακτηριστεί η επιχείρησή τους πράσινη. Μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής οι εταιρίες στοχεύουν στην απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος και βελτίωση της εικόνας και της φήμης τους. Πέραν αυτών, τα οικολογικά σήματα ή τα περιβαλλοντικά προϊόντα σηματοδοτούν καλές περιβαλλοντικές επιδόσεις και αξιοποιούνται ώστε να κάνουν ένα προϊόν πιο ελκυστικό στους περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένους καταναλωτές. [31]

Εφαρμογές σε εταιρικό επίπεδο

Η χρήση της AKZ για την τεκμηρίωση και την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής απόδοσης στην εταιρεία σήμερα συνήθως περιορίζεται σε μερικές επιλεγμένες κατηγορίες επιπτώσεων, συνήθως δείκτες αποτυπώματος, όπως για παράδειγμα το αποτύπωμα του άνθρακα ή το αποτύπωμα του νερού. Αυτή η κατάσταση μπορεί να αλλάξει μελλοντικά με την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών και ομαλή συνεργασία μεταξύ των εταιριών και του οργανισμού περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Στο σε εταιρικό επίπεδο, η βιομηχανία μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει την AKZ για τον καθορισμό στρατηγικών στόχων. Για παράδειγμα, η Unilever έθεσε στόχο να μειώσει κατά 50% τις περιβαλλοντικές της επιπτώσεις έως το 2030 λαμβάνοντας υπόψη τον κύκλο ζωής των προϊόντων τους. Αντίστοιχα, εταιρίες μπορεί να θέλουν να υλοποιήσουν την AKZ, για να τους γίνει ξεκάθαρο ποιες είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων τους σε μια προσπάθεια υλοποίησης περιβαλλοντικής διαχείρισης (EMS). Το EMS μπορεί να αξιοποιηθεί ως εργαλείο για την εφαρμογή ενός δομημένου προγράμματος συνεχούς βελτίωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ως εργαλείο διαχείρισης και επικοινωνίας των περιβαλλοντικών επιδόσεων μιας επιχείρησης εσωτερικά και εξωτερικά. Υπάρχει επομένως συχνά μια σχέση μεταξύ της εφαρμογής του EMS και την εφαρμογή AKZ εντός των εταιρειών. [32]

Προκλήσεις των μικρομεσαίων επιχειρήσεων

Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις μπορούν να αξιοποιήσουν την AKZ για τους ίδιους λόγους όπως οι μεγάλες εταιρείες. Ωστόσο, οι μικρού μεγέθους (10–49 εργαζόμενοι) και μεσαίου μεγέθους (50–249 εργαζόμενοι) επιχειρήσεις αρκετές φορές υστερούν συγκριτικά με μεγάλες εταιρείες στην υλοποίηση. Οι κύριοι λόγοι είναι: (i) το υψηλό κόστος (ii) η ανάγκη για αλλαγές στο χώρο εργασίας (iii) η πολυπλοκότητα της μεθοδολογίας και (iv) η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού. Μια μελέτη 10 μικρομεσαίων επιχειρήσεων αποκάλυψε ότι η AKZ θεωρείται μια πολύ περιεκτική και περίπλοκη διαδικασία, δύσκολα κατανοητή, αφήνοντας την εντύπωση σε αρκετές εταιρίες ως τη μέθοδο «μαύρο κουτί». Ομοίως, βάση μιας περιεκτικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αναφέρεται ότι τα βασικότερα εμπόδια για την εφαρμογή εργαλείων διαχείρισης βιωσιμότητας (συμπεριλαμβανομένης και της AKZ) είναι (i) η έλλειψη γνώσης σε θέματα βιωσιμότητας (ii) η απουσία αντιληπτών οφελών (iii) η έλλειψη ανθρώπινων και οικονομικών πόρων (v) τα ανεπαρκή κίνητρα (vi) η ακαταλληλότητα και η πολυπλοκότητα των επίσημων εργαλείων διαχείρισης. [33,34]

Ενώ η χρήση της AKZ από τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις θεωρήθηκε οριακή, από το 2012 και έπειτα φαίνεται όλο και πιο συνηθισμένη. Αυτό, πιθανόν, οφείλεται αφενός μεν στην αυξημένη νομοθεσία και την εστίαση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αφετέρου στα πιθανά οφέλη της αγοράς υιοθετώντας ένα φιλικό προς το περιβάλλον προφίλ. Οι κύριοι μοχλοί ούτως ώστε οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις να αρχίσουν να αξιοποιούν γενικά τα εργαλεία περιβαλλοντικής αξιολόγησης και ειδικότερα την AKZ, ήταν η ζήτηση και η απαίτηση των πελατών για εφαρμογή της νομοθεσίας. Η εφαρμογή από μικρομεσαίες επιχειρήσεις στη Δυτική Ευρώπη δείχνει ότι οι επιχειρήσεις είναι πρόθυμες να υλοποιήσουν μια AKZ (π.χ. μέσω παροχής δεδομένων) όταν υπάρχει ειδικός και επαρκής προϋπολογισμός διαθέσιμος. Για παράδειγμα συμμετοχή σε ένα μεγαλύτερο ερευνητικό έργο. Η εμπειρία επίσης δείχνει ότι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις συνήθως ενδιαφέρονται να εντοπίσουν ευκαιρίες μείωσης του αντίκτυπου, ιδιαίτερα εκείνες που προέρχονται από δραστηριότητες στον κύκλο ζωής στον οποίο ασκούν κάποια επιρροή. Παρόμοια ευρήματα αναφέρθηκαν

στην Ευρώπη σε χώρες όπου η παράδοση της χρήσης ΑΚΖ δεν ήταν ιστορικά τόσο ισχυρή. [35, 36]

Εφαρμογές στη καθημερινότητα των πολιτών

Τα ευρήματα της ΑΚΖ μπορούν επίσης να παρέχουν υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων για τα άτομα, είτε ως πολίτες είτε ως καταναλωτές, ιδίως όσον αφορά την ιδιωτική τους κατανάλωση αγαθών και υπηρεσιών. Οι καταναλωτές συχνά εκτίθενται στα αποτελέσματα ή τα συμπεράσματα της ΑΚΖ, μερικές φορές εν αγνοία τους, μέσω των οικολογικών σημάτων. Καταναλωτικές αποφάσεις που βασίζονται σε ΑΚΖ μπορεί να ποικίλλουν, από την επιλογή του προϊόντος με το χαμηλότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο μεταξύ μιας ομάδας παρόμοιων προϊόντων (π.χ φιλική προς το περιβάλλον ηλεκτρική σκούπα) μέχρι την επιλογή του πιο περιβαλλοντικά υγιή τρόπου εκπλήρωσης μιας λειτουργίας (π.χ. πλύσιμο πιάτων στο χέρι ή στο πλυντήριο πιάτων).

Εκτός από αποφάσεις που σχετίζονται με την ιδιωτική κατανάλωση, οι πολίτες μπορεί επίσης να είναι έμμεσα επηρεασμένοι από τα αποτελέσματα της ΑΚΖ όταν ακολουθούν πολιτικές συζητήσεις και απαιτούνται δύσκολες αποφάσεις. Για παράδειγμα, οι δήμοι συχνά χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο εργαλείο για να υποστηρίξουν αποφάσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων. Αν είναι πολιτική απόφαση για την αύξηση της ανακύκλωσης και τη μείωση της υγειονομικής ταφής ή της αποτέφρωσης επηρεάζονται άμεσα οι πολίτες, καθώς θα πρέπει να διαχωρίζουν τα απόβλητά τους σε ανακυκλώσιμα κλάσματα παρά να συλλέγουν όλα τα απορρίμματα τους στον ίδιο κάδο. [37]

2.8. Λογισμικά ΑΚΖ

Η χρήση της ανάλυσης του κύκλου ζωής (ΑΚΖ) έχει αποκτήσει όλο και μεγαλύτερη σημασία τα τελευταία χρόνια, καθώς οι επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον γίνονται όλο και πιο πολύπλοκες και αποτελούν αντικείμενο διεθνών συζητήσεων και δεσμεύσεων. Η πίεση στο περιβάλλον πλέον δεν μπορεί να αγνοηθεί και υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για μείωση της ρύπανσης και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Τα εργαλεία της ΑΚΖ αποτελούν πολύτιμη λύση, μιας και συμβάλλουν στην υιοθέτηση στρατηγικών φιλικότερων προς το περιβάλλον. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν στρατηγικές για καλύτερη διαχείριση πρώτων υλών και την αποδοτικότερη αξιοποίηση της ενέργειας. Επιπλέον, παρέχουν πληροφορίες για διάφορα στάδια και εντοπίζονται διεργασίες με υψηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Σήμερα, υπάρχει διαθέσιμη μια μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων λογισμικών, γεγονός που καθιστά αναγκαίο τον εντοπισμό και τον διαχωρισμό τους βάση των απαιτήσεων.

2.8.1. Λογισμικό openLCA

Το openLCA είναι ένα ανοιχτό λογισμικό αξιολόγησης κύκλου ζωής. Πρωτοεμφανίστηκε το 2007 από την Green Delta με την υποστήριξη της PE International, Pre Consultants και του UNEP και διαθέτει μια από τις μεγαλύτερες συλλογές δεδομένων ΑΚΖ και βιωσιμότητας στο κόσμο. Το συγκεκριμένο λογισμικό βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς όπως: [38]

- Στην εκτίμηση περιβαλλοντικού κύκλου ζωής (environmental LCA)
- Στην οικονομική αξιολόγηση κύκλου ζωής (economic life cycle costing –LCC)
- Στην κοινωνική αξιολόγηση του κύκλου ζωής (social LCA)
- Στο ανθρακικό αποτύπωμα και στο αποτύπωμα του νερού (Carbon and Water Footprint)

Το OpenLCA είναι ένα γνωστό και φιλικό προς το χρήστη εργαλείο που επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν ολοκληρωμένους υπολογισμούς για όλα τα στάδια μιας αξιολόγησης του κύκλου ζωής (AKZ). Ένα από τα πλεονεκτήματά του είναι η δυνατότητα εργασίας με διάφορες βάσεις δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των ecoinvent και ELCD, και η ενσωμάτωση οικονομικών εκτιμήσεων. Ειδικότερα, το openLCA επιτρέπει τη δημιουργία δικτύων διεργασιών και γραφικών μοντέλων, είτε μέσω αυτοματοποιημένων είτε μέσω χειροκίνητων προσεγγίσεων, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα πολύτιμο χαρακτηριστικό.

2.8.2. Λογισμικό GaBi

Το Gabi (Ganzheitliche Bilanzierung), όπου μεταφράζεται ως ολιστική αξιολόγηση είναι ένα λογισμικό με υψηλό κόστος απόκτησης όπου δημιουργήθηκε αρχικά από τη ThinkStep το 1991 και έπειτα εξαγοράστηκε από τη Sphera το 2019. Η κύρια δραστηριότητά της είναι η εμπορία λογισμικών αλλά και η παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών. Το συγκεκριμένο λογισμικό διατίθεται με μια ποικιλία από βάσεις δεδομένων συμπεριλαμβανομένου και την ecoinvent. Περιλαμβάνει μεγάλο εύρος δυνατοτήτων και λειτουργιών και τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα είναι μεγάλης ακρίβειας και εγκυρότητας. Επιπλέον, η τριακονταετής φήμη και χρήση του αποτελούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι άλλων λογισμικών.

Ωστόσο, ένα βασικό μειονέκτημα του συγκεκριμένου λογισμικού είναι η έλλειψη ποικιλίας σε μορφές δεδομένων και χρειάζεται αρκετά τακτικά online ενημέρωση ανεξάρτητα από το κυρίως πρόγραμμα. Το λογισμικό είναι λίγο ογκώδες και μεγάλο μέρος του φόντου των εγγράφων για τα σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνονται είναι κενό και στερείται διαφάνειας. Εν τούτοις, το πελατειακό κοινό που έχει δημιουργηθεί αποτελείται από μεγάλες εταιρίες, κυρίως βιομηχανίες, με χαρακτηριστικά παραδείγματα την Ford, την Toyota, την Sony κ.ά. [39]

2.8.3. Λογισμικό One Click

Το One Click είναι ένα λογισμικό με υψηλό κόστος, αναπτύχθηκε από την Bionova Ltd και είναι συμβατό με το πρότυπο EN 15978. Είναι ένα εύκολο, αυτοματοποιημένο λογισμικό κύκλου ζωής, όπου βοηθά στον υπολογισμό και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά κύριο λόγο κτηριακών εγκαταστάσεων και υποδομών, αλλά και προϊόντων. Στη συγκεκριμένη πλατφόρμα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής της μεθόδου πιστοποίησης, του τύπου του κτηρίου, τη χώρα υλοποίησης του έργου και άλλων οριακών συνθηκών. Υλικά με κατανοητές συμβάσεις αντιστοιχίζονται αυτόματα με τις βάσεις δεδομένων AKZ, ενώ υλικά που δεν αναγνωρίζονται δεν μπορούν να χαρτογραφηθούν αυτόματα και απαιτείται χειροκίνητη διαδικασία.

Το λογισμικό αναλύει διαφορετικούς παράγοντες από τη φάση παραγωγής, κατασκευής, λειτουργίας έως και το τέλος του κύκλου ζωής. Τα βασικά πλεονεκτήματα του One Click είναι η χρονική απόδοση στον υπολογισμό μιας ολόκληρης ΑΚΖ και η δυνατότητα αλλαγής και επιλογής δομικών υλικών, ώστε να γίνεται προσομοίωση του τρόπου μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος. Ωστόσο, το συγκεκριμένο λογισμικό, ως επί το πλείστον, εξυπηρετεί μόνο στην ανάλυση κύκλου ζωής κτηριακών εγκαταστάσεων. [40]

2.8.4. Λογισμικό Umberto

Το Umberto είναι ένα λογισμικό με υψηλό κόστος απόκτησης, όπου δημιουργήθηκε από την Ifu Hamburg GmbH με έδρα το Αμβούργο της Γερμανίας και παρέχει λογισμικά διαχείρισης ενέργειας και συμβουλευτικές υπηρεσίες. Το Umberto αποτελεί ένα ολοκληρωμένο λογισμικό διαχείρισης ενέργειας με αρκετές ομοιότητες με τα προαναφερθέντα λογισμικά. Είναι ένα εργαλείο με μεγάλο εύρος δυνατοτήτων και συμβατό με το ecoinvent, συμπεριλαμβανομένου και τις δικές του βάσεις δεδομένων. Ωστόσο, υστερεί συγκριτικά με άλλα αντίστοιχα λογισμικά, καθώς δεν διαθέτει μεθόδους ανάλυσης αβεβαιότητας και δεν έχει τη δυνατότητα να υποδεχτεί παραδοσιακές μορφές δεδομένων. Εν τούτοις, η Ifu Hamburg GmbH έχει κατορθώσει να προσελκύσει ένα μεγάλο μέρος γνωστών βιομηχανιών όπως η Panasonic, η Scania και η Logitech.

Κεφάλαιο 3^ο : Κατηγορίες επιπτώσεων

Για να γίνει ανάλυση των επιπτώσεων είναι αναγκαίο να οριστούν ορισμένοι περιβαλλοντικοί δείκτες, βάση των οποίων θα παρουσιαστούν τα προβλήματα που

δημιουργούνται. Η εκτίμηση των επιπτώσεων, γίνεται πάνω στους τρεις βασικούς άξονες της πίεσης, της κατάστασης και της αντίδρασης και οι δείκτες διαθέτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- **Χρησιμότητα:** Ένας δείκτης πρέπει να παρουσιάζει με απλό και κατανοητό τρόπο την εικόνα των περιβαλλοντικών συνθηκών, να έχει την ευκολία να προσαρμόζεται σε αλλαγές, να αποτελεί βάση αναφοράς για διεθνείς συγκρίσεις και να έχει μια τιμή αναφοράς ώστε οι συγκρίσεις να γίνονται βάση αυτής της τιμής.
- **Αναλυτική Βάση:** Ένας δείκτης πρέπει να είναι ορισμένος βάση τεχνικών και επιστημονικών όρων, στηριζόμενος με διεθνή πρότυπα ούτως ώστε να μπορεί εύκολα να συνδεθεί με οικονομικά- κοινωνικά μοντέλα και πληροφοριακά συστήματα.
- **Μετρησιμότητα:** Τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για να ορίσουν τους δείκτες θα πρέπει να είναι διαθέσιμα με καλή σχέση κόστους/οφέλους, να τεκμηριώνονται επαρκώς και να ενημερώνονται τακτικά σύμφωνα πάντα με αξιόπιστες πηγές και διαδικασίες.

3.1. Σημασία περιβαλλοντικών δεικτών

Η περιβαλλοντική πολιτική τα τελευταία χρόνια βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ολοένα και αυξανόμενη ευαισθητοποίηση της κοινωνίας για περιβαλλοντικά θέματα και την άμεση συσχέτισή τους με οικονομικά και κοινωνικά ζητήματα. Αρχικά, οι περιβαλλοντικές πληροφορίες είχαν να κάνουν κυρίως με τον καθορισμό και την εφαρμογή περιβαλλοντικών πολιτικών και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Ωστόσο, με το πέρασμα του χρόνου, παρατηρούνται έντονες αλλαγές με τις πολιτικές προτεραιότητες να εξελίσσονται και να κινούνται προς την κατεύθυνση της εστιασμένης, εναρμονισμένης και εύκολα κατανοητής πληροφόρησης, συμπεριλαμβανομένων όλων όσων ενδιαφέρονται για τα θέματα που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, η διεθνής κοινότητα εξακολουθεί να αναπτύσσεται. Το γεγονός αυτό έχει αναγκάσει διάφορες χώρες να παράγουν πληροφορίες που ανταποκρίνονται στις ανάγκες της δημόσιας πολιτικής και του δημόσιου συμφέροντος. Σε αυτό το πλαίσιο, οι περιβαλλοντικοί δείκτες είναι οικονομικώς αποδοτικά και αποτελεσματικά εργαλεία. [40]

Οι δείκτες χρησιμοποιούνται σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, για την αξιολόγηση της κατάστασης του περιβάλλοντος, τη μέτρηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων, καθώς και για την αξιολόγηση της προόδου της βιώσιμης ανάπτυξης. Βάση έκθεσης του ΟΟΣΑ οι περιβαλλοντικοί δείκτες είναι σχεδιασμένοι ώστε:

- Να ενισχύουν τη προσαρμογή μεμονωμένων πρωτοβουλιών των χωρών μελών του ΟΟΣΑ, με την ανάπτυξη μιας ενιαίας προσέγγισης και εννοιολογικού πλαισίου, που θα συμβάλλει περισσότερο στην προώθηση της ανταλλαγής περιβαλλοντικών δεδομένων με διεθνείς οργανισμούς δεν είναι μέλη του ΟΟΣΑ

- Να παρέχουν υποστήριξη στην ανάλυση πολιτικών και αξιολόγηση έργων συγκριτικά με:
 - την περιβαλλοντική πρόοδο
 - την ενσωμάτωση ελεγκτικών οργάνων για τη δημοσιονομική διαφάνεια
 - τις αποτελεσματικές διεθνείς συγκρίσεις

Η έκθεση του ΟΟΣΑ για τους περιβαλλοντικούς δείκτες περιλαμβάνει περίπου πενήντα δείκτες που μετρούν την περιβαλλοντική πρόοδο. Οι δείκτες αυτοί καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένων των τομεακών συγκεντρωτικών στοιχείων και της περιβαλλοντικής λογιστικής. Κάθε δείκτης εξυπηρετεί συγκεκριμένους σκοπούς, αποτελέσματα και προσεγγίσεις και κατηγοριοποιείται είτε ως δείκτες περιβαλλοντικών πιέσεων είτε ως δείκτες άμεσων και έμμεσων περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι κατηγορίες αυτές αναδεικνύουν συγκεκριμένους τομείς, όπως οι μεταφορές, η ενέργεια, η εγχώρια κατανάλωση, ο τουρισμός και η γεωργία. Απώτερος στόχος είναι η ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών εκτιμήσεων στις οικονομικές πολιτικές και στις πρακτικές διαχείρισης των πόρων. [41]

3.2. Κριτήρια επιλογής δεικτών

Γενικά, υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία δεικτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανά περιβαλλοντική κατηγορία. Με το πέρασμα του χρόνου έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες για τα κριτήρια επιλογής των δεικτών και έχει εξαχθεί συμπέρασμα ότι οι σημαντικότερες παράμετροι είναι:

- Να είναι κατανοητός στο ευρύ κοινό
- Να περιλαμβάνει τους κυριότερους ρύπους και να υπάρχει ευελιξία να συμπεριληφθούν και μελλοντικοί
- Να συσχετίζεται με γενικότερα πρότυπα ποιότητας
- Να είναι άμεσα μετρήσιμος
- Να υπολογίζεται με απλά βήματα και υποθέσεις
- Να βασίζεται σε λογικές, επιστημονικές υποθέσεις
- Να είναι συμβατός με διάφορα επίπεδα ρύπανσης
- Να μπορεί να εκδηλώσει καθημερινή διαφοροποίηση
- Να έχει την ικανότητα ημερήσιας πρόβλεψης

Εκτός από τις παραπάνω παραμέτρους, σημαντικό ρόλο παίζει και ο συντελεστής αξιολόγησης, καθώς στους συντελεστές απόδοσης το χρονικό διάστημα είναι ίσο με ένα στάδιο λήψης αποφάσεων, στην περίπτωση των συντελεστών αξιολόγησης, είναι πολύ περισσότερο, ίσον ή πολλαπλάσιο της περιόδου λήψης των μετρήσεων. Αντίστοιχης σημασίας είναι και ο συντελεστής ισοκατανομής, όπου αντιπροσωπεύει την μεταβλητότητα μιας δεδομένης κατάστασης. [45]

3.3. Κλιματική αλλαγή

Βάση της επιστημονικής κοινότητας, ένας σημαντικός παράγοντας για την αλλαγή του κλίματος φαίνεται να είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου με σημαντικότερους ρυπαντές το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και τους χλωροφθοράνθρακες. Εν τούτοις, ο κυριότερος φόβος αφορά τις συνέπειες της αύξησης των συγκεντρώσεων αυτών των ρυπαντών, μιας και είναι

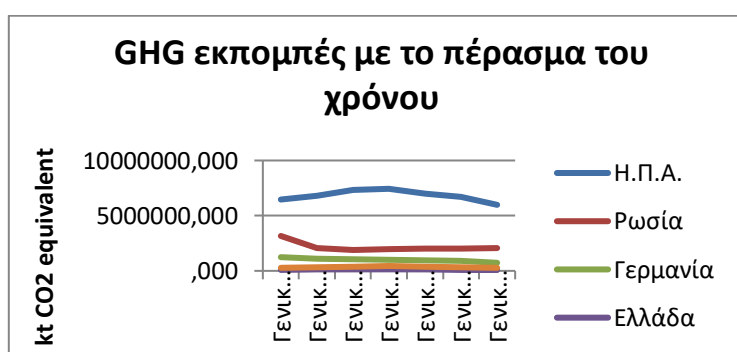
βέβαιο ότι θα επηρεάσουν τόσο την ανθρώπινη υγεία και δραστηριότητες αλλά και το οικοσύστημα. Είναι βέβαιο ότι οι διάφορες περιοχές του κόσμου θα βιώσουν διαφορετικούς βαθμούς επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή. Γενικά, οι θερμοκρασίες στις πολικές περιοχές θα αυξηθούν περισσότερο σε σύγκριση με τις περιοχές του ισημερινού, οδηγώντας σε αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων και στη διάρκεια των εποχών. Προβλέπεται επίσης ότι η μέση στάθμη της θάλασσας θα αυξηθεί πιθανότατα κατά μερικά εκατοστά έως μερικές δεκάδες εκατοστά. Η άνοδος αυτή μπορεί να αποδοθεί στο λιώσιμο των πάγων της Ανταρκτικής και του Βορρά, καθώς και στη συνολική επέκταση των ωκεανών. Αν και το ακριβές μέγεθος αυτών των γεγονότων είναι αβέβαιο, ακόμη και μια μικρή αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα μπορούσε να έχει καταστροφικές συνέπειες για τις χαμηλού υψομέτρου κατοικημένες περιοχές. Η κύρια μονάδα μέτρησης για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι τα χιλιόγραμμα CO₂. Για να διευκολυνθούν οι συγκρίσεις μεταξύ των εκπομπών από διαφορετικά αέρια, το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) είναι ευρέως αποδεκτό ως δείκτης, ο οποίος μετατρέπει τις εκπομπές σε μια κοινή κλίμακα γνωστή ως ισοδύναμες εκπομπές CO₂. Το GWP υπολογίζεται με βάση μια καθορισμένη σχέση. [43]

$$\Delta\theta\Pi_i = \frac{\int_0^T a_i \times c_i(t)dt}{\int_0^T a_{CO_2} \times c_{CO_2}(t)dt}$$

Όπου a_i είναι η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας έπειτα από αύξηση μιας μονάδας της συγκέντρωσης του αερίου i

$C_i(t)$ είναι η απομένουσα συγκέντρωση του αερίου i στο χρόνο t μετά την εκπομπή

T είναι ο χρονικός ορίζοντας όπου υπολογίζονται οι εκπομπές, (συνήθως ο χρονικός ορίζοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι για 20,100 και 500 χρόνια).



Εικόνα 3.1. Εκπομπές CO₂ με το πέρασμα του χρόνου [42]

Το Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη του διοξειδίου του άνθρακα είναι ίσο με ένα, ενώ για το μεθάνιο υπολογίζεται 28kg CO₂-eq/kg CH₄, όπου σημαίνει ότι το CH₄ είναι είκοσι οχτώ φορές ισχυρότερο συγκριτικά με το διοξείδιο του άνθρακα. [42]

3.4. Στρώμα του όζοντος

Τα τελευταία χρόνια, είναι κοινώς αποδεκτό, πως η ανθρώπινη υγεία, η γεωργία και το περιβάλλον επηρεάζονται από την εξασθένηση του όζοντος στη στρατόσφαιρα,

ωστόσο ο κίνδυνος παραμένει άγνωστος και η ειδικοί είναι οι μόνοι όπου μπορούν να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις.

Βασική πρόκληση αποτελεί η σταδιακή κατάργηση της χρήσης χημικών ουσιών που καταστρέφουν το όζον (μεθυλικούβρωμίδιου και των υδροφθορανθράκων), αρχής γενομένης από το 2005, και η συνέχιση αυτής της διαδικασίας μέχρι το 2020 στις βιομηχανικές χώρες. Οι πιο σημαντικές συμφωνίες είναι η Συνθήκη της Βιέννης για την προστασία του στρώματος όζοντος (1985), το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ σχετικά με τις ουσίες που μειώνουν το στρώμα όζοντος (1987) και οι τροποποιήσεις σε Λονδίνο (1990), Κοπεγχάγη (1992), Μόντρεαλ (1997) και Πεκίνο (1999). Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ έχει επικυρωθεί από 186 συμβαλλόμενα μέρη, συμπεριλαμβανομένων όλων των χωρών του ΟΟΣΑ.

Οι σχετικοί δείκτες που υπάρχουν σχετίζονται με την κατανάλωση του CFCs, HCFCs, και του μεθυλικού βρωμιδίου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι δείκτες αυτοί δεν αντιπροσωπεύουν τις εκπομπές στην ατμόσφαιρα και υπόκεινται σε συγκεκριμένες ουσίες που διαφέρουν σημαντικά ως προς την ικανότητά τους να μειώνουν το όζον.

Ο δείκτης που αξιοποιείται στις μεθόδους Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής είναι το Δυναμικό Εξάντλησης του Όζοντος (Ozone Depletion Potential - ODP) και υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$ODP_i = \frac{\Delta C_{O_3}(i)}{\Delta C_{O_3}(CFC - 11)}$$

Όπου i είναι η ουσία που καταστρέφει το όζον

ΔC_{O_3} είναι η μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος στην στρατόσφαιρα από 1kg CFC₋₁₁

Βάση ενός μοντέλου του ΠΟΥ (Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας), το ODP αξιολογεί τη δυνατότητα μιας χημικής ουσίας να καταστρέψει το στρώμα του όζοντος. Το δυναμικό καταστροφής εκφράζεται ως ποσοστό της προβλεπόμενης παγκόσμιας μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος για την ουσία που παράγεται και βασική μονάδα μέτρησης είναι το CFC₋₁₁. Εφαρμογή βρίσκει σε συστήματα πυρόσβεσης, πλαστικούς αφρούς, προωθητικά αέρια σε δοχεία ψεκασμού, καπνιστικά και παρασιτοκτόνα, δοσιμετρικές συσκευές εισπνοής, ψύξη και κλιματισμός και διαλύτες απολίπανσης. [44]

3.5. Φωτοχημικός σχεδιασμός όζοντος

Ο όρος νέφος πρωτοεμφανίστηκε το 1952 ώστε να περιγράψει ένα μείγμα καπνού και ομίχλης όπου παρουσιάστηκε στο Λονδίνο. Εκτιμήσεις ανέφεραν ιδιαίτερα υψηλό αριθμό θανάτων και εισαγωγών στα νοσοκομεία με αναπνευστικά προβλήματα. Στην περίπτωση αυτή, αιτία ήταν η δραματική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από την παραγωγή καπνού και οξειδίων του θείου, προϊόν της βιομηχανικής δραστηριότητας αλλά κυρίως των κεντρικών θερμάνσεων, που λειτουργούσαν με βάση τον άνθρακα.

Σε πολλές σύγχρονες μεγαλουπόλεις, μεταξύ αυτών και η Αθήνα, παρατηρείται το φαινόμενο του νέφους. Το νέφος δημιουργείται υπό συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες και συγκεντρώνονται εκπομπές από την βιομηχανία, τα οχήματα, τους αποτεφρωτές, τις ανοιχτές καύσεις και από άλλες πηγές. Πιο συγκεκριμένα, το νέφος της Αθήνας είναι αποτέλεσμα σειράς παραγόντων που περιλαμβάνουν:

- Την υπερβολική συγκέντρωση πληθυσμού σε μία γεωγραφική έκταση μόλις 450 km²
- Οι εντατικές ανθρώπινες δραστηριότητες συμβάλλουν σημαντικά, όπως το 50% του στόλου των αυτοκινήτων της χώρας, το 40% των βιομηχανικών δραστηριοτήτων στο εσωτερικό της χώρας και περίπου 500.000 εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης με βάση το πετρέλαιο, το οποίο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο.
- Την ιδιόμορφη γεωγραφική διαμόρφωση της περιοχής
- Την υψηλή ηλιοφάνεια της περιοχής σε όλη τη διάρκεια του χρόνου
- Την έλλειψη ρυμοτομίας και τη σταδιακή εξαφάνιση του πρασίνου

Το φωτοχημικό νέφος παρουσιάζεται σε τοπικό επίπεδο και προκαλείται από εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων και οξειδίων του αζώτου.

Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) χαρακτηρίζεται ως πρωτογενής ρύπος, ενώ το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) χαρακτηρίζεται ως δευτερογενής ρύπος, που σχηματίζεται από την οξειδωση του NO με O₃. Οι συνδυασμένες συγκεντρώσεις NO και NO₂ αναφέρονται συχνά ως NO_x, λόγω των ταχέων μετατροπών που λαμβάνουν χώρα, γνωστός ως φωτοχημικός κύκλος των οξειδίων του αζώτου. Πρόσθετες σημαντικές ενώσεις αζώτου στην ατμόσφαιρα περιλαμβάνουν το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), μαζί με διάφορα άλατα των νιτρικών (NO₃⁻), των νιτρωδών (NO₂⁻) και της αμμωνίας.

Οι υδρογονάνθρακες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο ως πρωτογενείς ρύποι στην ατμόσφαιρα, μιας και έχουν συμβολή στο σχηματισμό δευτερογενών φωτοχημικών οξειδωτικών ενώσεων, όπως τα οργανικά υπεροξείδια του αζώτου και άλλες οξειδωμένες πτητικές οργανικές ενώσεις. Όταν αναφερόμαστε σε υδρογονάνθρακες, περιλαμβάνουμε το ευρύ φάσμα ενώσεων που αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο στη μοριακή τους σύνθεση. Οι απλούστεροι υδρογονάνθρακες αποτελούνται από 1 έως 4 άτομα άνθρακα και υπάρχουν σε αέρια κατάσταση, εκείνοι με 5 έως 6 άτομα άνθρακα είναι υγρά και εκείνοι με 7 ή περισσότερα άτομα άνθρακα είναι στερεά. Μεταξύ αυτών των ενώσεων, οι σημαντικότερες βρίσκονται σε αέρια μορφή. Επιπλέον, οι οργανικές ενώσεις μπορούν επίσης να περιέχουν οξυγόνο, θείο και άζωτο στα μόριά τους. Το βενζόλιο, μια πτητική ένωση που βρίσκεται στη βενζίνη, θεωρείται η πιο επικίνδυνη και τοξική από αυτές. Το βενζόλιο σχετίζεται με κινδύνους για την υγεία, όπως ο καρκίνος, οι διαταραχές του κεντρικού νευρικού συστήματος, η βλάβη της ηπατικής και νεφρικής λειτουργίας και οι δυσμενείς επιδράσεις στα αποτελέσματα της αναπαραγωγής.. [43, 44]

Βασική μονάδα μέτρησης του φωτοχημικού νέφους είναι kg αιθανίου (C₂H₆) στον αέρα.

3.6. Όξυνση

Η όξινση του εδάφους ή των υδάτινων οικοσυστημάτων αναφέρεται στην επίδραση που μειώνει την ικανότητα του συστήματος να εξουδετερώνει την οξύτητα.

Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται λόγω των εκπομπών διοξειδίου του θείου, αμμωνίας, υδροχλωρικού οξέος, καθώς και οξειδίων του αζώτου και του θείου. Η οξίνιση μειώνει την ικανότητα εξουδετέρωσης της οξύτητας του συστήματος μέσω δύο διαδικασιών: (i) την εισαγωγή ιόντων υδρογόνου, εκτοπίζοντας άλλα ιόντα, και (ii) την πρόσληψη κατιόντων από τα φυτά ή τη βιομάζα, τα οποία στη συνέχεια συλλέγονται και απομακρύνονται από το σύστημα.

Τόσο οι όξινες και οι βασικές ουσίες είναι ικανές να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, η όξυνση του περιβάλλοντος προέρχεται από βιομηχανικά λύματα, εξορυκτικές δραστηριότητες και χρήση λιπασμάτων και προκαλούν προβλήματα όπως η όξινη βροχή, η όξυνση των ωκεανών, των γλυκών υδάτων και των εδαφών. Όπως είναι αντιληπτό, η όξυνση είναι ένα φυσικό επακόλουθο που παρατηρείται με το πέρασμα του χρόνου, ωστόσο αυξάνεται αισθητά μέσω της ανθρωπογενής δραστηριότητας, με τις πιο σημαντικές επιβλαβείς ενώσεις να είναι:

- Τα οξείδια του θείου (SO_x), που περιλαμβάνουν το διοξείδιο του θείου και το τριοξείδιο του θείου, τοθειώδες και τοθειικό οξύ, όπου σε συνδυασμό με το νερό που υπάρχει στην ατμόσφαιρα σχηματίζουν πολύ ισχυρά οξέα
- Τα οξείδια του αζώτου (NO_x), που περιλαμβάνουν το οξείδιο του αζώτου και το διοξείδιο του αζώτου, ταξινομούνται στους όξινους ανυδρίτες. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να υποστούν οξείδωση στην τροπόσφαιρα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό νιτρικού και νιτρώδους οξέος.
- Η αμμωνία και το υδροχλωρικό οξύ

Τα SO_2 και NO_x αποτελούν τις βασικές ανθρωπογενής πηγές όξυνσης. Τα παλαιότερα χρόνια, σημαντικές πηγές τοπικής όξυνσης θεωρούνταν τα μεταλλουργία της εξορυκτικής βιομηχανίας. Επί του παρόντος, οι διεργασίες καύσης στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, οι μηχανές καύσης και οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων αναγνωρίζονται ως σημαντικοί συντελεστές των εκπομπών. Εκτός από τις προαναφερθέντες πηγές, κύριο ρόλο παίζουν και οι εκπομπές αμμωνίας, όπου είναι άμεσα συνδεδεμένες με τη γεωργία (λιπάσματα) και τη κτηνο-τροφία (στάβλοι και διασπορά κοπριάς). Βασική μονάδα μέτρησης της όξυνσης είναι τα $kg SO_2$. [44]

3.7. Ευτροφισμός

Το φαινόμενο του ευτροφισμού μπορεί να έχει σημαντικά αρνητικό αντίκτυπο στο οικοσύστημα, ειδικά σε υδάτινους πόρους, όπως ποτάμια, λίμνες και παράκτιες περιοχές. Η υπερανάπτυξη φυκιών και άλλων υδρόβιων φυτών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των θρεπτικών συστατικών, ιδίως του αζώτου και του φωσφόρου. Αν και οι πηγές αυτών των θρεπτικών συστατικών μπορεί να ποικίλλουν, οι γεωργικές πρακτικές, η απόρριψη λυμάτων και η χρήση λιπασμάτων είναι οι βασικότερες. Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, πάνω από το 80% των παγκόσμιων λυμάτων απορρίπτεται στα ύδατα χωρίς επαρκή επεξεργασία. Επιπλέον, στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) εκτιμά ότι πάνω από τα μισά υδάτινα σώματα του έθνους υποβαθμίζονται από την περίσσεια θρεπτικών συστατικών και βάσης μιας μελέτης που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Nature το 2019

υπολογίστηκε ότι το οικονομικό κόστος του ευτροφισμού στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι περίπου 2,2 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως.

Τόσο το άζωτο όσο και ο φώσφορος προκαλούν μεγάλη ανησυχία, αλλά το άζωτο έχει λάβει πολύ μεγαλύτερη προσοχή, καθώς αφενός μεν περιορίζει την παραγωγή στις εκβολές ποταμών και παράκτιων υδάτων, αφετέρου η παγκόσμια εφαρμογή του αζώτου μέσω συνθετικών λιπασμάτων είναι πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με αυτή του φωσφόρου. Αν και ο ευτροφισμός μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις, με τον σωστό συνδυασμό μεθόδων δημόσιας πολιτικής και περιβαλλοντικής διαχείρισης, είναι ένα πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπιστεί. [44]

Αν και έχουν καταγραφεί αρκετές διαφορετικές αιτίες, πολλές από αυτές συνδέονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι αγρότες χρησιμοποιούν πολλά λιπάσματα και ζωική κοπριά στα χωράφια τους, συνεπώς η γεωργική απορροή είναι μια από τις κύριες αιτίες του προβλήματος. Αυτά τα θρεπτικά συστατικά μπορούν να παρασυρθούν σε γειτονικά ποτάμια και λίμνες κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, όπου βοηθούν στην ανάπτυξη φυκιών και άλλων υδρόβιων φυτών. Μια άλλη τυπική πηγή θρεπτικών συστατικών, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές, είναι οι απορρίψεις λυμάτων. Τα λύματα, τα οποία δημιουργούνται κατά την επεξεργασία των ανθρώπινων αποβλήτων σε εγκαταστάσεις, μπορεί να περιλαμβάνουν σημαντικά επίπεδα αζώτου και φωσφόρου και απελευθερώνονται σε γειτονικούς ποταμούς. Παρόμοια με αυτό, πολλές βιομηχανικές εργασίες οδηγούν επίσης σε λύματα που περιέχουν πολλά θρεπτικά συστατικά, ιδιαίτερα όταν απελευθερώνονται σε μικρότερους υδάτινους πόρους.

Επιπλέον, ο ευτροφισμός έχει μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον, με την απώλεια οξυγόνου να είναι από τα πιο σημαντικά. Τα φύκια και άλλα υδρόβια φυτά καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου κατά την ανάπτυξη και την αποσύνθεσή τους, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει εξάντληση του οξυγόνου του νερού. Αυτή η εξάντληση οδηγεί στη δημιουργία περιοχών γνωστών ως «νεκρών ζωνών», όπου η συγκέντρωση οξυγόνου είναι τόσο χαμηλή που πολύ λίγη ζωή μπορεί να επιβιώσει. Μια άλλη κοινή επίδραση του ευτροφισμού είναι η εμφάνιση επιβλαβών ανθοφοριών φυκιών. Αρκετές μορφές φυκιών μπορούν να ευδοκιμήσουν και να δημιουργήσουν τοξίνες που είναι επιβλαβείς τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα ζώα. Τέλος, ο ευτροφισμός επηρεάζει τη βιοποικιλότητα ενός οικοσυστήματος. Ορισμένα είδη μπορεί να παρουσιάσουν μείωση ή ακόμα και εξαφάνιση καθώς ορισμένες μορφές φυκιών και άλλων υδρόβιων φυτών γίνονται πιο διαδεδομένες.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι συνέπειες του ευτροφισμού είναι αντιληπτές και αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα ζητήματα σύμφωνα με τον ΟΗΕ. Έχει επίδραση σε λίμνες, ποτάμια και παράκτιες περιοχές και μπορεί να βλάψει σοβαρά τα υδάτινα οικοσυστήματα. Οι επιπτώσεις του ήταν ιδιαίτερα σοβαρές σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Για παράδειγμα, η απόρριψη θρεπτικών συστατικών του ποταμού Μισισσιπή στον Κόλπο του Μεξικού είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας αρκετά μεγάλης νεκρής ζώνης που εκτείνεται σε χιλιάδες τετραγωνικά μίλια και είναι μία από τις μεγαλύτερες στον κόσμο. Αυτή η νεκρή ζώνη έχει σημαντικές οικολογικές και οικονομικές προεκτάσεις.

Διάφορα μέτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση των επιπτώσεων, παρά τη σοβαρότητα του ζητήματος. Η μείωση της ποσότητας των

θρεπτικών συστατικών που εισέρχονται στους υδάτινους πόρους είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές. Οι καλύτερες μέθοδοι καλλιέργειας, η χρήση πράσινων υποδομών και η υιοθέτηση αυστηρότερων κανονισμών για την επεξεργασία των λυμάτων είναι μερικοί μόνο τρόποι για να επιτευχθεί αυτό το φαινόμενο. Η αφαίρεση ιζημάτων ή η προσθήκη χημικών ουσιών μπορεί να βοηθήσει στη δέσμευση της περίσσειας θρεπτικών ουσιών και την αφαίρεσή τους από το νερό. Όλα αυτά αποτελούν βιώσιμες μέθοδοι για την απομάκρυνση επιπλέον θρεπτικών συστατικών. Τέλος, κρίνεται σημαντικό η παρακολούθηση της ευημερίας των υδάτινων οικοσυστημάτων προκειμένου να εντοπίζονται τυχόν προβλήματα προτού επιδεινωθούν. [44,46]

Βασική μονάδα μέτρησης του ευτροφισμού είναι kg φωσφορικού ανιόντος (PO_4^{-3}) στον αέρα.

3.8. Οικοτοξικότητα

Οικοτοξικότητα είναι η μελέτη του τρόπου με τον οποίο οι τοξικές ουσίες επηρεάζουν τόσο το περιβάλλον όσο και τους ζωντανούς οργανισμούς. Προκαλείται από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως οι βιομηχανικές διεργασίες, η γεωργία και οι μεταφορές, που απελευθερώνουν τοξικές ουσίες στο περιβάλλον. Αυτές οι τοξικές ουσίες μπορούν να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της μόλυνσης του εδάφους, του νερού και του αέρα, καθώς και βλάβες στην άγρια ζωή και την ανθρώπινη υγεία.

Μερικοί από τους κύριους ρύπους που συμβάλλουν στην οικοτοξικότητα περιλαμβάνουν τα βαρέα μέταλλα, τα φυτοφάρμακα, τις βιομηχανικές χημικές ουσίες και τα πλαστικά απόβλητα. Τα βαρέα μέταλλα, όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος, μπορούν να συσσωρευτούν στην τροφική αλυσίδα και να προκαλέσουν μακροχρόνιες βλάβες στα οικοσυστήματα. Τα φυτοφάρμακα μπορούν επίσης να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Οι βιομηχανικές χημικές ουσίες, όπως τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB) και οι διοξίνες, είναι έμμονοι οργανικοί ρύποι που μπορούν να παραμείνουν στο περιβάλλον για χρόνια και να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στην άγρια ζωή και την ανθρώπινη υγεία. Τέλος, τα πλαστικά απόβλητα μπορούν επίσης να προκαλέσουν οικοτοξικότητα απελευθερώνοντας επιβλαβείς χημικές ουσίες καθώς διασπώνται στο περιβάλλον.

Στην Ελλάδα, η οικοτοξικότητα είναι ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα λόγω της εξάρτησης της χώρας από τις βιομηχανικές διεργασίες και τη γεωργία. Μερικοί από τους σημαντικότερους ρύπους στην Ελλάδα περιλαμβάνουν βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα και βιομηχανικές χημικές ουσίες. Η χρήση φυτοφαρμάκων στη γεωργία συμβάλλει σημαντικά στην οικοτοξικότητα στην Ελλάδα, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μόλυνση του εδάφους και των υδάτων.

Σύμφωνα με στοιχεία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, η Ελλάδα είναι μία από τις κορυφαίες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών στο περιβάλλον. Το 2018, η Ελλάδα απελευθέρωσε πάνω από 3,3 εκατομμύρια τόνους επικίνδυνων αποβλήτων, που είναι η δεύτερη υψηλότερη ποσότητα στην ΕΕ μετά την Ιταλία. Οι κύριοι τομείς που ευθύνονται για την απελευθέρωση επικίνδυνων αποβλήτων στην Ελλάδα είναι η μεταποίηση, οι κατασκευές και η γεωργία.

Η οικοτοξικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως περιβαλλοντικός δείκτης για τη μέτρηση των επιπτώσεων των ουσιών στο περιβάλλον. Συχνά χρησιμοποιείται σε

αξιολογήσεις περιβαλλοντικών κινδύνων, για την αξιολόγηση της πιθανής βλάβης που μπορεί να προκαλέσει μια ουσία σε υδρόβιους ή χερσαίους οργανισμούς. Τα δεδομένα οικοτοξικότητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη περιβαλλοντικών ποιοτικών κριτηρίων, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό προτύπων για τα αποδεκτά επίπεδα χημικών ουσιών στο περιβάλλον. Η δοκιμή οικοτοξικότητας τυπικά περιλαμβάνει την έκθεση των ελεγχόμενων οργανισμών σε διαφορετικές συγκεντρώσεις μιας ουσίας και την παρατήρηση της απόκρισής τους. Η ανταπόκριση μπορεί να μετρηθεί ως προς τη θνησιμότητα, την ανάπτυξη, την αναπαραγωγική επιτυχία ή άλλα τελικά σημεία. Τα αποτελέσματα των δοκιμών οικοτοξικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μιας ουσίας που είναι τοξική για έναν συγκεκριμένο οργανισμό, καθώς και για τις επιδράσεις της ουσίας σε διαφορετικά στάδια ζωής και την πιθανότητα μακροπρόθεσμων επιπτώσεων.

Βασική μονάδα μέτρησης της οικοτοξικότητας είναι τα kg διχλωροβενζόλιου (1,4-DCB) σε έδαφος και ύδατα.

3.9. Τοξικότητα στον άνθρωπο

Η ανθρώπινη τοξικότητα αναφέρεται στις βλαβερές συνέπειες που μπορεί να έχει μια ουσία στο ανθρώπινο σώμα, ιδιαίτερα όταν καταπίνεται, εισπνέεται ή έρχεται σε επαφή με το δέρμα. Η τοξικότητα μπορεί να κυμαίνεται από ήπιο ερεθισμό έως σοβαρές, ακόμη και απειλητικές για τη ζωή αντιδράσεις. Οι κυριότεροι ρύποι είναι:

- *Ατμοσφαιρικοί ρύποι:* Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως τα σωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, το διοξείδιο του θείου και το όζον μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα στον άνθρωπο. Συμβάλλουν επίσης στην κλιματική αλλαγή και μπορούν να βλάψουν τόσο τα φυτά όσο και την άγρια ζωή.
- *Ρύποι του νερού:* Οι ρύποι του νερού όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και το κάδμιο μπορεί να προκαλέσουν νευρολογικά και αναπτυξιακά προβλήματα στον άνθρωπο. Μπορούν επίσης να βλάψουν την υδροβία ζωή και να διαταράξουν ολόκληρα οικοσυστήματα.
- *Ρύποι του εδάφους:* Οι ρύποι του εδάφους όπως τα φυτοφάρμακα, τα ζιζανιοκτόνα και τα βαρέα μέταλλα μπορούν να μολύνουν τις πηγές τροφίμων και νερού, οδηγώντας σε προβλήματα υγείας στον άνθρωπο. Μπορούν επίσης να βλάψουν την ποιότητα του εδάφους και να μειώσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών.
- *Ηχορύπανση:* Η ηχορύπανση από πηγές όπως η κυκλοφορία και η βιομηχανική δραστηριότητα μπορεί να προκαλέσει απώλεια ακοής και άλλα προβλήματα υγείας στους ανθρώπους. Μπορεί επίσης να διαταράξει την άγρια ζωή και τα οικοσυστήματα.
- *Ακτινοβολία:* Η ακτινοβολία από πηγές όπως οι πυρηνικοί σταθμοί και τα ραδιενεργά απόβλητα μπορεί να προκαλέσει καρκίνο και άλλα προβλήματα υγείας στον άνθρωπο. Μπορεί επίσης να βλάψει τα φυτά και την άγρια ζωή και να μολύνει το έδαφος και πηγές νερού.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ανθρώπινη τοξικότητα, συμπεριλαμβανομένης της δόσης και της διάρκειας έκθεσης, της οδού έκθεσης, της ηλικίας, της κατάστασης υγείας και της γενετικής του ατόμου. Ορισμένες ουσίες είναι πιο τοξικές συγκριτικά με άλλες και μπορούν να προκαλέσουν

άμεση ή μακροπρόθεσμη βλάβη σε διάφορα όργανα και συστήματα του σώματος, όπως το ήπαρ, τα νεφρά, οι πνεύμονες και το νευρικό σύστημα. Για να αξιολογήσουν την τοξικότητα μιας ουσίας, οι επιστήμονες συχνά διεξάγουν μελέτες σε ζώα και ανθρώπους για να προσδιορίσουν την ποσότητα που προκαλεί βλάβη και τους τύπους των επιπτώσεων. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό ασφαλών επιπέδων έκθεσης για τους εργαζόμενους, τους καταναλωτές και το ευρύ κοινό, καθώς και για την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών για το χειρισμό και την απόρριψη τοξικών ουσιών. Η ισοδύναμη μονάδα μέτρησης είναι kg C₂H₃Cl. [47, 48]

3.10. Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) είναι ένας περίπλοκος συνδυασμός μικρών στερεών και υγρών σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές και μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.

Μερικές αιτίες δημιουργίας αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν: [49]

- Καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, οχήματα και βιομηχανίες.
- Βιομηχανικές διεργασίες, όπως η μεταποίηση, οι κατασκευές, η παραγωγή και εξόρυξη τσιμέντου.
- Φυσικές πηγές, όπως πυρκαγιές, καταιγίδες σκόνης και ηφαιστειακές εκρήξεις.
- Μεταφορά, τα καυσαέρια από αυτοκίνητα, φορτηγά και άλλα οχήματα μπορούν επίσης να συμβάλουν στον σχηματισμό σωματιδίων

Οι κυριότεροι ρύποι είναι τα PM_{2,5} και PM₁₀. Τα PM_{2,5} πρόκειται για λεπτά σωματίδια με διάμετρο 2,5 μικρόμετρα ή μικρότερη. Μπορούν να διεισδύσουν βαθιά στους πνεύμονες και να προκαλέσουν αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα. Ενώ τα PM₁₀ είναι ελαφρώς μεγαλύτερα σωματίδια, με διάμετρο 10 μικρομέτρων ή μικρότερη. Μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμό στα μάτια, τη μύτη και το λαιμό και να επιδεινώσουν τις αναπνευστικές παθήσεις. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), η ατμοσφαιρική ρύπανση, συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων, είναι υπεύθυνη για περίπου 4,2 εκατομμύρια θανάτους κάθε χρόνο παγκοσμίως. Χαρακτηριστικά, το 2019, το 82% του παγκόσμιου πληθυσμού εκτέθηκε σε επίπεδα PM_{2,5} πάνω από το όριο των οδηγιών του ΠΟΥ. [50]

Οι βασικές περιβαλλοντικές επιδράσεις που έχουν τα αιωρούμενα σωματίδια είναι: [49]

- Ατμοσφαιρική ρύπανση: Τα σωματίδια μπορούν να συμβάλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.
- Κλιματική αλλαγή: Ορισμένοι τύποι σωματιδίων, όπως ο μαύρος άνθρακας, μπορούν να απορροφήσουν το ηλιακό φως και να συμβάλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη.
- Ρύπανση του εδάφους και των υδάτων: Τα σωματίδια μπορούν επίσης να μολύνουν το έδαφος και το νερό, οδηγώντας σε περιβαλλοντική ζημιά και επηρεάζοντας τα οικοσυστήματα.

- Μειωμένη ορατότητα: Τα σωματίδια μπορεί να μειώσουν την ορατότητα, καθιστώντας πιο δύσκολο για τους ανθρώπους να βλέπουν και να πλοηγούνται σε ορισμένες περιοχές.

Βασική μονάδα μέτρησης είναι τα kg εισπνεόμενα PM /kg εκπεμπόμενων PM

3.11. Εξάντληση αβιοτικών πόρων

Η εξάντληση των αβιοτικών πόρων αναφέρεται στην εξάντληση των μη ζωντανών πόρων, όπως τα ορυκτά καύσιμα, τα ορυκτά και τα μέταλλα, που είναι απαραίτητα για τη σύγχρονη ζωή. Τα ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, είναι πεπερασμένοι πόροι που σχηματίζονται για εκατομμύρια χρόνια μέσω γεωλογικών διεργασιών. Καταναλώνονται με γρήγορους ρυθμούς, οδηγώντας στην εξάντλησή τους. Αυτή η εξάντληση έχει σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, καθώς η εξόρυξη και χρήση αυτών των πόρων έχει ως αποτέλεσμα εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ρύπανση του αέρα και των υδάτων. Τα ορυκτά είναι ένας άλλος σημαντικός αβιοτικός πόρος και η εξάντλησή τους έχει σημαντικές οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, η εξόρυξη μετάλλων όπως ο χαλκός, το αλουμίνιο και ο χρυσός απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αποβλήτων και ρύπανσης. Επιπλέον, καθώς τα αποθέματα ορυκτών εξαντλούνται, το κόστος εξόρυξης και επεξεργασίας αυξάνεται, οδηγώντας σε υψηλότερες τιμές για τους καταναλωτές. Τέλος, το νερό είναι επίσης ένας σημαντικός αβιοτικός πόρος. Η υπερβολική χρήση των υδάτινων πόρων μπορεί να οδηγήσει στην εξάντληση των υδροφορέων και άλλων πηγών υπόγειων υδάτων, μειώνοντας τη διαθεσιμότητα νερού για γεωργική, βιομηχανική και οικιακή χρήση. Επιπλέον, έχει σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες, όπως η αποξήρανση των υγροτόπων και η απώλεια οικοτόπων για τα υδρόβια είδη. [51]

Οι κύριοι ρύποι που σχετίζονται με την εξάντληση των αβιοτικών πόρων περιλαμβάνουν τα βαρέα μέταλλα, όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και το αρσενικό, τα οποία απελευθερώνονται κατά την εξόρυξη και τις βιομηχανικές διεργασίες. Τα αέρια θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου και του υποξειδίου του αζώτου, τα οποία εκπέμπονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων. Τέλος, τα σωματίδια, τα οποία απελευθερώνονται στον αέρα κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων εξόρυξης, κατασκευής και μεταφοράς.

Αυτοί μπορεί να προκαλέσουν μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως: [52]

- Υποβάθμιση της γης: Οι εξορυκτικές δραστηριότητες, όπου απαιτούνται για την εξόρυξη ορυκτών και μετάλλων, μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή των οικοσυστημάτων, την αποψίλωση των δασών, τη διάβρωση του εδάφους και την απώλεια της βιοποικιλότητας
- Ρύπανση των υδάτων: Η εξόρυξη και η γεώτρηση πετρελαίου μπορεί να οδηγήσουν σε μόλυνση των πηγών νερού με βαρέα μέταλλα, χημικές ουσίες και πετρελαιοκηλίδες. Αυτό βλάπτει τα υδάτινα οικοσυστήματα και επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων και των ζώων που βασίζονται στο καθαρό νερό
- Ατμοσφαιρική ρύπανση: Η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας απελευθερώνει αέρια του θερμοκηπίου, όπως διοξείδιο του άνθρακα

και μεθάνιο, τα οποία συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι από την εξόρυξη, την κατασκευή και τη μεταφορά μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα και άλλα προβλήματα υγείας

- Κλιματική αλλαγή: Η εξάντληση των αβιοτικών πόρων συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή αυξάνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες οδηγούν σε συχνότερα και σοβαρότερα καιρικά φαινόμενα, άνοδο της στάθμης της θάλασσας και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις

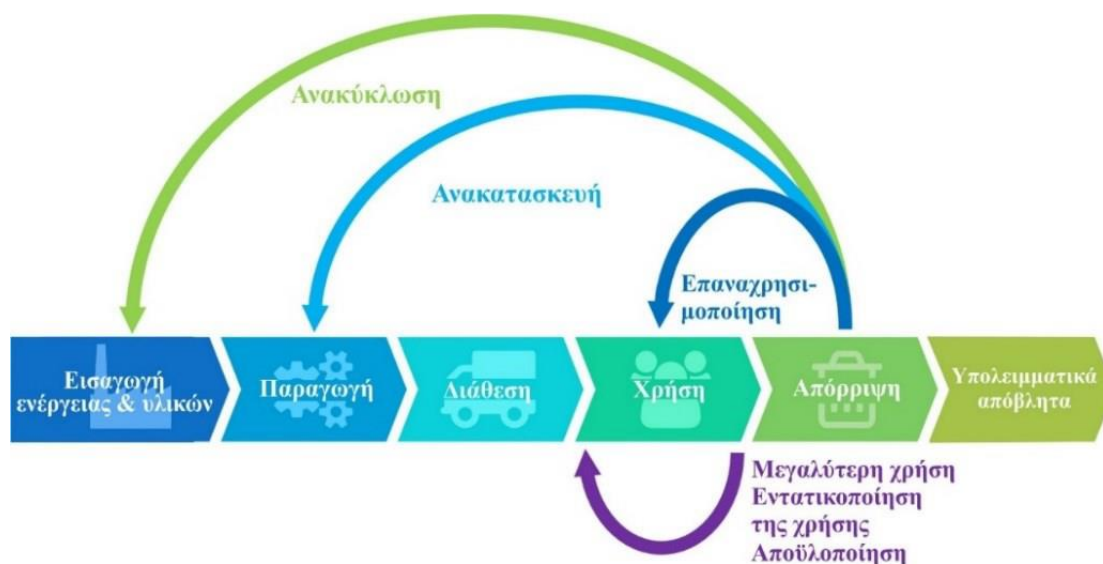
Κεφάλαιο 4^ο : Κυκλική οικονομία και επέκταση κύκλου ζωής

4.1. Κυκλική οικονομία

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί πολύ έντονα η ολοένα και αυξανόμενη χρήση υλικών και η αδυσώπητη εξάντληση των πόρων. Ο κύριος λόγος είναι το «γραμμικό» οικονομικό μοντέλο των βιομηχανικών οικονομιών, όπου μια οικονομία εξαρτάται από μεγάλες ποσότητες υλικών και ενέργειας με χαμηλό κόστος και εύκολη πρόσβαση. Ωστόσο, αυτό το μοντέλο έχει ως συνέπεια τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων υλικών τη δημιουργία απορριμμάτων. Ενώπιον της συγκεκριμένης τάσης, επινοήθηκε η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας, αναφερόμενη σε μια βιομηχανική οικονομία που αποκαθιστά την συγκεκριμένη πρόθεση και έχει αποκτήσει δυναμική ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση προς τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Η κυκλική οικονομία ορίζεται ως ένα παραγωγικό μοντέλο, μέσω του οποίου μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση των πρώτων υλών και να επεκταθεί η χρήση των υλικών. Ταυτόχρονα, περιορίζεται η χρήση των φυσικών πόρων στο ελάχιστο, ενώ επιδιώκεται η διατήρηση των πόρων στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο αξίας. Επιπλέον, στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων, τονίζοντας τη δήλωση ότι πάντα υπάρχουν αρκετά για όλους (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Με την εφαρμογή πρακτικών κυκλικής οικονομίας, τα προϊόντα παραμένουν στην οικονομία περισσότερες από μία φορές, επομένως τα επίπεδα χρήσης τους μπορεί επίσης να αυξηθούν (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2021). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η βασική ιδέα της κυκλικής οικονομίας, η οποία στοχεύει στην εξάλειψη των αποβλήτων και στη βιώσιμη χρήση των πόρων.[53]



Εικόνα 4.1. Σχηματική απεικόνιση βασικής ιδέας κυκλικής οικονομίας [53]

4.2. Αρχές Κυκλικής οικονομίας

Οι αρχές της κυκλικής οικονομίας είναι άμεσα συνδεδεμένες με την έννοια της αειφόρου ανάπτυξης και με στρατηγικές προστασίας του περιβάλλοντος.

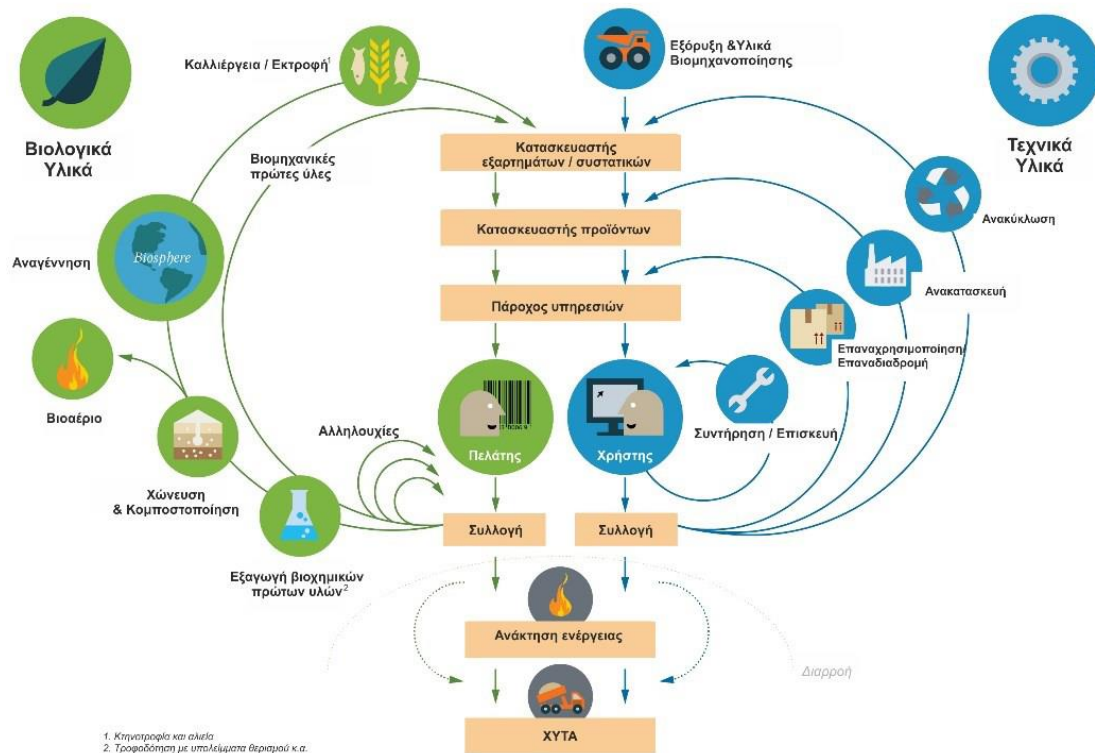
1^η αρχή: Η διατήρηση και βελτίωση του φυσικού κεφαλαίου περιλαμβάνει τη διαχείριση των περιορισμένων αποθεμάτων και τη διατήρηση μιας βιώσιμης ισορροπίας των ροών ανανεώσιμων πόρων.

2^η αρχή: Η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των πόρων συνεπάγεται τη διασφάλιση της συνεχούς κυκλοφορίας προϊόντων, εξαρτημάτων και υλικών τόσο στον τεχνικό όσο και στον βιολογικό κύκλο, με έμφαση στη χρησιμοποίησή τους με τον πιο αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο.

3^η αρχή: Ενίσχυση της αποτελεσματικότητας του συστήματος αποκαλύπτοντας και σχεδιάζοντας αρνητικά εξωτερικά χαρακτηριστικά

Το διάγραμμα της πεταλούδας, όπως περιγράφεται από το ίδρυμα Ellen-MacArthur, παρουσιάζει τη συνεχή ροή τεχνικών και βιολογικών υλικών. Αντιπροσωπεύει και τις δύο πτυχές του δομημένου περιβάλλοντος. Στη πλευρά του διαγράμματος με το μπλε χρώμα απεικονίζει τον τεχνικό κύκλο, δίνοντας έμφαση στο κλείσιμο των βρόχων μέσω πρακτικών όπως η επαναχρησιμοποίηση, η ανακατασκευή και η ανακύκλωση. Η πλευρά του διαγράμματος με το πράσινο χρώμα αναδεικνύει τον

βιολογικό κύκλο, δίνοντας έμφαση στη βιώσιμη διαχείριση των βιολογικών πόρων και τη δημιουργία ανανεώσιμων ροών και αποθεμάτων μέσω διασυνδεδεμένων βρόχων. Ο πρωταρχικός στόχος του μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση της εξόρυξης πρώτων υλών και της παραγωγής αποβλήτων. [54,55]



Εικόνα 4.2. Διάγραμμα πεταλούδας [55]

Η κυκλική οικονομία ήταν βασισμένη στα λεγόμενα 3R που αντιπροσώπευαν την μείωση (reduction), την επαναχρησιμοποίηση (reuse) και την ανακύκλωση (recycle). Ωστόσο, βάση πρόσφατων επιστημονικών ερευνών έχει επεκταθεί στην αρχή των 6R (reuse, recycle, redesign, remanufacture, reduce, recover), όπου: [56]

Reuse: Επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος

Recycle: Ανακύκλωση του προϊόντος επαναφέροντάς το στην αρχική του μορφή. Περιλαμβάνει υποβάθμιση του προϊόντος (downcycling) και συνιστάται όταν δεν είναι δυνατή οποιαδήποτε άλλη εναλλακτική στις "αρχές 6R"

Redesign: Επανασχεδιασμός προϊόντος στο τέλος του κύκλου ζωής τους με στόχο τη μετατροπή του σε νέο.

Remanufacture: Ανακατασκευή προϊόντος, που προϋποθέτει το στάδιο του επανασχεδιασμού. Αναφέρεται σε πιθανή μηχανική κατεργασία ή συναρμολόγηση που απαιτείται για τη δημιουργία ενός νέου προϊόντος.

Reduce: Αναφέρεται στη μείωση των αποβλήτων και της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή νέου προϊόντος.

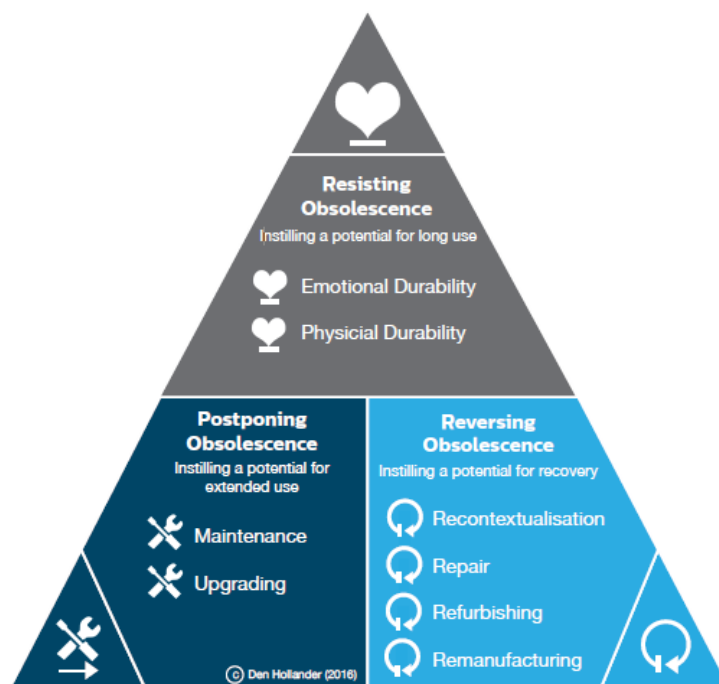
Recover: Ανάκτηση του προϊόντος χωρίς μείωση της αξίας του, διατηρώντας, συνήθως, τη μορφή και τη λειτουργία του.

4.3. Διάρκεια ζωής και επέκταση κύκλου ζωής προϊόντος

Είναι δεδομένο, ότι με το πέρασμα του χρόνου, έρχεται και το τέλος ζωής ορισμένων προϊόντων και θεωρούνται απαρχαιωμένα. Ο όρος απαρχαιωμένα είναι συχνά συνδεδεμένος με αρνητικές ιδέες, ενώ στην πραγματικότητα υποδηλώνει την κατάσταση του να μην χρησιμοποιείται πλέον κάτι ή να μην είναι χρήσιμο. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε δύο λόγους, είτε το προϊόν καταστρέφεται και δεν επισκευάζεται, είτε του χρήστη δεν του αρέσει και δεν το θεωρεί απαραίτητο για την καθημερινότητά του. Παραδείγματος χάριν, αρκετά προϊόντα πλέον μπορεί να μην ανταποκρίνονται πλήρως στις καθημερινές απαιτήσεις των χρηστών και το κόστος επισκευής ή ακόμη και συντήρησης να παραμένει αρκετά υψηλό. Συνεπώς, η διάρκεια ζωής ενός προϊόντος δεν καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από τις φυσικές του ιδιότητες, αλλά και από υποκειμενικά κριτήρια. [57]

Η διάρκεια ζωής αναφέρεται στη χρονική περίοδο κατά την οποία ένα προϊόν είναι χρησιμοποιήσιμο ή λειτουργικό προτού καταστεί απαρχαιωμένο ή δεν είναι πλέον σε θέση να εξυπηρετήσει τον σκοπό του. Η διάρκεια ζωής ενός προϊόντος μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος, το σχεδιασμό του, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του και τις συνθήκες υπό τις οποίες χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, ορισμένα προϊόντα όπως τα smartphones και οι φορητοί υπολογιστές μπορεί να έχουν διάρκεια ζωής μερικών ετών προτού γίνουν ξεπερασμένα και δεν υποστηρίζονται πλέον από τους κατασκευαστές τους. Άλλα προϊόντα, όπως οικιακές συσκευές όπως ψυγεία και πλυντήρια ρούχων, μπορεί να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής 10-20 ετών. Γενικά, η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του προϊόντος θεωρείται συχνά επιθυμητή από περιβαλλοντική άποψη και βιωσιμότητα, καθώς μειώνει την ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται από τα απορριπτόμενα προϊόντα και προάγει τη διατήρηση των πόρων. Ωστόσο, σε βιομηχανίες όπου η τεχνολογία προχωρά με ταχείς ρυθμούς, ενδέχεται να απαιτούνται μικρότερες ζωές προϊόντων για να συμβαδίζουν με τις μεταβαλλόμενες τάσεις και τις απαιτήσεις των καταναλωτών. [57]

Προκειμένου να παραταθεί η διάρκεια ζωής του προϊόντος, οι σχεδιαστές έχουν τρεις σχεδιαστικές προσεγγίσεις στη διάθεσή τους. Η πρώτη προσέγγιση εστιάζει στη μακροχρόνια χρήση ενός προϊόντος (μεγαλύτερη από τον μέσο όρο της αγοράς), η δεύτερη στην εκτεταμένη βιωσιμότητα ενός προϊόντος (μέσω συντήρησης και επισκευής), και το τρίτο για την ανάκτηση προϊόντων (συμπεριλαμβανομένου των υλικών). Μια εταιρεία μπορεί να κερδίσει από την επέκταση του κύκλου ζωής του προϊόντος με διάφορους τρόπους, μεταξύ άλλων αυξάνοντας την κερδοφορία, διατηρώντας το μερίδιο αγοράς και αποφεύγοντας τις δαπάνες που συνεπάγεται η δημιουργία και η εισαγωγή νέων προϊόντων. Όμως, η επέκταση ενός προϊόντος ενέχει αρκετούς κινδύνους και δυσκολίες. Για παράδειγμα, οι αλλαγές προϊόντων δεν θα μπορούσαν να είναι αποτελεσματικές στην προσέλκυση νέων πελατών και οι τακτικές μάρκετινγκ μπορεί να μην κεντρίσουν αρκετό ενδιαφέρον για να ενισχύσουν τις πωλήσεις. Ο προσεκτικός προγραμματισμός και η στάθμιση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων κάθε στρατηγικής είναι ουσιαστικής σημασίας κατά την παράταση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.



Εικόνα 4.3. Διαφορετικές κατευθύνσεις και προσεγγίσεις σχεδιασμού για μεγάλη ή παρατεταμένη διάρκεια ζωής του προϊόντος [57]

Σχεδιάζοντας προϊόντα που είναι ανθεκτικά στην απαξίωση, ή τη φυσική διαδικασία της παλαιώσης, οι σχεδιαστές μπορούν να δημιουργήσουν αντικείμενα με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αυτό αναφέρεται ως "αντίσταση στην απαξίωση" και επιτρέπει τη δημιουργία προϊόντων που διατηρούν την ελκυστικότητά τους με το πέρασμα του χρόνου. Επιπλέον, μπορούν να αποτρέψουν ένα προϊόν από το να καταστεί παρωχημένο («αναβολή της απαρχαιότητας»), Παραδείγματος χάριν, μέσω του σχεδιασμού για συντήρηση και αναβάθμιση. Η τρίτη σχεδιαστική προσέγγιση είναι η επιστοοφή ενός απαρχαιωμένου προϊόντος σε μη απαρχαιωμένη κατάσταση (ονομάζεται ανάκτηση ή «αντιστροφή απαξίωση»), για παράδειγμα μέσω σχεδιασμού για επισκευή ή ανακατασκευή. Η λιγότερο γνωστή παρέμβαση είναι η επαναπλαισίωση, όπου αναφέρεται ως επαναχρησιμοποίηση ενός προϊόντος ή επιμέρους στοιχείων του, από διαφορετικό χρήστη ή/και σε διαφορετικό ρόλο συγκριτικά με την αρχικό σχεδιασμό του (για παράδειγμα, ένα μπουκάλι κρασιού γίνεται βάζο με λουλούδια). [57]

4.4. Αξία επέκτασης κύκλου ζωής

Η επέκταση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος έχει αξία από περιβαλλοντική άποψη, όταν έχει ως επακόλουθο την μείωση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορα μέσα. Μερικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση των οφελών από την επέκταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος περιλαμβάνουν:

- Εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων: Η επέκταση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος μπορεί να μειώσει την ανάγκη για παραγωγή νέων προϊόντων, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια και φυσικούς πόρους.

- Μείωση εκπομπών: Η παραγωγή νέων προϊόντων έχει ως αποτέλεσμα εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και άλλων ρύπων. Η επέκταση του κύκλου ζωής μπορεί να μειώσει αυτές τις εκπομπές και τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.
- Μείωση αποβλήτων: Μέσω της επέκτασης του κύκλου ζωής μπορεί να υπάρξει σημαντική μείωση στην ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών αποβλήτων (e-waste) και άλλων επικίνδυνων αποβλήτων που μπορεί να είναι δύσκολο να απορριφθούν.
- Καταναλωτική συμπεριφορά: Η επέκταση του κύκλου ζωής μπορεί να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να υιοθετήσουν πιο βιώσιμα πρότυπα κατανάλωσης, όπως η επισκευή και η αναβάθμιση προϊόντων αντί την αγορά συνεχώς νέων.

Προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα πότε έχει νόημα η επέκταση ζωής ενός προϊόντος γίνεται μια ανασκόπηση της αξιολόγησης του κύκλου ζωής του. Μια μελέτη AKZ δίνει μια εικόνα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα στάδια της εξόρυξης υλικού, παραγωγής, μεταφοράς, χρήσης και διάθεσης. Σε αυτό το πλαίσιο, μπορούν να συγκριθούν σενάρια διαφορετικών προϊόντων διάρκειας ζωής με βάση τις ποσοτικές επιπτώσεις τους, για τον προσδιορισμό της βέλτιστης στιγμής αντικατάστασής τους (έτσι ώστε να δημιουργούνται ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις). Βάση της διάρκειας ζωής του προϊόντος και της περιβαλλοντικής προοπτικής, τα προϊόντα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: [58]

- *Προϊόντα μιας χρήσης με εγγενώς μικρή διάρκεια ζωής:* Σε αυτή τη περίπτωση η επέκταση κύκλου ζωής δεν θεωρείται ρεαλιστικό σενάριο. Πολλά ταχέως κινούμενα καταναλωτικά αγαθά αποτελούν μέρος αυτής της κατηγορίας, για παράδειγμα χαρτί υγιείας ή συσκευασία τροφίμων.
- *Προϊόντα που απαιτούν καθόλου ή ελάχιστη κατανάλωση νερού, ρεύματος ή απορρυπαντικά κατά τη χρήση:* Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα έπιπλα και τα μη ηλεκτρικά εργαλεία. Η επέκταση του κύκλου ζωής θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη, γιατί οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις προέρχονται από τις φάσεις παραγωγής ή διάθεσης και η παράταση της διάρκειας ζωής τέτοιων προϊόντων θα μειώσει τη σχετική συμβολή αυτών των φάσεων.
- *Προϊόντα που απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού και ρεύματος:* Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα πλυντήρια ρούχων, τα ψυγεία κλπ. Στη συγκεκριμένη κατηγορία το ερώτημα είναι το εξής, αν η μείωση των επιπτώσεων της φάσης χρήσης μέσω της ανάπτυξης για παράδειγμα, των πιο ενεργειακά αποδοτικών προϊόντων είναι πιο επωφελής από άποψη περιβαλλοντική προοπτική από την επέκταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος. Με άλλα λόγια πότε πρέπει να αντικατασταθούν τα προϊόντα αυτής της τρίτης κατηγορίας και πότε πρέπει να επισκευαστούν; Ποια είναι η βέλτιστη στιγμή αντικατάστασής τους;

Η απόρριψη προϊόντων πριν το τέλος του κύκλου ζωής τους βρίσκεται στο επίκεντρο της συμπεριφοράς των καταναλωτών σε ανεπτυγμένες οικονομίες. Τα προϊόντα τακτικά απορρίπτονται για λόγους μόδας ή για να συμβαδίζουν με τις τεχνολογικές εξελίξεις και όχι επειδή έχουν φτάσει στο τέλος της λειτουργικής τους ζωής. Τέτοιες συμπεριφορές συμβάλλουν στην εξάντληση των πόρων, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τα φυσικά απόβλητα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η επέκταση

του χρονικού διαστήματος που τα προϊόντα διατηρούνται σε χρήση (είτε από τους αρχικούς είτε από επόμενους κατόχους τους) μπορεί να συμβάλει στη μεγαλύτερη αποδοτικότητα των πόρων, με σημαντικές δυνατότητες μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Μια έρευνας έγινε στο Ηνωμένο Βασίλειο σε ένα δείγμα 115 καταναλωτών, προκειμένου να διαπιστωθούν οι παράγοντες που καθορίζουν τις αποφάσεις αγοράς, τη φροντίδα των προϊόντων που χρησιμοποιούνται, και τις αποφάσεις διάθεσης. Το χαμηλό κόστος των νέων προϊόντων, το οποίο επιτρέπει την ταχεία ενημέρωση για λόγους μόδας, αποτελεί βασικό εμπόδιο για την ενθάρρυνση των καταναλωτών να διατηρούν τα προϊόντα σε χρήση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, το 51% των ερωτηθέντων αγόρασε παπούτσια με παρόρμηση, το 20% καρέκλες και το 10% συσκευές. Ωστόσο, εντοπίστηκαν ορισμένα προϊόντα που εκτιμώνται περισσότερο για τη λειτουργικότητά τους παρά για τη μόδα. [58]

Αντίστοιχα, μια έρευνα έγινε και στη Βραζιλία, που φιλοξενεί μια αναπτυσσόμενη μέση κατηγορία με καθυστερημένες φιλοδοξίες καταναλωτών και πλήθος δείγματος 806 καταναλωτές. Η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών διχάζονται ως προς το αν η διάρκεια ζωής των συσκευών είναι επαρκής. Αυτή η ασάφεια ισχύει ακόμη και για συσκευές που επηρεάζονται έντονα από τις τεχνολογικές εξελίξεις (όπως τα κινητά τηλέφωνα ή οι συσκευές προσωπικής φροντίδας, όπου οι καταναλωτές οραματίζονταν μεγαλύτερη διάρκεια (σε ορισμένες περιπτώσεις, έως και 33%) συγκριτικά με την πραγματική. Αξίζει να αναφερθεί, ότι ενώ η πλειοψηφία των καταναλωτών εκφράζει ισχυρή αντίληψη της φθίνουσας αντοχής, μόνο μια μειοψηφία κατηγορεί τους κατασκευαστές για αυτό το αποτέλεσμα. [59]

Και στις δύο περιπτώσεις ερωτήθηκε το δείγμα πόσο πιστεύει ότι είναι η διάρκεια ζωής επτά ηλεκτρικών συσκευών. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Αυτά αποτελούν μια αντιπροσωπευτική επιλογή του διαφορετικού προσδόκιμου ζωής από τους καταναλωτές.

	0-2 χρόνια	3-4 χρόνια	5-6 χρόνια	7-10 χρόνια	10+ χρόνια
Στο Ηνωμένο Βασίλειο	Ηλεκτρονική οδοντόβουρτσα	Βραστήρας	Κάμερα	Τηλεόραση	Θερμοσίφωνας
	Κινητό τηλέφωνο	MP3 player	Λάμπα	Ψυγείο/ Καταψύκτης	Ντουλάπα
	Ρούχα	Φρυγανιέρα	Ηλεκτρική σκούπα	Κουζίνα	
	Παπούτσια	Υπολογιστής	Πλυντήριο	Καναπές	
		Μαξιλάρι	Φούρνος μικροκυμάτων	Χαλί	
			Κουρτίνες Εκτυπωτής	Κρεβάτι Φούρνος	Ψυγείο/ Καταψύκτης
Στη Βραζιλία			Υπολογιστής	Πλυντήριο	
			Κάμερα	Τηλεόραση	
			Κινητό τηλέφωνο	Φούρνος μικροκυμάτων	

Πίνακας 4.1. Εκτιμήσεις κύκλου ζωής προϊόντων [58,59]

Βάση των αποτελεσμάτων, μετά το τέλος του κύκλου ζωής μόνο το 24% των Βραζιλιάνων επιχείρησε να επισκευάσει συσκευές που παρουσίαζαν δυσλειτουργία, και να επεκτείνουν τον κύκλο ζωής των προϊόντων τους ποσοστό μικρότερο από το μισό του αντίστοιχου που αναφέρεται στο Ηνωμένο Βασίλειο. Οι απόπειρες επισκευής κινητών τηλεφώνων είναι λιγότερο από το ήμισυ συχνότερες από ό,τι για τα ηλεκτρονικά είδη ήχου και εικόνας (19% έναντι 44%). Σημαντικές προσπάθειες επισκευής γίνονται στις ψηφιακές συσκευές (27%). Κοινό συμπέρασμα και στις δύο έρευνες, είναι ότι τόσο οι Βρετανοί όσο και οι Βραζιλιάνοι αποφεύγουν τις εργασίες επισκευής λόγω κόστους (περίπου τα 2/3 των ερωτηθέντων και στις δύο χώρες).

Ο επιλεγμένος τρόπος απόρριψης των συσκευών εξαρτάται από τον τύπο τους. Η πιο συχνή κατάσταση με τα παλαιότερα κινητά είναι να τα κρατούν στο σπίτι (41%), τα ηλεκτρονικά είδη ήχου και εικόνας πωλούνται ή μεταβιβάζονται μεταξύ συγγενών, φίλων ή φιλανθρωπικών ομάδων (74% και 63%, αντίστοιχα). Τα δεδομένα υποδηλώνουν μια σημαντική ευκαιρία να υποστηριχθούν και να ενεργοποιηθούν οι συνήθειες επαναχρησιμοποίησης ή/και να αναπτυχθεί μια αγορά μεταχειρισμένων προϊόντων, δεδομένου ότι ένα σημαντικό μέρος των ηλεκτρονικών ειδών παραμένει σε κυκλοφορία μεταξύ άλλων χρηστών. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Η σύγκριση των αντιδράσεων των Βρετανών και των Βραζιλιάνων στη μακροβιότητα των προϊόντων αποκαλύπτει ορισμένες ιδιαιτερότητες της δεύτερης ομάδας. Τα δεδομένα δείχνουν ότι στη Βραζιλία, η αναμενόμενη διάρκεια ζωής των συσκευών (δηλαδή η εύλογη διάρκεια ζωής) υπερβαίνει κατά πολύ το πραγματικό χρόνο χρήσης.

Εν τούτοις, η αντικατάσταση προϊόντος λόγω τεχνικής βλάβης είναι αναγνωρίσιμη μόνο περιστασιακά τόσο στη Βραζιλία όσο και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ορισμένα στατιστικά στοιχεία.

	Ηνωμένο Βασίλειο	Βραζιλία
Δεν επισκευάζεται	46	30
Χρειάζεται επισκευή	21	23
Είναι ακόμη λειτουργικό	33	47

Πίνακας 4.2. Κατάσταση προϊόντος πριν την αντικατάσταση (%) [58,59]

Όπως είναι φανερό, και στις δύο χώρες οι καταναλωτές αγοράζουν καινούρια προϊόντα ενώ τα ήδη υπάρχοντά τους είναι λειτουργικά. Επιπλέον, περίπου το 20% των προϊόντων επιδέχεται επέκταση κύκλου ζωής, ωστόσο αντικαθίστανται. [58,59]

4.5 Κυκλική οικονομία και επέκταση κύκλου ζωής στο τομέα των κατασκευών και της βιομηχανίας

Για την επίτευξη των στόχων της αειφόρου ανάπτυξης, ο κατασκευαστικός τομέας θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ως προς την βελτίωση της αποτελεσματικής χρήσης των φυσικών πόρων και της μείωσης των αποβλήτων. Χαρακτηριστικά, η

κατασκευαστική βιομηχανία παράγει περίπου το 35% των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο. Στο Ηνωμένο Βασίλειο έχει υπολογιστεί ότι το 44% των αποβλήτων της χώρας προέρχονται από κατασκευαστικές δραστηριότητες, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό προέρχεται από τη βιομηχανία, τις οικιακές δραστηριότητες, τα μεταλλεία, τη γεωργία και το εμπόριο. [60]

Οι ερευνητές έχουν μελετήσει και αναπτύξει στρατηγικές που στοχεύουν στην επέκταση του κύκλου ζωής των προϊόντων και των εξαρτημάτων μόλις αυτά φτάνουν στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους. Στον κατασκευαστικό κλάδο, η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία απαιτεί ολοκληρωμένη καινοτομία σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας και την αποτελεσματική επανένταξη όλων των ανακτημένων πόρων. Για να επιτευχθεί αυτό, οι εταιρείες πρέπει να δημιουργήσουν αποτελεσματικά συστήματα συλλογής και επεξεργασίας εξαρτημάτων και υλικών στην κατάλληλη ποσότητα και ποιότητα, διασφαλίζοντας παράλληλα τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της ανακύκλωσης υλικών από τον κατασκευαστικό τομέα, κυρίως μεταλλεύματα, μπορεί να παραχθεί κλίνκερ, όπου αποτελεί βασικό συστατικό του τσιμέντου.

Η παραγωγή τσιμέντου εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα πρώτων υλών, όπως ο ασβεστόλιθος και ο άργιλος, οι οποίες είναι συνήθως άφθονες. Παρόλα αυτά, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι εφικτή η υποκατάσταση μέρους αυτών των πρώτων υλών με απόβλητα και υποπροϊόντα που προέρχονται από άλλες διεργασίες της βιομηχανίας. Ορισμένα απόβλητα και υποπροϊόντα που περιέχουν πολύτιμα συστατικά, όπως ασβέστης, πυρίτιο, αλουμίνα και σίδηρος, μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικές πρώτες ύλες στον κλίβανο, αντικαθιστώντας ουσιαστικά τις φυσικές ουσίες. [61]

Εν τούτοις, βάση στατιστικών, το ένα τρίτο των αποβλήτων της Ευρώπης προέρχεται από τον κατασκευαστικό τομέα και μόλις το ένα τρίτο εξ' αυτών ανακυκλώνεται. Η διαφορά στα ποσοστά ανακύκλωσης μεταξύ των ευρωπαϊκών κρατών μελών είναι εμφανής, με τις Κάτω Χώρες να επιτυγχάνουν ένα εντυπωσιακό ποσοστό ανάκτησης 95%, ενώ ο ευρωπαϊκός μέσος όρος κυμαίνεται από 30% έως 60%. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, οι παραγωγοί υλικών στον κατασκευαστικό τομέα θα πρέπει να συνεργαστούν για να βελτιώσουν τις μεθόδους συλλογής και διαλογής αποβλήτων. Θα πρέπει να επιδιώξουν τη δημιουργία ενός οικονομικά βιώσιμου συστήματος που θα προωθή τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών.

Στην Ευρώπη, περίπου το 5% των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή κλίνκερ τα τελευταία χρόνια προέρχονταν από ανακυκλωμένα υλικά και τέφρα καυσίμων, που αντιστοιχούν σε περίπου 8 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Εντός αυτού του συνόλου, τα εναλλακτικά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας αποβλήτων, αποτελούσαν το 41%, οδηγώντας σε εξοικονόμηση διοξειδίου του άνθρακα περίπου 6,5 εκατομμυρίων τόνων. Πολυάριθμα ερευνητικά έργα είναι αφιερωμένα στον κατασκευαστικό τομέα και επικεντρώνονται σε καινοτόμες στρατηγικές διαχείρισης με στόχο τη μετάβαση προς μια κυκλική οικονομία.

Αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι τα InnoWEE, RE4, VEEP, HISER, IRCOW και C2CA. κ.ά.

Τα τεχνικά προβλήματα των ανακυκλωμένων υλικών επιλύονται μέσω εκτεταμένων υλικών διατυπώσεων και λεπτομερών ερευνών. Ένα πρόβλημα που έχει ήδη διατυπωθεί, είναι ο υψηλός βαθμός απορρόφησης του νερού σε ανακυκλωμένα συσσωματώματα όπου προκαλούνται προβλήματα αντοχής. Επιπλέον, το κόστος επεξεργασίας και ανακύκλωσης παραμένει αρκετά υψηλό, λόγω των αναγκαίων ελέγχων και της επανεπεξεργασίας υλικών. [62]

4.6. Κυκλική οικονομία και επέκταση κύκλου ζωής στον μεταλλευτικό τομέα

Συγκριτικά με άλλες πρώτες ύλες, τα μέταλλα διατηρούν τις αρχικές τους ιδιότητες με το πέρασμα του χρόνου και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αρκετές φορές. Τα μέταλλα αποτελούν βασικά συστατικά σε βασικές βιώσιμες καινοτομίες, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών χαμηλών εκπομπών άνθρακα, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ψηφιακών επικοινωνιών. Η ζήτηση πρώτων υλών αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία με την εισαγωγή αυτών των εφαρμογών στην αγορά.

Με την παροχή των πρώτων υλών που απαιτούνται για τη δημιουργία αγαθών και υπηρεσιών, ο τομέας της εξόρυξης διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην κυκλική οικονομία. Είναι γεγονός, ότι τα απόβλητα και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παράγονται σε μεγάλες ποσότητες και οι επιχειρήσεις εξόρυξης μπορούν να μειώσουν την περιβαλλοντική τους επίδραση ανοίγοντας νέες εμπορικές ευκαιρίες, υιοθετώντας την κυκλική οικονομία και την επέκταση του κύκλου ζωής. Η ανακατασκευή και η αναδιανομή του εξοπλισμού εξόρυξης είναι ένα παράδειγμα επέκτασης του κύκλου ζωής στη βιομηχανία εξόρυξης. Για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού εξόρυξης, όπως τα φορτηγά, οι εκσκαφείς και οι φορτωτές, γίνονται αναβαθμίσεις και αλλαγές. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις εξόρυξης να εξοικονομήσουν χρήματα μειώνοντας την ανάγκη για νέα μηχανήματα, περιορίζοντας παράλληλα την παραγωγή αποβλήτων. [63]

Η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων εξόρυξης είναι ένα άλλο παράδειγμα επέκτασης του κύκλου ζωής. Τα δομικά υλικά όπως το σκυρόδεμα και η ασφαλτος μπορούν να κατασκευαστούν από απόβλητα εξόρυξης, όπως υπολείμματα και σκουριά. Ως αποτέλεσμα, θα υπάρχουν λιγότερα απόβλητα που παράγονται, λιγότερη ανάγκη για παρθένα υλικά και λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την δημιουργία νέων υλικών. Για παράδειγμα, η χρήση των αποβλήτων ορυχείων ως δομικά υλικά έχει αποδειχθεί ιδανική λύση στη περίπτωση κατασκευής ενός δρόμου στον Καναδά ή μιας κατοικίας στη Νορβηγία.

Στη βιομηχανία εξόρυξης, η χρήση ανακυκλωμένων ή δευτερογενών πρώτων υλών είναι ένας άλλος τρόπος για να παραταθεί ο κύκλος ζωής. Τα υλικά που έχουν ανακτηθεί από ρεύματα αποβλήτων ή χρησιμοποιημένα αγαθά αναφέρονται ως ανακυκλωμένες ή δευτερογενείς πρώτες ύλες επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θέση των παρθένων υλικών. Για παράδειγμα, η χρήση ανακυκλωμένου χάλυβα μπορεί να μειώσει την ανάγκη για φρέσκο σιδηρομέταλλευμα και τις προκύπτουσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην κατασκευή νέων προϊόντων χάλυβα. Λόγω της δυνατότητάς του να μειώσει τη χρήση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

που συνδέονται με την κατασκευή νέου αλουμινίου, η χρήση του ανακυκλωμένου αλουμινίου γίνεται επίσης πιο διαδεδομένη. [64]

Η επεξεργασία των υπολειμμάτων ορυχείων είναι μια άλλη εναλλακτική της επέκτασης του κύκλου ζωής. Τα απόβλητα που απομένουν μετά την εξόρυξη πολύτιμων ορυκτών από το μέταλλευμα είναι γνωστά ως υπολείμματα ορυχείων και η επανεπεξεργασία τους συνεπάγεται την ανάκτηση τυχόν πολύτιμων ορυκτών που μπορεί να υπάρχουν. Με αυτόν τον τρόπο, οι εργασίες εξόρυξης μπορούν να παράγουν λιγότερα απόβλητα και να ανακτήσουν πολύτιμα ορυκτά που διαφορετικά θα χάνονταν. Για παράδειγμα, ορισμένες εταιρείες εξόρυξης διερευνούν την εφαρμογή τεχνολογιών αιχμής στην εξόρυξη πολύτιμων ορυκτών όπως ο χρυσός και ο χαλκός.

Συμπερασματικά, η κυκλική οικονομία στη μεταλλευτική βιομηχανία περιλαμβάνει την επέκταση του κύκλου ζωής ως βασικό στοιχείο. Οι επιχειρήσεις εξόρυξης μπορεί να μειώσουν την ανάγκη για νέους πόρους, την παραγωγή αποβλήτων και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής των προϊόντων και των υλικών τους. Η ανακατασκευή και η επαναχρησιμοποίηση εξοπλισμού εξόρυξης, η ανακύκλωση αποβλήτων εξόρυξης, η χρήση ανακυκλωμένων ή δευτερογενών πρώτων υλών και η επεξεργασία των αποβλήτων ορυχείων είναι μερικά παραδείγματα επέκτασης του κύκλου ζωής στη βιομηχανία εξόρυξης. [65]

Ορισμένες εταιρίες που έχουν εφαρμόσει τέτοιες πρακτικές είναι:

- Caterpillar Inc.: Η Caterpillar είναι κορυφαίος παραγωγός εξοπλισμού εξόρυξης και έχει θέσει σε εφαρμογή αρκετές πρωτοβουλίες για να αυξήσει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων της. Η προσφορά υπηρεσιών συντήρησης και επισκευής εξοπλισμού, η χρήση υλικών αιχμής και τεχνικών κατασκευής για την αύξηση της ανθεκτικότητας του προϊόντος και η δημιουργία προϊόντων με αρθρωτά εξαρτήματα που είναι απλά στην αντικατάσταση ή την ενημέρωση είναι μερικά παραδείγματα. [66]
- Rio Tinto: Μια πολυεθνική εταιρεία εξόρυξης, η Rio Tinto έχει θέσει σε εφαρμογή μια σειρά από πρωτοβουλίες για να αυξήσει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων της. Περιλαμβάνουν τη δημιουργία ενός προγράμματος συνεχούς βελτίωσης για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και της μακροζωίας των προϊόντων της, καθώς και τη χρήση αισθητήρων και αναλύσεων αιχμής για την παρακολούθηση της απόδοσης του εξοπλισμού και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων συντήρησης πριν γίνουν σοβαρά. [67]
- Komatsu: Η Komatsu, ιαπωνική εταιρεία όπου παράγει εξοπλισμό εξόρυξης και κατασκευής, έχει θέσει σε εφαρμογή μια σειρά πρωτοβουλιών για να αυξήσει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων της. Αυτά περιλαμβάνουν την παροχή υπηρεσιών υποστήριξης και συντήρησης aftermarket στους πελάτες, τη χρήση προηγμένων υλικών και τεχνικών κατασκευής για την αύξηση της ανθεκτικότητας του προϊόντος και τη μείωση των αναγκών συντήρησης και την εφαρμογή ενός προγράμματος συνεχούς βελτίωσης για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της αξιοπιστίας του προϊόντος. [68]
- Sandvik AB: Μια σουηδική εταιρεία που κατασκευάζει εξοπλισμό εξόρυξης και κατασκευών, η Sandvik έχει καταβάλει πολλές προσπάθειες για να αυξήσει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων της. Η προσφορά υπηρεσιών συντήρησης και επισκευής στους καταναλωτές είναι μία από αυτές, όπως και η ανάπτυξη προϊόντων με αρθρωτά εξαρτήματα που μπορούν να αναβαθμιστούν ή να

αλλάζουν γρήγορα, καθώς και η χρήση τεχνικών και υλικών αιχμής κατασκευής για την αύξηση της ανθεκτικότητας του προϊόντος και τις χαμηλότερες ανάγκες συντήρησης. [69]

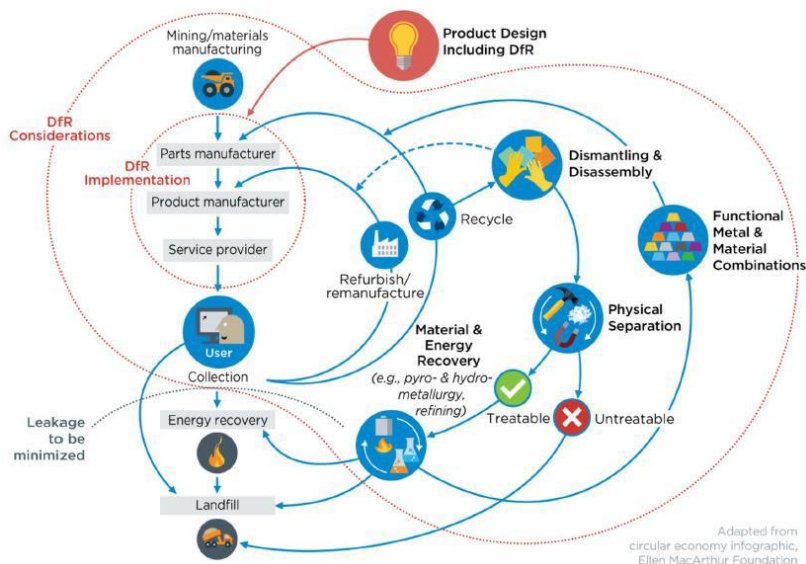
4.7. Κυκλική οικονομία και επέκταση κύκλου ζωής σε συστήματα ΑΠΕ

Η παγκόσμια ανάπτυξη των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας έχει οδηγήσει στη παράλληλη ανάπτυξη αποβλήτων μετά το τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων. Συνεπώς, οι αρχές της κυκλικής οικονομίας και οι προσεγγίσεις επέκτασης του κύκλου ζωής γίνονται όλο και πιο σημαντικές στο πλαίσιο των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Σύμφωνα με εκτιμήσεις, τα απόβλητα των φωτοβολταϊκών μονάδων έως το 2050 εκτιμώνται περίπου στους 78 εκατομμύρια τόνους, τα απόβλητα από τα πτερύγια των ανεμογεννητριών υπολογίζονται στους 12 δισεκατομμύρια τόνους, ενώ τα απόβλητα των μπαταριών ιόντων λιθίου αναμένονται στους 11 εκατομμύρια τόνους. Οι διαδικασίες για την ανακύκλωση αυτών των τεχνολογιών εξακολουθούν να αναπτύσσονται, ωστόσο, καμία από αυτές τις δεν δημιουργείται συνήθως με αυτό το γνώμονα. Ένας σημαντικός τρόπος εισαγωγής τέτοιων προϊόντων σε μια κυκλική οικονομία είναι ο εξ' αρχής σχεδιασμός τους για ανακύκλωση, όπου προσφέρει τη δυνατότητα αύξησης της ποσότητας και της αξίας των ανακυκλωμένων υλικών και της επαναχρησιμοποίησής τους σε νέα προϊόντα. Πολλά εξαρτώνται από την αρχική επιλογή και διανομή των υλικών, καθώς και από τις επικίνδυνες ουσίες όπου θα πρέπει να αποφεύγονται για τη μείωση του κόστους ανακύκλωσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται 9 αρχές του σχεδιασμού για ανακύκλωση συστημάτων ΑΠΕ. [70]

1. Απαιτήσεις προϊόντων όπως η λειτουργικότητα, η αξιοπιστία, η μακρά διάρκεια ζωής και το κόστος είναι κρίσιμες για την αποδοχή της αγοράς. Ο ΣγΑ θα πρέπει να υποστηρίξει ή να ενισχύει αυτές τις πτυχές, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε αντισταθμίσεις μεταξύ της δυνατότητας για ανακύκλωση και της απόδοσης του προϊόντος και του κόστους.
2. Η επιλογή υλικών και η ικανότητα επανάκτησης ξεχωριστών υλικών είναι ζωτικής σημασίας για τα αποτελέσματα του ΣγΑ.
3. Τα αποτελέσματα της ανακύκλωσης μπορούν να ενισχυθούν ελαχιστοποιώντας τα επικίνδυνα υλικά στα προϊόντα ή καθιστώντας αυτά τα υλικά πλήρως ανακτήσιμα μέσω του ΣγΑ.
4. Η ελαχιστοποίηση και η διαχείριση των υλικών που είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν μπορούν να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση της ανακύκλωσης.
5. Η ελαχιστοποίηση των μη αναστρέψιμων συγκολλητικών ουσιών ή παρόμοιων δεσμών, ειδικά σε ολόκληρες επιφάνειες και για ανόμοια υλικά, μπορεί να διευκολύνει την αποσυναρμολόγηση και την επανάκτηση των υλικών.
6. Ο σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση μπορεί να βελτιώσει τη δυνατότητα για ανακύκλωση.
7. Ο ΣγΑ παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης πιθανών βελτιώσεων στην ανακύκλωση και στις οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες, το οποίο είναι σημαντικό για τη συνεχή πρόοδο, την αναγνώριση και την αξιολόγηση των αντισταθμίσεων και της αξίας για επικοινωνία μεταξύ των ενδιαφερόμενων.
8. Η χρήση ετικετών για την αναγνώριση ανακυκλωσίων και μη υλικών βοηθά τους υπεύθυνους ανακύκλωσης στην ταξινόμηση πρώτων υλών.
9. Ο σχεδιασμός προϊόντων για την προβλεπόμενη χρήση ανακυκλωμένων υλικών προωθεί την κυκλική κατασκευή.

Πίνακας 4.3. Αρχές που αφορούν το σχεδιασμό ανακύκλωσης συστημάτων ΑΠΕ [70]

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι διαδρομές, οι διεργασίες και οι υπεύθυνοι για το σχεδιασμό της ανακύκλωσης μέσα σε ένα κυκλικό σύστημα. Ο μικρός κύκλος με τις κόκκινες διακεκομμένες περιλαμβάνει άτομα που είναι υπεύθυνα για την εφαρμογή του σχεδιασμού για ανακύκλωση, ενώ το μεγάλο περίγραμμα με κόκκινες διακεκομμένες περιέχει μια ποικιλία δραστηριοτήτων που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Τέλος, η μπλε διακεκομμένη γραμμή υποδηλώνει τη γρήγορη επαναχρησιμοποίηση ανακτημένων και άθικτων εξαρτημάτων.



Εικόνα 4.4. Ο ρόλος του σχεδιασμού μέσα σε ένα κυκλικό σύστημα [70]

4.7.1. Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης

Οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης (RO) αποτελούν ουσιαστικό μέρος των συστημάτων επεξεργασίας νερού. Χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του νερού από διαλυμένα άλατα, οργανική ύλη και άλλες ακαθαρσίες, ώστε να είναι κατάλληλο για χρήση σε άρδευση, πόση και βιομηχανικές διεργασίες, μεταξύ άλλων. Δυστυχώς, οι μεμβράνες RO έχουν μικρή διάρκεια ζωής και η αντικατάστασή τους μπορεί να είναι δαπανηρή και επιβλαβής για το περιβάλλον. Προκειμένου να μειωθεί ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της παραγωγής, χρήσης και απόρριψής τους, είναι απαραίτητες οι στρατηγικές επέκτασης του κύκλου ζωής.

Η εξόρυξη πρώτων υλών, η κατασκευή, η μεταφορά, η εγκατάσταση, η χρήση και η απόρριψη είναι μερικά μόνο από τα στάδια που συνθέτουν τον τυπικό κύκλο ζωής της μεμβράνης RO. Κάθε στάδιο επηρεάζει σημαντικά το περιβάλλον όσον αφορά τη χρήση ενέργειας, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τη χρήση νερού και την παραγωγή αποβλήτων. Ένα πιο βιώσιμο σύστημα επεξεργασίας νερού μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κάθε σταδίου και την παράταση της διάρκειας ζωής των μεμβρανών. Η συντήρηση, η επισκευή και η επαναχρησιμοποίηση είναι μερικές στρατηγικές επέκτασης του κύκλου ζωής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η συντήρηση αναφέρεται στην τακτική φροντίδα των μεμβρανών RO, η οποία περιλαμβάνει τον καθαρισμό και την αντικατάσταση σπασμένων εξαρτημάτων. Έτσι, η ωφέλιμη ζωή τους μπορεί να αυξηθεί μέσω της σωστής συντήρησης, η οποία μπορεί επίσης να μειώσει τη χρήση ενέργειας και να βελτιώσει την απόδοση. Για παράδειγμα, η ρύπανση, η συσσώρευση ακαθαρσιών στην επιφάνεια της μεμβράνης, μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα και να

συντομεύσει τη διάρκεια ζωής τους. Η ωφέλιμη ζωή των μεμβρανών RO μπορεί να αυξηθεί εκτελώντας τακτικό καθαρισμό και συντήρηση για τη μείωση της ρύπανσης.

Η αντικατάσταση φθαρμένων ή κατεστραμμένων εξαρτημάτων επίσης αποτελεί μια εναλλακτική λύση. Αυτό συνεπάγεται τη στερέωση μικρών σχισμάτων ή τρυπημάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης καθώς και αλλαγή φθαρμένων σφραγίδων, βαλβίδων ή εξαρτημάτων. Η ωφέλιμη ζωή μπορεί να αυξηθεί και τα απόβλητα να μειωθούν μέσω επισκευής. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν μπορούν να επισκευαστούν όλα τα εξαρτήματα των μεμβρανών RO. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να απαιτείται αντικατάσταση. Μια άλλη επιλογή είναι η ανακατασκευή όπου συνεπάγεται ενδελεχής καθαρισμός και αντικατάσταση όλων ή των περισσότερων εξαρτημάτων. Δεδομένου ότι η ανακατασκευή επιτρέπει στη μεμβράνη να χρησιμοποιηθεί για πολλά επιπλέον χρόνια πριν από την απόρριψη, μπορεί να είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση για την αύξηση της ωφέλιμης ζωής και τη μείωση των αποβλήτων. Η ανακατασκευή μπορεί να εξοικονομήσει χρήματα επειδή συχνά κοστίζει λιγότερο από την αγορά μιας νέας μεμβράνης RO. Η επισκευασμένη μεμβράνη πρέπει, ωστόσο, να τηρεί τις απαραίτητες απαιτήσεις απόδοσης και τα πρότυπα ποιότητας. Άλλες τεχνικές επέκτασης του κύκλου ζωής, όπως η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός από τη συντήρηση, την επισκευή και την ανακατασκευή. Μόλις οι μεμβράνες έχουν ξεπεράσει τη χρησιμότητά τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς όπως να ανακυκλωθούν για χρήση στην αφαλάτωση, καθώς μπορούν ακόμη αποτελεσματικά να αφαιρούν τα διαλυμένα άλατα.

Η χρήση τεχνικών επέκτασης του κύκλου ζωής για μεμβράνες RO μπορεί να έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως:

- Μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής, χρήσης και απόρριψης μεμβρανών RO μπορούν να μειωθούν αυξάνοντας την ωφέλιμη ζωή τους. Αυτό συνεπάγεται μείωση της χρήσης ενέργειας, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της χρήσης νερού και της παραγωγής αποβλήτων.
- Εξοικονόμηση κόστους: Με τη μείωση της ανάγκης για αγορά και εγκατάσταση νέων μεμβρανών RO, οι τεχνικές επέκτασης του κύκλου ζωής μπορούν να μειώσουν το κόστος των συστημάτων επεξεργασίας νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η συντήρηση, η επισκευή και η ανακατασκευή είναι λιγότερο δαπανηρές από την αγορά νέων μεμβρανών.
- Διατήρηση πόρων: Οι μέθοδοι για την παράταση της διάρκειας ζωής των υπαρχόντων υλικών μπορούν να μειώσουν την ανάγκη για νέα υλικά, αποτρέποντας την εξάντληση των φυσικών πόρων και διατηρώντας ανεκτίμητους πόρους.

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη ενός πιο βιώσιμου συστήματος επεξεργασίας νερού εξαρτάται από την επέκταση του κύκλου ζωής των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατασκευής, της χρήσης και της απόρριψής τους μπορεί να επιτευχθεί μέσω στρατηγικών όπως η συντήρηση, η επισκευή, η ανακατασκευή, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση.

Τα συστήματα επεξεργασίας νερού μπορούν να γίνουν πιο οικονομικά, να αποδίδουν καλύτερα, να εξοικονομούν πόρους και να παράγουν λιγότερα απόβλητα εφαρμόζοντας τεχνολογίες επέκτασης του κύκλου ζωής. Για να διατηρηθεί η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των συστημάτων επεξεργασίας νερού και η διατήρηση

των ανεκτίμητων πόρων του πλανήτη μας, είναι ζωτικής σημασίας για τους κατασκευαστές και τους χειριστές συστημάτων επεξεργασίας νερού να δώσουν έμφαση στην επέκταση του κύκλου ζωής ως θεμελιώδες στοιχείο της στρατηγικής αειφορίας τους.

4.7.2. Πτερύγια ανεμογεννητριών

Τα πτερύγια των ανεμογεννητριών είναι συνήθως κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά, όπως υαλονήματα ή ανθρακονήματα. Ενώ τα υλικά αυτά είναι ανθεκτικά και ελαφριά, είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν ή να απορριφθούν λόγω του μεγέθους και της σύνθεσής τους. Ως αποτέλεσμα, η κυκλική οικονομία παρουσιάζει μια ευκαιρία για την επαναχρησιμοποίηση των πτερυγίων των ανεμογεννητριών με βιώσιμο τρόπο.

Για παράδειγμα, τα πτερύγια θα μπορούσαν να κοπούν και να χρησιμοποιηθούν ως δομικό υλικό για κτίρια ή γέφυρες. Στην πραγματικότητα, ερευνητές στη Δανία διερευνούν επί του παρόντος τη χρήση πτερυγίων ανεμογεννητριών ως οπλισμού σκυροδέματος. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο απομακρύνει τα απόβλητα από τις χωματερές αλλά μειώνει επίσης την ανάγκη για παρθένα υλικά στις κατασκευές. Μια άλλη προσέγγιση είναι η ανακύκλωση των σύνθετων υλικών που χρησιμοποιούνται στα πτερύγια. Η Global Fiberglass Solutions έχει αναπτύξει μια διαδικασία για τον τεμαχισμό και την ανακύκλωση πτερυγίων ανεμογεννητριών σε προϊόντα όπως καταστρώματα και κιγκλιδώματα. Μια άλλη εταιρεία, η Rodepa Plastics, εργάζεται πάνω σε μια τεχνολογία για την ανακύκλωση σύνθετων υλικών σε νέα προϊόντα όπως έπιπλα και εξοπλισμός παιδικών χαρών. [72]

Τα ποσοτικά στοιχεία σχετικά με την αποτελεσματικότητα αυτών των προσεγγίσεων είναι ακόμη περιορισμένα, καθώς τα πτερύγια των ανεμογεννητριών είναι σχετικά νέα υλικά και οι λύσεις κυκλικής οικονομίας γι' αυτά βρίσκονται ακόμη υπό ανάπτυξη. Ωστόσο, μια μελέτη που διεξήχθη από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες διαπίστωσε ότι η χρήση ανακυκλωμένων υλικών στα πτερύγια ανεμογεννητριών θα μπορούσε να μειώσει το κόστος κατασκευής των πτερυγίων έως και 25%. Επιπλέον, η μελέτη διαπίστωσε ότι η ανακύκλωση υλικών θα μπορούσε να μειώσει το αποτύπωμα άνθρακα της κατασκευής πτερυγίων έως και κατά 15%. Επιπλέον, ένα πιλοτικό έργο στη Δανία έδειξε με επιτυχία τη μηχανική ανακύκλωση πτερυγίων ανεμογεννητριών σε υποκατάστατο τσιμέντου, ενώ το ανακυκλωμένο υλικό χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή ποδηλατοδρόμου. Το έργο υπολόγισε ότι η ανακύκλωση ενός πτερυγίου ανεμογεννήτριας θα μπορούσε να εξοικονομήσει έως και 27 τόνους εκπομπών CO₂ σε σύγκριση με τη διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής. [73]

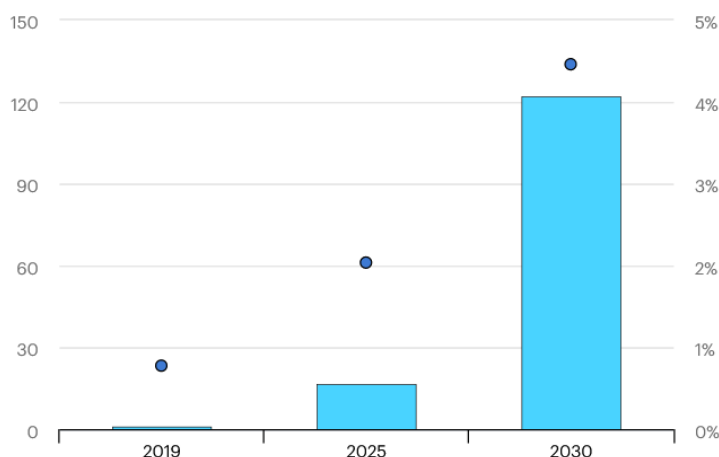
Στην Ευρώπη, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη λύσεων κυκλικής οικονομίας για πτερύγια ανεμογεννητριών. Το 2020, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) εγκαινίασε ένα νέο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία, το οποίο δίνει έμφαση στα βιώσιμα προϊόντα και υλικά, συμπεριλαμβανομένων των πτερυγίων ανεμογεννητριών. Το σχέδιο υπογραμμίζει την ανάγκη ανάπτυξης νέων τεχνολογιών και διαδικασιών ανακύκλωσης για σύνθετα υλικά και την ενθάρρυνση της χρήσης

ανακυκλωμένων υλικών σε νέα προϊόντα. Αρκετές χώρες στην Ευρώπη έχουν επίσης ξεκινήσει πρωτοβουλίες για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας για τα πετυρία ανεμογεννητριών. Για παράδειγμα, στην Ολλανδία, η κυβέρνηση έχει θέσει ως στόχο την ανακύκλωση του 60% όλων των περυγίων ανεμογεννητριών μέχρι το 2023. Στη Δανία, η κυβέρνηση έχει δρομολογήσει ένα έργο για την ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας για τα πετυρία ανεμογεννητριών, το οποίο περιλαμβάνει τη δοκιμή νέων τεχνολογιών ανακύκλωσης και την ανάπτυξη νέων χρήσεων για τα ανακυκλωμένα υλικά. [71]

4.7.3. Μπαταρίες ιόντων λιθίου

Μια πτυχή της κυκλικής οικονομίας είναι η επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών ιόντων λιθίου (Li-ion), οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε ηλεκτρικά οχήματα (EV) και φορητές ηλεκτρονικές συσκευές. Η τρέχουσα κατάσταση όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι ελπιδοφόρα. Σύμφωνα με έκθεση του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (ΔΟΕ), το παγκόσμιο απόθεμα χρησιμοποιημένων μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να ξεπεράσει τις 1.000 GWh μέχρι το 2030. Αυτό αποτελεί σημαντική ευκαιρία για την επαναχρησιμοποίηση αυτών των μπαταριών για διάφορες εφαρμογές, όπως τα σταθερά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία μπορούν να συμβάλουν στην ενσωμάτωση περισσότερης ανανεώσιμης ενέργειας στο δίκτυο. [74]

Automotive battery capacity available for repurposing or recycling in the Sustainable Development Scenario, 2019-203



Εικόνα 4.5. Σενάριο για ανακύκλωση μπαταριών [74]

Βάση σεναρίου, εκτιμάται ότι 100-120 GWh μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων θα αποσυρθούν έως το 2030, όγκος που αντιστοιχεί περίπου στην τρέχουσα ετήσια παραγωγή μπαταριών. Χωρίς αποτελεσματικά μέτρα για την αντιμετώπιση τέτοιων όγκων, αυτό μπορεί να αποτελέσει σημαντική περιβαλλοντική υποχρέωση. Οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες μπορούν να διοχετευθούν σε δεύτερη χρήση ή ανακύκλωση με τη βοήθεια πολιτικών που συμβάλλουν στην κατεύθυνση των εν λόγω αγορών προς βιώσιμες πρακτικές για το τέλος του κύκλου ζωής τους. [74]

Ποσοτικά στοιχεία για τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των μπαταριών ιόντων λιθίου προέρχονται από διάφορες πηγές. Για παράδειγμα, μια μελέτη του Bloomberg New Energy Finance εκτιμά ότι η αγορά των μπαταριών δεύτερης ζωής θα μπορούσε να αξίζει 3 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2035. Μια άλλη έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής εκτιμά ότι η επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να μειώσει το κόστος της αποθήκευσης ενέργειας έως και 30%. Επιπλέον, εταιρείες όπως η Tesla επιδιώκουν ήδη ενεργά πρωτοβουλίες επαναχρησιμοποίησης μπαταριών. Το 2020, η Tesla εγκαινίασε την εκδήλωση "Battery Day", όπου ανακοίνωσε τα σχέδιά της για την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών της, με στόχο να επιτύχει 10πλάσια μείωση του κόστους ανά kWh αποθήκευσης ενέργειας. [75,76]

Στην Ευρώπη έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην προώθηση της επαναχρησιμοποίησης των μπαταριών ιόντων λιθίου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την κυκλική οικονομία, συμπεριλαμβανομένου του στόχου ανακύκλωσης του 55% όλων των αστικών αποβλήτων έως το 2025. Επιπλέον, ο κανονισμός της ΕΕ για τις μπαταρίες, ο οποίος τέθηκε σε ισχύ το 2020, περιλαμβάνει διατάξεις για την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των μπαταριών.

Αρκετές ευρωπαϊκές χώρες έχουν επίσης εφαρμόσει πολιτικές για την υποστήριξη της επαναχρησιμοποίησης των μπαταριών Li-ion. Για παράδειγμα, στη Γαλλία, η κυβέρνηση έχει δρομολογήσει μια εθνική στρατηγική για την επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων, η οποία περιλαμβάνει χρηματοδότηση για την έρευνα και την ανάπτυξη τεχνολογιών επαναχρησιμοποίησης μπαταριών. Ομοίως, στην Ολλανδία, η κυβέρνηση έχει θέσει ως στόχο την επαναχρησιμοποίηση του 50% όλων των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων έως το 2030. Στην Ελλάδα, έχει σημειωθεί κάποια πρόοδος στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας, ωστόσο, έχει δοθεί λιγότερη έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση ειδικά των μπαταριών ιόντων λιθίου.

4.7.4. Φωτοβολταϊκά συστήματα

Στο πλαίσιο των φωτοβολταϊκών πάνελ, η προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνει την εξεύρεση τρόπων επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσής τους στο τέλος του κύκλου ζωής τους, αντί της απόρριψής τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Παρατηρώντας την τρέχουσα κατάσταση όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι φανερό ότι υπάρχουν ακόμη πολλά περιθώρια βελτίωσης. Ενώ έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, όπως με τη χρήση εξειδικευμένων εγκαταστάσεων ανακύκλωσης, η πλειονότητά τους εξακολουθεί να καταλήγει σε χωματερές. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν έχουν φτάσει ακόμη στο τέλος της διάρκειας ζωής τους, αλλά καθώς το πλήθος που χρησιμοποιείται συνεχίζει να αυξάνεται, θα γίνεται όλο και πιο αναγκαίο να βρεθούν τρόποι επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσής τους.

Τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν από τα φωτοβολταϊκά πάνελ περιλαμβάνουν μέταλλα όπως το αλουμίνιο και ο χαλκός, καθώς και υλικά ημιαγωγών όπως το πυρίτιο. Αυτά τα υλικά μπορούν να ανακτηθούν μέσω μιας ποικιλίας διαδικασιών ανακύκλωσης, όπως η μηχανική ανακύκλωση, η χημική ανακύκλωση και η πυρόλυση. Εκτός από αυτές τις διαδικασίες ανακύκλωσης, γίνονται επίσης προσπάθειες για τη διερεύνηση της χρήσης εφαρμογών "δεύτερης ζωής", όπως η χρήση τους για εφαρμογές εκτός δικτύου ή σε φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτίρια (BIPV). Η προσέγγιση αυτή μπορεί να συμβάλει στην παράταση της διάρκειας ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων και στη μείωση των αποβλήτων, ενώ παράλληλα παρέχει πρόσθετα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. [77]

Στην Ευρώπη, δίνεται ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση στην κυκλική οικονομία, με την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) να θέτει ως στόχο να γίνει κλιματικά ουδέτερη έως το 2050. Τον Μάρτιο του 2020, η ΕΕ ενέκρινε επίσης ένα νέο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία, το οποίο αποσκοπεί στην προώθηση της βιώσιμης και αποδοτικής ως προς τους πόρους παραγωγής και κατανάλωσης, μειώνοντας παράλληλα τα απόβλητα και προωθώντας την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των υλικών. Αυτό περιλαμβάνει μέτρα για τη βελτίωση της συλλογής και της επεξεργασίας των αποβλήτων, καθώς και για την προώθηση της χρήσης ανακυκλωμένων υλικών στις διαδικασίες παραγωγής. Όσον αφορά την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, η ΕΕ έχει θεσπίσει κανονισμούς που απαιτούν την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και θέτουν στόχους για την ανάκτηση των υλικών. [77]

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), οι κατασκευαστές φωτοβολταϊκών πάνελ υποχρεούνται να χρηματοδοτούν τη συλλογή και την επεξεργασία των αποβλήτων των φωτοβολταϊκών πάνελ, ενώ απαιτείται επίσης να επιτύχουν ένα ελάχιστο ποσοστό ανάκτησης 80% των υλικών κατά βάρος. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το 2020, η ΕΕ πέτυχε ποσοστό ανακύκλωσης 78% για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), στα οποία περιλαμβάνονται και τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Το ποσοστό ανακύκλωσης ειδικά για τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν δόθηκε, αλλά η ΕΕ έχει θέσει στόχο 80% για την ανάκτηση υλικών από αυτά. Επιπλέον, μια μελέτη που διεξήχθη από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (ΚΚΕρ) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το 2017 εκτιμά ότι, έως το 2030, η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ στην ΕΕ θα μπορούσε να δημιουργήσει περίπου 4.800 θέσεις εργασίας και να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 170.000 τόνους ισοδύναμου CO₂. [77]

Στην Ελλάδα έχει σημειωθεί κάποια πρόοδος στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας και της επαναχρησιμοποίησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Το 2020, η ελληνική κυβέρνηση ανακοίνωσε μια νέα πολιτική για την προώθηση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε δημόσια κτίρια, με στόχο την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της χώρας. Η πολιτική περιλαμβάνει μέτρα για την παροχή κινήτρων για τη χρήση υψηλής ποιότητας και μεγάλης διάρκειας φωτοβολταϊκών πλαισίων, καθώς και για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Επιπλέον, υπάρχουν ορισμένες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης στην Ελλάδα που είναι εξοπλισμένες για να διαχειρίζονται απόβλητα. Για παράδειγμα, η εταιρεία METKA EGN έχει δημιουργήσει στην Ελλάδα μια εξειδικευμένη εγκατάσταση ανακύκλωσης για την επεξεργασία αποβλήτων φωτοβολταϊκών πάνελ, η οποία χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό μηχανικών και χημικών διαδικασιών ανακύκλωσης για την ανάκτηση

πολύτιμων υλικών. Σύμφωνα με μελέτη που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Renewable and Sustainable Energy Reviews το 2021, η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να παράγει σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από επαναχρησιμοποιημένα φωτοβολταϊκά πάνελ. Βάση των αποτελεσμάτων, εκτιμάται ότι μέχρι το 2030, έως και 22,7 TWh ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσαν να παραχθούν ετησίως από εφαρμογές δεύτερης χρήσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην Ελλάδα. [78,79]

4.8. Σύνδεση καταναλωτών με επέκταση κύκλου ζωής

Η σύνδεση των καταναλωτών με την παράταση του κύκλου ζωής των προϊόντων μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά στρατηγικών και προσεγγίσεων που εστιάζουν στη βελτίωση του σχεδιασμού των προϊόντων, στην ευκολότερη και πιο βολική επισκευή και συντήρηση και στην ενθάρρυνση των καταναλωτών να υιοθετήσουν πιο βιώσιμες καταναλωτικές συνήθειες.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος σύνδεσης των καταναλωτών με την επέκταση του κύκλου ζωής των προϊόντων είναι η επισήμανση των προϊόντων. Η επισήμανση των προϊόντων μπορεί να παρέχει στους καταναλωτές σαφείς και συνοπτικές πληροφορίες σχετικά με τη βιωσιμότητα ενός προϊόντος και τις δυνατότητες επέκτασης. Για παράδειγμα, μια ετικέτα θα μπορούσε να αναφέρει αν ένα προϊόν είναι σχεδιασμένο για επισκευή ή/και αν τα ανταλλακτικά είναι άμεσα διαθέσιμα. Επιπλέον, ορισμένες εταιρείες χρησιμοποιούν κωδικούς QR και άλλες ψηφιακές τεχνολογίες για να παρέχουν στους καταναλωτές λεπτομερέστερες πληροφορίες σχετικά με τον κύκλο ζωής και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος.

Μια άλλη βασική προσέγγιση για τη σύνδεση των καταναλωτών με την επέκταση του κύκλου ζωής του προϊόντος είναι μέσω της εκπαίδευσης και της ευαισθητοποίησης. Η εκπαίδευση των καταναλωτών σχετικά με τα οφέλη της παράτασης του κύκλου ζωής των προϊόντων και τον τρόπο σωστής φροντίδας και συντήρησης των προϊόντων μπορεί να τους ενθαρρύνει να αναλάβουν δράσεις που παρατείνουν τη διάρκεια ζωής. Για παράδειγμα, η παροχή συμβουλών σχετικά με το πώς να καθαρίζονται και να συντηρούνται σωστά τα προϊόντα μπορεί να συμβάλει στην αποφυγή ζημιών και στην παράταση της χρήσης τους. Επιπλέον, οι εταιρείες μπορούν να χρησιμοποιούν τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και άλλα ψηφιακά κανάλια για να επικοινωνούν με τους καταναλωτές και να τους παρέχουν πληροφορίες σχετικά με βιώσιμες πρακτικές κατανάλωσης. Μια μελέτη που διεξήχθη από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2018 διαπίστωσε ότι το 77% των Ευρωπαίων εξετάζει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα κατά την αγορά προϊόντων, έναντι 73% το 2014. Η μελέτη διαπίστωσε επίσης ότι το 80% των Ευρωπαίων θα επισκεύαζαν ένα χαλασμένο προϊόν αντί να αγοράσουν ένα νέο, εάν αυτό ήταν εύκολο και φθηνό.

Οι υπηρεσίες επισκευής και τα ανταλλακτικά είναι επίσης σημαντικές στρατηγικές. Η διευκόλυνση των καταναλωτών στην επισκευή των προϊόντων μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής τους. Για παράδειγμα, ορισμένες εταιρείες συνεργάζονται με συνεργεία επισκευής για να προσφέρουν υπηρεσίες επισκευής των προϊόντων τους, ενώ άλλες παρέχουν στους καταναλωτές διαδικτυακά σεμινάρια και άλλους πόρους για να τους βοηθήσουν να τα επισκευάσουν οι ίδιοι. Επιπλέον, οι εταιρείες μπορούν να καταστήσουν τα ανταλλακτικά πιο εύκολα διαθέσιμα στους καταναλωτές, είτε μέσω των δικών τους καναλιών είτε μέσω τρίτων παρόχων. Μελέτη του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου διαπίστωσε ότι η αύξηση της πρόσβασης σε υπηρεσίες επισκευής και

ανταλλακτικά για ηλεκτρονικές συσκευές θα μπορούσε να παρατείνει τη διάρκεια ζωής τους έως και κατά πέντε χρόνια. Η μελέτη εκτίμησε ότι η παράταση της διάρκειας ζωής αυτών των προϊόντων θα μπορούσε να δημιουργήσει έως και 200.000 θέσεις εργασίας και να εξοικονομήσει στους καταναλωτές έως και 3,9 δισ. ευρώ ετησίως.

Οι πλατφόρμες κοινής χρήσης είναι μια άλλη στρατηγική. Επιτρέποντας στους καταναλωτές να νοικιάζουν ή να δανείζονται προϊόντα από άλλους, αντί να αγοράζουν νέα προϊόντα, οι πλατφόρμες κοινής χρήσης μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της συνολικής ζήτησης για νέα προϊόντα και να ενθαρρύνουν την επαναχρησιμοποίηση των υφιστάμενων προϊόντων. Για παράδειγμα, ορισμένες εταιρείες συνεργάζονται με πλατφόρμες κοινής χρήσης για να προσφέρουν τα προϊόντα τους προς ενοικίαση, ενώ άλλες δημιουργούν τις δικές τους πλατφόρμες κοινής χρήσης για προϊόντα που έχουν σχεδιαστεί για επαναχρησιμοποίηση και επέκταση. Μια μελέτη που διεξήχθη από το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ το 2019 διαπίστωσε ότι το συγκεκριμένο μοντέλο έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 4,8 γιγατόνους ετησίως έως το 2030, να μειώσει την κατανάλωση υλικών έως και 80% και να δημιουργήσει ετήσια οικονομική αξία έως και 1 τρισεκατομμύριο δολάρια.

Τέλος, τα κίνητρα μπορούν να αποτελέσουν ένα ισχυρό εργαλείο για την ενθάρρυνση των καταναλωτών να υιοθετήσουν πιο βιώσιμες καταναλωτικές συνήθειες. Η προσφορά εκπτώσεων ή προγραμμάτων επιβράβευσης στους καταναλωτές που επιλέγουν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των προϊόντων τους μπορεί να ενθαρρύνει πιο βιώσιμες καταναλωτικές συνήθειες. Για παράδειγμα, ορισμένες εταιρείες προσφέρουν εκπτώσεις σε ανταλλακτικά για προϊόντα που έχουν σχεδιαστεί για επισκευή, ενώ άλλες προσφέρουν πόντους επιβράβευσης στους καταναλωτές που νοικιάζουν ή μοιράζονται προϊόντα αντί να αγοράζουν καινούργια.

Συμπερασματικά, η σύνδεση των καταναλωτών με την παράταση του κύκλου ζωής των προϊόντων είναι απαραίτητη για την προώθηση βιώσιμων καταναλωτικών προτύπων και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων. Με μια ολιστική προσέγγιση που περιλαμβάνει τη σήμανση των προϊόντων, την εκπαίδευση, τις υπηρεσίες επισκευής, τις πλατφόρμες κοινής χρήσης και τα κίνητρα, οι εταιρείες και οι οργανισμοί μπορούν να συμβάλουν στην ενθάρρυνση των καταναλωτών να υιοθετήσουν πιο βιώσιμα καταναλωτικά πρότυπα και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των προϊόντων τους. [80,81]

Κεφάλαιο 5^ο : Φωτοβολταϊκά/Θερμικά συστήματα και συμβατικά φ/β

5.1. Παρούσα κατάσταση

Η τρέχουσα κατάσταση για τα φωτοβολταϊκά (PV) και τα φωτοβολταϊκά-θερμικά (PVT) πάνελ είναι θετική, καθώς και οι δύο τεχνολογίες συνεχίζουν να αυξάνονται σε δημοτικότητα και υιοθέτηση. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι σήμερα η πιο διαδεδομένη ηλιακή τεχνολογία, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ πάνω από 780 GW (γιγαβάτ) παγκοσμίως από το 2020, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA). Η παγκόσμια αγορά φωτοβολταϊκών αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 139 GW να προστίθεται μόνο το 2020. Τα PVT πάνελ, αν και εξακολουθούν να αποτελούν μια σχετικά νέα τεχνολογία, σημειώνουν επίσης ανάπτυξη και υιοθέτηση. Σύμφωνα με έκθεση της Allied Market Research, η παγκόσμια αγορά για τα πάνελ PVT αποτιμήθηκε σε 1,05 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020 και αναμένεται να φτάσει τα 2,05 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2027, αυξανόμενη με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 9,3% κατά τη διάρκεια της περιόδου πρόβλεψης.

Τόσο τα φωτοβολταϊκά πάνελ όσο και τα φωτοβολταϊκά/θερμικά πάνελ προσφέρουν σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, όπως η μείωση της ανάγκης για πηγές ενέργειας που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, οι πρόοδοι στην τεχνολογία και τις διαδικασίες κατασκευής καθιστούν τους ηλιακούς συλλέκτες πιο αποδοτικούς και οικονομικά αποδοτικούς, προωθώντας περαιτέρω την υιοθέτηση και την ανάπτυξη του κλάδου. Ωστόσο, προκλήσεις όπως το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης και η διαλείπουσα παραγωγή ηλιακής ενέργειας (λόγω παραγόντων όπως οι καιρικές συνθήκες και η ώρα της ημέρας) εξακολουθούν να αποτελούν τομείς εστίασης για τον κλάδο, καθώς καταβάλλονται προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους. Πιο συγκεκριμένα, το κόστος των φωτοβολταϊκών πάνελ ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως το μέγεθος των πάνελ, η απόδοση και το κόστος εγκατάστασης. Σύμφωνα με την έκθεση PVT-ERA, το κόστος των πάνελ PVT κυμαίνεται από 400 έως 800 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο, σε σύγκριση με περίπου 200 έως 400 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο για τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά πάνελ.

Σύμφωνα με έκθεση του χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση έργου PVT-ERA, η τεχνολογία PVT χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές σε ολόκληρη την Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων των οικιστικών και εμπορικών κτιρίων, των βιομηχανικών διεργασιών και της γεωργίας. Το 2018, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των πάνελ PVT στην Ευρώπη εκτιμάται ότι ήταν περίπου 60 MW (μεγαβάτ), και αυτό αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια καθώς η τεχνολογία υιοθετείται ευρύτερα. Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι:

- Το 2020, μια νέα οικιστική ανάπτυξη στην Ολλανδία εγκατέστησε ένα σύστημα PVT για την παροχή θέρμανσης, ψύξης και ηλεκτρικής ενέργειας στα 24 διαμερίσματα. Το σύστημα PVT αποτελείται από 320 πάνελ συνολικής ισχύος 112 kWp και 470 kWp θερμικής ισχύος. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και να αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια σε ένα σύστημα μπαταριών για χρήση κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παροχή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων. Το σύστημα PVT αναμένεται να παράγει περίπου 100.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας και 400.000 kWh θερμότητας ετησίως και να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά περίπου 128 τόνους ετησίως. [82]
- Το Πανεπιστήμιο Κύπρου στη Λευκωσία εγκατέστησε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών συστημάτων 24 kWp στην οροφή του κτιρίου Μηχανολογίας το 2019. Το σύστημα αποτελείται από 120 πάνελ PVT και αναμένεται να παράγει περίπου 29.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας και 58.000 kWh θερμότητας ετησίως. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο κτίριο κατά τη διάρκεια της ημέρας και να διοχετεύει την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο, ενώ χρησιμοποιεί τη θερμική ενέργεια για την παροχή ζεστού νερού και θέρμανσης χώρων. Το σύστημα PVT αναμένεται να εξοικονομήσει στο πανεπιστήμιο περίπου 10.000 ευρώ ετησίως σε κόστος ενέργειας και να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά περίπου 27 τόνους ετησίως. [83]
- Το πρόγραμμα "Horizon 2020" της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρηματοδοτεί διάφορα έργα έρευνας και ανάπτυξης που επικεντρώνονται στην τεχνολογία PVT. Ένα από αυτά τα έργα, με τίτλο "Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών θερμικών συλλεκτών σε υφιστάμενα κτίρια για θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό", αναπτύσσει ένα σύστημα φωτοβολταϊκών συλλεκτών που μπορεί να τοποθετηθεί εκ των υστέρων σε υφιστάμενα κτίρια για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Το έργο περιλαμβάνει τη συνεργασία μεταξύ διαφόρων ερευνητικών ιδρυμάτων και βιομηχανικών εταιρών από όλη την Ευρώπη και αναμένεται να αποδείξει την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας PVT στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών σε κτίρια. [84]

Ωστόσο, η χρήση φωτοβολταϊκών-θερμικών συστημάτων στην Ελλάδα εξακολουθεί να είναι σχετικά περιορισμένη σε σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρώπης και τα πρώτα φωτοβολταϊκά της συγκεκριμένης τεχνολογίας κυκλοφόρησαν στην αγορά το 2023. Εν τούτοις, έχουν γίνει κάποιες δοκιμές που δείχνουν πολύ ενθαρρυντικά στοιχεία για τη χώρα μας. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα εξ' αυτών.

- Ένα παράδειγμα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών/θερμικών πάνελ στην Ελλάδα είναι το έργο του Πολυτεχνείου Κρήτης, το οποίο εγκατέστησε ένα σύστημα

στην οροφή ενός κτιρίου της πανεπιστημιούπολης του. Το σύστημα αποτελείται από 48 μονάδες συνολικής ισχύος 12 kWp για ηλεκτρική ενέργεια και 30 kWp για θερμική ενέργεια και αναμένεται να παράγει 15.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας και 30.000 kWh θερμικής ενέργειας ετησίως. Το σύστημα PVT χρησιμοποιεί εναλλάκτες θερμότητας για τη μεταφορά της θερμότητας που παράγεται από τα πάνελ σε μια δεξαμενή αποθήκευσης και χρησιμοποιείται για την παροχή ζεστού νερού στο κτίριο. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του φωτισμού και άλλων ηλεκτρικών συστημάτων του κτιρίου. [85]

- Μια άλλη μελέτη περίπτωσης είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών/θερμικών πάνελ σε ένα ξενοδοχείο στο νησί της Κω, το Kos Aktis Art Hotel. Το ξενοδοχείο εγκατέστησε ένα σύστημα πάνελ στην οροφή του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού για τους επισκέπτες του. Το σύστημα PVT αποτελείται από 56 μονάδες με συνολική ισχύ 14 kWp για ηλεκτρική ενέργεια και 28 kWp για θερμική ενέργεια και αναμένεται να παράγει 16.800 kWh ηλεκτρικής ενέργειας και 33.600 kWh θερμικής ενέργειας ετησίως. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του φωτισμού, του κλιματισμού και άλλων ηλεκτρικών συστημάτων του ξενοδοχείου. Το ζεστό νερό που παράγεται χρησιμοποιείται για την παροχή ζεστού νερού στους επισκέπτες του ξενοδοχείου. [86]
- Μια άλλη μελέτη έχει διεξαχθεί από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Το υβριδικό σύστημα εγκαταστάθηκε στην οροφή ενός κτιρίου στην πανεπιστημιούπολη του ΕΜΠ και χρησιμοποιείται για την παροχή ζεστού νερού και θέρμανση χώρων για το κτίριο. Σχεδιάστηκε για να είναι ιδιαίτερα αποδοτικό και να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και το αποτύπωμα άνθρακα. Το σύστημα PVT αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία 4 kWp και έναν ηλιοθερμικό συλλέκτη 8 kWp, ενσωματωμένο σε μια ενιαία μονάδα. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία παράγει ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ο ηλιοθερμικός συλλέκτης παράγει ζεστό νερό. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης μια αντλία θερμότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος θέρμανσης και ψύξης. Οι ερευνητές της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ ανέπτυξαν ένα σύστημα ελέγχου για το φωτοβολταϊκό σύστημα που βελτιστοποιεί την απόδοσή του με βάση τις καιρικές συνθήκες και τη ζήτηση ενέργειας. Το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει επίσης ένα σύστημα παρακολούθησης που επιτρέπει στους ερευνητές να παρακολουθούν την απόδοση του συστήματος και να εντοπίζουν περιοχές για βελτίωση. [87]

5.2. Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ, είναι συσκευές που μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Αποτελούνται από πολλαπλές ηλιακές κυψέλες, οι οποίες κατασκευάζονται από ημιαγωγικά υλικά όπως το πυρίτιο. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στις ηλιακές κυψέλες, προκαλεί τη διέγερση των ηλεκτρονίων στον ημιαγωγό, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε κατοικίες όσο και σε εμπορικές εγκαταστάσεις. Μπορούν να τοποθετηθούν σε στέγες, στο έδαφος ή ακόμη και να ενσωματωθούν σε οικοδομικά υλικά όπως παράθυρα και τοίχους. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ χρησιμοποιούνται επίσης σε μεγάλης κλίμακας ηλιακούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου χιλιάδες πάνελ εγκαθίστανται σε ένα χωράφι ή σε μια

στέγη για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για το δίκτυο. Η ποσότητα ενέργειας που παράγεται εξαρτάται από παράγοντες όπως η ποσότητα του διαθέσιμου ηλιακού φωτός, η απόδοση των ηλιακών κυψελών, η γωνία και ο προσανατολισμός των πάνελ. Τα φωτοβολταϊκά έχουν συνήθως διάρκεια ζωής 25-30 χρόνια και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση κατά τη διάρκεια της ζωής τους. [88]

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (ΔΟΕ), η παγκόσμια εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύς είχε φτάσει τα 773 GW μέχρι το τέλος του 2020, από μόλις 2 GW το 2005. Αυτό αντιπροσωπεύει έναν σύνθετο ετήσιο ρυθμό αύξησης 42% κατά την τελευταία δεκαετία. Η Ευρώπη είναι παγκόσμιος ηγέτης, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 142 GW από το 2020, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση Φωτοβολταϊκής Βιομηχανίας. Οι τρεις κορυφαίες ευρωπαϊκές χώρες όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύ είναι η Γερμανία, η Ισπανία και η Ιταλία. Η Ελλάδα έχει συνολική εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύ περίπου 3,8 GW από το 2020, σύμφωνα με τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Αυτό αντιπροσωπεύει σημαντική αύξηση από μόλις 0,4 GW το 2013, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην κρατική στήριξη και στην πτώση του κόστους των φωτοβολταϊκών. [89.90]

5.2.1. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πάνελ

Πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) είναι σήμερα η πιο διαδεδομένη ηλιακή τεχνολογία παγκοσμίως. Κατασκευάζονται από πυρίτιο, το δεύτερο πιο άφθονο στοιχείο στη Γη μετά το οξυγόνο. Αποτελούνται από μεμονωμένα κύτταρα που συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα πάνελ. Σε αντίθεση με τα πάνελ λεπτού υμενίου, τα πάνελ c-Si έχουν άκαμπτη δομή και είναι σχετικά βαριά. Ωστόσο, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, η οποία φτάνει τα 25-30 χρόνια. Η απόδοση των πάνελ ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο. Κατά μέσο όρο, τα μονοκρυσταλλικά πάνελ μπορούν να επιτύχουν αποδόσεις έως και 22%, ενώ τα πολυκρυσταλλικά πάνελ έχουν απόδοση έως και 18%. Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα πάνελ c-Si είναι γενικά ακριβά, με τιμές που κυμαίνονται από 2,50 έως 5,50 δολάρια ανά βατ. Ωστόσο, το κόστος τους έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια λόγω της τεχνολογικής προόδου και των οικονομιών κλίμακας. [91]

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κρυσταλλικού πυριτίου χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων οικιακών, εμπορικών και ηλιακών εγκαταστάσεων κοινής ωφέλειας. Ακολουθούν ορισμένα ποσοτικά στοιχεία σχετικά με τη χρήση τους:

- Οικιακές ηλιακές εγκαταστάσεις: τα πάνελ c-Si είναι η πιο δημοφιλής επιλογή για οικιακές ηλιακές εγκαταστάσεις, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 90% των ηλιακών συλλεκτών που εγκαθίστανται στις Ηνωμένες Πολιτείες. Σύμφωνα με το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL), το μέσο μέγεθος μιας οικιακής ηλιακής εγκατάστασης στις ΗΠΑ είναι 7,6 kW, το οποίο απαιτεί περίπου 25-30 πάνελ [73]

- Εμπορικές ηλιακές εγκαταστάσεις: Στον εμπορικό τομέα, τα συγκεκριμένα πάνελ χρησιμοποιούνται συχνά για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με την Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας (SEIA), η εμπορική ηλιακή αγορά των ΗΠΑ αυξήθηκε κατά 19% το 2020, με πάνω από 3 GW νέας εγκατεστημένης ηλιακής ισχύος. [92]
- Ηλιακά έργα κοινής ωφέλειας: Τα πάνελ c-Si χρησιμοποιούνται συνήθως σε ηλιακά έργα κοινής ωφέλειας, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για το δίκτυο. Σύμφωνα με την SEIA, τα ηλιακά έργα κοινής ωφέλειας αποτελούσαν το 69% του συνόλου της ηλιακής ισχύος που εγκαταστάθηκε στις ΗΠΑ το 2020. Το μεγαλύτερο ηλιακό έργο κοινής ωφέλειας στις ΗΠΑ, το έργο Solar Star στην Καλιφόρνια, χρησιμοποιεί πάνω από 1,7 εκατομμύρια πάνελ c-Si για την παραγωγή 579 MW ηλεκτρικής ενέργειας.

Πάνελ λεπτού υμενίου

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λεπτής μεμβράνης είναι ένας άλλος κοινός τύπος φωτοβολταϊκού συστήματος. Κατασκευάζονται από διάφορα υλικά όπως το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), το σεληνιούχο γάλλιο ινδίου χαλκού (CIGS) και το άμορφο πυρίτιο (a-Si). Το εύρος απόδοσής τους κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 7-13%. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους είναι ότι η παραγωγή τους είναι φθηνότερη συγκριτικά με τα πάνελ c-Si. Για παράδειγμα, το 2020, η μέση τιμή των πάνελ Thin-Film ήταν περίπου 0,23 δολάρια ανά βατ, ενώ η μέση τιμή των πάνελ c-Si ήταν περίπου 0,28 δολάρια ανά βατ. Επίσης, είναι πιο ελαφριά και εύκαμπτα, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές όπου απαιτείται ευελιξία, όπως καμπύλες επιφάνειες ή φορητά ηλεκτρονικά συστήματα. Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Έχουν χαμηλότερο εύρος απόδοσης από τα πάνελ c-Si, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτούνται περισσότερα πάνελ για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, τα πάνελ Thin-Film ενδέχεται να υποβαθμίζονται ταχύτερα με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής τους. Για παράδειγμα, τα πάνελ CdTe έχουν εκτιμώμενη διάρκεια ζωής 10-15 έτη, ενώ τα πάνελ c-Si μπορούν να διαρκέσουν έως και 25-30 έτη. Τέλος, τα συγκεκριμένα πάνελ είναι πιο ευαίσθητα στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, γεγονός που επηρεάζει την απόδοσή τους. Για παράδειγμα, τα πάνελ CIGS μπορούν να χάσουν έως και 1% της απόδοσής τους για κάθε βαθμό Κελσίου αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από τους 25°C (πηγή: Solar Power World). [73,90]

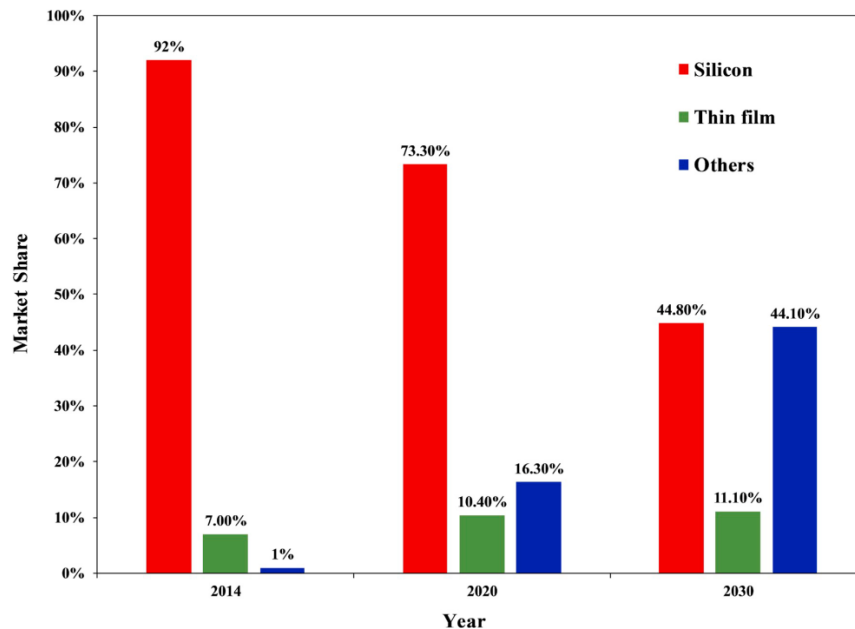
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λεπτού υμενίου χρησιμοποιούνται συνήθως σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των ενσωματωμένων σε κτίρια φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου ο χώρος είναι περιορισμένος και οι ηλιακοί συλλέκτες πρέπει να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό του κτιρίου, των φορητών ηλεκτρονικών συστημάτων, όπου οι συλλέκτες είναι ελαφροί και εύκαμπτοι, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για χρήση σε smartphones ή tablet, σε εξοπλισμό κατασκήνωσης ή σε συσκευές απομακρυσμένης παρακολούθησης. Τέλος, τα πάνελ Thin-Film είναι χρήσιμα σε απομακρυσμένες ή εκτός δικτύου εφαρμογές, όπως η ηλεκτροδότηση σπιτιών ή κοινοτήτων σε αγροτικές περιοχές ή σε νησιά. Δεδομένου ότι είναι ελαφριά και εύκαμπτα, μπορούν να μεταφερθούν ευκολότερα σε απομακρυσμένες τοποθεσίες

και μπορούν να λειτουργήσουν πιο αποτελεσματικά σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, οι οποίες είναι συνηθισμένες σε απομακρυσμένες περιοχές. [88]

Συγκεντρωμένα φωτοβολταϊκά (CPV)

Τα συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά (CPV) είναι μια τεχνολογία ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιεί φακούς ή καθρέφτες για τη συγκέντρωση του ηλιακού φωτός σε μικρά, υψηλής απόδοσης φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτά τα ηλιακά κύτταρα κατασκευάζονται με διάφορα υλικά. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό για είναι οι ημιαγωγοί III-V. Πρόκειται για μια ομάδα ενώσεων που αποτελούνται από στοιχεία της ομάδας III του περιοδικού πίνακα (όπως το γάλλιο, το αλουμίνιο και το ίνδιο) και στοιχεία της ομάδας V (όπως το αρσενικό, ο φώσφορος και το άζωτο). Παραδείγματα ημιαγωγών III-V που χρησιμοποιούνται στις ηλιακές κυψέλες CPV περιλαμβάνουν το αρσενίδιο του γαλλίου (GaAs), το φωσφίδιο του γαλλίου του ινδίου (InGaP) και το φωσφίδιο του ινδίου (InP). Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στις ηλιακές κυψέλες CPV περιλαμβάνουν το πυρίτιο (Si), το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως στους παραδοσιακούς ηλιακούς συλλέκτες, και τις ηλιακές κυψέλες πολλαπλών διακλαδώσεων, οι οποίες κατασκευάζονται από διάφορα στρώματα διαφορετικών ημιαγωγικών υλικών. Αυτή η τεχνολογία έχει σχεδιαστεί για να αυξάνει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας κυψέλης, συγκεντρώνοντας το φως σε μικρότερη περιοχή της κυψέλης. Απαιτούν άμεσο ηλιακό φως για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε περιοχές με υψηλά επίπεδα άμεσου ηλιακού φωτός. [73]

Τα συστήματα CPV είναι γνωστά για την υψηλή απόδοσή τους, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση μικρών ηλιακών κυψελών υψηλής απόδοσης. Η απόδοση των συστημάτων CPV μπορεί να κυμαίνεται από 35% έως 45%, η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη από τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά συστήματα επίπεδης πλάκας. Επιπλέον, η χρήση μικρότερων ηλιακών κυψελών σημαίνει ότι το συνολικό κόστος παραγωγής ενέργειας είναι χαμηλότερο από εκείνο των παραδοσιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων επίπεδης πλάκας. Όμως, έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι απαιτούν ακριβή παρακολούθηση του ήλιου για να διατηρηθεί η βέλτιστη συγκέντρωση του ηλιακού φωτός στις κυψέλες. Αυτό μπορεί να προσθέσει πολυπλοκότητα και κόστος στο σύστημα, καθώς και να αυξήσει τον κίνδυνο αστοχίας του συστήματος λόγω μηχανικών προβλημάτων. Επιπλέον, τα συστήματα CPV ενδέχεται να μην είναι κατάλληλα για όλες τις τοποθεσίες, καθώς απαιτούν υψηλά επίπεδα άμεσου ηλιακού φωτός για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά. Παρά αυτά τα μειονεκτήματα, η τεχνολογία CPV κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερη δημοτικότητα σε περιοχές με υψηλά επίπεδα άμεσου ηλιακού φωτός, όπως οι νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, η Μέση Ανατολή και η Βόρεια Αφρική. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να βελτιώνεται και το κόστος μειώνεται, μπορεί να γίνει μια πιο βιώσιμη επιλογή για χρήση και σε άλλες περιοχές. [93]



Εικόνα 5.1. Συμμετοχή φωτοβολταϊκών στην Ελληνική αγορά

5.2.2. Υλικά κατασκευής

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ κατασκευάζονται από μια ποικιλία υλικών, καθένα από τα οποία παίζει το δικό του ρόλο στη λειτουργία τους. Το πυρίτιο, είναι το κύριο υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλιακών κυψελών, οι οποίες αποτελούν και τα δομικά στοιχεία των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Βάση της έκθεσης του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, η παγκόσμια παραγωγή πυριτίου για τα φωτοβολταϊκά πάνελ αυξήθηκε από 4.000 τόνους το 2000 σε 240.000 τόνους το 2019. Αυτή η αύξηση της παραγωγής οφείλεται κυρίως στην αυξανόμενη ζήτηση παγκοσμίως.

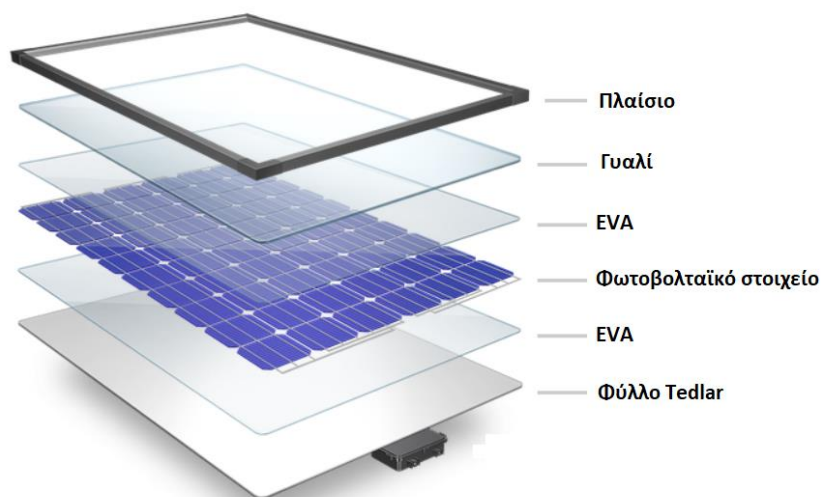
Το ανώτερο στρώμα ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι συνήθως κατασκευασμένο από σκληρυμένο γυαλί, το οποίο είναι ισχυρό και διαφανές. Το συγκεκριμένο είναι έως και τέσσερις φορές ισχυρότερο από το συνηθισμένο γυαλί του ίδιου πάχους και προστατεύει τα ηλιακά κύτταρα από τα στοιχεία της φύσης, ενώ επιτρέπει τη διέλευση του ηλιακού φωτός. Όταν το σκληρυμένο γυαλί σπάσει, θρυμματίζεται σε μικρά, κοκκώδη κομμάτια που είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν τραυματισμό από τα αιχμηρά θραύσματα του σπασμένου κοινού γυαλιού. Σύμφωνα με έκθεση του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL), το μέσο κόστος του γυαλιού που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια μειώθηκε από 16 δολάρια ανά τετραγωνικό μέτρο το 2010 σε 10 δολάρια ανά τετραγωνικό μέτρο το 2018. Αυτή η μείωση του κόστους οφείλεται στην αυξανόμενη ζήτηση για ηλιακή ενέργεια και στην πρόοδο της τεχνολογίας κατασκευής γυαλιού.

Το πίσω φύλλο, το οποίο αποτελεί το κάτω στρώμα ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, είναι συνήθως κατασκευασμένο από υλικό που προστατεύει το πλαίσιο από την υγρασία, την σκόνη και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Κατασκευάζονται συνήθως από πολυμερές υλικό που επιλέγεται με βάση την αντοχή του στην υπεριώδη ακτινοβολία, τις μεταβολές της θερμοκρασίας και την υγρασία. Οι τρεις κύριοι τύποι οπίσθιων φύλλων που χρησιμοποιούνται είναι τα φύλλα με βάση το Tedlar, όπου κατασκευάζονται από συνδυασμό του Tedlar, ενός πολυμερούς υλικού γνωστού για

την αντοχή του στην υπεριώδη ακτινοβολία, και άλλων υλικών όπως ο πολυεστέρας ή το πολυαμίδιο. Τα πίσω φύλλα με βάση το Tedlar είναι γνωστά για την εξαιρετική τους ανθεκτικότητα και μπορούν να αντέξουν την έκθεση σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες για έως και 25 χρόνια. Τα Υποστρώματα με βάση το φθοριούχο πολυβινύλιο (PVF) και άλλων πολυμερών όπως ο πολυεστέρας ή το πολυαμίδιο. Τα οπίσθια φύλλα με βάση το PVF είναι γνωστά για τις εξαιρετικές ηλεκτρομονωτικές τους ιδιότητες και την υψηλή αντοχή τους στην υγρασία και την υπεριώδη ακτινοβολία. Τέλος, τα υποστρώματα με βάση το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) όπου είναι γνωστά για το χαμηλό τους κόστος και την καλή αντοχή τους στην υπεριώδη ακτινοβολία, αλλά είναι λιγότερο ανθεκτικά από τα backsheets με βάση το Tedlar ή το PVF και μπορεί να απαιτούν αντικατάσταση μετά από 10-15 χρόνια. Παρόλο που τα φύλλα με βάση το Tedlar είναι συνήθως ακριβότερα από τα φύλλα με βάση το PVF ή το PET, η εξαιρετική αντοχή τους τα καθιστούν προτιμώμενη επιλογή για φωτοβολταϊκά πάνελ υψηλής απόδοσης που προορίζονται για χρήση σε σκληρά περιβάλλοντα.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετούνται συνήθως σε μεταλλικά πλαίσια που παρέχουν στήριξη και προστατεύουν τις άκρες του πάνελ. Κατασκευάζονται από αλουμίνιο, το οποίο είναι ένα ελαφρύ και ανθεκτικό υλικό στη διάβρωση στον άνεμο, το χιόνι και άλλες καιρικές συνθήκες, ενώ παράλληλα παρέχει μια στιβαρή πλατφόρμα για την εγκατάσταση των ηλιακών κυψελών και άλλων εξαρτημάτων. Τα πλαίσια που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή διατίθενται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις της εγκατάστασης. Τα τυπικά μεγέθη περιλαμβάνουν 35mm, 40mm και 50mm. Σύμφωνα με την ίδια έκθεση του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, το μέσο κόστος του αλουμινίου που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια μειώθηκε από 3,50 δολάρια ανά χιλιόγραμμα το 2010 σε 2,50 δολάρια ανά χιλιόγραμμα το 2018.

Το οξικό αιθυλένιο-βινύλιο (EVA) είναι ένα πολυμερές υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ. Επιτρέπει τη μέγιστη δυνατή μετάδοση του ηλιακού φωτός, εμποδίζοντας την υγρασία και τη σκόνη να διεισδύσουν στο φωτοβολταϊκό πάνελ και να καταστρέψουν τα ηλιακά κύτταρα. Εκτός από τις προστατευτικές του ιδιότητες, το EVA είναι επίσης εξαιρετικά ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να αντέξει την παρατεταμένη έκθεση στο ηλιακό φως χωρίς να υποβαθμίζεται ή να διασπάται. Εκτός από το EVA σημαντικό ρόλο παίζει και η αγωγή πάστα, η οποία χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των ηλιακών κυψελών και τη δημιουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος εντός του πάνελ. Είναι συνήθως κατασκευασμένη από υλικό με βάση τον άργυρο. Σύμφωνα με έκθεση του IEA, η παγκόσμια παραγωγή αργύρου για φωτοβολταϊκά κύτταρα αυξήθηκε από 45 μετρικούς τόνους το 2000 σε 400 μετρικούς τόνους το 2018.



Εικόνα 5.2. Βασικά υλικά φωτοβολταϊκού πάνελ [94]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα υλικά και οι ποσότητες βασικών φωτοβολταϊκών πάνελ.

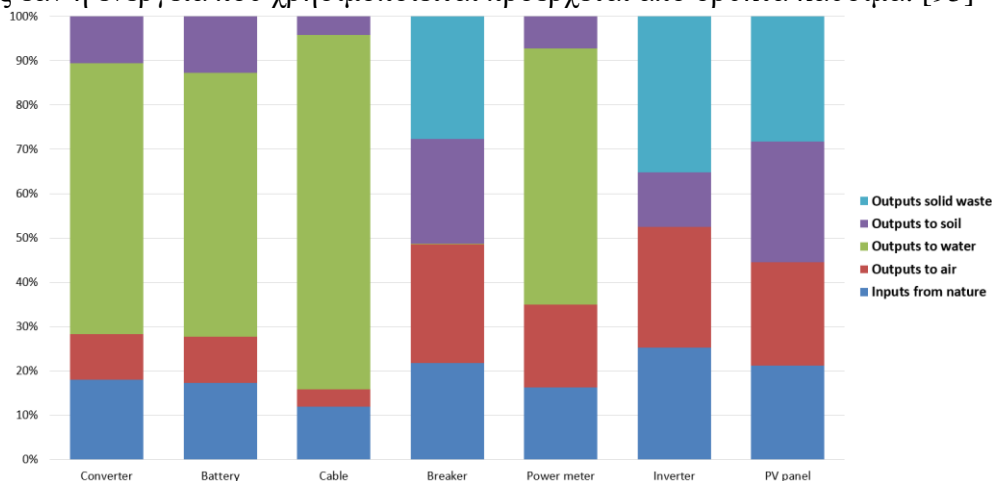
	Πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου	a-Si	CdTe	CIS/CIGS
Γυαλί	14,832	15,48	12,35	15,12
Αλουμίνιο	2,06	0,0063	0,0455	2,16
Πολυμερή EVA	1,31			0,54
PP πολυπροπυλένιο	0,72			
PET πολυτερεφθαλικό αιθυλένιο	0,72			
PVF πολυβινυλοφθορίδιο	0,72			
Πολυόλη/ MDI		2,16		
Χαλκός	0,114	0,162	0,13	0,144
Άργυρος	0,001			
Κασσίτερος	0,024	0,00774		
Ψευδάργυρος	0,024		0,0013	0,0216
Πυρίτιο	0,67	0,01152		
Μόλυβδος	0,012			0,009
Κάδμιο			0,0091	0,00009
Τελλούριο			0,0091	
Ίνδιο		0,09		0,0036
Σελήνιο				0,0054
Γάλλιο				0,0018

Πίνακας 5.1. Υλικά και ποσότητες φωτοβολταϊκών πάνελ

5.2.3. Περιβαλλοντική συμπεριφορά και AKZ φωτοβολταϊκών πάνελ

Η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς συνδέεται με ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, από την κατασκευή έως την απόρριψη, και παρέχεται μέσω ενός περιβαλλοντικού προφίλ. Μπορεί να περιλαμβάνει μια ποικιλία περιβαλλοντικών δεικτών που παρακολουθούν διάφορες επιπτώσεις στη φύση, στο έδαφος το νερό κ.ά.

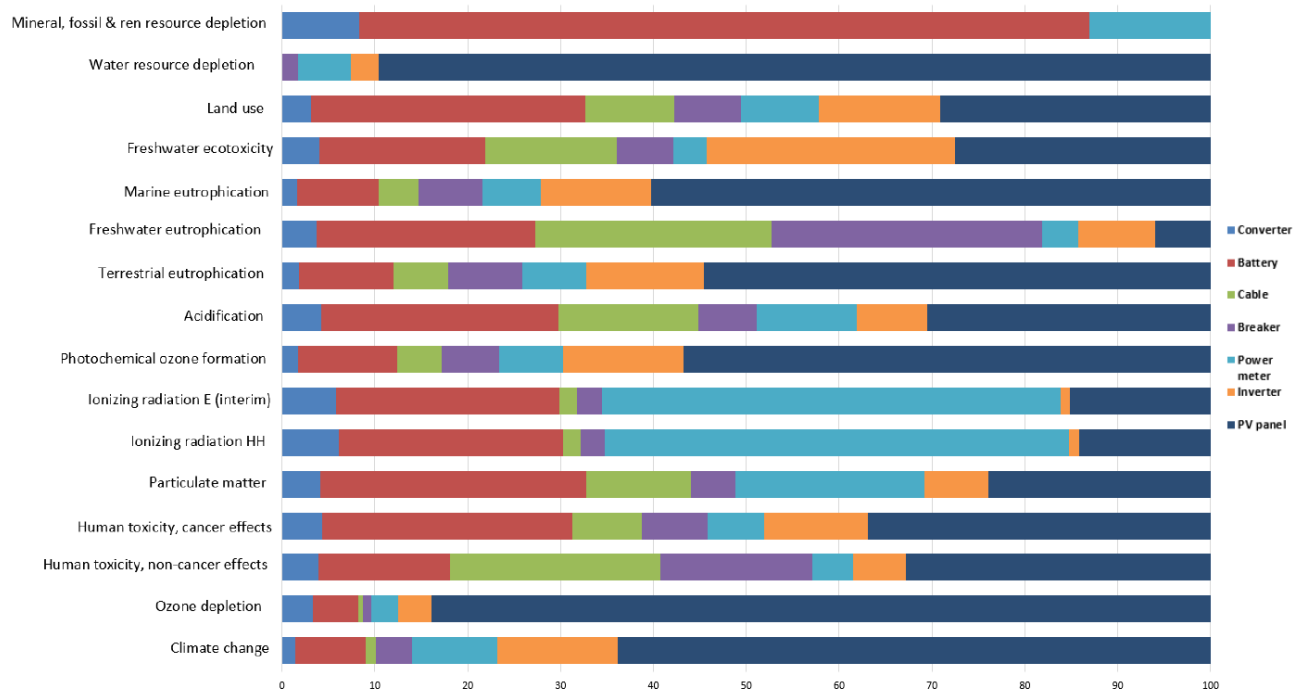
Τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη λειτουργία τους, καθώς δεν εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου ή άλλους ρύπους και δεν απαιτείται κάποιο είδος καυσίμου για την λειτουργία τους. Ωστόσο, η παραγωγή των πλαισίων απαιτεί τη χρήση υλικών όπως το πυρίτιο, μέταλλα και άλλα χημικά, καθώς και μεγάλα ποσά ενέργειας για την κατασκευή, τη μεταφορά και την εγκατάσταση. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος των φωτοβολταϊκών πλαισίων επηρεάζεται έντονα από τη διαδικασία κατασκευής και τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή. Η παραγωγή, μπορεί να δημιουργήσει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τοξικά απόβλητα και άλλους ρύπους, ιδίως εάν η ενέργεια που χρησιμοποιείται προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. [95]



Εικόνα 5.3. Εισροές και εκροές κύκλου ζωής φωτοβολταϊκού συστήματος [95]

Βάση της παραπάνω εικόνας, τα πάνελ απορροφούν από τη φύση ένα ποσοστό του 22% στη φάση παραγωγής και απελευθερώνουν στον αέρα, το έδαφος και τα στερεά απόβλητα ένα ποσοστό γύρω στο 33%. Ωστόσο, δεν φαίνεται να επηρεάζουν καθόλου το νερό. Αντίθετα, ο μετατροπέας, η μπαταρία, το καλώδιο και ο μετρητής ισχύος απελευθερώνουν μεγαλύτερη παραγωγή στο νερό, ενώ ο μετατροπέας, ο διακόπτης και το φωτοβολταϊκό πάνελ απελευθερώνουν μεγαλύτερη παραγωγή ως στερεά απόβλητα (υγειονομική ταφή). Επομένως, η ανακύκλωση στο τέλος του κύκλου ζωής αυτών των βασικών εξαρτημάτων είναι απαραίτητη για να ξεπεραστούν τα προβλήματα που σχετίζονται με την έκθεσή τους στο νερό και το έδαφος.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από κάθε στοιχείο των φωτοβολταϊκών απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα. Οι μέγιστες επιπτώσεις σημειώθηκαν για την κλιματική αλλαγή, τη μείωση του όζοντος, την ανθρώπινη τοξικότητα, τη φωτοχημική μείωση του όζοντος, την οξίνιση, το χερσαίο και θαλάσσιο ευτροφισμό και την εξάντληση των υδάτινων πόρων από το φωτοβολταϊκό πάνελ. Από την άλλη πλευρά, η μπαταρία φαίνεται πως επηρεάζει αρκετά τους δείκτες επιπτώσεων των ορυκτών και ανανεώσιμων πόρων, τη χρήση γης και τον ευτροφισμό των γλυκών υδάτων. Ο μετρητής ισχύος είναι κυρίως υπεύθυνος για τις επιπτώσεις που βασίζονται στην ιονίζουσα ακτινοβολία. [95]



Εικόνα 5.4. Περιβαλλοντικό προφίλ φωτοβολταϊκού [95]

Εκτός από την περιβαλλοντική συμπεριφορά που έχουν τα φωτοβολταϊκά, σημαντικό ρόλο παίζει η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά το κύκλο ζωής τους. Η παραγωγή, η μεταφορά και η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ απαιτούν μεγάλα ποσά πρωτογενούς ενέργειας και δημιουργούν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, μελέτες έχουν δείξει ότι τόσο οι εκπομπές CO₂ όσο και οι καταναλώσεις ενέργειας είναι σημαντικά χαμηλότερες συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	1,1e+03	0,5	67	83,8
Manufacture	133	0,1	10,5	13,1
Transport	25,2	0,0	1,81	2,3
Use	0	0	0	0,0
Disposal	9,16	0,0	0,641	0,8
Total (for first life)	2,38e+05	100	80	100
End of life potential	-293		-20	

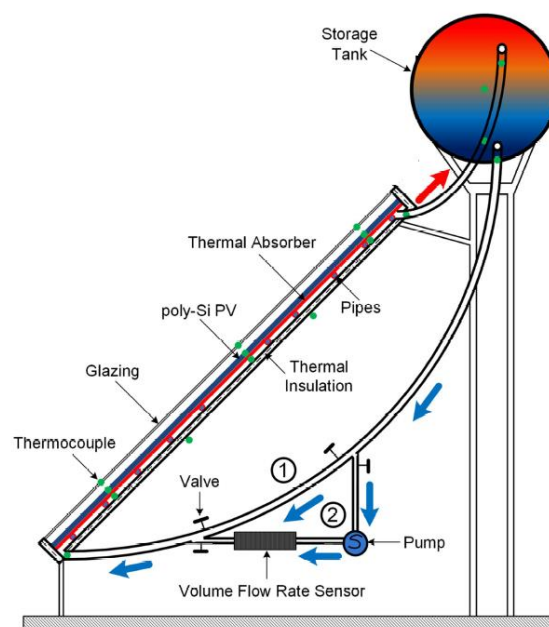
Πίνακας 5.2. Ανάλυση Κύκλου Ζωής φωτοβολταϊκού πάνελ CIS/CIGS

5.3. Θερμικά/ Φωτοβολταϊκά συστήματα

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μόνο ένα μέρος από την ηλιακή ακτινοβολία όπου προσπίπτει στις κυψέλες μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η υπόλοιπη ποσότητα μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία χάνεται στο περιβάλλον ως απώλεια, ενώ παράλληλα παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού έως και 50 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό έχει ως επακόλουθο αφενός μεν την μειωμένη απόδοση κατά 0,4% ανά βαθμό κελσίου αφετέρου προκαλείται βλάβη του πάνελ λόγω παρατεταμένης λειτουργίας σε υψηλή θερμοκρασία. Έτσι, τα φωτοβολταϊκά αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα, κυρίως το καλοκαίρι, όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι υψηλή.

Στο συγκεκριμένο σενάριο, τα θερμικά φωτοβολταϊκά προσφέρουν τη βέλτιστη λύση λόγω των διπλών πλεονεκτημάτων τους. Όχι μόνο ψύχουν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αλλά και χρησιμοποιούν αποτελεσματικά την περίσσεια θερμικής ενέργειας. Η λειτουργία των θερμικών φωτοβολταϊκών είναι παρόμοια με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά συστήματα. Για τη δέσμευση της θερμότητας, ένας εναλλάκτης θερμότητας από αλουμίνιο εγκαθίσταται συνήθως στο πίσω μέρος του πάνελ. Η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στη συνέχεια μέσω ενός κλειστού κυκλώματος ρευστού στις εγκαταστάσεις ανάκτησης θερμότητας. Ως αποτέλεσμα, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν συνολική απόδοση έως και 70%. Η απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται από 10% έως 20%, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, ενώ η απόδοση παραγωγής θερμότητας κυμαίνεται από 40% έως 60%.

Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει άμεση ανάγκη για θερμική ενέργεια και η μεταφορά και η αποθήκευσή της αποτελούν προκλήσεις, καθώς η τεχνολογία αυτή μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμη. Ωστόσο, αποδεικνύεται εξαιρετική λύση για κτίρια που χρειάζονται θέρμανση με αέρα ή ζεστό νερό. Τα κτίρια αυτά περιλαμβάνουν μια σειρά από κατασκευές, όπως μικρές ή μεγάλες κατοικίες, αθλητικά κέντρα, γυμναστήρια, νοσοκομεία, ξενώνες και βιομηχανικά κτίρια που απαιτούν ζεστό νερό για διάφορες διεργασίες ή θερμότητα για στέγνωμα. [96]



Εικόνα 5.5. Τυπική μορφή PVT συστήματος [96]

5.3.1. Κατηγορίες θερμικών φωτοβολταϊκών

Υπάρχουν γενικά δύο βασικές κατηγορίες:

Θερμικά φωτοβολταϊκά πάνελ με βάση το νερό

Στην συγκεκριμένη κατηγορία τα πάνελ χρησιμοποιούν το νερό ως ρευστό για τη συλλογή και μεταφορά της θερμότητας που παράγεται από τα ηλιακά κύτταρα σε μια δεξαμενή νερού. Το θερμαινόμενο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων ή για εφαρμογές ζεστού νερού χρήσης. Θεωρούνται γενικά πιο αποδοτικά, καθώς το νερό έχει υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα συγκριτικά με τον αέρα, έτσι η θερμότητα μεταφέρεται πιο αποτελεσματικά.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τεχνολογίας PVT με βάση το νερό: τα σχέδια επίπεδης πλάκας και του εκκενωμένου σωλήνα. Οι επίπεδες πλάκες αποτελούνται από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ στο ανώτερο στρώμα, ένα κανάλι νερού κάτω από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα και έναν θερμικό απορροφητή στο κατώτερο στρώμα. Ο απορροφητής απορροφά την περίσσεια θερμότητας από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα και το νερό στο κανάλι απορροφά τη θερμότητα από τον απορροφητή. Από την άλλη πλευρά, τα πάνελ με εκκενωμένο σωλήνα αποτελούνται από μια σειρά εκκενωμένων σωλήνων, καθένας από τους οποίους περιέχει μια φωτοβολταϊκή κυψέλη και έναν σωλήνα νερού. Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από το ηλιακό φως, ενώ το νερό στους σωλήνες απορροφά την περίσσεια θερμότητας από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες. Και στις δύο περιπτώσεις, το θερμαινόμενο νερό μεταφέρεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης ή σε ένα σύστημα θέρμανσης.

Μια μελέτη που διεξήχθη διερεύνησε τη θερμική απόδοση ενός PVT πλαισίου με βάση το νερό με σχεδιασμό επίπεδης πλάκας. Διαπιστώθηκε ότι ήταν σε θέση να επιτύχει ηλεκτρική απόδοση 10,8%, θερμική απόδοση 45,7% και συνολική απόδοση 56,5%. Η μελέτη διαπίστωσε επίσης ότι το πάνελ μπορούσε να αυξήσει τη συνολική παραγωγή ενέργειας κατά 16% σε σύγκριση με ένα ξεχωριστό φωτοβολταϊκό και ηλιοθερμικό σύστημα. [97]

Θερμικά φωτοβολταϊκά πάνελ με βάση τον αέρα

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι πάνελ με βάση τον αέρα, οι φωτοβολταϊκοί-θερμικοί συλλέκτες και συγκεντρωτικοί φωτοβολταϊκοί-θερμικοί συλλέκτες. Οι φωτοβολταϊκοί-θερμικοί συλλέκτες χρησιμοποιούν σχεδιασμό επίπεδης πλάκας που ενσωματώνει φωτοβολταϊκά στοιχεία με πλάκα απορρόφησης θερμότητας. Η πλάκα είναι συνήθως κατασκευασμένη από μέταλλο ή άλλο θερμικά αγωγικό υλικό και θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου. Η θερμότητα στη συνέχεια μεταφέρεται στον αέρα, που κυκλοφορεί μέσω του συλλέκτη, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρου ή θέρμανση νερού. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τις ακτίνες του ήλιου, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιτόπια

παραγωγή ενέργειας ή να διοχετευθεί πίσω στο δίκτυο. Από την άλλη πλευρά, οι συγκεντρωτικοί φωτοβολταϊκοί-θερμικοί συλλέκτες χρησιμοποιούν έναν συγκεντρωτή για να εστιάσουν τις ακτίνες του ήλιου σε μια μικρή περιοχή φωτοβολταϊκών κυττάρων. Σε αυτή τη κατηγορία έχουμε υψηλότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συγκριτικά με την πρώτη. Ο συγκεντρωτής παράγει επίσης θερμότητα, η οποία μπορεί να μεταφερθεί στον αέρα. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι ότι μπορούν να επιτύχουν υψηλότερες ηλεκτρικές αποδόσεις, αλλά είναι πιο πολύπλοκη και ακριβή στην κατασκευή της. Και οι δύο τύποι συλλεκτών έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ένα ενιαίο σύστημα, καθιστώντας τους πιο αποδοτικούς και οικονομικούς από τους παραδοσιακούς ηλιακούς συλλέκτες ή τα ξεχωριστά ηλιοθερμικά και φωτοβολταϊκά συστήματα. Ωστόσο, η απόδοση αυτών των συστημάτων μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την τοποθεσία, τις καιρικές συνθήκες και άλλους παράγοντες. [98]

Μια μελέτη που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Energy and Buildings το 2017 αξιολόγησε την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος με βάση τον αέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα πέτυχε θερμική απόδοση 56% και ηλεκτρική απόδοση 14% και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το προτεινόμενο σύστημα θα μπορούσε να αποτελέσει μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας.[99] Μια άλλη μελέτη δημοσιεύτηκε το 2018 όπου διερευνούσε την απόδοση ενός πρόσφατα σχεδιασμένου συστήματος με διαφορετικές διαμορφώσεις των πλακών απορρόφησης. Η πειραματική διάταξη αποτελούνταν από έναν επίπεδο συλλέκτη PVT με διαμόρφωση πλάκας απορρόφησης τριών στρωμάτων. Το σύστημα δοκιμάστηκε υπό διαφορετικές ταχύτητες ροής ρευστού και επίπεδα ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμική απόδοση του συστήματος κυμάνθηκε από 46,5% έως 67,8%, ενώ η ηλεκτρική απόδοση κυμάνθηκε από 4,6% έως 6,8%. [100]

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα φωτοβολταϊκά/θερμικά πάνελ μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον ειδικό σχεδιασμό και τις διαδικασίες κατασκευής. Συνδυάζουν φωτοβολταϊκά στοιχεία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικούς συλλέκτες για την απορρόφηση θερμότητας. Ακολουθούν ορισμένα κοινά υλικά που συνήθως συναντώνται:

- *Φωτοβολταϊκά (PV) κύτταρα:* Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι το βασικό συστατικό που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο, το οποίο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω σε μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Αυτά τα υλικά προσφέρουν υψηλή απόδοση και μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Επιπλέον, τεχνολογίες λεπτών υμενίων, όπως το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), το σεληνιούχο γάλλιο ινδίου χαλκού (CIGS) και το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιούνται επίσης σε ορισμένα σχέδια φωτοβολταϊκών πλαισίων, προσφέροντας ευελιξία και χαμηλότερο κόστος κατασκευής.
- *Απορροφητής θερμότητας:* Ο απορροφητής θερμότητας είναι υπεύθυνος για την απορρόφηση της ηλιακής θερμικής ενέργειας και τη μεταφορά της στο

εργαζόμενο ρευστό. Τα κοινά υλικά που χρησιμοποιούνται ως απορροφητές θερμότητας περιλαμβάνουν μέταλλα όπως ο χαλκός ή το αλουμίνιο. όπου διαθέτουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα, επιτρέποντας την αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας από τον απορροφητή στο ρευστό που κυκλοφορεί εντός του πάνελ.

- *Ρευστό μεταφοράς θερμότητας:* Το ρευστό που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση και τη μεταφορά θερμότητας ποικίλλει, με τον αέρα, το νερό ή ένα συνδυασμό και των δύο να είναι τα συνηθέστερα. Η επιλογή του ρευστού μεταφοράς θερμότητας εξαρτάται από παράγοντες όπως η απόδοση του συστήματος, το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας και οι απαιτήσεις της εφαρμογής.
- *Υλικά ενθυλάκωσης:* Τα πάνελ PVT απαιτούν υλικά ενθυλάκωσης για την προστασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των απορροφητών θερμότητας από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η υγρασία, η σκόνη και η μηχανική καταπόνηση. Συνήθως, τα υλικά αυτά αποτελούνται από προστατευτικό γυαλί ή πολυμερή όπως οξικό αιθυλένιο-βινύλιο (EVA) ή πολυβινυλοβουτυράλη (PVB).
- *Πλαίσιο και δομές στήριξης:* Τα πάνελ τοποθετούνται σε πλαίσια ή δομές στήριξης για να παρέχουν σταθερότητα και να διευκολύνουν την εγκατάσταση. Αυτές οι δομές κατασκευάζονται συνήθως από μέταλλα όπως αλουμίνιο ή χάλυβα, τα οποία προσφέρουν αντοχή, ανθεκτικότητα και αντίσταση στη διάβρωση.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα σχέδια και τα υλικά των πάνελ μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τους συγκεκριμένους κατασκευαστές, τις εφαρμογές και τις τεχνολογικές εξελίξεις. Επιπλέον, η συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα μπορεί να εισαγάγει νέα υλικά και τεχνολογίες για την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης και της αποδοτικότητάς τους. [95,96]

5.3.2. Περιβαλλοντική συμπεριφορά και Ανάλυση κύκλου ζωής θερμικών φωτοβολταϊκών

Η περιβαλλοντική συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών πλαισίων περιλαμβάνει διάφορες πτυχές, όπως η παραγωγή ενέργειας, η χρήση των πόρων και η διαχείριση των αποβλήτων. Όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν διπλή λειτουργία: παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Αυτή η συνδυασμένη προσέγγιση επιτρέπει υψηλότερες αποδόσεις μετατροπής ενέργειας σε σύγκριση με μεμονωμένα φωτοβολταϊκά ή ηλιοθερμικά συστήματα. Με την ταυτόχρονη παραγωγή και των δύο μορφών ενέργειας, τα πάνελ PVT μπορούν να αξιοποιήσουν μεγαλύτερο μέρος των διαθέσιμων ηλιακών πόρων, καθιστώντας τα πιο αποδοτικά και μειώνοντας την ανάγκη για πρόσθετες πηγές ενέργειας.

Η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί βασική πτυχή της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα πρέπει να επιδιώκουν τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις ενεργειακές απαιτήσεις κατά την κατασκευή και τη λειτουργία. Παράγοντας καθαρή ενέργεια, μπορούν να συμβάλουν

στη μείωση αφενός μεν των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και αφετέρου στην εξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα.

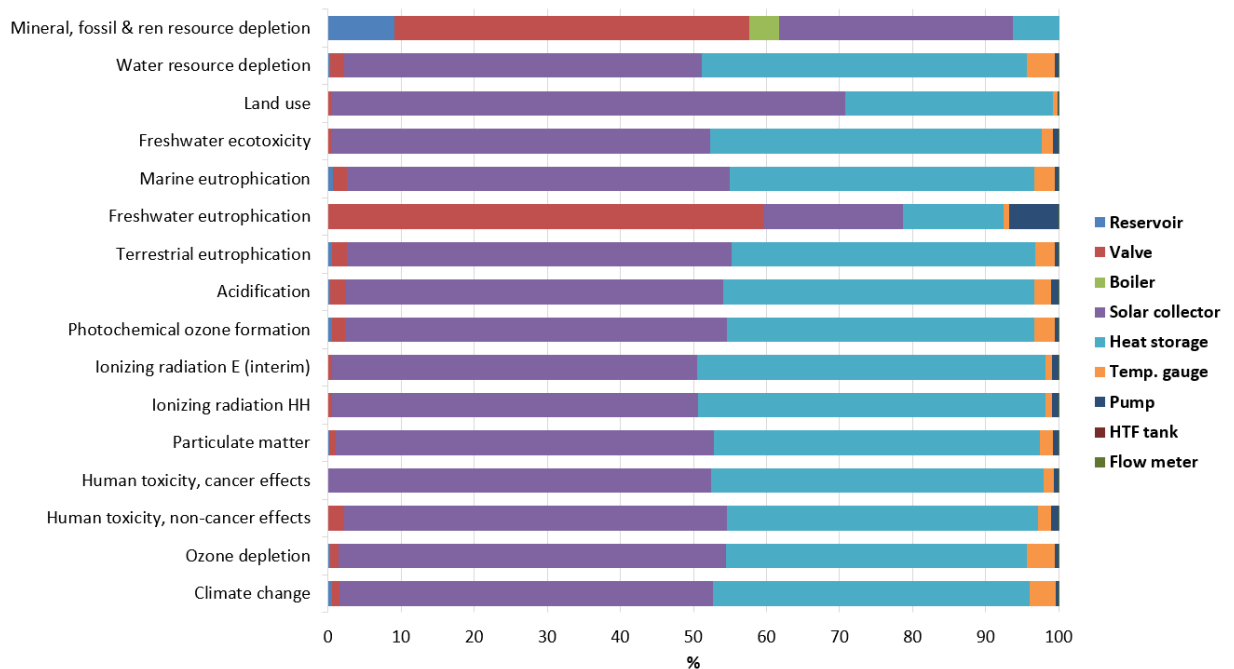
Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν επίσης μια σημαντική περιβαλλοντική ανησυχία. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις εκπομπές αντισταθμίζοντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εκπομπές που συνδέονται με τη διαδικασία κατασκευής και η ενέργεια που απαιτείται για την εξόρυξη και τη μεταφορά των πρώτων υλών. Οι βιώσιμες πρακτικές κατασκευής και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των πάνελ.

Η χρήση των πόρων είναι μια άλλη κρίσιμη πτυχή της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς. Τα πάνελ PVT θα πρέπει να στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης των πρώτων υλών, στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και στη μείωση της εξάντλησης των φυσικών πόρων. Η βιώσιμη προμήθεια υλικών, οι αποδοτικές διαδικασίες κατασκευής και η εφαρμογή προγραμμάτων ανακύκλωσης και ανάκτησης μπορούν να συμβάλουν στην υπεύθυνη διαχείριση των πόρων.

Η παραγωγή και η διάθεση αποβλήτων αποτελούν σημαντικές εκτιμήσεις. Τα πάνελ θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα απόβλητα κατά την κατασκευή και να μεγιστοποιούνται οι δυνατότητες ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησης των εξαρτημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Οι κατάλληλες πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων, όπως η ανακύκλωση, μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα και να αποτρέψουν την απελευθέρωση επικίνδυνων υλικών στο περιβάλλον.

Εκτός από τις άμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, θα πρέπει να αξιολογούνται και οι οικολογικές επιπτώσεις. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση των πιθανών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, τη βιοποικιλότητα και τα φυσικά ενδιαίτηματα. Η προσεκτική επιλογή της τοποθεσίας, οι εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τα μέτρα μετριασμού μπορούν να συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση των οικολογικών διαταραχών που συνδέονται με την εγκατάσταση και τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων. [95,96]

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται πως επηρεάζει ένα θερμικό φωτοβολταϊκό ορισμένους περιβαλλοντικούς δείκτες.



Εικόνα 5.6. Περιβαλλοντική συμπεριφορά θερμικά φωτοβολταϊκά [95]

Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι μια συστηματική προσέγγιση που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά θερμικά πάνελ και παρέχει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις αυτών των συστημάτων, βοηθώντας στον εντοπισμό τομέων για βελτίωση και καθοδηγώντας τη λήψη βιώσιμων αποφάσεων.

Κατά τη φάση της εξόρυξης των πρώτων υλών, αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την εξόρυξη και την επεξεργασία των υλικών που χρησιμοποιούνται. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας, της χρήσης νερού και των πιθανών οικολογικών συνεπειών της εξόρυξης πόρων. Για παράδειγμα, η εξόρυξη του πυριτίου, ενός βασικού υλικού, μπορεί να περιλαμβάνει ενεργοβόρες διεργασίες και ενδεχομένως να παράγει απόβλητα ή εκπομπές. Το στάδιο της κατασκευής περιλαμβάνει την επεξεργασία των πρώτων υλών, τη συναρμολόγηση των μονάδων και τη συσκευασία. Αυτή η φάση εξετάζει την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τη δημιουργία αποβλήτων που συνδέονται με τις διαδικασίες κατασκευής. Οι αποδοτικές τεχνικές κατασκευής, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου. Η φάση λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η περίοδος κατά την οποία παράγουν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Η φάση του τέλους του κύκλου ζωής περιλαμβάνει την απόρριψη ή την ανακύκλωση τους. Οι κατάλληλες πρακτικές διάθεσης είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή μόλυνσης του περιβάλλοντος. Εναλλακτικά, η ανακύκλωση των πάνελ μπορεί να συμβάλει στην ανάκτηση πολύτιμων υλικών και στη μείωση της ζήτησης για πρωτογενείς πόρους.

Καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των πάνελ PVT, η AKZ εξετάζει διάφορες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των

περιβαλλοντικών συμβιβασμών και βοηθά στον εντοπισμό ευκαιριών βελτίωσης σε κάθε στάδιο. [95,96]

5.4. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα θερμικών φωτοβολταϊκών

Τα θερμικά φωτοβολταϊκά είναι καινοτόμα συστήματα ηλιακής ενέργειας που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα τόσο των φωτοβολταϊκών όσο και των ηλιοθερμικών τεχνολογιών. Έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή για τις δυνατότητές τους να αυξήσουν τη συνολική ενεργειακή απόδοση και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, όπως κάθε τεχνολογία, έτσι και αυτή, έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά. [101]

Ορισμένα πλεονεκτήματα είναι:

- Αυξημένη ενεργειακή απόδοση: Τα φωτοβολταϊκά πάνελ προσφέρουν το πλεονέκτημα της ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Αυτή η διπλή λειτουργικότητα βελτιώνει τη συνολική ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά ή ηλιοθερμικά συστήματα. Ποσοτικά στοιχεία δείχνουν ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να έχει απόδοση μετατροπής ενέργειας έως και 70%, η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη από τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά συστήματα.
- Ενισχυμένη απόδοση σε ψυχρά κλίματα: Τα πάνελ PVT παρουσιάζουν βελτιωμένη απόδοση σε ψυχρότερα κλίματα σε σύγκριση με τα μεμονωμένα φωτοβολταϊκά πάνελ. Η συλλεγόμενη απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων, θέρμανση νερού ή άλλες εφαρμογές θέρμανσης, αυξάνοντας έτσι τη συνολική ενεργειακή απόδοση και αποδοτικότητα του συστήματος. Μελέτες έχουν δείξει ότι μπορούν να βελτιώσουν την ηλεκτρική απόδοση έως και 15% σε ψυχρότερα κλίματα.
- Μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου: Με την παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας, τα πάνελ συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ποσοτικά στοιχεία δείχνουν ότι μπορούν να αντισταθμίσουν σημαντική ποσότητα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, οδηγώντας σε μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για παράδειγμα, μια συγκριτική μελέτη διαπίστωσε ότι τα πάνελ PVT μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ έως και 40% σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης.
- Εξοικονόμηση κόστους: Τα πάνελ προσφέρουν το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης κόστους παρέχοντας συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Με τη χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας, μπορούν να μειώσουν την ανάγκη για πρόσθετα συστήματα θέρμανσης, με αποτέλεσμα χαμηλότερο ενεργειακό κόστος. Μια ποσοτική μελέτη ανέφερε ότι μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση κόστους έως και 30% συγκριτικά με ξεχωριστά φωτοβολταϊκά και ηλιοθερμικά συστήματα.

Εν τούτοις, πέρα από τα πλεονεκτήματα παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα.

- Υψηλότερο αρχικό κόστος: Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα είναι το υψηλότερο αρχικό τους κόστος σε σύγκριση με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά ή ηλιοθερμικά συστήματα. Η ενσωμάτωση και των δύο τεχνολογιών σε έναν ενιαίο πίνακα αυξάνει την πολυπλοκότητα κατασκευής και, κατά συνέπεια, την τιμή. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το κόστος μειώνεται σταθερά με την πάροδο των ετών, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και πραγματοποιούνται οικονομίες κλίμακας.
- Περιορισμένη διαθεσιμότητα στην αγορά: Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι ακόμη σχετικά νέα και έχει πιο περιορισμένη διαθεσιμότητα στην αγορά σε σύγκριση με τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά ή ηλιοθερμικά συστήματα. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις όσον αφορά την προσβασιμότητα, την εγκατάσταση και την εξεύρεση εξειδικευμένων εγκαταστατών. Ωστόσο, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και η ευαισθητοποίηση αυξάνεται, η διαθεσιμότητα στην αγορά αναμένεται να βελτιωθεί.
- Απαιτήσεις συντήρησης: Τα πάνελ ενδέχεται να έχουν ελαφρώς υψηλότερες απαιτήσεις συντήρησης σε σύγκριση με τους αυτόνομους φωτοβολταϊκούς πίνακες λόγω των πρόσθετων εξαρτημάτων και της πολυπλοκότητας του συστήματος. Ο τακτικός καθαρισμός, η επιθεώρηση τόσο των ηλεκτρικών όσο και των θερμικών συνδέσεων και η παρακολούθηση της απόδοσης τόσο της ηλεκτρικής όσο και της θερμικής παραγωγής είναι απαραίτητες για τη βέλτιστη λειτουργία. Ωστόσο, με την κατάλληλη συντήρηση, μπορεί να διασφαλιστεί η μακροζωία και η απόδοση.
- Προκλήσεις διάχυσης θερμότητας: Τα πάνελ μπορεί να αντιμετωπίσουν προκλήσεις διάχυσης της θερμότητας, ιδίως σε θερμότερα κλίματα. Εάν δεν γίνει σωστή διαχείριση, η υπερβολική συσσώρευση θερμότητας μπορεί να μειώσει την ηλεκτρική απόδοση. Ωστόσο, οι αποτελεσματικές στρατηγικές σχεδιασμού, όπως η ενσωμάτωση μηχανισμών ψύξης ή ο επαρκής εξαερισμός, μπορούν να συμβάλουν στον μετριασμό αυτού του ζητήματος και στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.

5.5. Σύγκριση συμβατικών και θερμικών φωτοβολταϊκών

Τα συμβατικά και τα θερμικά φωτοβολταϊκά πάνελ είναι δύο τεχνολογίες που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, αλλά διαφέρουν ως προς τις δυνατότητες και τις εφαρμογές τους. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν σχεδιαστεί κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μετατρέποντας απευθείας το ηλιακό φως. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων οικιακών, εμπορικών και κοινωφελών εφαρμογών, όπου η έμφαση δίνεται στην κάλυψη της ζήτησης για καθαρή ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν συλλαμβάνουν ή δεν αξιοποιούν την περίσσεια θερμότητας που παράγεται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να χάνεται η ευκαιρία μεγιστοποίησης της παραγωγής

Αντίθετα, τα θερμικά φωτοβολταϊκά αποτελούνται από φωτοβολταϊκά στοιχεία με θερμικό συλλέκτη, επιτρέποντας την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και

τη χρήση της πλεονάζουσας θερμότητας. Προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη ενεργειακή λύση, καθώς μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ταυτόχρονα αξιοποιούν και τη θερμική ενέργεια που συλλέγεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση νερού, θέρμανση χώρου ή άλλες θερμικές εφαρμογές, ενισχύοντας τη συνολική ενεργειακή απόδοση του συστήματος. Αυτή η διπλή λειτουργία διαφοροποιεί τα πάνελ PVT από τα συμβατικά, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπου απαιτείται τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια. Ένα βασικό τους πλεονέκτημα είναι η βελτιωμένη συνολική παραγωγή ενέργειας και η αποδοτικότητά τους συγκριτικά με τα συμβατικά πάνελ. Επιπλέον, το θερμικό στοιχείο βοηθά στην ψύξη των φωτοβολταϊκών κυττάρων, μετριάζοντας τις αρνητικές επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών και ενδεχομένως παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Αυτό καθιστά τα πάνελ PVT πιο ανθεκτικά σε θερμότερα κλίματα, όπου η υπερβολική θερμότητα μπορεί να υποβαθμίσει την απόδοση των πάνελ.

Η επιλογή μεταξύ των συμβατικών πάνελ και των θερμικών πάνελ εξαρτάται από τις συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις και εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι κατάλληλα όταν η πρωταρχική εστίαση είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως σε οικιακές και εμπορικές εγκαταστάσεις. Είναι αποτελεσματικά στην τροφοδοσία των κτιρίων και στην επιστροφή της πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο. Από την άλλη πλευρά, τα πάνελ PVT πλεονεκτούν σε σενάρια όπου απαιτείται τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια, όπως σε οικιστικά κτίρια με ζήτηση για θέρμανση χώρων ή ζεστό νερό χρήσης. Έχουν ιδιαίτερη αξία σε ψυχρότερα κλίματα, όπου μπορούν να παρέχουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια από ένα ενιαίο ολοκληρωμένο σύστημα. Ωστόσο, παράγοντες όπως το κόστος, ο διαθέσιμος χώρος και η ισορροπία μεταξύ των αναγκών σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή μεταξύ των δύο τεχνολογιών.

5.6. Εφαρμογές θερμικών φωτοβολταϊκών

Τα θερμικά φωτοβολταϊκά είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία και μπορεί να αξιοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των κατοικιών, των εμπορικών κτιρίων, της γεωργίας, των βιομηχανικών διεργασιών και της υβριδικής παραγωγής ενέργειας. [102]

Κτίρια κατοικιών

Σε οικιακές εφαρμογές, τα συστήματα PVT μπορούν να παρέχουν τόσο ηλεκτρική ενέργεια όσο και θερμότητα, καθιστώντας τα ιδιαίτερα αποδοτικά όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο μπορεί να τροφοδοτήσει το νοικοκυριό, ενώ η θερμική ενέργεια που συλλέγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση χώρων, τη θέρμανση νερού, ακόμη και για την υποστήριξη συστημάτων κλιματισμού. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε οικιστικά κτίρια προσφέρουν μια βιώσιμη και οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για την κάλυψη τόσο των αναγκών σε ηλεκτρική όσο και σε θερμική ενέργεια, μειώνοντας την εξάρτηση από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας και μειώνοντας τους λογαριασμούς κοινής ωφέλειας.

Εμπορικά κτήρια

Τα εμπορικά κτήρια συχνά έχουν υψηλές απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό, συσκευές και εξοπλισμό, καθώς και θερμικής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Τα συγκεκριμένα συστήματα μπορούν να ενσωματωθούν στην υποδομή του κτιρίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη δέσμευση της πλεονάζουσας θερμότητας για θέρμανση ή ψύξη του χώρου. Με τη χρήση της τεχνολογίας, τα εμπορικά κτήρια μπορούν να μειώσουν σημαντικά το ενεργειακό κόστος και το αποτύπωμα άνθρακα, προωθώντας τη βιωσιμότητα στον επιχειρηματικό τομέα.

Γεωργία

Οι γεωργικές εφαρμογές επωφελούνται σε μεγάλο βαθμό από τα συγκεκριμένα συστήματα, ιδίως στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Τα πάνελ μπορούν να εγκατασταθούν στις στέγες των θερμοκηπίων, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία των συστημάτων φωτισμού και εξαερισμού. Ταυτόχρονα, η πλεονάζουσα θερμότητα που συλλέγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, παρέχοντας βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών. Έτσι αναπτύσσονται βιώσιμες γεωργικές πρακτικές, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προωθώντας την ενεργειακή απόδοση στον τομέα της γεωργίας.

Βιομηχανικές διεργασίες

Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να ενσωματωθεί σε βιομηχανικές διεργασίες για να καλύψει τόσο τις ανάγκες σε ηλεκτρική όσο και σε θερμική ενέργεια. Οι βιομηχανικοί τομείς που απαιτούν διεργασίες υψηλής θερμοκρασίας, όπως η επεξεργασία τροφίμων, η κλωστοϋφαντουργία και η παραγωγή χημικών προϊόντων, μπορούν να επωφεληθούν από τέτοια συστήματα. Τα συστήματα αυτά παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία των μηχανημάτων και ταυτόχρονα συλλαμβάνουν και χρησιμοποιούν την περίσσεια θερμότητας για διάφορες θερμικές διεργασίες, βελτιώνοντας τη συνολική ενεργειακή απόδοση και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος.

Υβριδική παραγωγή ενέργειας

Τα συστήματα PVT μπορούν να ενσωματωθούν σε υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας, συνδυάζοντας την ηλιακή ενέργεια με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για παράδειγμα, μπορούν να λειτουργήσουν συνεργατικά με ανεμογεννήτριες ή σταθμούς παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, όπου η πλεονάζουσα θερμότητα από τα πάνελ μπορεί να αξιοποιηθεί για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του υβριδικού συστήματος. Τέτοιες ολοκληρωμένες διατάξεις επιτρέπουν την αύξηση της παραγωγής ενέργειας και τη βελτίωση της σταθερότητας του δικτύου, συμβάλλοντας σε μια πιο βιώσιμη και αξιόπιστη παροχή ενέργειας.

Κεφάλαιο 6^ο : Τεχνολογίες και προϊόντα ανάκτησης

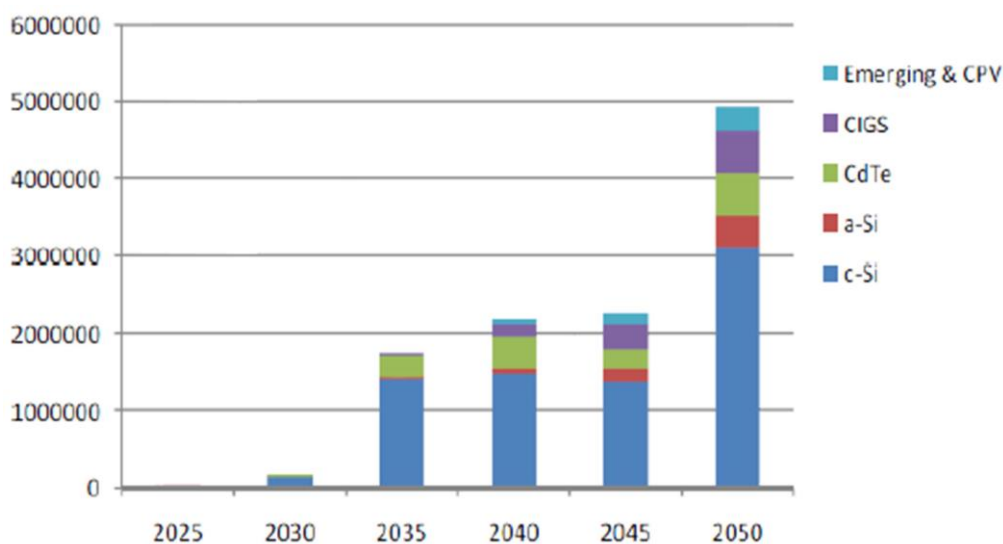
6.1. Αναμενόμενα θερμικά/ φωτοβολταϊκά απόβλητα

Όπως κάθε τεχνολογία, έτσι και η λειτουργία και η διάθεση των θερμικών φωτοβολταϊκών μπορεί να δημιουργήσει απόβλητα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα απόβλητα PVT είναι συνήθως ελάχιστα και διαχειρίσιμα σε σύγκριση με άλλα ενεργειακά συστήματα. Ακολουθούν ορισμένες εκτιμήσεις σχετικά με τα πιθανά απόβλητα.

1. **Απόβλητα κατασκευής:** Η διαδικασία κατασκευής των πάνελ PVT μπορεί να παράγει απόβλητα, όπως περίσσεια πυριτίου, μέταλλα ή υλικά συσκευασίας. Ωστόσο, η βιομηχανία φωτοβολταϊκών προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τα απόβλητα μέσω βελτιωμένων πρακτικών κατασκευής και πρωτοβουλιών ανακύκλωσης. Πολλοί κατασκευαστές έχουν εφαρμόσει μέτρα για τη μείωση της παραγωγής αποβλήτων και την ενίσχυση της ανακύκλωσης και της ανάκτησης υλικών.
2. **Απόβλητα στο τέλος του κύκλου ζωής τους:** Τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, που συνήθως κυμαίνεται από 25 έως 30 χρόνια ή και περισσότερο και μπορούν να ανακυκλωθούν. Η διαδικασία ανακύκλωσης περιλαμβάνει το διαχωρισμό και την ανάκτηση πολύτιμων υλικών, όπως το πυρίτιο, τα μέταλλα και το γυαλί, για επαναχρησιμοποίηση στην κατασκευή νέων πάνελ. Η σωστή ανακύκλωση διασφαλίζει τη διατήρηση πολύτιμων πόρων και μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διάθεσης.

3. **Επικίνδυνα υλικά:** Τα πάνελ PVT δεν περιέχουν σημαντικά επικίνδυνα υλικά. Ωστόσο, όπως και τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά, ενδέχεται να περιέχουν μικρές ποσότητες υλικών όπως μόλυβδο και κάδμιο στη συγκόλληση που χρησιμοποιείται για τις ηλεκτρικές συνδέσεις. Αυτά τα επικίνδυνα υλικά υπάρχουν σε πολύ μικρές ποσότητες και συνήθως διαχειρίζονται και απορρίπτονται με ασφάλεια κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης.
4. **Διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων:** Όπως και με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, η σωστή διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας. Αυτό περιλαμβάνει την τήρηση των καθιερωμένων κανονισμών και κατευθυντήριων γραμμών για το χειρισμό, τη συλλογή και την ανακύκλωση των ηλεκτρονικών αποβλήτων. Πολλές χώρες έχουν θεσπίσει ειδικούς κανονισμούς για τη διασφάλιση της ορθής διαχείρισης των ηλεκτρονικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των φωτοβολταϊκών.

Είναι σημαντικό για τους κατασκευαστές, τους εταιρίες και τους τελικούς χρήστες να δίνουν προτεραιότητα σε περιβαλλοντικά υπεύθυνες πρακτικές καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των συστημάτων. Αυτό περιλαμβάνει τη μείωση των αποβλήτων κατά την κατασκευή, την προώθηση της ανακύκλωσης και της ανάκτησης των υλικών και την τήρηση των κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης των ηλεκτρονικών αποβλήτων. Με τον τρόπο αυτό, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τα απόβλητα των θερμικών/ φωτοβολταϊκών μπορούν να ελαχιστοποιηθούν και οι πολύτιμοι πόροι να διατηρηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 6.1. Αναμενόμενα απόβλητα στην Ευρώπη έως το 2050

6.2. Επιπτώσεις στο τέλος ζωής των πάνελ

Η φάση του τέλους του κύκλου ζωής των θερμικών φωτοβολταϊκών είναι μια κρίσιμη πτυχή που πρέπει να ληφθεί υπόψη όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των συστημάτων. Ενώ τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι γνωστά για τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους, που συνήθως κυμαίνεται από

25 έως 30 χρόνια ή και περισσότερο, έρχεται η στιγμή που πρέπει να παροπλιστούν και να αντικατασταθούν. Έτσι, κρίνεται σημαντικό να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις αυτής της φάσης στη διαχείριση των αποβλήτων και στις βιώσιμες πρακτικές.

Μια βασική προσέγγιση για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των θερμικών/φωτοβολταϊκών πλαισίων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, είναι η ανακύκλωση και η ανάκτηση. Η διαδικασία ανακύκλωσης περιλαμβάνει το διαχωρισμό και την ανάκτηση πολύτιμων υλικών, όπως το πυρίτιο, τα μέταλλα και το γυαλί. Αυτό όχι μόνο μειώνει την ποσότητα των αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής, αλλά εξοικονομεί πολύτιμους πόρους και προωθεί την κυκλική οικονομία

6.2.1. Ρύπανση εδάφους

Η φάση του τέλους του κύκλου ζωής των θερμικών φωτοβολταϊκών εγείρει ανησυχίες σχετικά με την πιθανή ρύπανση του εδάφους εάν δεν ακολουθηθούν οι κατάλληλες πρακτικές διάθεσης. Αν συγκεκριμένα ποσοτικά δεδομένα σχετικά με τη ρύπανση του εδάφους από τα απόβλητα των φωτοβολταϊκών είναι περιορισμένα, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν οι πιθανοί κίνδυνοι και να ληφθούν προληπτικά μέτρα για τον μετριασμό τους. Σύμφωνα με την έκθεση Global E-waste Monitor 2020, ο κόσμος παράγαγε 53,6 εκατομμύρια τόνους ηλεκτρονικών αποβλήτων ρεκόρ το 2019. Ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί σε 74,7 εκατομμύρια τόνους έως το 2030. [104]

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πλαισίων ηλιακών συλλεκτών διαφοροποιούνται ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Τα πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου έχουν χαμηλότερη έκλυση επικίνδυνων μετάλλων εν συγκρίσει με αυτά του λεπτού υμενίου. Μέχρι το 2050, εκτιμάται ότι σημαντικές ποσότητες μολύβδου, περίπου 30 tn και καδμίου (περίπου 2,9tn) μπορούν να ανακτηθούν από τα απόβλητα. Εργαστηριακές δοκιμές έχουν δείξει ότι χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, τόσο τα πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου όσο και τα πάνελ λεπτού υμενίου μπορούν να απελευθερώσουν ποσότητες ορισμένων επικίνδυνων μετάλλων (όπως Pb, Cd, Ni, Cr) στο έδαφος που υπερβαίνουν τα νομικά όρια για το νερό και το έδαφος. [105]

Το κάδμιο είναι ένα βαρύ μέταλλο που έχει βιολογικό χρόνο ημιζωής 30 ετών και τείνει να συσσωρεύεται στους ζωντανούς οργανισμούς. Έχει μεγάλη συγγένεια για συσσώρευση στον ανθρώπινο οργανισμό και είναι γνωστό ότι είναι τοξικό και καρκινογόνο. Το κάδμιο μπορεί να παραμείνει στον οργανισμό για πάνω από 10 χρόνια και η επανειλημμένη έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά παθολογικά προβλήματα. Η τοξικότητα του καδμίου έχει τεκμηριωθεί εκτενώς σε ζώα, φυτά και ανθρώπους. Η υπερβολική συσσώρευση καδμίου στα φυτά μπορεί να προκαλέσει χλώρωση και νέκρωση, ενώ στα ζώα μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητα και θάνατο. Στον άνθρωπο, η οξεία δηλητηρίαση από κάδμιο μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία, πυρετό και εμετό, ενώ η χρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει πνευμονικό εμφύσημα, νευρολογικές διαταραχές και βλάβες στη σπονδυλική στήλη. Η διαρροή καδμίου σχετίζεται κυρίως με τα πλαίσια ηλιακών πάνελ CdTe (τελλουρίδιο του καδμίου) και CIGS (σεληνιούχο γάλλιο του χαλκού). Όταν ένα πλαίσιο CdTe εκτίθεται σε νιτρικό οξύ ή σε όξινα περιβάλλοντα, όπως σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, μπορεί να εμφανιστεί διαρροή καδμίου που κυμαίνεται από 29% έως 40%. Ένα μέσο

πάνελ 12 κιλών περιέχει περίπου 4,6 γραμμάρια καδμίου. Κατά συνέπεια, μπορεί να εκτιμηθεί ότι κάθε πάνελ έχει τη δυνατότητα να απελευθερώσει 0,32 έως 1,80 γραμμάρια καδμίου στο περιβάλλον. [104]

Ο μόλυβδος είναι ένα βαρύ μέταλλο που έχει μεγάλη ικανότητα συσσώρευσης στον ανθρώπινο οργανισμό και στο περιβάλλον. Μόλις εισέλθει στον οργανισμό, κυκλοφορεί στο αίμα και συσσωρεύεται στα οστά. Μπορεί να αντιδράσει με ορισμένα ένζυμα και να προκαλέσει βλάβες στο περιφερικό και στο κεντρικό νευρικό σύστημα, καθώς και να επηρεάσει το καρδιαγγειακό, το ενδοκρινικό σύστημα και τα νεφρά. Επιπλέον, η έκθεση σε μόλυβδο μπορεί επίσης να επηρεάσει το ανοσοποιητικό σύστημα και την ανάπτυξη, ανάλογα με το επίπεδο έκθεσης. Τέλος, μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, όπως απώλεια της βιοποικιλότητας, μειωμένους ρυθμούς αναπαραγωγής και ανάπτυξης για την χλωρίδα και την πανίδα, καθώς και νευρολογικές επιπτώσεις σε ορισμένα ζώα.

Η ποσότητα μολύβδου που υπάρχει στα πλαίσια c-Si (κρυσταλλικού πυριτίου) κυμαίνεται από 1,7 έως 11,5 γραμμάρια, η οποία είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα καδμίου που βρίσκεται στα πάνελ CdTe, η οποία κυμαίνεται από 0,3 έως 11,5 γραμμάρια. Το δυναμικό έκπλυσης του μολύβδου κυμαίνεται από 13% υπό συνθήκες pH 6-7 έως και 90% παρουσία pH 3-4, το οποίο είναι σημαντικά υψηλότερο από τις αναμενόμενες τιμές για το κάδμιο (29% και 40% αντίστοιχα). Το κόστος που σχετίζεται με τη ρύπανση από την έκπλυση υλικών που περιέχουν μόλυβδο και κάδμιο εκτιμάται σε περίπου 1.170 ευρώ/kg και 45 ευρώ/kg, αντίστοιχα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, μέχρι το 2050, η ακατάλληλη απόρριψη 2.150 tη μολύβδου, κυρίως από πάνελ c-Si, με μέση έκπλυση 1.742 τόνων, και 877 τόνων καδμίου από πάνελ CdTe, με μέση έκπλυση 303 tη, θα μπορούσε να προκαλέσει κόστος που θα ξεπερνούσε τα 2 δισεκατομμύρια ευρώ και 14 εκατομμύρια ευρώ, αντίστοιχα (Ραϊάνο, 2015). Η διαρροή μολύβδου σχετίζεται κατά κύριο λόγο με τα πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου. Όταν αυτά τα πλαίσια εκτίθενται σε όξινο περιβάλλον, η έκπλυση μολύβδου μπορεί να κυμαίνεται από 13% έως 90% της περιεκτικότητας σε μόλυβδο στο πλαίσιο. Υπολογίζεται ότι ένα μέσο πλακίδιο κρυσταλλικού πυριτίου βάρους 22 kg περιέχει 13 γραμμάρια μολύβδου. Επομένως, κάθε πλακίδιο μπορεί να απελευθερώσει 1,7 έως 11,5 γραμμάρια μολύβδου στο περιβάλλον. [106]

6.2.2. Απώλεια πόρων

Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στα θερμικά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι το αλουμίνιο και το γυαλί. Τα πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου αποτελούνται από περίπου 75% γυαλί και 10% αλουμίνιο στη δομή τους. Έτσι, σε ένα μέσο πάνελ c-Si βάρους 22 kg, υπάρχουν 16 kg γυαλί και 2 kg αλουμίνιο, τα οποία μπορούν να ανακυκλωθούν. Ομοίως, ένα τυπικό πάνελ σεληνιούχο χαλκό-ίνδιο αποτελείται κατά 84% από γυαλί και 12% από αλουμίνιο. Συνεπώς, σε κάθε πάνελ CIS υπάρχουν 8,5 kg γυαλί και 1,5 kg αλουμίνιο τα οποία επίσης θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν.

Επιπλέον, ορισμένα πάνελ περιέχουν σπάνια υλικά, όπως το ασήμι, το γάλλιο, το ίνδιο και το γερμάνιο. Η αποτυχία ανάκτησης των συγκεκριμένων πρώτων υλών μπορεί να έχει οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Αν και αποτελούν μόνο το 1% του συνολικού βάρους του πάνελ, έχουν σημαντική αξία λόγω της σπανιότητάς τους και της σταδιακής εξάντλησης των φυσικών αποθεμάτων, που οδηγεί σε αστάθεια των τιμών. Έρευνες δείχνουν ότι τα ποσοστά ανάκτησης ορισμένων πρώτων υλών που

χρησιμοποιούνται στην παραγωγή πάνελ είναι ιδιαίτερα υψηλά, όπως το γυαλί με ποσοστό 97% και το αλουμίνιο με ποσοστό 100%. Τα ποσοστά ανάκτησης είναι επίσης σχετικά υψηλά, αν και ελαφρώς χαμηλότερα, για υλικά όπως ο χαλκός και το τελλούριο σε ποσοστό 80%. Ωστόσο, για σπάνια μέταλλα όπως το ίνδιο και το γάλλιο, τα οποία διαθέτουν σημαντική αξία, τα ποσοστά ανάκτησης είναι αρκετά χαμηλότερα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρόλο που αυτά τα σπάνια μέταλλα αντιπροσωπεύουν μόνο το 1% του βάρους του πλαισίου, εξακολουθούν να κατέχουν σημαντική αξία.

Ως εκ τούτου, η ακατάλληλη απόρριψη των πάνελ μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες και να εμποδίσει την ανακύκλωση υλικών όπως το αλουμίνιο και το γυαλί, καθώς και σπάνιων μετάλλων όπως το ασήμι, το γάλλιο, το γερμάνιο και το ίνδιο. [107]

6.3 Διαχείριση αποβλήτων θερμικών φωτοβολταϊκών συστημάτων

6.3.1. Συλλογή

Η συλλογή θερμικών/φωτοβολταϊκών πλαισίων μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους περιλαμβάνει αρκετά σοβαρά βήματα για να διασφαλιστεί τόσο ο υπεύθυνος χειρισμός όσο και η διάθεση.

Το πρώτο κρίσιμο βήμα είναι η ευαισθητοποίηση των ιδιοκτητών, των εγκαταστατών και των ενδιαφερόμενων φορέων σχετικά με τη σημασία της ορθής διαχείρισης. Αυτό, μπορεί να γίνει μέσω εκπαιδευτικών εκστρατειών, προγραμμάτων κατάρτισης και διάδοσης πληροφοριών για την ενημέρωση ατόμων και οργανισμών σχετικά με την ανάγκη συλλογής και ανακύκλωσης των συστημάτων, αντί της ακατάλληλης απόρριψής τους.

Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία μιας υποδομής, που θα επιτρέπει τη συστηματική συλλογή των πλαισίων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη δημιουργία κέντρων συλλογής ή καθορισμένων σημείων απόρριψης, καθώς και συνεργασίες με εγκαταστάσεις ανακύκλωσης και εξουσιοδοτημένους φορείς διαχείρισης αποβλήτων. Στόχος είναι να καταστεί η διαδικασία συλλογής εύκολα προσβάσιμη στους καταναλωτές, τους εγκαταστάτες και άλλους ενδιαφερόμενους. Για τη διευκόλυνση, μπορούν να δημιουργηθούν διάφοροι μηχανισμοί, όπως για παράδειγμα, οι κατασκευαστές και οι εγκαταστάτες να εφαρμόζουν προγράμματα επιστροφής, επιτρέποντας στους καταναλωτές να επιστρέφουν τα παλιά τους συστήματα.

6.3.2. Διαχείριση αποβλήτων

Για τη διαχείριση των πάνελ, αρχικά, αποσυναρμολογείται το πλαίσιο αλουμινίου και το κουτί σύνδεσης. Έπειτα ακολουθεί ο διαχωρισμός των κυττάρων. Οι συνήθεις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό περιλαμβάνουν τη διάλυση με νιτρικό οξύ ή οργανικούς διαλύτες, την καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη και τη θερμική αποσύνθεση. Στην περίπτωση του πάνελ πυριτίου πραγματοποιείται ο καθαρισμός των κυττάρων πυριτίου με χημικά ή με laser. Στη συνέχεια, εφαρμόζονται διεργασίες χάραξης για την εξάλειψη του ανακλαστικού στρώματος, των μεταλλικών ενώσεων και άλλων στρωμάτων από τις κυψέλες. Το γυαλί, το οποίο ανακυκλώνεται και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, αναμιγνύεται με τυποποιημένο υαλόθραυσμα και

μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γυάλινα προϊόντα. Οι εναπομείναντες ανακυκλωμένες πρώτες ύλες, συμπεριλαμβανομένων των μετάλλων και των πλαστικών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή νέων υλικών. Σε εργασίες μικρότερης κλίμακας, φυσικές μέθοδοι, όπως η πυρόλυση, η αμμοβολή ή η σφυρόμυλος, καθώς και χημικές μέθοδοι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το διαχωρισμό των μετάλλων από το γυαλί και το πλαστικό. Ο χημικός διαχωρισμός, ο οποίος περιλαμβάνει τη χρήση κατάλληλων διαλυτών, όπως οξέα ή οξειδωτικά, αποδεικνύεται η πιο αποτελεσματική προσέγγιση για την επακόλουθη ανάκτηση των μετάλλων. [108]

6.3.3. Υγειονομική ταφή & αποτέφρωση

Η διαχείριση αποσυρόμενων πλαισίων στη πλειοψηφία των χωρών της Ευρώπης περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο τη διάθεσή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Η συγκεκριμένη επιλογή θεωρούνταν ιδανική για τις κατασκευαστικές εταιρίες μιας και είχε υπολογιστεί ότι το κόστος απόρριψης ήταν χαμηλότερο με το κόστος ανακύκλωσης. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει αποδειχθεί ότι η συγκεκριμένη αντίληψη ήταν λανθασμένη.

Η διάθεση πλαισίων σε ΧΥΤΑ δεν μπορεί να θεωρηθεί ιδανική λύση, μιας και περιέχουν μικρές ποσότητες τοξικών ουσιών και πρέπει να ελεγχθούν πριν την απόρριψη. Με το πέρασμα του χρόνου, υπάρχει πιθανότητα τοξικά στοιχεία να συσσωρευτούν είτε σε επιφανειακά είτε σε υπόγεια ύδατα ΧΥΤΑ, θέτοντας σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία. Αυτό είναι δυνατό να συμβεί ακόμη και αν ο ΧΥΤΑ έχει σχεδιαστεί βάση κατάλληλων και προαπαιτούμενων προδιαγραφών. Ενώ οι πιθανότητες αυξάνονται ραγδαία εάν επρόκειτο για παλιούς ή ελαττωματικούς ΧΥΤΑ.

Πολλές αναφορές εστιάζουν στις δυσμενείς επιπτώσεις του περιβάλλοντος μέσω της υγειονομικής ταφής και επικεντρώνονται στη παρουσία βαρέων μετάλλων στα απόβλητα, όπως ο μόλυβδος και ο άργυρος. Με την ανεξέλεγκτη διάθεση τους στους χώρους ταφής απελευθερώνονται τοξικές ουσίες και ρύποι στον αέρα και στο έδαφος μέσω διήθησης και κατ' επέκταση στον υδροφόρο ορίζοντα. Οι ρύποι αυτοί συμβάλλουν στην οικοτοξικότητα και τη καρκινογένεση. [109]

Εκτός από τα ΧΥΤΑ, η αποτέφρωση στερεών απορριμμάτων εκπροσωπεί μια από τις παλιότερες και πιο διαδεδομένες μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων. Κατά την αποτέφρωση αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες για την οξείδωση των επί μέρους στοιχείων του αποβλήτου, μειώνοντας σημαντικά τον όγκο του. Τα μειωμένα σε όγκο απόβλητα οδηγούνται σε ΧΥΤΑ για αδρανή απόβλητα προς τελική απόθεση. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα είναι η ταχύτητα της μεθόδου, η μείωση του όγκου και του βάρους των αποβλήτων έως 90% και 80% αντίστοιχα. Γενικά, δεν απαιτείται εκτενή περιοχή για τη δημιουργία χώρων υγειονομικής ταφής. Κατά τη καύση, δεν απελευθερώνεται πρόσθετο μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, όπως στα ΧΥΤΑ, συμβάλλοντας σε μικρότερο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, αυτό δεν μειώνει τη τοξικότητα των εκπομπών βαρέων μετάλλων στην ατμόσφαιρα, στις περιπτώσεις καύσης σε μη κατάλληλα σχεδιασμένες αποτεφρωτήρες. Ταυτόχρονα, παράγονται μεγάλες ποσότητες διοξινών και φουρανίων, που σημαίνει μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στον άνθρωπο, τη πανίδα και τη χλωρίδα. Τέλος, καταργείται κάθε πιθανότητα ανάκτησης πολύτιμων πρώτων υλών, εντείνοντας το πρόβλημα των μειωμένων αποθεμάτων.

6.4. Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών θερμικών συστημάτων

Η ανακύκλωση των PVT παίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση του περιβάλλοντος και των πολύτιμων πόρων. Έως και το 2012 η ανακύκλωση γενικά των φωτοβολταϊκών δεν θεωρούνταν υποχρεωτική, καθώς δεν είχαν συμπεριληφθεί στα απόβλητα ηλεκτρονικού και ηλεκτρικού εξοπλισμού. Ωστόσο, η κατάσταση αυτή άλλαξε το 2014 με την αναθεώρηση του νόμου 2002/96/EK και εκ τότε η κάθε χώρα της ΕΕ έπρεπε να αλλάξει τη νομοθεσία και να συμπεριλάβει τα φωτοβολταϊκά στα ΑΗΗΕ, θέτοντας ελάχιστα ποσοστά συλλογής, ανάκτησης και ανακύκλωσης. Εν τούτοις, θεωρείται μια αρκετά σύνθετη διαδικασία, μιας και τα θερμικά φωτοβολ-ταϊκά διαθέτουν ποικιλία διαφορετικών υλικών όπου το κάθε ένα απαιτεί και μια δική του τυποποιημένη μέθοδο ανακύκλωσης. Τέτοια υλικά είναι το γυαλί, το πυρίτιο, ο χαλκός, το αλουμίνιο και άλλα μέταλλα. [110]

Η φάση της ανακύκλωσης διαχωρίζεται σε δύο βασικά στάδια:

- Στο πρώτο στάδιο, με θερμική επεξεργασία σε λέβητα και θερμοκρασία 500°C, διαχωρίζονται τα βασικά υλικά. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, το στρώμα ρητίνης (EVA) και η οπίσθια ταινία (tedlar) αποσυντίθενται, προκαλώντας το διαχωρισμό των υπόλοιπων στρωμάτων. Από τα ανακτώμενα υλικά, οι κυψέλες συλλέγονται χειρονακτικά, ενώ το γυαλί και τα μέταλλα ταξινομούνται απευθείας στα συστήματα ανακύκλωσης.
- Στο δεύτερο στάδιο, οι κυψέλες υπόκεινται σε περαιτέρω χημική επεξεργασία προκειμένου να ανακτηθεί το καθαρό πυρίτιο. Οι κυψέλες που ανακυκλώνονται με αυτή τη διαδικασία παρουσιάζουν ελαφρά μικρότερη ενεργειακή απόδοση από τα αρχικά. [111]

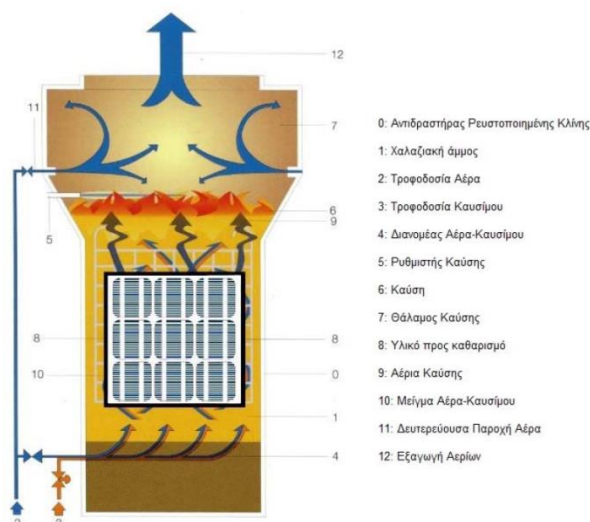


Εικόνα 6.2. Θρυμματισμένες κυψέλες έτοιμες για ανακύκλωση και σκόνη πυριτίου μετά την ανακύκλωση [104]

6.4.1. Ανακύκλωση θερμικών φωτοβολταϊκών κρυσταλλικού πυριτίου

Η διάρκεια ζωής ενός θερμικού φωτοβολταϊκού κρυσταλλικού πυριτίου υπολογίζεται στα 25 χρόνια. Όταν συμπληρωθεί ο κύκλος ζωής τους αποσυναρμολογούνται από τις βάσεις στήριξης όπου βρίσκονται τοποθετημένα και μεταφέρονται σε εργαστήρια ανακύκλωσης. Αρχικά, αφαιρείται το αλουμινένιο πλαίσιο καθώς και το γυαλί και μεταφέρονται σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις για περαιτέρω επεξεργασία.

Η ανακύκλωση των κυψελών ξεκινάει με τη μεταφορά τους σε αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται στους 450°C. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας οι κυψέλες μεταφέρονται σε ένα καλάθι και το EVA αεριοποιείται, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. [112]

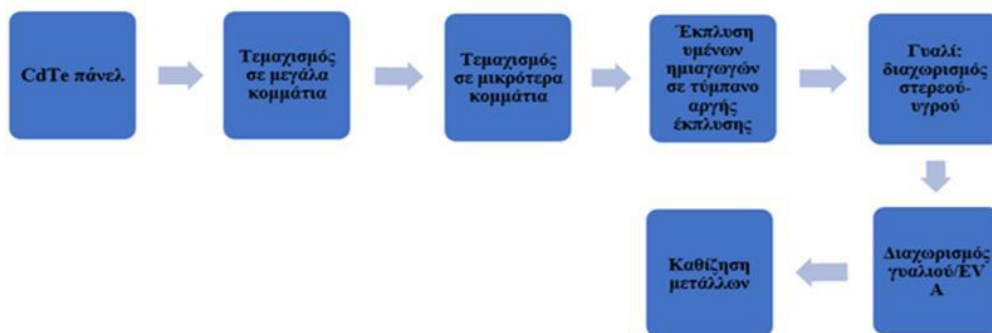


Εικόνα 6.3. Αντιδραστήρας πυρόλυσης κυψελών [112]

Με τη συγκεκριμένη μέθοδο και αφού οι κυψέλες υποστούν και μια μηχανική επεξεργασία ανακτάται περίπου το 85% του πυριτίου.

6.4.2. Ανακύκλωση θερμικών φωτοβολταϊκών thin films

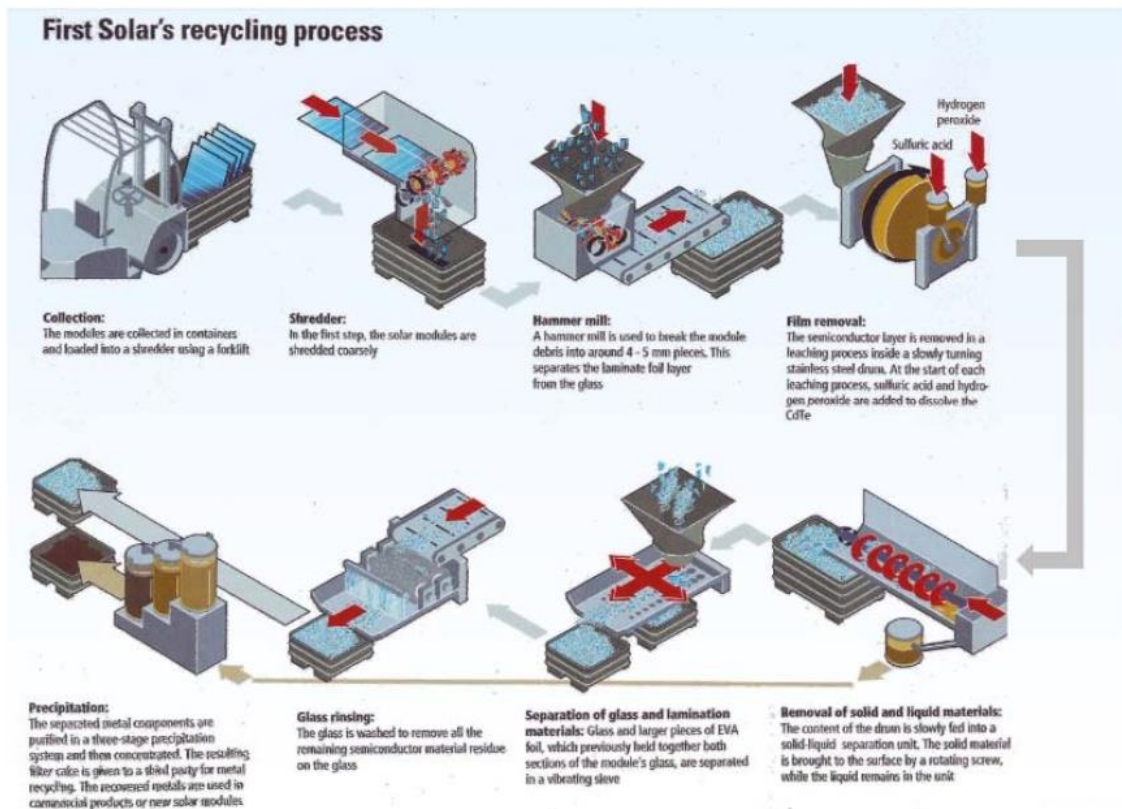
Η συγκεκριμένη κατηγορία διαθέτει αρκετές υποκατηγορίες, ωστόσο, επειδή, έχουν παρόμοια δομή, η διαδικασία ανακύκλωσής τους δεν διαφέρει. Όπως και στη προηγούμενη κατηγορία η μέση διάρκεια ζωής τους υπολογίζεται στα 25 χρόνια. Έπειτα, αποσυναρμολογούνται από τις βάσεις όπου και είναι τοποθετημένα, αφαιρούνται τα πλαίσια αλουμινίου και μεταφέρονται στις αντίστοιχες εγκαταστάσεις. Στη συνέχεια, τα πάνελ περνάνε από μια μηχανική διαδικασία, όπου διαχωρίζεται η πλαστική μεμβράνη και κομματιάζονται σε θραύσματα 4-5mm. Ακολουθεί ο διαχωριστής, όπου ξεχωρίζει τα στερεά, το γυαλί και τα πλαστικά. Το γυαλί υποβάλλεται σε διαδικασία έκπλυσης για την εξάλειψη τυχόν υπολειμμάτων, καθιστώντας το κατάλληλο για ανακύκλωση. Τα υγρά όπου λαμβάνονται από τον διαχωριστή, τα οποία περιέχουν υψηλή συγκέντρωση μετάλλων, περνούν από μονάδα καθίζησης τριών σταδίων πριν σταλούν για επεξεργασία από τρίτους. Μέσω αυτής της μεθόδου, κατορθώνεται ποσοστό ανακύκλωσης 95% για τα υλικά που προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση, καθώς και ποσοστό ανακύκλωσης 94% για το ανακυκλωμένο γυαλί. [113]



Εικόνα 6.4. Σχηματική απεικόνιση ανακύκλωσης θερμικών φωτοβολταϊκών thin film [113]

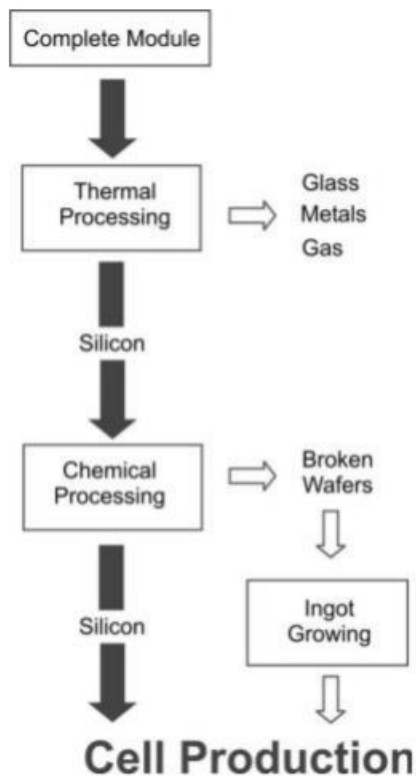
6.4.3. Παραδείγματα εταιριών ανακύκλωσης θερμικών φωτοβολταϊκών

Η FirstSolar έχει αναπτύξει τεχνολογία ανακύκλωσης για φωτοβολταϊκά πάνελ CdTe. Είναι μια γνωστή αμερικανική εταιρεία που επικεντρώνεται στην ηλιακή ενέργεια. Κατασκευάζει ηλιακούς και ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες, δημιουργεί μεγάλης κλίμακας ηλιακούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και ανακυκλώνει τα συστήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Λειτουργεί από το 1999 και τα κεντρικά γραφεία της βρίσκονται στο Tempe της Αριζόνα. Η φάση ανάκτησης περιλαμβάνει μηχανικές και χημικές διεργασίες. Αρχικά, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνθλίβονται, τα δομικά στοιχεία κόβονται σε μεγάλα κομμάτια και στη συνέχεια σε μικρότερα κομμάτια. Το ημιαγωγίμο φιλμ στη συνέχεια αφαιρείται σε ένα αργό τύμπανο πλύσης. Ένα μείγμα θειικού οξέος και υπεροξειδίου του υδρογόνου προστίθεται στο υπόλοιπο γυαλί για να επιτευχθεί η βέλτιστη αναλογία στερεού προς υγρό και να διαχωριστεί το γυαλί. Στη συνέχεια, το γυαλί διαχωρίζεται από τα μεγαλύτερα θραύσματα EVA, περνώντας από έναν αναδευτήρα. Έτσι, το γυαλί καθαρίζεται και αποστέλλεται για ανακύκλωση. Μέσω αυτής της διαδικασίας, το 90% του γυαλιού ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται και το 95% του υλικού ημιαγωγών επαναχρησιμοποιείται σε ηλιακούς και φωτοβολταϊκούς θερμικούς συλλέκτες. [112]



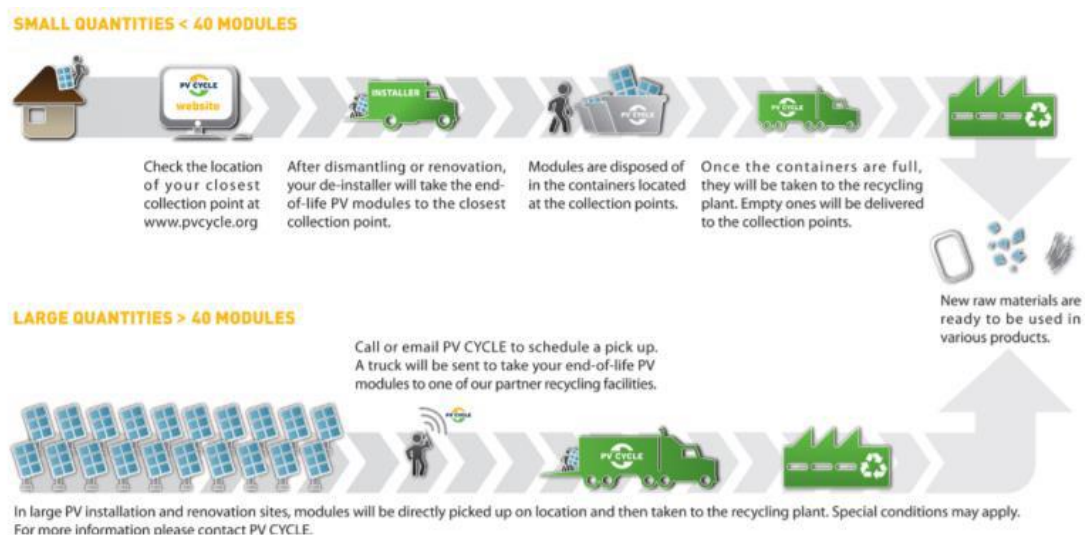
Εικόνα 6.5. Μέθοδος ανακύκλωσης First Solar [112]

Μια άλλη εταιρία είναι η γερμανική SolarWorld, όπου έχει αναπτύξει τη τεχνολογία Deutsche Solar και την ανακύκλωση κρυσταλλικών πάνελ από το 2003. Είναι ένας από τους πρωτοπόρους της ηλιακής βιομηχανίας και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη, παραγωγή και ανακύκλωση φωτοβολταϊκών και θερμικών φωτοβολταϊκών. Η ανακύκλωση βασίζεται στη θερμική διεργασία, με πρώτο στάδιο την πυρόλυση των πλαισίων. Τα πλαστικά μέρη αποτεφρώνονται σε θερμοκρασία 600 °C. Έπειτα, ακολουθεί χειροκίνητος διαχωρισμός των ηλιακών στοιχείων σε γυαλί και μέταλλα. Το γυαλί και τα μέταλλα οδηγούνται σε ειδικές εγκαταστάσεις ανακύκλωσης για περαιτέρω επεξεργασία, ενώ οι ηλιακές μονάδες προετοιμάζονται για επαναχρησιμοποίηση. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την ανάκτηση του 90% του γυαλιού και του 95% των πρώτων υλών. [114]



Εικόνα 6.6. Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας ανακύκλωσης της Solar World [114]

Η Krannich Solar είναι μια εταιρεία που ειδικεύεται στη διανομή και ανακύκλωση, ηλιακών φωτοβολταϊκών, θερμικών φωτοβολταϊκών και εξαρτημάτων. Είναι ένας κορυφαίος παγκόσμιος διανομέας και λειτουργεί εδώ και πάνω από 25 χρόνια. Η συγκεκριμένη εταιρία ακολουθεί τη μέθοδο ανακύκλωσης που είχε προτείνει ο οργανισμός PV CYCLE το 2007. Αρχικά αφαιρούνται τα καλώδια από το κουτί διασύνδεσης και το πλαίσιο. Στη συνέχεια, ο πίνακας τεμαχίζεται και υποβάλλεται σε διαδικασία διαλογής και διαχωρισμού. Αυτός ο διαχωρισμός είναι ζωτικής σημασίας για την κατεύθυνση κάθε υλικού στην κατάλληλη διαδικασία ανακύκλωσης για περαιτέρω επεξεργασία.[115]



Εικόνα 6.7. Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου PV CYCLE [115]

Η εξειδικευμένη εταιρία ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών PV CYCLE, που εδρεύει στις Βρυξέλες, από το 2010 που άρχισε να δραστηριοποιείται έως και το 2021 έχει ανακυκλώσει 62.217 t φωτοβολταϊκών. Έχει αξία να αναφερθεί ότι το 2020 ανακύκλωσε 7.983 t αποβλήτων από ηλιακά συστήματα ενώ το 2021 17.145 t, ποσό δηλαδή υπερδιπλάσιο. Αξιοσημείωτο είναι ότι το 96% των πάνελ που ανακύκλωσε το 2021 αυτών ήταν πυριτικής βάσης.

Στην Ελλάδα, αυτή τη στιγμή, υπάρχουν δύο εγκαταστάσεις ανακύκλωσης η ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗΣ και το IONIOS RECYCLING, στην Αττική και στην Δυτική Ελλάδα αντίστοιχα. Πέραν αυτών υπάρχουν και εγκαταστάσεις οι οποίες παραλαμβάνουν μεμονωμένα υλικά για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση. [116, 117]

6.5. Αξία ανάκτησης μετάλλων στο τέλος του κύκλου ζωής

Η τεχνολογία των θερμικών φωτοβολταϊκών είναι η εξέλιξη των συμβατικών φωτοβολταϊκών και αναπτύχθηκε ραγδαίως, ωστόσο η υλοποίηση των συγκεκριμένων συστημάτων απαιτεί μέταλλα όπως το πυρίτιο, το χαλκό, το ίνδιο, το γάλλιο και άλλα, όπου είναι είτε σπάνια είτε διαθέσιμα σε μικρές ποσότητες. Η ανακύκλωση πλαισίων κυρίως λεπτής μεμβράνης κρίνεται αναγκαία μιας και τα μέταλλα που απαιτούνται είναι υψηλής αξίας και παράγονται σε μικρές ποσότητες ετησίως. Πιο συγκεκριμένα, <2,000 tpa για το σελήνιο, <600 tpa για το ινίδιο και <150 tpa για το τελλούριο. Για τα πάνελ CIGS η βασική ανησυχία σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα του ινιδίου, μιας και αποτελεί παραπροϊόν του ψευδαργύρου. Επιπλέον, βάση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το ινίδιο και το γάλλιο συμπεριλαμβάνονται στα κρίσιμα μέταλλα. Τα πλαίσια CdTe περιέχουν κάδμιο, το οποίο είναι τοξικό και τελλούριο, όπου είναι παραπροϊόν για την επεξεργασία ορυκτών όπως ο χαλκός, ο μόλυβδος, ο χρυσός και το βισμούθιο. Καθώς, η κυρίαρχη τεχνολογία είναι αυτή των πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου, το διάστημα 2030-2050 αναμένονται οι πρώτες ανακτήσεις πυριτίου, αργύρου, χαλκού και αργιλίου. [118]

Ανακτώμενα υλικά	Τιμή USD/kg (2023)	Kg/MW (για c-Si)	Kg/MW (για a-Si)
Αλουμίνιο	2,2195	10.700	100
Χαλκός	8,2645	583	
Πυρίτιο	26,2	3.069	18
Άργυρος	758	5.115	
Ίνδιο	210	300	900

Πίνακας 6.1. Τύποι μετάλλων που μπορεί να ανακτηθούν [119]

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει να ανακυκλώσει περίπου το 85% των συμβατικών και θερμικών φωτοβολταϊκών στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Αν υλοποιηθεί η συγκεκριμένη πρόταση, θα ανακτηθεί περίπου το 70-75% της αξίας των μετάλλων. Βασικός παράγοντας για τη λήψη της συγκεκριμένης απόφασης, αποτελεί το γεγονός του περιορισμού των φυσικών υλικών. Παραδείγματος χάριν, τα πλαίσια πυριτίου και λεπτής μεμβράνης συνδέονται άμεσα με την διαθεσιμότητα του ινιδίου και του τελλουρίου, όπου πρόσφατα χαρακτηρίστηκαν ως μέταλλα μεγάλης σημασίας για την

ανάπτυξη μιας οικονομίας «καθαρής ενέργειας» και ως κρίσιμα σχετικά με τον κίνδυνο προμήθειάς τους, από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ. [120]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κρίσιμα μέταλλα και οι λόγοι κρισιμότητάς τους.

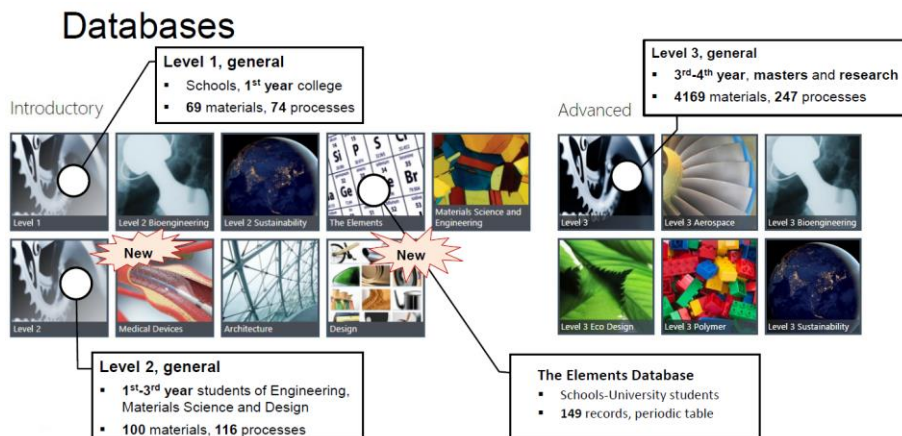
Υλικό	Λόγοι κρισιμότητας
Αλουμίνιο	Οικονομική & αμυντική/στρατιωτική σημασία
Κάδμιο	Τοξικότητα
Χαλκός	Αμυντική/στρατιωτική σημασία
Σίδηρος	Παγκόσμια ζήτηση
Γάλλιο	Χαμηλή δυνατότητα υποκατάστασης, περιορισμοί στην ανακύκλωση & εξάρτηση από εισαγωγές
Χρυσός	Αποτύπωμα άνθρακα για εξόρυξη και παραγωγή
Ινδίο	Υψηλή απαίτηση από αναδυόμενες τεχνολογίες, εξάρτηση από εισαγωγείς & γεωλογική σπανιότητα
Πυρίτιο	Παγκόσμια ζήτηση & περιορισμοί στην ανακύκλωση
Ασήμι	Τοξικότητα & πολιτική αστάθεια παραγωγών
Τελλούριο	Γεωλογική σπανιότητα & περιορισμοί στην ανακύκλωση
Ψευδάργυρος	Αμυντική/στρατιωτική σημασία & πολιτική αστάθεια παραγωγών

Πίνακας 6.2. Κρίσιμα μέταλλα και λόγοι κρισιμότητας

Κεφάλαιο 7^ο : Περιγραφή λογισμικού CES Edupack

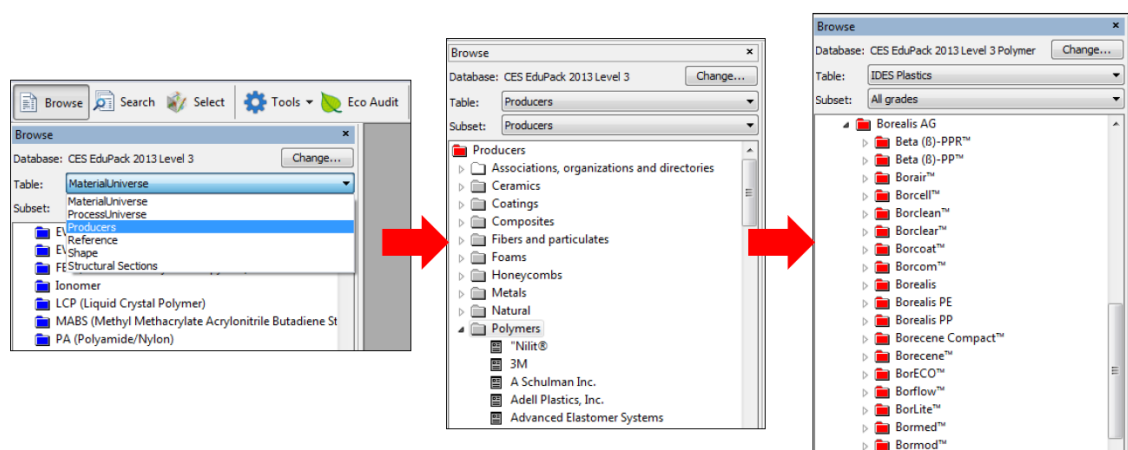
7.1. Βάσεις δεδομένων - Υλικά

Το CES EduPack είναι ένα εργαλείο λογισμικού που έχει σχεδιαστεί για να βοηθά εκπαιδευτικούς και φοιτητές σε τομείς που σχετίζονται με την επιστήμη των υλικών, τη μηχανική, το σχεδιασμό και τη βιωσιμότητα να εξερευνήσουν και να επιλέξουν υλικά για τα έργα, τις εργασίες και την έρευνά τους. Δημιουργήθηκε από την εταιρεία Granta Design με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο και χρησιμοποιείται ευρέως σε κολέγια, ιδρύματα και σχολεία σε όλο τον κόσμο. Το πρόγραμμα προσφέρει μια λεπτομερή βάση δεδομένων υλικών, συμπεριλαμβανομένων λεπτομερειών για τις ποιότητες, την επεξεργασία και τις χρήσεις τους. Αυτά τα υλικά περιλαμβάνουν μέταλλα, κεραμικά, πολυμερή, σύνθετα και φυσικά υλικά.



Εικόνα 7.1. Βάσεις δεδομένων και υλικά

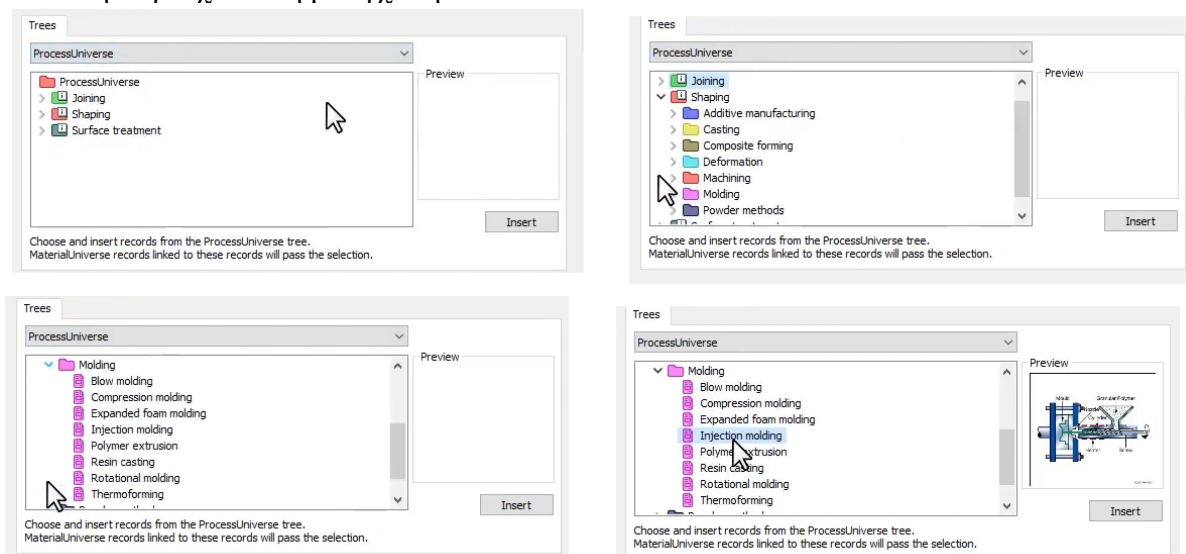
Περισσότερα από 4.000 υλικά, τόσο πειραματικά όσο και εμπορικά, περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων. Μια συλλογή εργαλείων για τη μελέτη και την οπτικοποίηση δεδομένων σχετικά με τις ιδιότητες και την απόδοση του υλικού είναι επίσης διαθέσιμη μέσω του CES EduPack εκτός από τη βάση δεδομένων. Η ικανότητα του λογισμικού να βοηθά τους χρήστες στην επιλογή των κατάλληλων υλικών για τα έργα τους με βάση διάφορους παράγοντες, όπως μηχανικές ιδιότητες, θερμικές ιδιότητες, κόστος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είναι ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματά του. Το λογισμικό θα προσφέρει μια ποικιλία υλικών που πληρούν τα κριτήρια του χρήστη αφού λάβει τους σχεδιαστικούς περιορισμούς και τις απαιτήσεις του. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να επιλέγουν υλικά με έξυπνο τρόπο, ενώ σταθμίζουν τις ανταγωνιστικές ανησυχίες για απόδοση, κόστος και βιωσιμότητα όπως η ενσωματωμένη ενέργεια και το αποτύπωμα άνθρακα. Η βάση δεδομένων υλικών στο CES EduPack ενημερώνεται συνεχώς και επεκτείνεται για να περιλαμβάνει τα πιο πρόσφατα υλικά και δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες έχουν πάντα πρόσβαση στις πιο ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες και την απόδοση των υλικών.



Εικόνα 7.2. Επιλογή από πληθώρα υλικών

Εκτός από τις βάσεις δεδομένων, το λογισμικό διαθέτει δεδομένα επεξεργασίας και σχεδίασης. Παρέχονται πληροφορίες για πολυάριθμες διαδικασίες κατασκευής, συμπεριλαμβανομένης της χύτευσης, της σφυρηλάτησης, της εξώθησης και της χύτευσης με έγχυση, περιλαμβάνονται στο CES EduPack. Το πρόγραμμα

παρέχει λεπτομέρειες σχετικά με τα οφέλη, τα μειονεκτήματα και τις τυπικές εφαρμογές για κάθε διαδικασία, όπου είναι χρήσιμα για την αξιολόγηση της απόδοσης και της βιωσιμότητας διαφόρων μεθόδων παραγωγής για διάφορα υλικά και εξαρτήματα. Για παράδειγμα, το υψηλό σημείο τήξης ενός υλικού μπορεί να το κάνει ιδανικό για χύτευση, ενώ το χαμηλό ιζώδες ενός άλλου υλικού μπορεί να το κάνει κατάλληλο για χύτευση με έγχυση.



Εικόνα 7.3. Επιλογή μέσα από ποικιλία διεργασιών

Κατά τον σχεδιασμό και την επιλογή διαδικασιών παραγωγής, είναι επίσης σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του υλικού. Μια ποικιλία παραμέτρων υλικού, όπως η πυκνότητα, η ειδική θερμότητα, η θερμική αγωγιμότητα και ο συντελεστής θερμικής διαστολής. Για παράδειγμα, η συγκόλληση μπορεί να είναι δύσκολη ή να απαιτούνται ειδικές διαδικασίες για την αποφυγή παραμόρφωσης ή ζημιάς σε υλικά με περιορισμένη θερμική αγωγιμότητα.

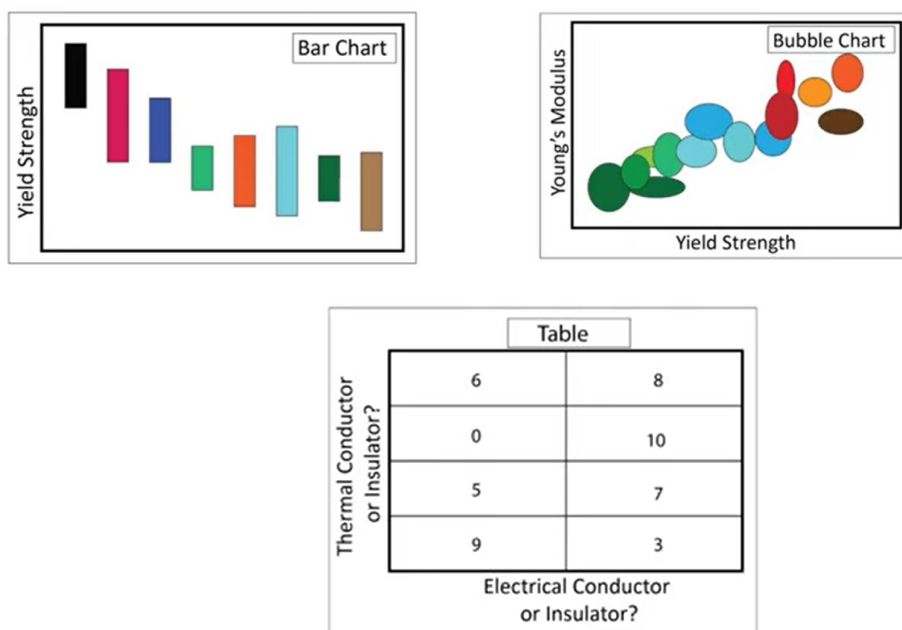
Κατά τη δημιουργία εξαρτημάτων για συγκεκριμένες εφαρμογές, οι μηχανικές ιδιότητες είναι εξίσου σημαντικές. Το λογισμικό παρέχει μια ποικιλία μηχανικών ιδιοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της αντοχής σε εφελκυσμό, της αντοχής διαρροής, της ολκιμότητας και της σκληρότητας, καλύπτονται λεπτομερώς από το EduPack. Ο σχεδιασμός εξαρτημάτων που μπορούν να χειριστούν τα αναμενόμενα φορτία και τάσεις απαιτεί τη χρήση αυτών των πληροφοριών. Για παράδειγμα, η αντοχή και η ακαμψία των υλικών που χρησιμοποιούνται είναι απαραίτητες κατά την κατασκευή ενός δομικού στοιχείου, όπως μια γέφυρα ή ένα κτίριο, για να διασφαλιστεί ότι η κατασκευή μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια τα επιθυμητά φορτία. Η επιλογή υλικού είναι μια κρίσιμη πτυχή του σχεδιασμού υλικών και το CES EduPack περιλαμβάνει εργαλεία που βοηθούν στην επιλογή υλικού με βάση συγκεκριμένες απαιτήσεις σχεδιασμού και κριτήρια απόδοσης. Αυτά τα εργαλεία λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως η αντοχή, η ακαμψία, η ανθεκτικότητα και το κόστος. Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους παράγοντες στη διαδικασία επιλογής υλικού, οι σχεδιαστές μπορούν να προσδιορίσουν τα καταλληλότερα υλικά για μια δεδομένη εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς και τις απαιτήσεις του σχεδιασμού. Το CES EduPack παρέχει επίσης πληροφορίες για διαφορετικούς τύπους αστοχιών υλικού, όπως θραύση, κόπωση και φθορά. Η κατανόηση των αιτιών και των μηχανισμών των αστοχιών υλικών είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό εξαρτημάτων που είναι λιγότερο

επιρρεπή σε αστοχίες και για τη διάγνωση και την επίλυση προβλημάτων σε υπάρχοντα σχέδια. Τα εργαλεία ανάλυσης αστοχιών που είναι διαθέσιμα στο CES EduPack μπορούν να βοηθήσουν τους σχεδιαστές να εντοπίσουν τις βασικές αιτίες των αστοχιών και να αναπτύξουν στρατηγικές για τον μετριασμό ή την εξάλειψή τους.

Συνολικά, τα δεδομένα επεξεργασίας και σχεδίασης που είναι διαθέσιμα στο CES EduPack παρέχουν πληθώρα πληροφοριών για να βοηθήσουν τους σχεδιαστές και τους μηχανικούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις κατά την επιλογή υλικών και το σχεδιασμό εξαρτημάτων. Το λογισμικό περιλαμβάνει εκτενείς βάσεις δεδομένων ιδιοτήτων υλικού, τεχνικών επεξεργασίας και παραγόντων σχεδιασμού, καθώς και εργαλεία που βοηθούν στην επιλογή υλικού, στην ανάλυση αστοχιών και στην επίλυση προβλημάτων. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες και τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα στο CES EduPack, οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί μπορούν να δημιουργήσουν προϊόντα που είναι βελτιστοποιημένα για απόδοση, ανθεκτικότητα και βιωσιμότητα.

7.2. Γραφήματα

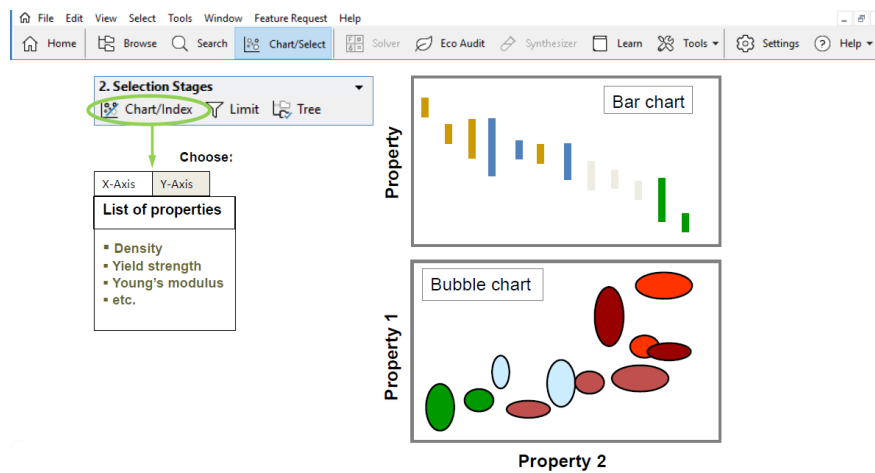
Το CES EduPack είναι ένα ισχυρό εργαλείο και ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι η ικανότητά του να δημιουργεί γραφήματα που παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τις ιδιότητες και την απόδοση του υλικού. Αυτά τα γραφήματα μπορούν να προσαρμοστούν για να ταιριάζουν σε συγκεκριμένες ανάγκες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξερεύνηση διαφορετικών υλικών και των ιδιοτήτων τους. Οι τρεις τύποι διαγραμμάτων που χρησιμοποιούνται στο λογισμικό είναι:



Εικόνα 7.4. Γραφικές παραστάσεις

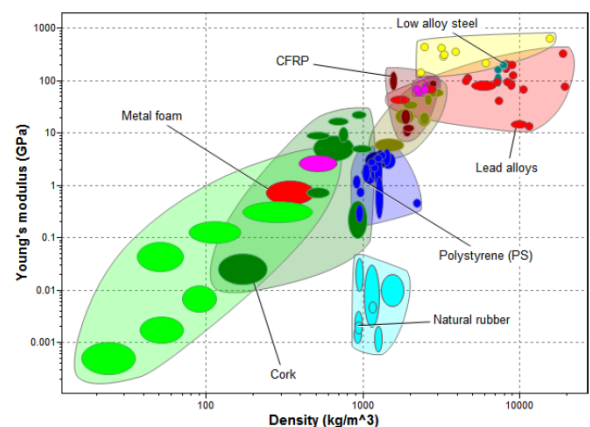
Τα γραφήματα φυσαλίδων χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση τρισδιάστατων δεδομένων, με το μέγεθος των φυσαλίδων να αντιπροσωπεύει την τρίτη διάσταση. Είναι χρήσιμα για τη σύγκριση δεδομένων σε τρεις διαστάσεις και τον εντοπισμό προτύπων και τάσεων στα δεδομένα. Ωστόσο, είναι πιο περίπλοκα από τα γραφήματα ράβδων και μπορεί να είναι πιο δύσκολο να ερμηνευτούν. Είναι καταλληλότερα για την οπτικοποίηση μεγαλύτερων συνόλων δεδομένων, καθώς μπορούν να αντιπροσωπεύουν τρεις διαστάσεις δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, τα

Γραφήματα ράβδων χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση κατηγορικών δεδομένων, με το μήκος των ράβδων να αντιπροσωπεύει την τιμή των δεδομένων. Είναι χρήσιμα για τη σύγκριση δεδομένων μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών και για γρήγορες συγκρίσεις μεταξύ ομάδων δεδομένων. Είναι σχετικά απλά και εύκολα στην ερμηνεία τους. Ωστόσο, ενδέχεται να μην είναι κατάλληλα για την οπτικοποίηση πιο σύνθετων δεδομένων ή τον εντοπισμό συσχετίσεων μεταξύ διαφορετικών μεταβλητών στα δεδομένα. Ταιριάζουν καλύτερα για μικρότερα σύνολα δεδομένων, καθώς αντιπροσωπεύουν δεδομένα από κατηγορικές μεταβλητές.

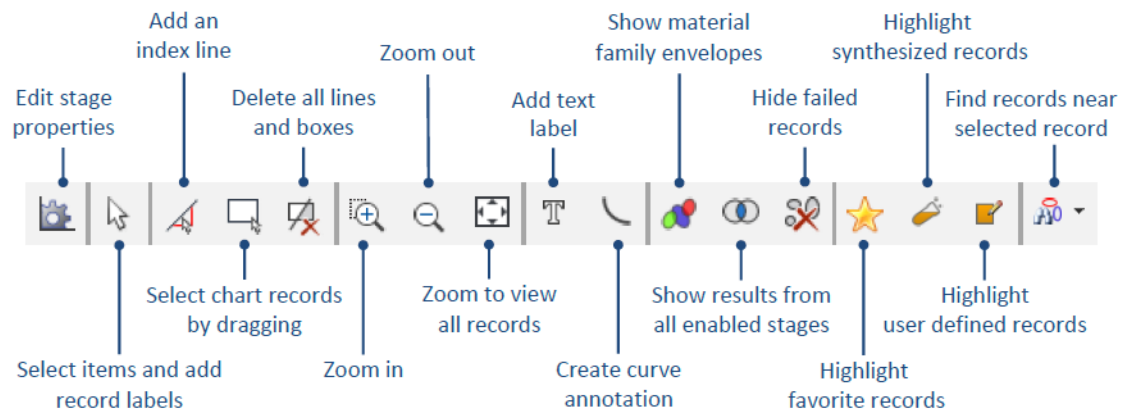


Εικόνα 7.5. Δημιουργία γραφημάτων

Η επιλογή του γραφήματος που θα χρησιμοποιηθεί θα εξαρτηθεί από τον τύπο των δεδομένων που οπτικοποιούνται και τις πληροφορίες που πρέπει να συλλεχθούν από τα δεδομένα. Τόσο τα γραφήματα με φυσαλίδες όσο και τα γραφήματα ράβδων έχουν τα δικά τους δυνατά και αδύνατα σημεία και η κατανόηση αυτών μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή του κατάλληλου γραφήματος για ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων.



Κατά τη δημιουργία των διαγραμμάτων δίνεται και η δυνατότητα επεξεργασίας τους. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες βασικές ιδιότητες και η βασική γραμμή εργαλείων.

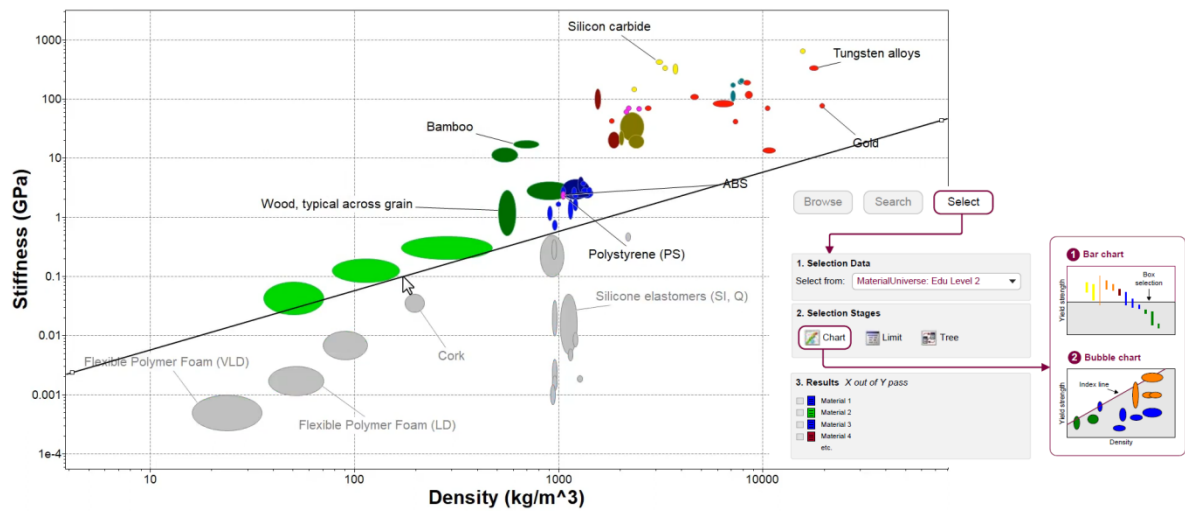


 → Εργαλείο Index and Display lines

Οι δείκτες και οι γραμμές απεικόνισης είναι δύο σημαντικά χαρακτηριστικά του CES EduPack που επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση και να χειρίζονται δεδομένα σχετικά με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των υλικών. Οι δείκτες είναι οργανωμένοι κατάλογοι υλικών, όπου κάθε υλικό παρατίθεται μαζί με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του. Οι γραμμές απεικόνισης, από την άλλη πλευρά, είναι γραφικές αναπαραστάσεις των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών των υλικών, οι οποίες επιτρέπουν στους χρήστες να συγκρίνουν γρήγορα και εύκολα διαφορετικά υλικά και να εντοπίζουν τάσεις και μοτίβα.

Στο CES EduPack διατίθενται διάφοροι δείκτες και γραμμές προβολής, καθένας από τους οποίους έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει ένα συγκεκριμένο σύνολο αναγκών και απαιτήσεων. Ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των δεικτών και των γραμμών προβολής στο CES EduPack περιλαμβάνουν:

- Προσαρμογή: Οι χρήστες μπορούν να προσαρμόζουν τους δείκτες και τις γραμμές απεικόνισης ώστε να ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες ανάγκες και απαιτήσεις τους, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής συγκεκριμένων υλικών ή ιδιοτήτων, της προσαρμογής των ρυθμίσεων απεικόνισης και της δημιουργίας προσαρμοσμένων δεικτών και γραμμών απεικόνισης.
- Αναζήτηση και φιλτράρισμα: Οι δείκτες και οι γραμμές απεικόνισης επιτρέπουν στους χρήστες να βρίσκουν γρήγορα και εύκολα τις πληροφορίες που χρειάζονται, χρησιμοποιώντας εργαλεία αναζήτησης και φιλτραρίσματος για να περιορίσουν τον κατάλογο των υλικών ή των ιδιοτήτων.
- Σύγκριση και ανάλυση: Οι γραμμές απεικόνισης επιτρέπουν στους χρήστες να συγκρίνουν και να αναλύουν τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά διαφορετικών υλικών.



Εικόνα 7.6. εφαρμογή εργαλείου Index and Display lines



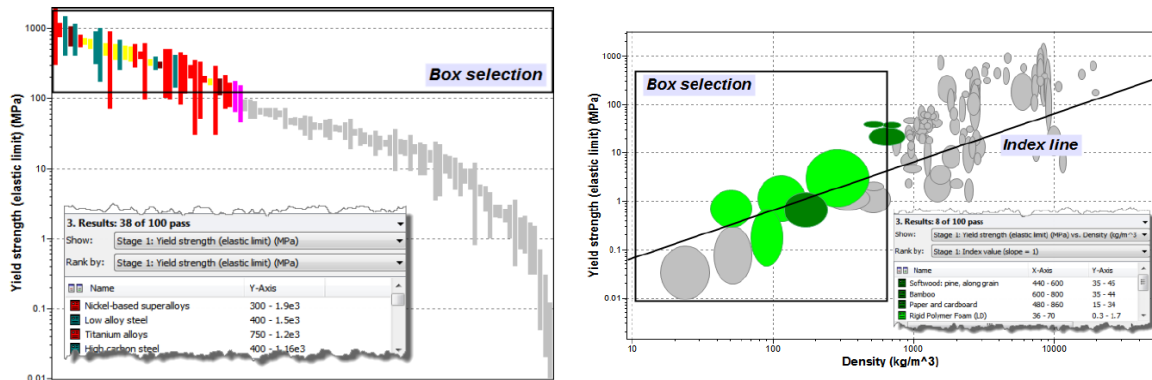
→ Εργαλείο Box Selection

Το εργαλείο Selection Box στο CES EduPack έχει μια ισχυρή δυνατότητα που επιτρέπει στους χρήστες να εντοπίζουν γρήγορα και εύκολα τα καλύτερα υλικά για μια δεδομένη εφαρμογή. Το εργαλείο έχει σχεδιαστεί για να βοηθά τους μηχανικούς και τους σχεδιαστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την επιλογή υλικών, λαμβάνοντας υπόψη ένα ευρύ φάσμα παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων των υλικών, της διαθεσιμότητας, του κόστους και της βιωσιμότητας, δημιουργώντας ένα πλαίσιο. Το εργαλείο Box Selection είναι ένα ευέλικτο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών εφαρμογών στον τομέα της επιστήμης των υλικών και της μηχανικής. Ορισμένες από τις βασικές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

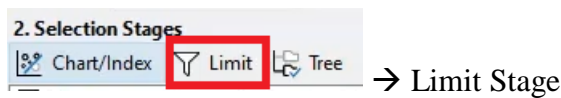
- **Επιλογή υλικών:** Το εργαλείο Box Selection μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση και την επιλογή των καταλληλότερων υλικών για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, με βάση ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών κριτηρίων και φίλτρων.
- **Βελτιστοποίηση σχεδιασμού:** Συγκρίνοντας τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά διαφορετικών υλικών, οι σχεδιαστές μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα σχέδιά τους, ώστε να διασφαλίσουν ότι πληρούν τα απαιτούμενα κριτήρια απόδοσης.
- **Περιβαλλοντική ανάλυση:** Το εργαλείο Box Selection μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων υλικών και τον εντοπισμό υλικών που είναι πιο βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον.
- **Ανάλυση κόστους:** Συγκρίνοντας το κόστος διαφορετικών υλικών, οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές μπορούν να προσδιορίσουν τα πιο οικονομικά αποδοτικά υλικά για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Το εργαλείο Box Selection είναι ένα σημαντικό εργαλείο στον τομέα της επιστήμης και της μηχανικής των υλικών για διάφορους λόγους. Πρώτον, επιτρέπει στους χρήστες να συγκρίνουν και να επιλέγουν τα καταλληλότερα υλικά για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, με βάση ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών κριτηρίων και φίλτρων. Αυτό

μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της διαδικασίας σχεδιασμού και να διασφαλίσει ότι τα υλικά χρησιμοποιούνται με τον πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο. Δεύτερον, το εργαλείο Box Selection μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων υλικών και τον εντοπισμό υλικών που είναι πιο βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον. Αυτό γίνεται όλο και πιο σημαντικό σε έναν κόσμο όπου τα περιβαλλοντικά ζητήματα γίνονται όλο και πιο πιεστικά και όπου υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμα υλικά και διαδικασίες κατασκευής.



Εικόνα 7.7. Εφαρμογή εργαλείου Box Selection

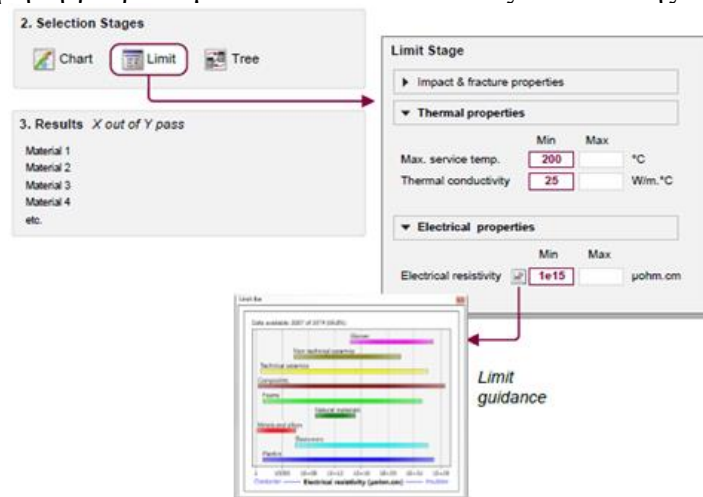


Το Limit Stage είναι ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης που περιλαμβάνεται στο CES EduPack. Επιτρέπει στους χρήστες να διερευνήσουν τα όρια των διαφόρων υλικών όσον αφορά την απόδοση και τις ιδιότητές τους, με βάση μια ποικιλία διαφορετικών παραγόντων, όπως η τάση, η παραμόρφωση και η θερμοκρασία. Για να χρησιμοποιήσουν το Limit Stage, οι χρήστες πρέπει πρώτα να επιλέξουν το υλικό που τους ενδιαφέρει να αναλύσουν. Στη συνέχεια μπορούν να καθορίσουν ένα εύρος διαφορετικών παραγόντων, όπως η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση, η μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση ή η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία. Στη συνέχεια, το λογισμικό θα παρέχει μια σειρά από διαφορετικά διαγράμματα και γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν τα όρια του εν λόγω υλικού. Το Limit Stage είναι ένα ευέλικτο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών εφαρμογών στον τομέα της επιστήμης των υλικών και της μηχανικής. Ορισμένες από τις βασικές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

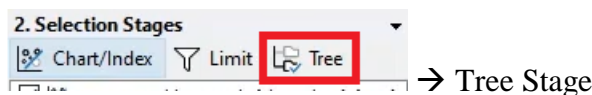
- **Επιλογή υλικών:** Το Limit Stage μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των επιδόσεων διαφορετικών υλικών και την επιλογή του καταλληλότερου υλικού για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.
- **Ανάλυση αστοχιών:** Το Limit Stage μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των παραγόντων που συμβάλλουν στην αστοχία του υλικού, όπως η τάση, η παραμόρφωση και η θερμοκρασία.
- **Ανάλυση ασφάλειας:** Με την κατανόηση των ορίων των διαφόρων υλικών, οι μηχανικοί μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι σχεδιασμοί τους είναι ασφαλείς και αξιόπιστοι και μπορούν να εντοπίσουν πιθανά ζητήματα ασφάλειας πριν προκύψουν.

- Ανάλυση βιωσιμότητας: Το Limit Stage μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων υλικών και τον εντοπισμό υλικών που είναι πιο βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον.

Το Limit Stage είναι ένα σημαντικό εργαλείο στον τομέα της επιστήμης και της μηχανικής των υλικών για διάφορους λόγους. Πρώτον, δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να αποκτήσουν βαθύτερη κατανόηση των ορίων των διαφόρων υλικών και των πιθανών εφαρμογών τους. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της διαδικασίας σχεδιασμού και να διασφαλίσει ότι τα υλικά χρησιμοποιούνται με τον πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο. Δεύτερον, μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό πιθανών ζητημάτων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε βιομηχανίες όπως η αεροδιαστημική, όπου ακόμη και μικρά σφάλματα μπορεί να έχουν καταστροφικές συνέπειες. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων υλικών και τον εντοπισμό υλικών που είναι πιο βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον. Αυτό γίνεται όλο και πιο σημαντικό σε έναν κόσμο όπου τα περιβαλλοντικά ζητήματα γίνονται όλο και πιο πειστικά και όπου υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμα υλικά και διαδικασίες κατασκευής.



Εικόνα 7.8. Εφαρμογή Limit Stage



Το "tree stage" είναι ένα από τα κύρια εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την εξερεύνηση και την επιλογή υλικών. Πρόκειται για μια γραφική διεπαφή που εμφανίζει τις σχέσεις μεταξύ διαφορετικών υλικών με βάση τη σύνθεση και τις ιδιότητές τους. Είναι οργανωμένο σε διάφορες κατηγορίες, όπως μέταλλα, πολυμερή, κεραμικά και σύνθετα υλικά, καθεμία από τις οποίες έχει πολλαπλές υποκατηγορίες. Για παράδειγμα, η κατηγορία "πολυμερή" περιλαμβάνει υποκατηγορίες όπως τα θερμοπλαστικά, τα θερμοσκληρυνόμενα, τα ελαστομερή και άλλα. Καθώς ο χρήστης πλοηγείται, μπορεί να κάνει κλικ σε κάθε υλικό για να δει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του, όπως η πυκνότητα, η αντοχή, η δυσκαμψία, η θερμική αγωγιμότητα και άλλες σχετικές παραμέτρους. Οι ιδιότητες του υλικού εμφανίζονται σε μορφή πίνακα, μαζί με μια εικόνα του υλικού και έναν κατάλογο των πιθανών εφαρμογών του.

Description

Image



Caption

1. Polypropylene samples showing texture and transparency. © Chris Lefteri 2. Polypropylene glasses. © Thinkstock

The material

Polypropylene, PP, first produced commercially in 1958, is the younger brother of polyethylene - a very similar molecule with similar price, processing methods and application. Like PE it is produced in very large quantities (more than 30 million tons per year in 2000), growing at nearly 10% per year, and like PE its molecule-lengths and side-branches can be tailored by clever catalysis, giving precise control of impact strength, and of the properties that influence molding and drawing. In its pure form polypropylene is flammable and degrades in sunlight. Fire retardants make it slow to burn and stabilizers give it extreme stability, both to UV radiation and to fresh and salt water and most aqueous solutions.

Composition (summary) ⓘ

$(\text{CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3))_n$

General properties

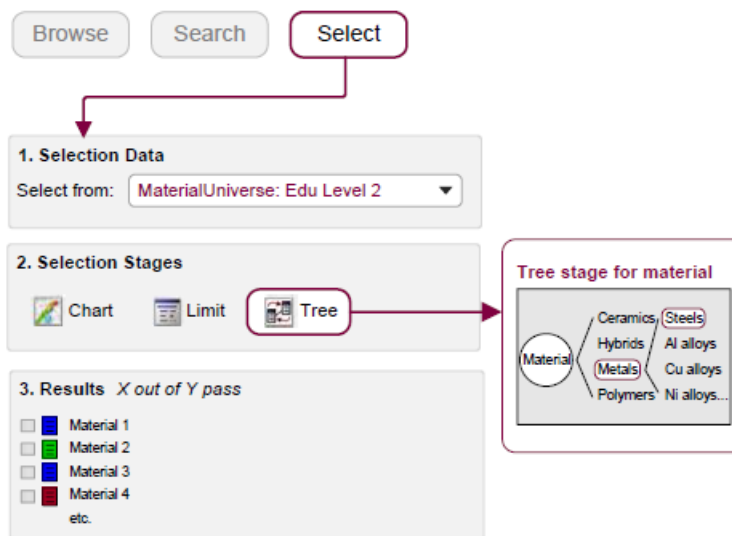
Density	ⓘ	890	-	910	kg/m ³
Price	ⓘ	* 1.96	-	2.24	USD/kg
Date first used	ⓘ	1957			

Mechanical properties

Young's modulus	ⓘ	0.896	-	1.55	GPa
Shear modulus	ⓘ	0.316	-	0.548	GPa
Bulk modulus	ⓘ	2.5	-	2.6	GPa
Poisson's ratio	ⓘ	0.405	-	0.427	
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	20.7	-	37.2	MPa
Tensile strength	ⓘ	27.6	-	41.4	MPa
Compressive strength	ⓘ	25.1	-	55.2	MPa
Elongation	ⓘ	400	-	600	% strain

Εικόνα 7.9. Σχετικές πληροφορίες για θερμοπλαστικά

Εκτός από τις ιδιότητες των μεμονωμένων υλικών, παρέχονται επίσης πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση και τη δομή των υλικών. Για παράδειγμα, η κατηγορία "μέταλλα" περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τα στοιχεία κράματος και τις επιδράσεις τους στις ιδιότητες διαφόρων τύπων μετάλλων. Η κατηγορία "κεραμικά" περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την κρυσταλλική δομή και τον δεσμό των κεραμικών, οι οποίες επηρεάζουν τις ιδιότητές τους, όπως η σκληρότητα και η ευθραυστότητα. Τέλος, επιτρέπει στους χρήστες να συγκρίνουν διαφορετικά υλικά με βάση τις ιδιότητές τους. Επιλέγοντας πολλαπλά υλικά, ο χρήστης μπορεί να προβάλει τις ιδιότητές τους σε μορφή διαγράμματος, επιτρέποντας την εύκολη σύγκριση και ανάλυση.



Εικόνα 7.10. Χρήση του εργαλείου tree stage

7.3. Eco Audit

Το CES Edupack περιλαμβάνει μια λειτουργία οικολογικού ελέγχου (eco audit) που επιτρέπει στους χρήστες να αξιολογούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υλικών και των προϊόντων. Ο οικολογικός έλεγχος υπολογίζει διάφορους περιβαλλοντικούς δείκτες, όπως το αποτύπωμα άνθρακα, η κατανάλωση ενέργειας, η χρήση νερού και η παραγωγή αποβλήτων, με βάση τις φάσεις παραγωγής, χρήσης και διάθεσης του υλικού. Για να εκτελέσει έναν οικολογικό έλεγχο, ο χρήστης επιλέγει πρώτα ένα υλικό ή ένα προϊόν στο λογισμικό. Στη συνέχεια, το λογισμικό παρέχει μια επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του υλικού ή του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της ποσότητας ενέργειας που καταναλώνεται και των εκπομπών CO₂ που παράγονται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Στη συνέχεια μπορούν να τροποποιηθούν οι παράμετροι του υλικού ή του προϊόντος, όπως η διαδικασία παραγωγής, ο τρόπος μεταφοράς και οι επιλογές για το τέλος του κύκλου ζωής, για να γίνει φανερό πώς αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το λογισμικό παρέχει μια σειρά επιλογών και σεναρίων για κάθε παράμετρο, επιτρέποντας στον χρήστη να διερευνήσει διαφορετικές μεθόδους παραγωγής και διάθεσης. Τα αποτελέσματα του οικολογικού ελέγχου παρουσιάζονται σε διάφορες μορφές, όπως διαγράμματα, γραφήματα και πίνακες, επιτρέποντας στον χρήστη να συγκρίνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφορετικών υλικών και προϊόντων. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση των αποφάσεων επιλογής υλικών και προϊόντων, για τον εντοπισμό τομέων για περιβαλλοντική βελτίωση και για την κοινοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων στα ενδιαφερόμενα μέρη.

Το συγκεκριμένο εργαλείο μπορεί να αναλύσει το Bill of Materials (BoM) ενός προϊόντος και τις μεθόδους πρωτογενούς επεξεργασίας για να εντοπίσει περιοχές στις οποίες μπορούν να γίνουν βελτιώσεις ώστε να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του προϊόντος. Για την ολοκλήρωση της ανάλυσης κύκλου ζωής απαιτούνται τέσσερα βήματα.

1^ο βήμα: Material and manufacture

Το εργαλείο επιτρέπει στους χρήστες να εισάγουν το Bill of Materials (BoM) για το προϊόν που αξιολογείται. Αυτό περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τον τύπο και την ποσότητα κάθε υλικού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του προϊόντος, όπως μέταλλα, πλαστικά, κεραμικά και σύνθετα υλικά. Εκτός από το BoM αξιολογούνται και οι πρωτογενείς μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κάθε υλικού. Αυτό περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές που σχετίζονται με κάθε μέθοδο επεξεργασίας, όπως η χύτευση, η έλαση, η εξώθηση και η χύτευση με έγχυση. Επιπλέον, από τις μεθόδους πρωτογενούς επεξεργασίας, το εργαλείο οικολογικού ελέγχου επιτρέπει στους χρήστες να αξιολογούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεθόδων δευτερογενούς επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του προϊόντος, όπως η μηχανική κατεργασία, η συναρμολόγηση και το φινίρισμα. Με την εξέταση των επιπτώσεων τόσο των πρωτογενών όσο και των δευτερογενών μεθόδων επεξεργασίας, οι χρήστες μπορούν να αποκτήσουν μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της διαδικασίας κατασκευής του προϊόντος.

Qty	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	End of life
100	Bottle	PET	Virgin (0%)	0.04	Polymer molding	Recycle

Material Universe

- Ceramics and glasses
- Electrical components
- Hybrids: composites, ...
- Metals and alloys
- Polymers: plastics, elastomers
- Thermoplastics

PET

Virgin (0%)

Polymer extrusion
Polymer molding

Landfill
Combust
Downcycle
Recycle
Re-manufacture
Reuse
None

100	Cap	PP (homog)	Virgin (0%)	0.001	Polymer molding	Combust
100	Dead weight			1		None

Εικόνα 7.11. Εισαγωγή υλικών και μεθόδων επεξεργασίας

2^ο βήμα: Transportation

Η μεταφορά αποτελεί σημαντική πτυχή του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, καθώς μπορεί να αντιπροσωπεύει σημαντικό μέρος των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Κατά την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της μεταφοράς ενός προϊόντος, μπορούν να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Απόσταση: Η απόσταση που χρειάζεται να μεταφερθεί το προϊόν μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο περιβαλλοντικό του αποτύπωμα. Το εργαλείο οικολογικού ελέγχου μπορεί να υπολογίσει τις εκπομπές που σχετίζονται με τη μεταφορά του προϊόντος οδικώς, σιδηροδρομικώς, αεροπορικώς ή μέσω θαλάσσης, με βάση τη διανυόμενη απόσταση και τον τύπο μεταφοράς που χρησιμοποιείται.
- Τρόπος μεταφοράς: Ο τρόπος μεταφοράς που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του προϊόντος μπορεί επίσης να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του. Οι διάφοροι τρόποι μεταφοράς έχουν διαφορετικά επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών και το εργαλείο οικολογικού ελέγχου

περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε τρόπου μεταφοράς.

● Enter transport stage name

● Select transport mode

● Enter distance travelled

Stage name	Transport type	Distance (km)
Stage 1	Sea freight	5500
Stage 2	etc	
Stage 3		

- Sea freight
- River / Canal freight
- Rail freight
- 32 tonne truck
- 14 tonne truck
- Light goods vehicle
- Air freight - short haul
- Air freight - long haul
- Helicopter (Eurocopter AS 35)

Εικόνα 7.12. Επιλογή τρόπου μεταφοράς

3^ο βήμα: Use

Η φάση χρήσης αναφέρεται στην περίοδο κατά την οποία το προϊόν χρησιμοποιείται από τον τελικό χρήστη. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, το προϊόν μπορεί να καταναλώνει ενέργεια και άλλους πόρους και να παράγει απόβλητα ή εκπομπές. Επίσης, τα προϊόντα μπορεί να βρίσκονται τόσο σε στατική όσο και σε κινητή λειτουργία.

Στη στατική λειτουργία, το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων που παραμένουν σταθερά κατά τη φάση χρήσης τους, όπως κτίρια, συσκευές ή έπιπλα. Σε αυτή τη λειτουργία, το εργαλείο μπορεί να υπολογίσει την κατανάλωση ενέργειας, τη χρήση νερού, τις εκπομπές και τα απόβλητα που παράγονται από το προϊόν κατά τη φάση χρήσης του. Στην κινητή λειτουργία, το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων που κινούνται κατά τη φάση χρήσης τους, όπως τα οχήματα ή οι ηλεκτρονικές συσκευές. Σε αυτή τη λειτουργία, το εργαλείο μπορεί να υπολογίσει την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές και τα απόβλητα που παράγονται από το προϊόν κατά τη φάση χρήσης του, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως ο χρόνος λειτουργίας του προϊόντος, η κατανάλωση ενέργειας και η αποδοτικότητα.

Εκτός της φάσης λειτουργίας σε αυτό το στάδιο δηλώνεται και η εκτίμηση της διάρκειας ζωής του προϊόντος αλλά και η τοποθεσία, όπως η χώρα ή η περιοχή. Ο τόπος χρήσης ενός προϊόντος είναι σημαντικός παράγοντας και το εργαλείο θα το λάβει υπόψη κατά τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του προϊόντος.

● Select "Static" if product does not move
 ● Select energy in and out
 ● Enter power in chosen units
 ● Enter usage pattern

3a. Use phase : Static mode

Product uses the following energy:

Energy input and output: **Electric to mechanical**

Power rating: **1.2** kW

Usage: **365** days per year

Usage: **0.5** hours per day

- Electric to thermal
- Electric to mechanical
- Fossil fuel to thermal
- Fossil fuel to mechanical

● Select "Mobile" if product moves
 ● Select fuel and mobility type
 ● Enter usage pattern

3b. Use phase : Mobile mode

Product is part of or carried by a vehicle:

Fuel and mobility type: **Gasoline, family car**

Distance per day: **120** km

Usage: **0.5** days per year

- Diesel - ocean shipping
- etc.....etc.....
- Kerosene - long haul aircraft

Εικόνα : Στατική και κινητή λειτουργία

Product life: **1** years

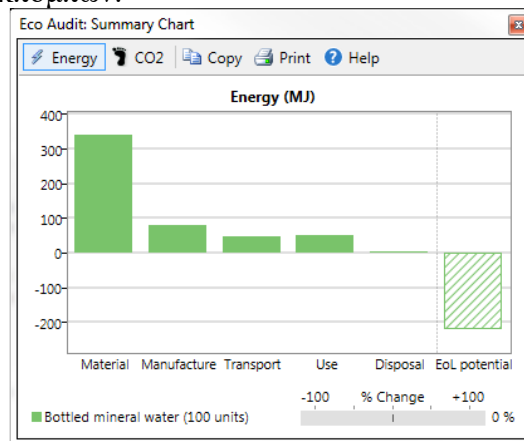
Country of use: **United Kingdom**

- France
- Germany
- United Kingdom**
- ...

Εικόνα 7.13. Ζωή προϊόντος και χώρα χρήσης

4^ο βήμα: Report

Το συνοπτικό διάγραμμα οικολογικού ελέγχου είναι μια οπτική αναπαράσταση των σημαντικότερων ευρημάτων και συστάσεων. Συνήθως περιλαμβάνει διαφορετικές ενότητες που αντιπροσωπεύουν διάφορους τομείς, όπως η χρήση ενέργειας, η παραγωγή αποβλήτων, η κατανάλωση νερού και το αποτύπωμα άνθρακα. Κάθε ενότητα του συνοπτικού διαγράμματος περιέχει συνήθως ένα ραβδόγραμμα, ένα κυκλικό διάγραμμα ή άλλη οπτική αναπαράσταση που δείχνει το τρέχον επίπεδο κατανάλωσης ή εκπομπών (π.χ. χρήση ενέργειας, παραγόμενα απόβλητα, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα). Σκοπός του συνοπτικού διαγράμματος είναι να παρουσιάσει τα βασικά ευρήματα του ελέγχου σε σαφή και κατανοητή μορφή, διευκολύνοντας τους ενδιαφερόμενους να εντοπίσουν τους τομείς στους οποίους μπορούν να γίνουν βελτιώσεις. Επιπλέον, μπορεί να περιλαμβάνει πρόσθετες πληροφορίες, όπως η εξοικονόμηση κόστους που σχετίζεται με την εφαρμογή των συνιστώμενων αλλαγών ή ο πιθανός περιβαλλοντικός αντίκτυπος της μείωσης της κατανάλωσης ή των εκπομπών.



Εικόνα 7.14. Summary chart

7.4. Παράδειγμα στο Eco Audit

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα στο eco audit όπου εισάγονται δύο διαφορετικοί τύποι μπουκαλιών, ένα πλαστικό και ένα γυάλινο και γίνεται ανάλυση κύκλου ζωής για το κάθε ένα ξεχωριστά και σύγκριση.

Για το πλαστικό μπουκάλι, απαιτείται πλαστικό τόσο για το μπουκάλι όσο και για το καπάκι.

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
Bottles	PET (30% carbon fiber)	Virgin (0%)	0,04	100	4	1,4e+03	99,8
Caps	PP (65-70% barium sulfate)	Virgin (0%)	0,001	100	0,1	3,1	0,2
Water			1	100	1e+02	0	0,0

Πίνακας 7.1. Υλικά πλαστικού μπουκαλιού

Για το γυάλινο μπουκάλι απαιτείται γυαλί για το μπουκάλι και αλουμινένιο καπάκι

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
Bottle	Soda-lime - 0070	Virgin (0%)	0,45	100	45	4,8e+02	92,3
Cap	Aluminum, commercial purity, 1050A, H19	Virgin (0%)	0,002	100	0,2	40	7,7
Water			1	100	1e+02	0	0,0

Πίνακας 7.2. Υλικά γυάλινου μπουκαλιού

Για την ύπαρξη κοινού μέτρου σύγκρισης, θεωρείται ότι και τα δύο έχουν διάρκεια ζωής ένα χρόνο, μεταφέρονται από το εργοστάσιο παραγωγής με φορτηγό σε αποθήκη και στο τέλος του κύκλου ζωής τους ανακυκλώνονται ή επαναχρησιμοποιούνται.

Και στις δύο περιπτώσεις, η φάση εξόρυξης των πρώτων υλών και η επεξεργασία τους απαιτούν τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας καθώς αφήνουν και το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, με το πλαστικό μπουκάλι να απαιτεί πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας κατά τη φάση εξόρυξης της πρώης ύλης συγκριτικά με το γυάλινο μπουκάλι, αλλά χαμηλότερη ενέργεια για την επεξεργασία του.

Ενέργεια (MJ)

	Εξόρυξη	Επεξεργασία
Πλαστικό μπουκάλι	1,40E+03	87,7
Γυάλινο μπουκάλι	516	397

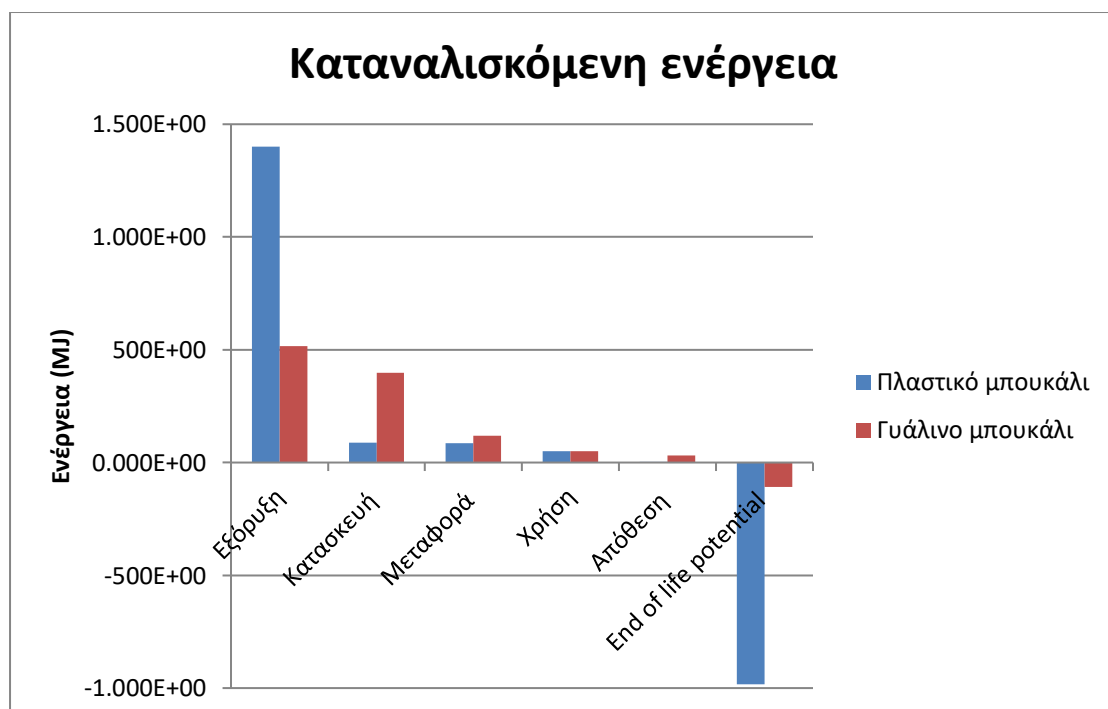
Πίνακας 7.3. Ενέργεια εξόρυξης και επεξεργασίας πρώτης ύλης

Αντίστοιχα, και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μπουκαλιών μετά το τέλος της οφέλιμης ζωής τους παρουσιάζουν την ίδια εικόνα, με το γυάλινο μπουκάλι να παρουσιάζει πολύ καλύτερη συμπεριφορά. Αξίζει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι η περιβαλλοντική συμπεριφορά εξαρτάται άμεσα από τη μέθοδο απόρριψης που θα επιλεγεί ως βέλτιστη για το κάθε υλικό και κατά πόσο μπορεί να επεκταθεί η διάρκεια ζωής του προϊόντος, καθώς το γυάλινο μπουκάλι μπορεί να διατηρηθεί και για παραπάνω από ένα χρόνο σε αντίθεση με ένα πλαστικό μπουκαλάκι.

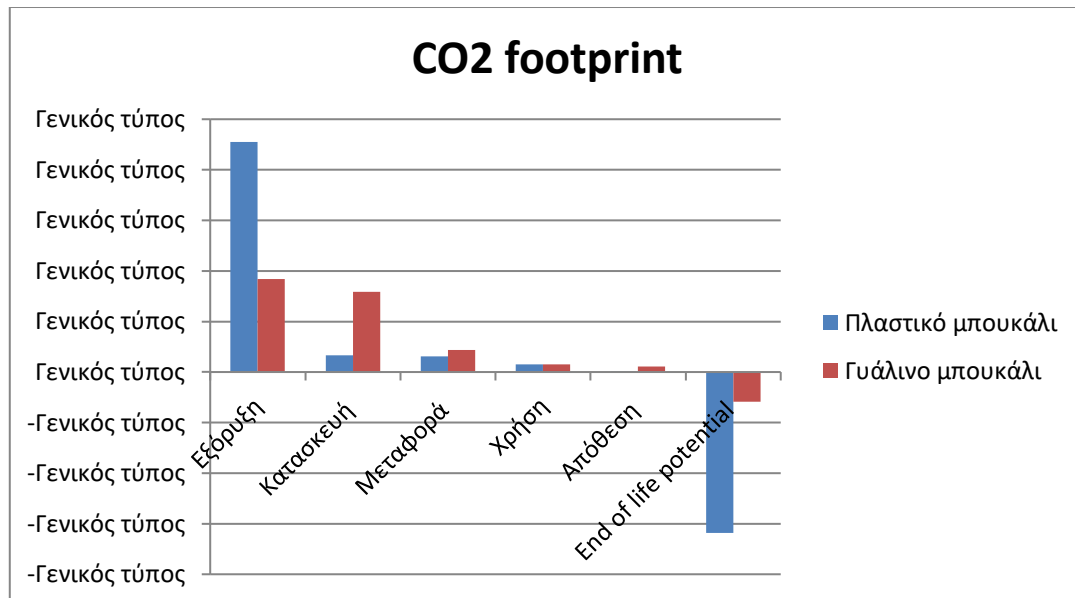
	End of life potential
Πλαστικό μπουκάλι	-983
Γυάλινο μπουκάλι	-109

Πίνακας 7.4. End of life potential μπουκαλιών

Η ανάλυση κύκλου ζωής των δύο κατηγοριών φαίνεται αναλυτικά στο παράρτημα.



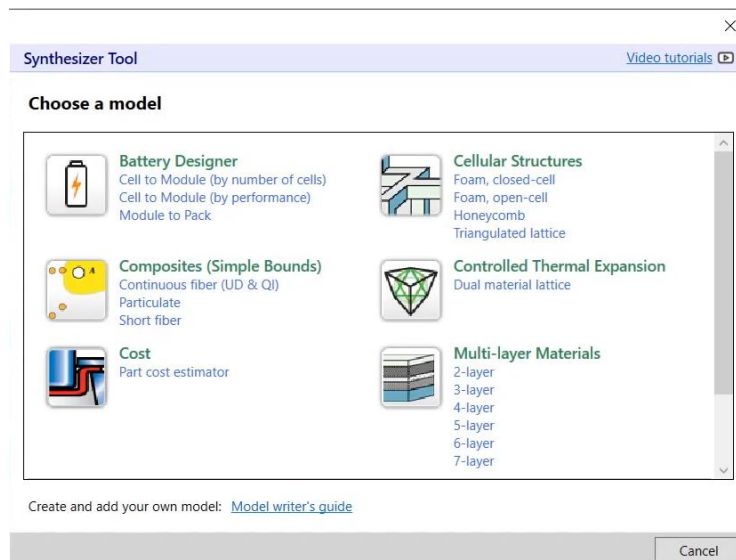
Εικόνα 7.15. Σύγκριση καταναλισκόμενης ενέργειας μπουκαλιών



Εικόνα 7.16. Σύγκριση CO₂ footprint μπουκαλιών

7.5. Hybrid Synthesizer

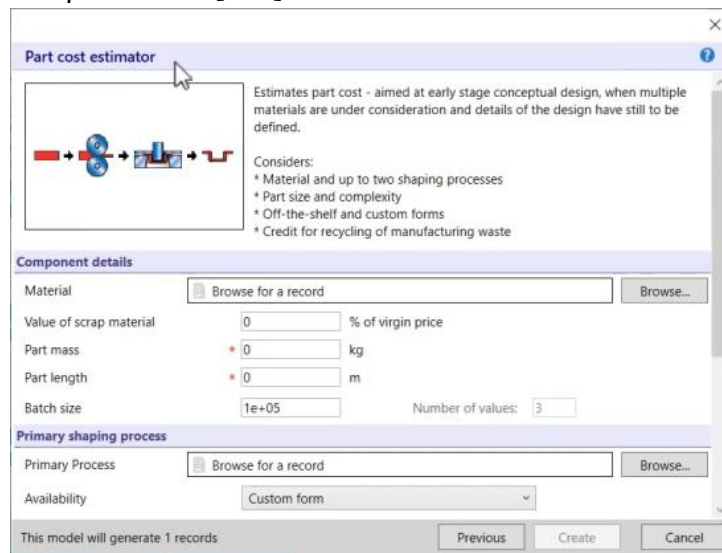
Το Hybrid Synthesizer είναι ένα πρόσθετο εργαλείο λογισμικού που μπορεί να ενσωματωθεί στο CES EduPack και στο CES Selector. Σκοπός του είναι η πρόβλεψη της απόδοσης νέων υλικών και δομών με βάση τις ιδιότητες των υφιστάμενων "τυποποιημένων" υλικών που βρίσκονται στις εγκατεστημένες βάσεις δεδομένων. Ενώ το Hybrid Synthesizer διαθέτει ένα σύνολο προκαθορισμένων μοντέλων, προσφέρει επίσης την ευελιξία στους χρήστες να προσθέσουν τα δικά τους προσαρμοσμένα μοντέλα. Τα μοντέλα είναι ομαδοποιημένα ανά τύπο όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. [103]



Εικόνα 7.17. Ομαδοποίηση μοντέλων [103]

Για να γίνει πιο κατανοητό, πως το μοντέλο part cost estimator μπορεί να βοηθήσει στις εναλλακτικές λύσεις στα κατασκευαστικά κόστη, θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα με την κατασκευή μιας πόρτας αυτοκινήτου. Οι δύο βασικές επιλογές

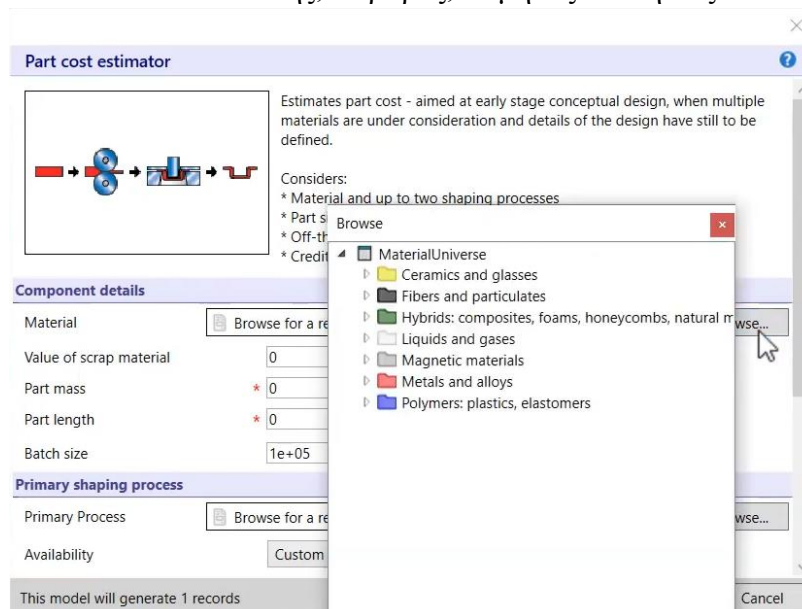
υλικών είναι, η παραδοσιακή λύση του χάλυβα και μια εναλλακτική ελαφρύτερη λύση από σύνθετο πολυπροπυλένιο. [103]



Εικόνα 7.18. Part Cost Estimator

1^ο στάδιο: Component details

Το πρώτο τμήμα που εμφανίζεται είναι οι λεπτομέρειες του εξαρτήματος. Περιλαμβάνει το υλικό κατασκευής, το βάρος, το μήκος και την αξία του θραύσματος.

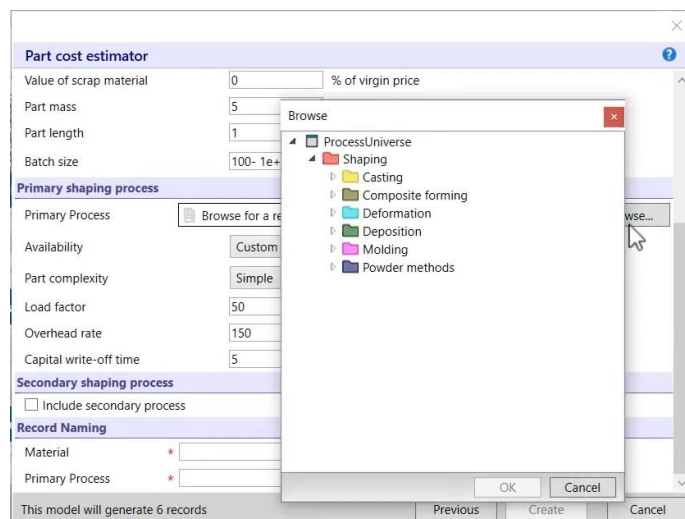


Εικόνα 7.19. Επιλογή υλικού

Για το παράδειγμα επιλέγεται ο χάλυβας YS140 cold rolled με βάρος 5kg και μήκος 1m. Η απόδοση και, επομένως, το κόστος ανά τεμάχιο ορισμένων διεργασιών μεταβάλλεται με το μέγεθος της παρτίδας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα βάλουμε σαν μέγεθος 100-1000.

2^ο στάδιο: Primary shaping process

Σε αυτό το στάδιο επιλέγεται η πρωτογενής διεργασία, η διαθεσιμότητα, η περιπλοκότητα, ο συντελεστής φορτίου και το ποσοστό γενικών εξόδων.

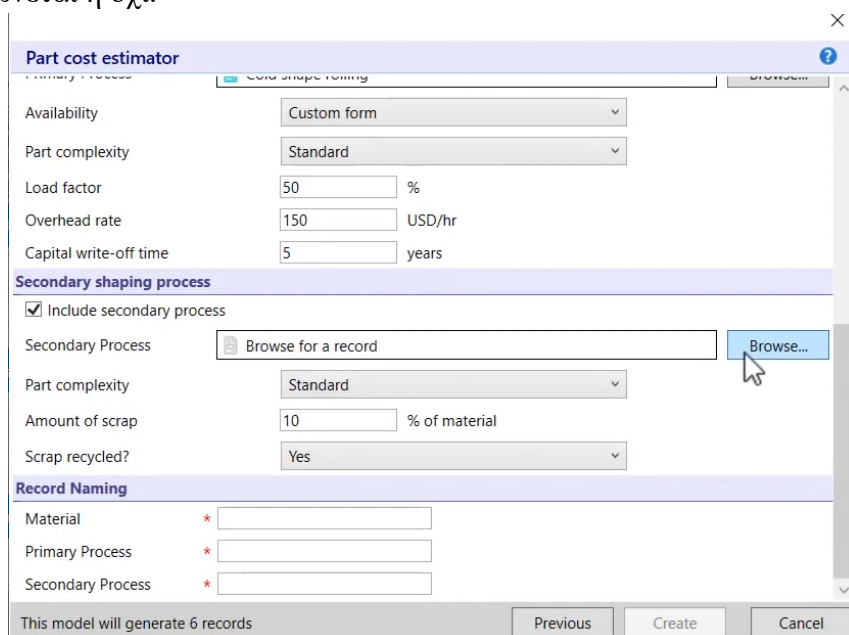


Εικόνα 7.20. Επιλογή διεργασίας

Για την εφαρμογή επιλέγεται ως πρωτογενής διεργασία: cold shape rolling και η μέση πολυπλοκότητα. Οι υπόλοιπες παράμετροι είναι προκαθορισμένες.

3^ο στάδιο: Secondary shaping process

Το συγκεκριμένο στάδιο είναι προαιρετικό και περιλαμβάνει τη δευτερογενή επεξεργασία, τη πολυπλοκότητα, το ποσοστό του σκράπ και την εκδοχή αν ανακυκλώνεται ή όχι.



Εικόνα 7.21. Secondary shaping process

Για το παράδειγμα σαν δευτερογενή διεργασία επιλέχθηκε το press forming, τα υπόλοιπα είναι προκαθορισμένα.

4^ο στάδιο: Record naming

Στο τελευταίο στάδιο γίνεται μια σύντομη ονοματοδοσία των υλικών και των διεργασιών όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Record Naming	
Material	Steel
Primary Process	Cold rolled
Secondary Process	Press

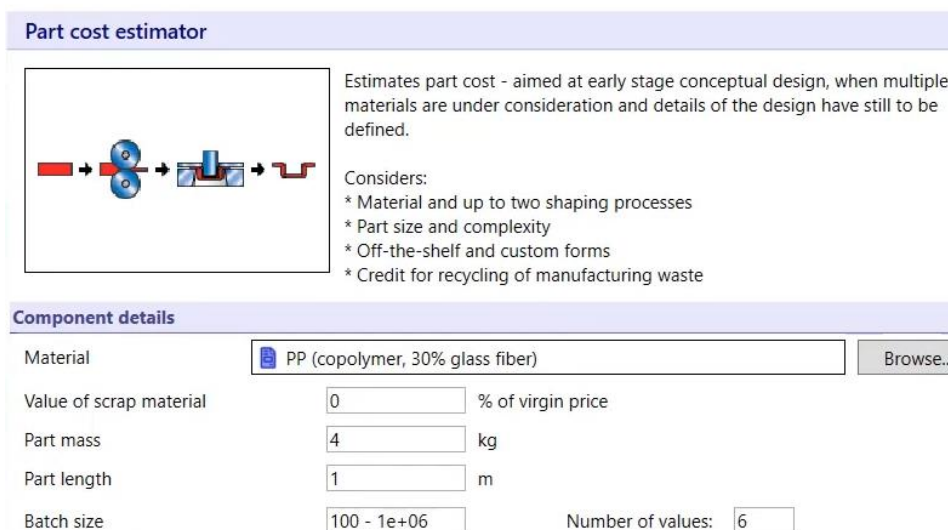
This model will generate 6 records

Previous Create Cancel

Εικόνα 7.22. Record naming

Αντίστοιχα, για την δεύτερη εναλλακτική μας ακολουθείτε ακριβώς η ίδια διαδικασία.

Το πολυμερές που επιλέγεται είναι το Copolymer, 30% glass fiber, με βάρος 4kg και μήκος 1m.



Part cost estimator

Estimates part cost - aimed at early stage conceptual design, when multiple materials are under consideration and details of the design have still to be defined.

Considers:

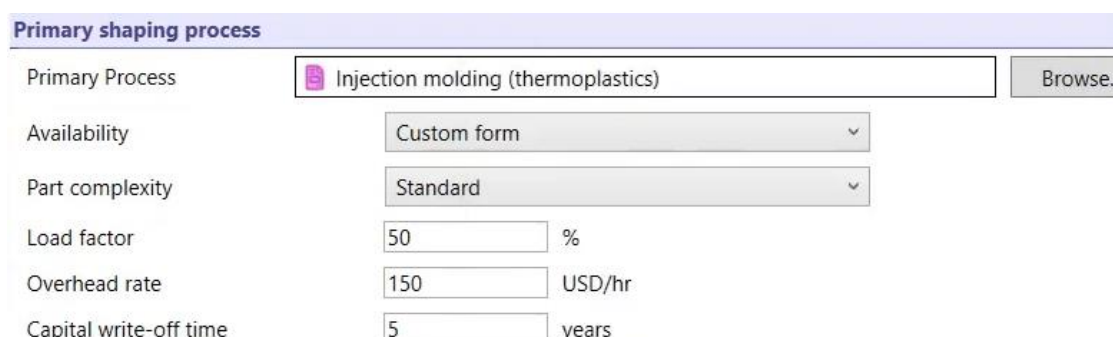
- * Material and up to two shaping processes
- * Part size and complexity
- * Off-the-shelf and custom forms
- * Credit for recycling of manufacturing waste

Component details

Material	PP (copolymer, 30% glass fiber)	Browse..
Value of scrap material	0	% of virgin price
Part mass	4	kg
Part length	1	m
Batch size	100 - 1e+06	Number of values: 6

Εικόνα 7.23. Component details εναλλακτικής λύσης

Σαν πρωτογενής διεργασία επιλέγεται το molding (thermoplastics), ενώ δεν συμπεριλαμβάνεται δευτερογενή.



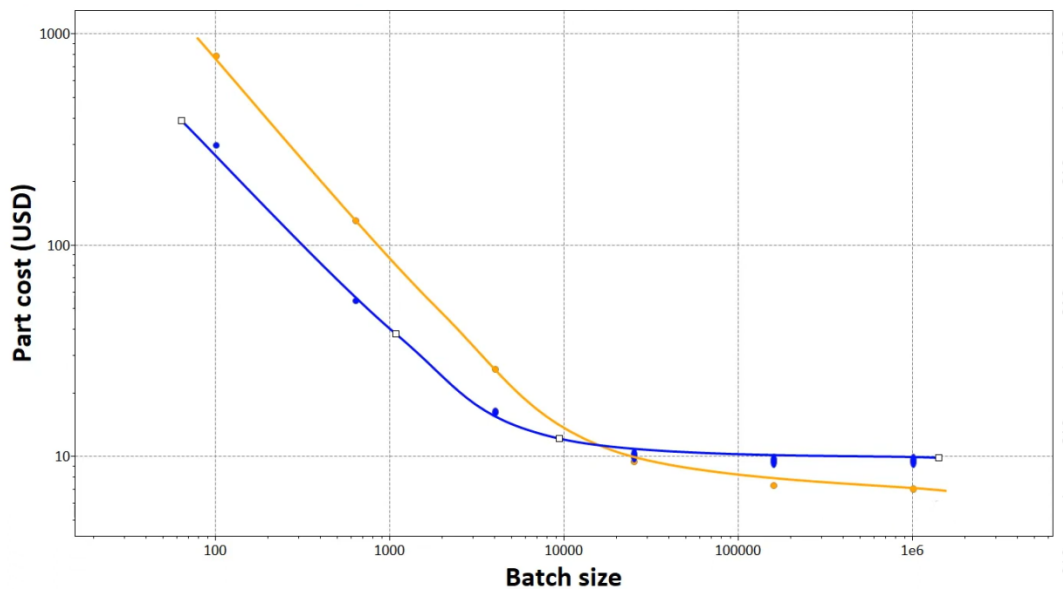
Primary shaping process	
Primary Process	Injection molding (thermoplastics)
Availability	Custom form
Part complexity	Standard
Load factor	50 %
Overhead rate	150 USD/hr
Capital write-off time	5 years

Εικόνα 7.24. Primary shaping process εναλλακτικής λύσης

Record Naming	
Material	<input type="text" value="PP"/>
Primary Process	<input type="text" value="Molding"/>

Εικόνα 7.25. Ονοματολογία εναλλακτικής λύσης

Παρακάτω βλέπουμε τη συσχέτιση του μεγέθους της παραγγελίας με το κόστος για την κάθε λύση. Με πορτοκαλί αναπαριστάται η λύση του πολυπροπυλενίου και με μπλε ο χάλυβας. Όπως είναι φανερό, ανάλογα με το μέγεθος της παραγγελίας η επιλογή του υλικού διαφέρει. Στην περίπτωση της μικρής παραγγελίας, πιο οικονομικά συμφέρον είναι η λύση του πολυπροπυλενίου, αντίθετα σε μεγάλες παραγγελίες ο χάλυβας αποτελεί ιδανικότερη επιλογή.



Εικόνα 7.26. Σύγκριση επιλογών

Κεφάλαιο 8^ο: Μελέτη περίπτωσης – Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής θερμικών/φωτοβολταϊκών συστημάτων

8.1. Σκοπός και αντικείμενο μελέτης

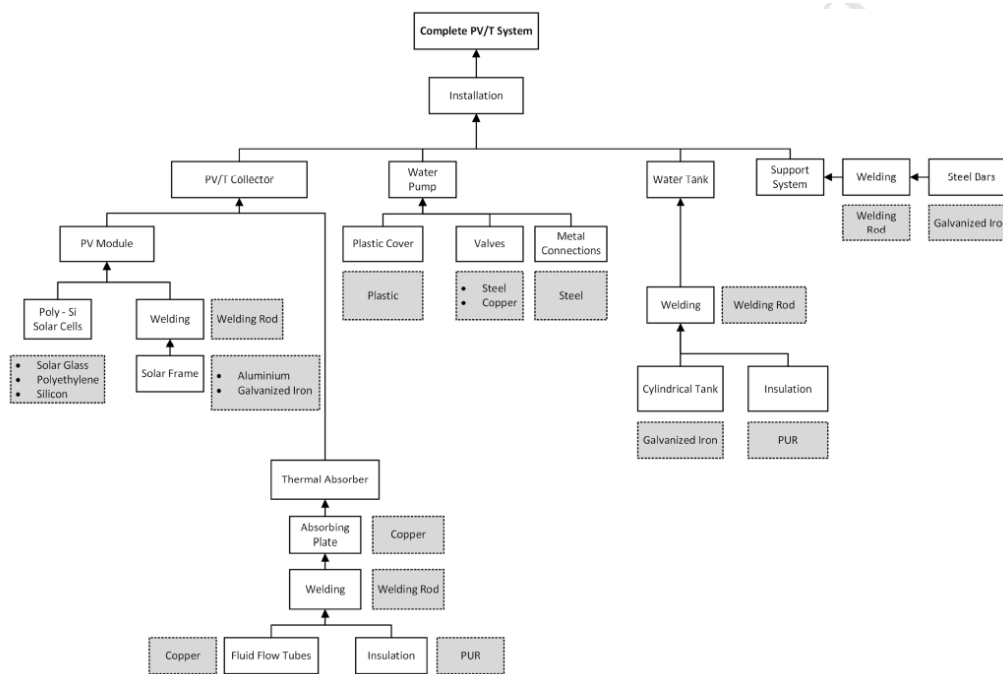
Στις αρχές του 2023 κυκλοφόρησαν τα πρώτα θερμικά/ φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου στην Ελλάδα. Σκοπός της μελέτης, είναι η ανάλυση του κύκλου ζωής τους και η περιβαλλοντική τους συμπεριφορά, καθώς και η διερεύνηση θερμικών

φωτοβολταϊκών που είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Αντικείμενο της μελέτης αποτελούν τρία διαφορετικά θερμικά φωτοβολταϊκά, εκ των οποίων τα δύο βρίσκονται ακόμη υπό διερεύνηση. Για την υλοποίηση των ΑΚΖ και περιβαλλοντικής συμπεριφοράς χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά CES Edupack και το Sima Pro, αντίστοιχα.

Για τους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη μόνο τα πάνελ και η βάση στήριξης, καθώς βάση ερευνών έχει αποδειχθεί ότι το υπόλοιπο σύστημα (καλωδιώσεις, μετατροπείας, κουτί καλωδίωσης) έχει αμελητέα συνεισφορά στο τελικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

8.2. Περιγραφή του συστήματος και διάγραμμα ροής

Η λειτουργική μονάδα ενός θερμικού φωτοβολταϊκού αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία. Τον απορροφητικό συλλέκτη, που περιλαμβάνει το φωτοβολταϊκό πάνελ, την απορροφητική πλάκα, τις σωληνώσεις για τη ροή του ρευστού και τη θερμική μόνωση, τη δεξαμενή νερού, την αντλία νερού και το σύστημα στήριξης. Το λεπτομερές διάγραμμα ροής των διαδικασιών κατασκευής και εγκατάστασης απεικονίζεται στο Σχήμα 8.1. , όπου και παρουσιάζονται όλες οι περιλαμβανόμενες υποδιαδικασίες και τα απαραίτητα υλικά, σε πλαίσια με γκριζό χρώμα. [121]



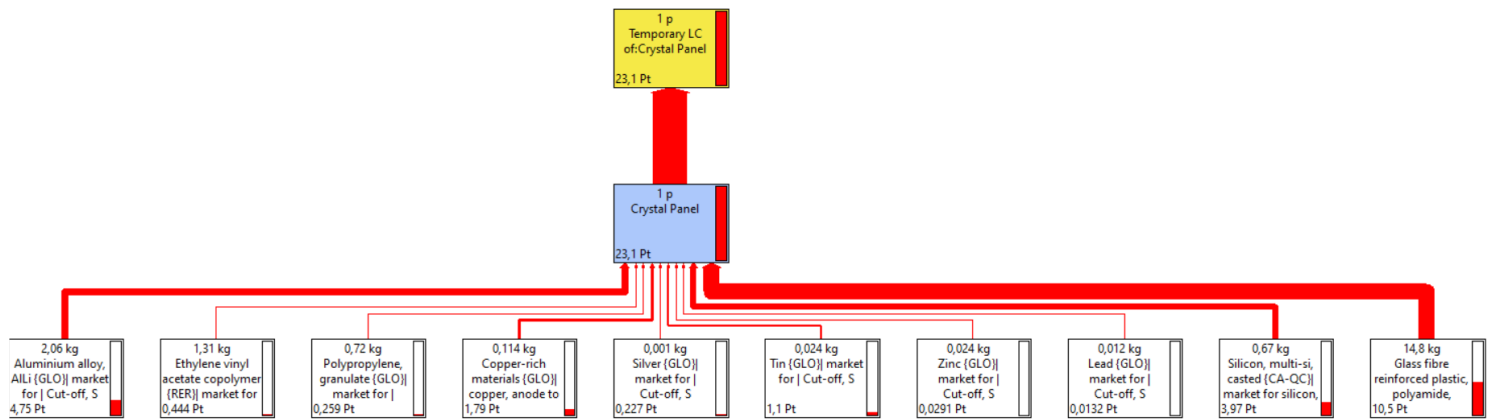
Σχήμα 8.1. Υλικά κατασκευής [121]

Το σύστημα που πρόκειται να μελετηθεί είναι πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου 2m², 300W με ενσωματωμένο θερμοαπορροφητή, μια δεξαμενή νερού και βάρος 20kg. Τα υλικά κατασκευής του θερμικού φωτοβολταϊκού φαίνονται παρακάτω:

Υλικά κατασκευής πάνελ (kg)	
Γυαλί	14,83
Αλουμίνιο	2,06
EVA πολυμερή	1,31
Προπυλένιο	0,72
Χαλκός	0,011

Άργυρος	0,001
Κασσίτερος	0,024
Ψευδάργυρος	0,024
Πυρίτιο	0,67
Μόλυβδος	0,012

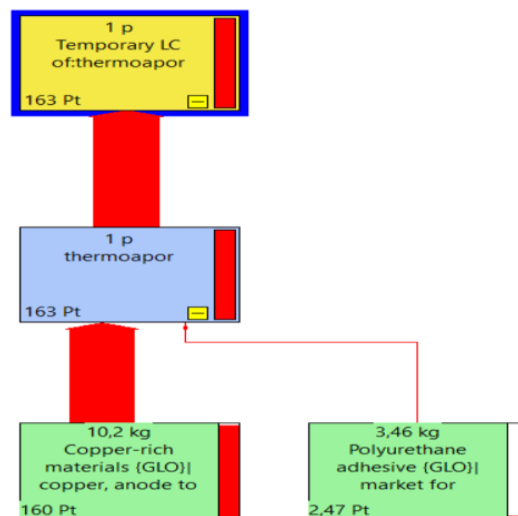
Πίνακας 8.1. Υλικά κατασκευής πάνελ



Εικόνα 8.1. Σχηματική απεικόνιση υλικών πάνελ

Υλικά κατασκευής θερμοαπορροφητή (kg)	
Χαλκός	10,2
Νερό (lt)	3,7
Πολυουρεθάνη	3,46

Πίνακας 8.2. Υλικά κατασκευής θερμοαπορροφητή

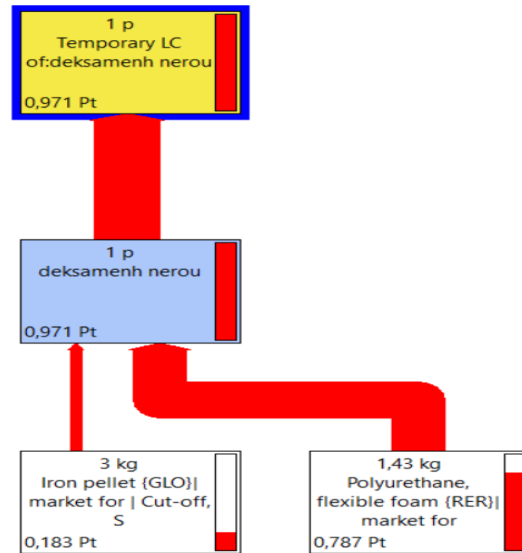


Εικόνα 8.2. Σχηματική απεικόνιση υλικών θερμοαπορροφητή

Υλικά δεξαμενής νερού (kg)	
Γαλβανισμένο σίδερο	3
Πολυουρεθάνη	1,43

Νερό (lt)	50
-----------	----

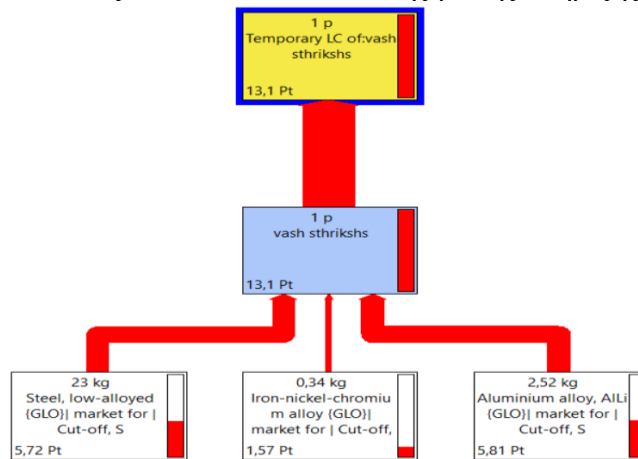
Πίνακας 8.3. Υλικά κατασκευής δεξαμενής νερού



Εικόνα 8.3. Σχηματική απεικόνιση υλικών δεξαμενής νερού

Υλικά βάσης στήριξης (kg)	
Χάλυβας	23
Ανοξειδωτος χάλυβας	0,34
Αλουμίνιο	2,52

Πίνακας 8.4. Υλικά κατασκευής βάσης στήριξης



Εικόνα 8.4. Σχηματική απεικόνιση υλικών βάσης στήριξης

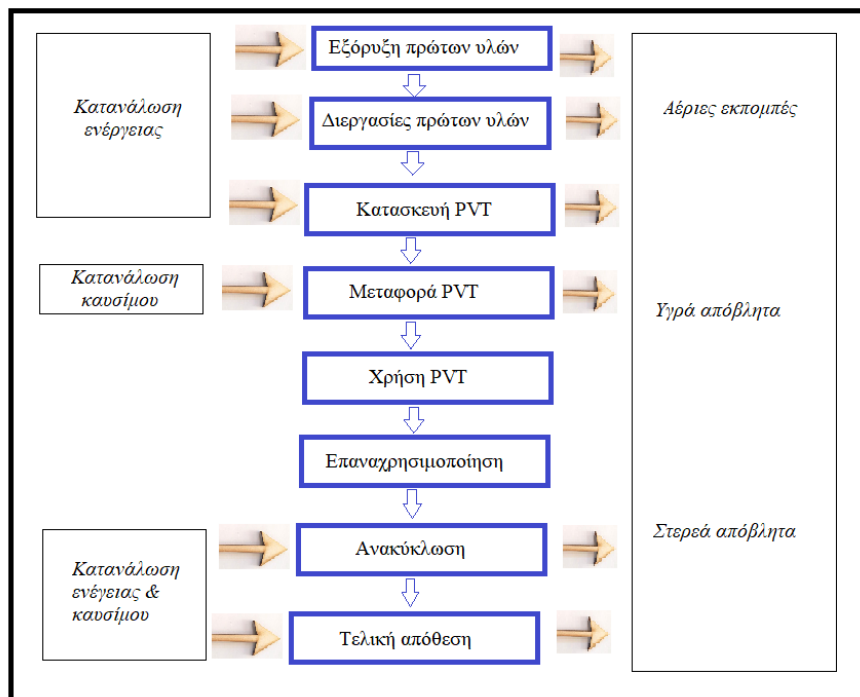
Σε πειραματικό στάδιο βρίσκονται ακόμη τα θερμικά φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου (a-Si) και CIS (Copper, Indium and Selenium). Αναλυτικά τα υλικά τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Για να υπάρχει ένα κοινό μέτρο σύγκρισης, όλα τα πάνελ επιλέχθηκε να είναι 300W.

	Θερμικό/φβ a-Si	Θερμικό/φβ CIS
	<i>Φωτοβολταϊκό πάνελ</i>	
Γυαλί	15,48	15,12
Αλουμίνιο	0,0063	2,16
Πολυμερή EVA		0,54

Χαλκός	0,162	0,144
Κασσίτερος	0,0077	
Ψευδάργυρος		0,022
Πυρίτιο	0,012	
Μόλυβδος		0,009
Κάδμιο		0,00009
Ίνδιο		0,0036
Σελήνιο		0,0054
Γάλλιο		0,0018
<u>Θερμοαπορροφητής</u>		
Χαλκός	22,6	10,2
Νερό (lt)	11,1	3,7
Πολυουρεθάνη	10,38	3,46
<u>Δεξαμενή νερού</u>		
Γαλβανισμένο σίδερο	6	3
Πολυουρεθάνη	2,86	1,43
Νερό (lt)	100	50
<u>Σύστημα υποστήριξης</u>		
Χάλυβας	69	23
Ανοξειδωτος χάλυβας	1,02	0,34
Αλουμίνιο	1,08	0,36

Πίνακας 8.5. Υλικά κατασκευής θερμικών φ/β σε πειραματικό στάδιο

Αναλυτικότερα τα διαγράμματα ροής των υλικών των πάνελ σε πειραματικό στάδιο φαίνονται στο παράρτημα.



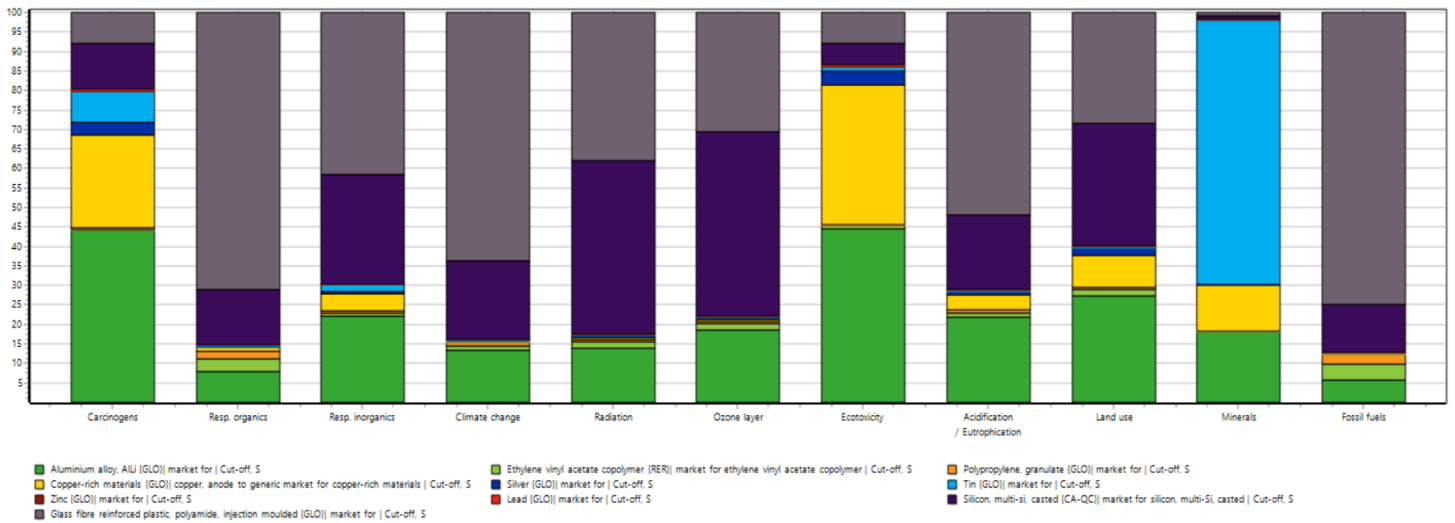
Εικόνα 8.5. Διάγραμμα ροής

8.3. Αποτελέσματα λογισμικού Sima Pro – Περιβαλλοντική συμπεριφορά

Τα αποτελέσματα της εκτίμησης των επιπτώσεων αφορούν τα στάδια εξόρυξης και κατασκευής των τριών διαφορετικών πάνελ, πριν προωθηθούν στο στάδιο της

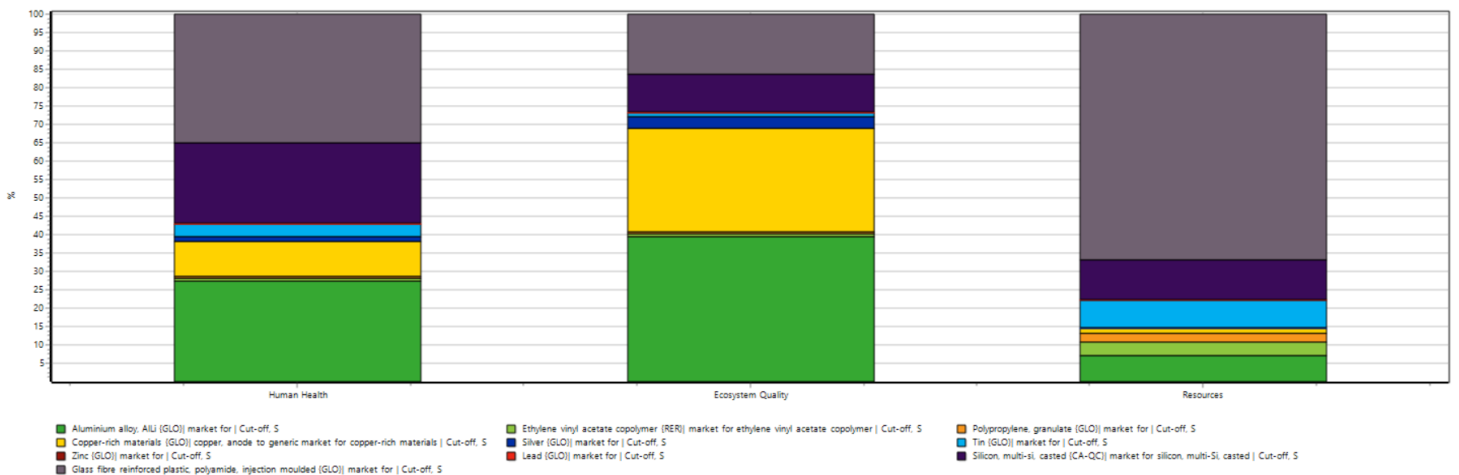
μεταφοράς. Παρουσιάζεται ανά πάνελ ξεχωριστά, η περιβαλλοντική συμπεριφορά κάθε υλικού, καθώς και πως επηρεάζεται η ανθρώπινη υγεία, οι πόροι και το οικοσύστημα. Τέλος, θα απεικονιστεί διαγραμματικά η σύγκριση μεταξύ των τριών περιπτώσεων ανά κατηγορία επιπτώσεων.

1^η περίπτωση: Πάνελ Κρυσταλλικού πυριτίου



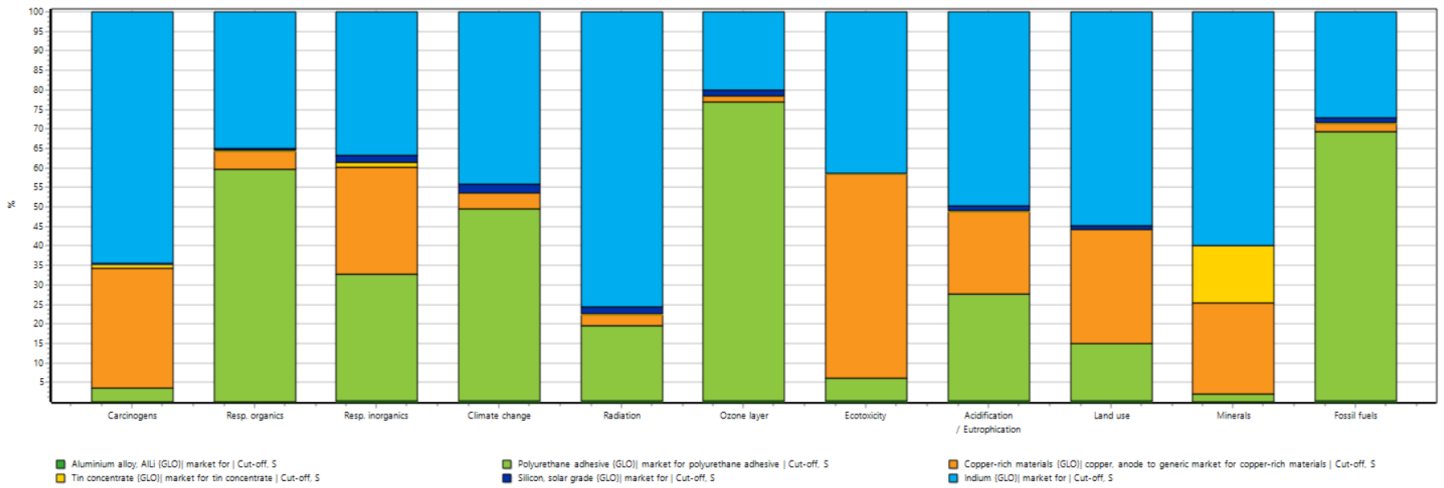
Εικόνα 8.6. Περιβαλλοντική συμπεριφορά πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου

Όπως είναι φανερό τα υλικά που επηρεάζουν περισσότερο σχεδόν όλους τους δείκτες είναι το γυαλί, το πυρίτιο και ακολουθεί το αλουμίνιο.



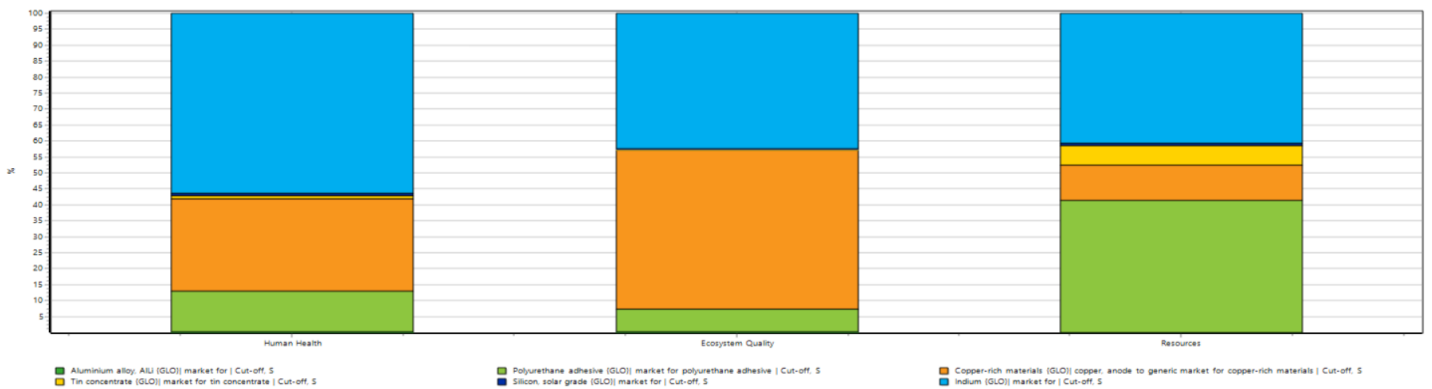
Εικόνα 8.7. Επίδραση υλικών κρυσταλλικού πάνελ στην ανθρώπινη υγεία, στο οικοσύστημα και στους πόρους

2^η περίπτωση: Πάνελ a-Si



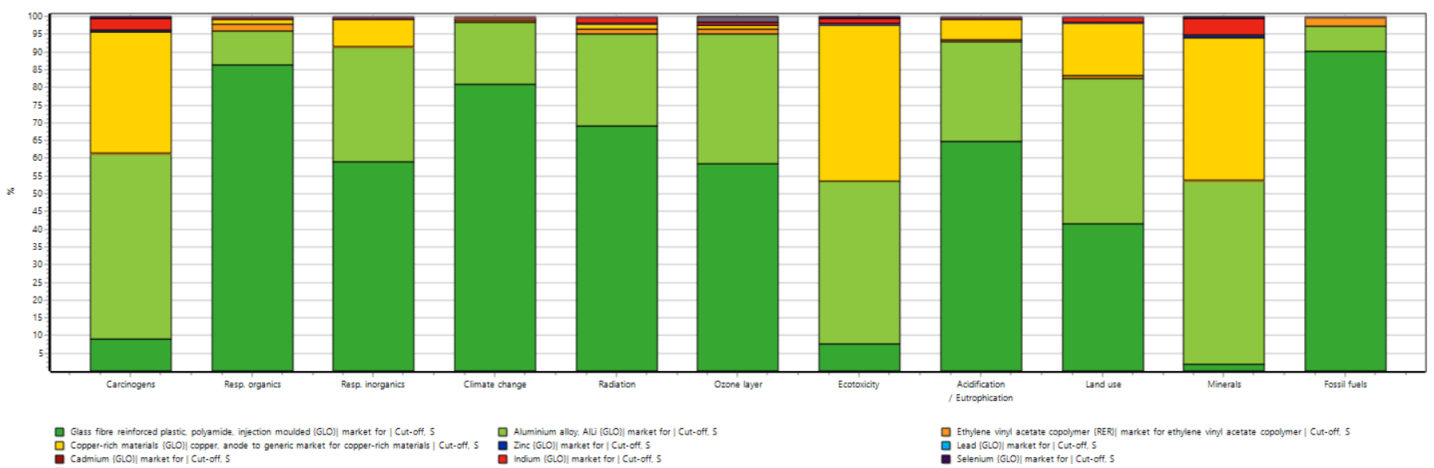
Εικόνα 8.8. Περιβαλλοντική συμπεριφορά πάνελ a-Si

Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα υλικά όπου επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τους περιβαλλοντικούς δείκτες είναι το ίνδιο, η πολυόλη και ο κασσίτερος.



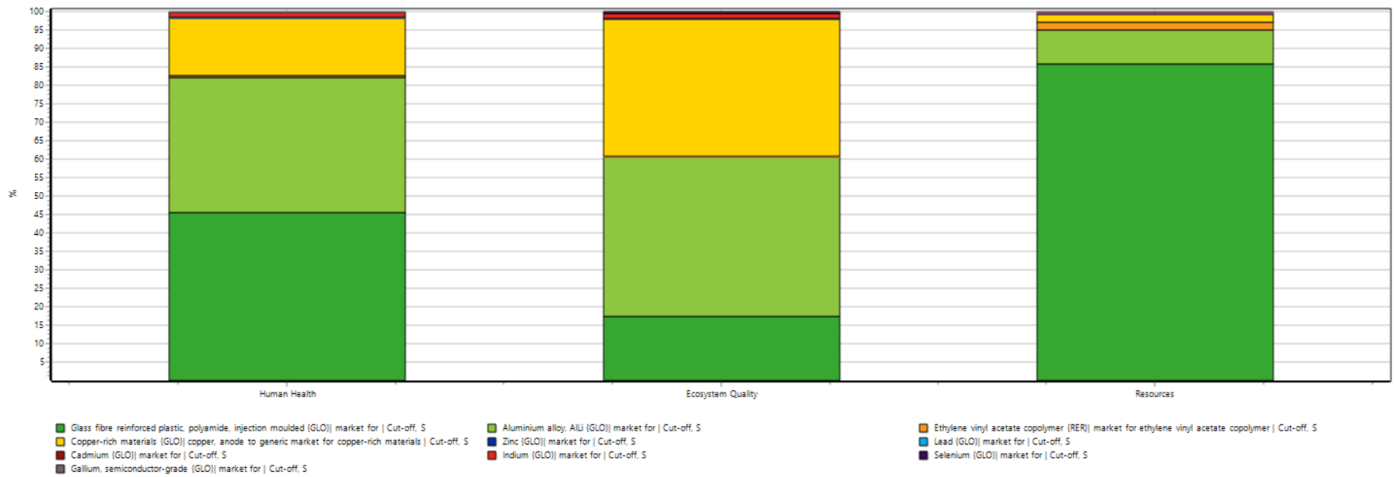
Εικόνα 8.8. Επίδραση υλικών a-Si πάνελ στην ανθρώπινη υγεία, στο οικοσύστημα και στους πόρους

3^η κατηγορία: Πάνελ CIS



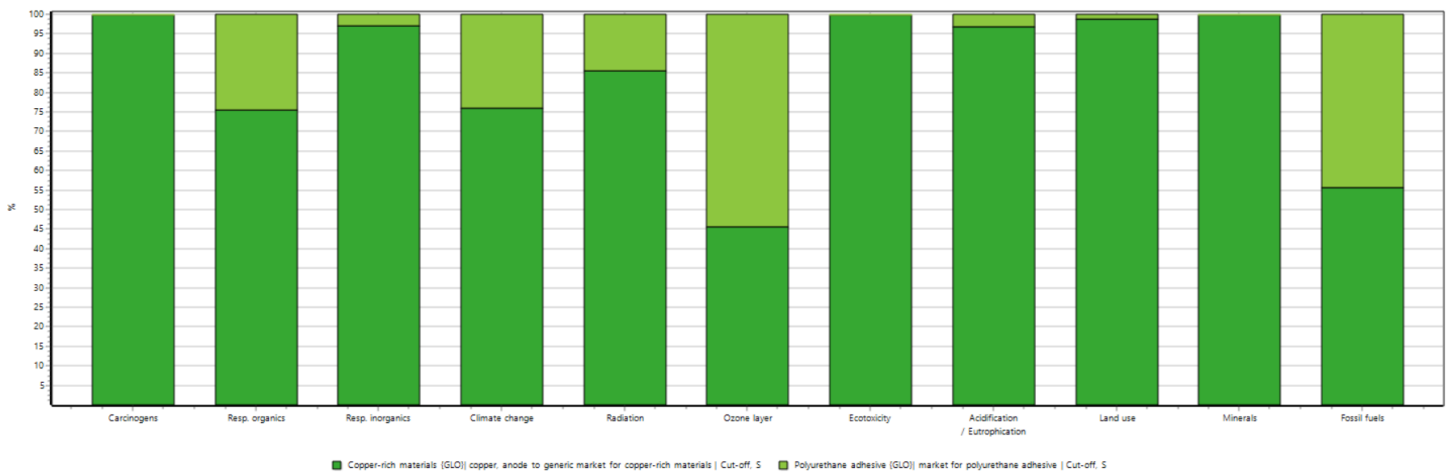
Εικόνα 8.9. Περιβαλλοντική συμπεριφορά πάνελ CIS

Στην συγκεκριμένη κατηγορία, όπως και στα πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου, τα υλικά που επηρεάζουν περισσότερο τους δείκτες είναι το γυαλί, το αλουμίνιο και ο χαλκός.

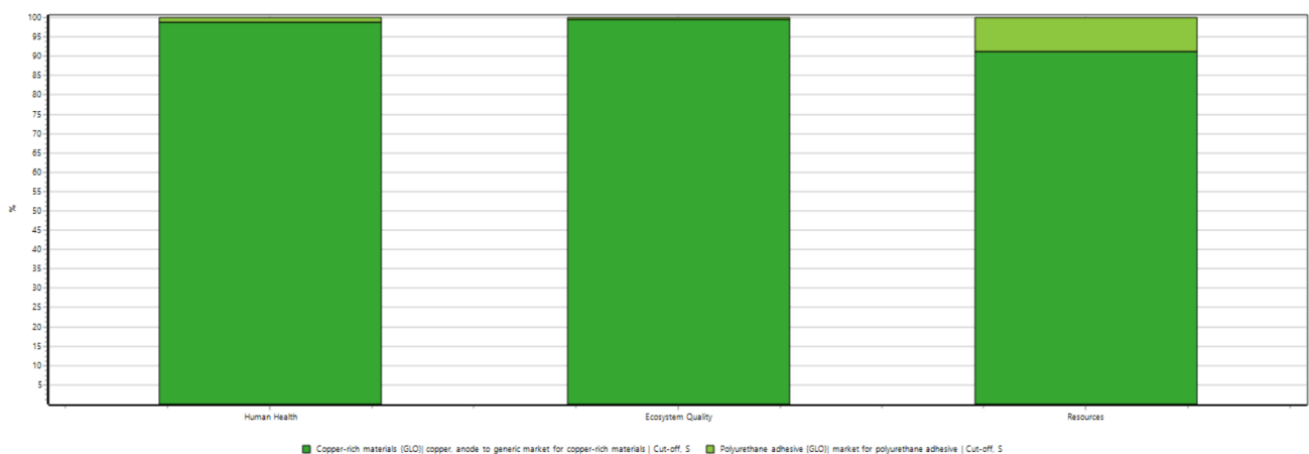


Εικόνα 8.10. Επίδραση υλικών CIS πάνελ στην ανθρώπινη υγεία, στο οικοσύστημα και στους πόρους

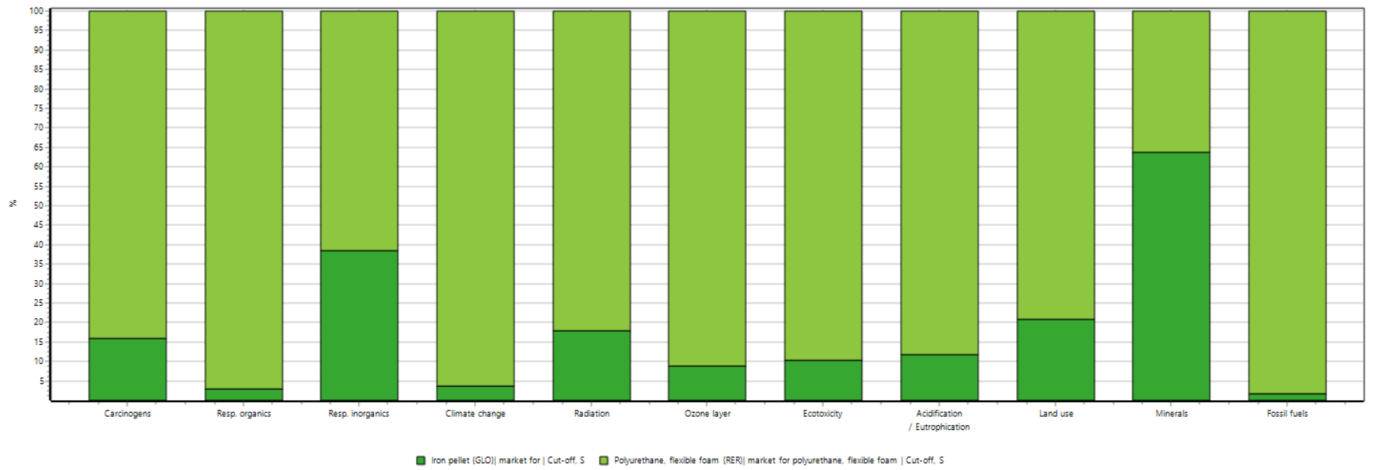
Ο θερμοαπορροφητής, η δεξαμενή νερού και η βάση στήριξης και στις τρεις περιπτώσεις αποτελούνται από τα ίδια υλικά.



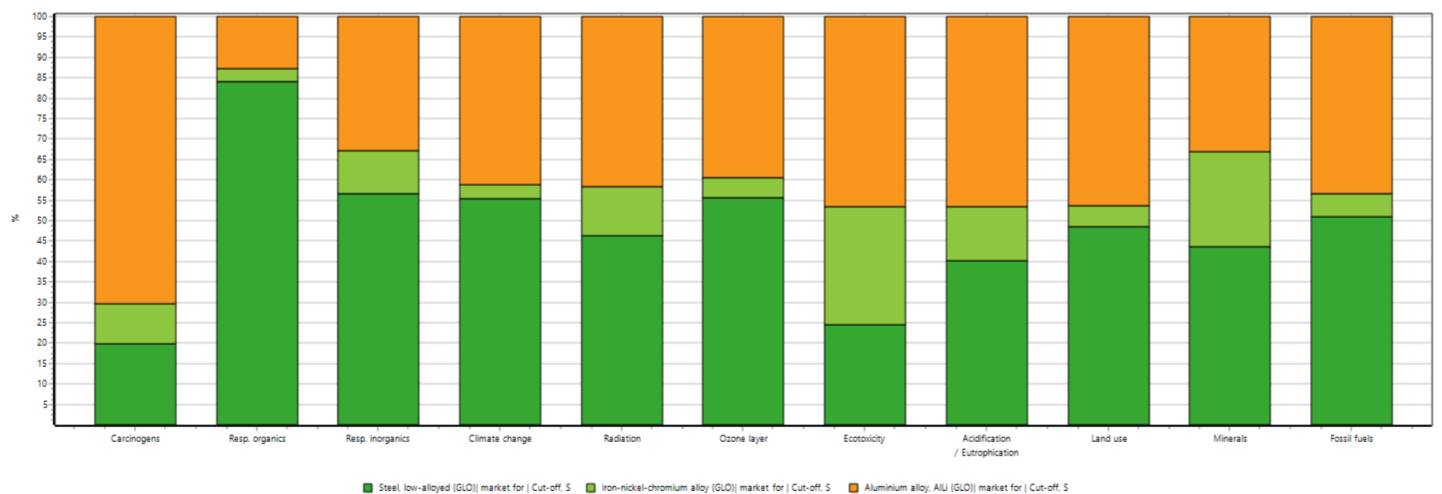
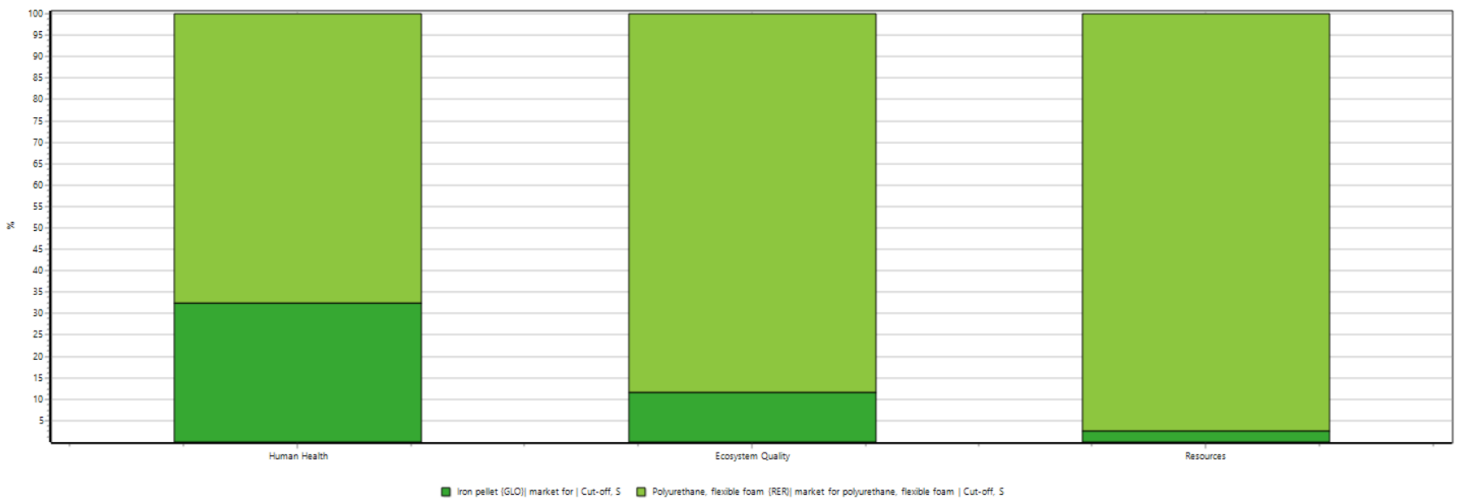
Εικόνα 8.11. Περιβαλλοντική συμπεριφορά θερμοαπορροφητή



Εικόνα 8.12. Επίδραση υλικών θερμοαπορροφητή στην ανθρώπινη υγεία, στο οικοσύστημα και στους πόρους

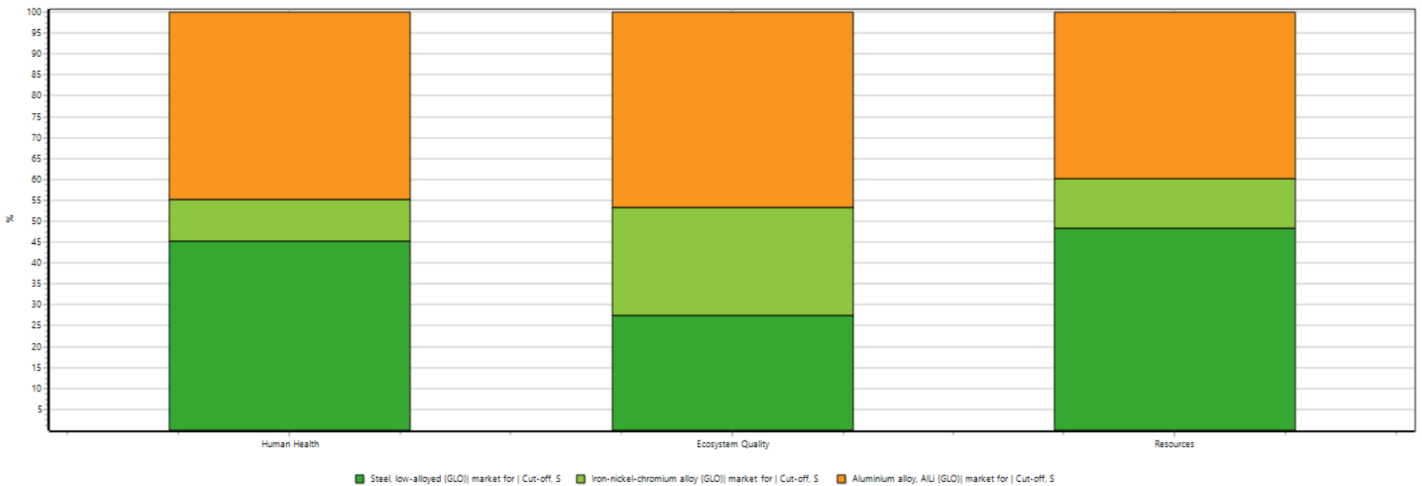


Εικόνα 8.12. Περιβαλλοντική συμπεριφορά δεξαμενής νερού

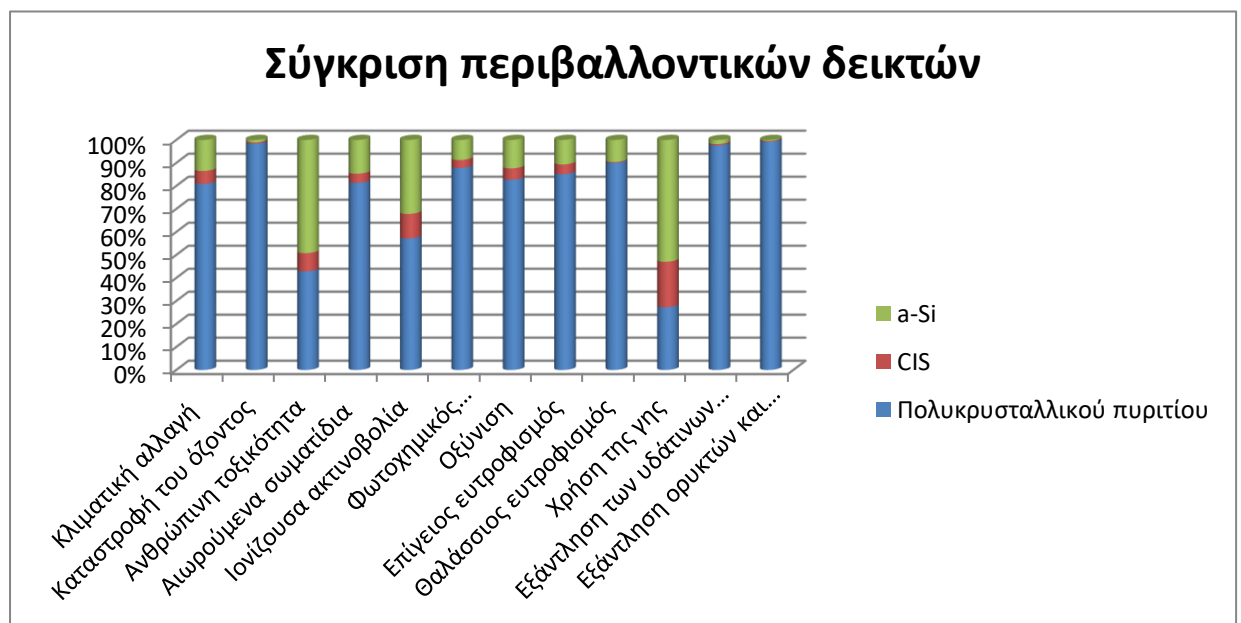


Εικόνα 8.13. Επίδραση υλικών δεξαμενής νερού στην ανθρώπινη υγεία, στο οικοσύστημα και στους πόρους

Εικόνα 8.14. . Περιβαλλοντική συμπεριφορά βάσης στήριξης



Εικόνα 8.15. Επίδραση υλικών βάσης στήριξης στην ανθρώπινη υγεία, στο οικοσύστημα και στους πόρους



Εικόνα 8.16. Σύγκριση περιβαλλοντικών δεικτών

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.16, τα πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι εκείνα που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τους περιβαλλοντικούς δείκτες, ακολουθούν τα a-Si και με τη καλύτερη συμπεριφορά καταγράφονται τα πάνελ CIS.

8.4. Αποτελέσματα CES Edupack – Εισροές ενέργειας και εκροές διοξειδίου του άνθρακα

Μέσω του λογισμικού CES Edupack δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού του συνολικού ποσού καταναλισκόμενης ενέργειας καθώς και το αποτύπωμα του CO₂ σε όλη τη διάρκεια ζωής των πάνελ. Οι υπολογισμοί αυτοί περιλαμβάνουν διάφορα στάδια, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης των πρώτων υλών, της κατασκευής, της μεταφοράς, της χρήσης και της απόθεσης των θερμικών φωτοβολταϊκών. Οι συγκεκριμένοι δείκτες αντικατοπτρίζουν άμεσα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που σχετίζονται με την AKZ. Πιο συγκεκριμένα, η αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας έχει

ως επακόλουθο την αυξανόμενη περιβαλλοντική επιβάρυνση (κατανάλωση φυσικών πόρων, εκπομπή ρύπων). Αντίστοιχα, το αποτύπωμα του CO₂ είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ρύπανση της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, με τον υπολογισμό των ενεργειακών εισροών και τον προσδιορισμό του αποτυπώματος του διοξειδίου του άνθρακα για κάθε θερμικό φωτοβολταϊκό σύστημα, καθίσταται δυνατή η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιδόσεών τους.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα από το λογισμικό. Πιο αναλυτικά περιγράφονται στο παράρτημα.

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)
PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,1	1	2,1
PANEL	Ethylene vinyl acetate rubber (EVM, 60-70% VA)	Virgin (0%)	1,3	1	1,3
PANEL	PP (65-70% barium sulfate)	Virgin (0%)	0,72	1	0,72
PANEL	Copper-nickel alloy, C96200, cast (90/10 copper-nickel)	Virgin (0%)	0,11	1	0,11
PANEL	Silver, commercial purity, fine, cold worked, hard	Virgin (0%)	0,001	1	0,001
PANEL	Tin, commercial purity, Grade A	Virgin (0%)	0,024	1	0,024
PANEL	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	0,024	1	0,024
PANEL	Single crystalline silicon, photovoltaics	Virgin (0%)	0,67	1	0,67
PANEL	Lead-antimony alloy, Hard lead 95-5, cast	Virgin (0%)	0,012	1	0,012

Εικόνα 8.17. Υλικά κρυσταλλικού πάνελ στο λογισμικό CES Edupack

Πάνελ πολυκρυσταλλικό	Εξόρυξη	Κατασκευή	Μεταφορά	Απόθεση	EoL Potential
Ενέργεια (MJ)	1,90E+03	2,32E+02	27,8744	11,9956	-1490,24
CO₂ footprint	133,411	17,73444	1,9961	0,872004	-110,081

Εικόνα 8.18. Ανάλυση κύκλου ζωής πολυκρυσταλλικού πάνελ

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)
PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	0,0063	1	0,0063
PANEL	PE-HD (low/medium molecular weight)	Virgin (0%)	2,2	1	2,2
PANEL	Coated copper, copper, lead coated	Virgin (0%)	0,16	1	0,16
PANEL	Tin, commercial purity, Grade A	Virgin (0%)	0,0077	1	0,0077
PANEL	Single crystalline silicon, photovoltaics	Virgin (0%)	0,012	1	0,012
PANEL	Indium, commercial purity, min 99.97%	Virgin (0%)	0,09	1	0,09

Εικόνα 8.19. Υλικά πάνελ a-Si στο λογισμικό CES Edupack

a-Si	Εξόρυξη	Κατασκευή	Μεταφορά	Απόθεση	ΕoL Potential
Ενέργεια (MJ)	911	146	25	9,1	-314
CO₂ footprint	47,3	11,5	1,8	0,637	-19,5

Εικόνα 8.20. Ανάλυση κύκλου ζωής a-Si πάνελ

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15	4,4e+02	40,0
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,2	1	2,2	4,3e+02	39,2
PANEL	EVA (Shore A95/D50, 12% vinyl acetate)	Virgin (0%)	0,54	1	0,54	43	3,9
PANEL	Coated copper, copper, lead coated	Virgin (0%)	0,14	1	0,14	7,7	0,7

PANEL	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	0,022	1	0,022	1	0,1
PANEL	Lead, Chemical	Virgin (0%)	0,009	1	0,009	0,25	0,0
PANEL	Selenium, commercial purity	Virgin (0%)	0,0054	1	0,0054	0,39	0,0
PANEL	Iridium, commercial purity, hard, min 99.9%	Virgin (0%)	0,0036	1	0,0036	1,7e+02	15,6
PANEL	Gallium, commercial purity	Virgin (0%)	0,0018	1	0,0018	5,5	0,5

Εικόνα 8.21. Υλικά πάνελ CIS στο λογισμικό CES Edupack

CIS	Εξόρυξη	Κατασκευή	Μεταφορά	Απόθεση	EoL Potential
Ενέργεια (MJ)	1,10E+03	133	25,2	9,16	-293
CO₂ footprint	67	10,5	1,81	0,641	-20

Εικόνα 8.22. Ανάλυση κύκλου ζωής CIS πάνελ

Βάση των παραπάνω, η τεχνολογία των θερμικών/ φωτοβολταϊκών κρυσταλλικού πυριτίου όπου έχει τεθεί σε κυκλοφορία είναι αυτή που απαιτεί τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας σε όλο το κύκλο ζωής, συγκριτικά με τις άλλες δύο κατηγορίες που είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Αξίζει να σημειωθεί, ότι και στις τρεις κατηγορίες έχει παρθεί ο ίδιος τύπος μεταφοράς, καθώς επίσης, ότι ο θεμοαπορροφητής, η δεξαμενή νερού και η βάση στήριξης είναι ίδια για όλες τις περιπτώσεις. Παρακάτω παρeτίθονται και η AKZ για τα υπόλοιπα τμήματα του θερμικού φωτοβολταϊκού.

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
HEAT SINK	Copper-nickel alloy, C96200, cast (90/10 copper-nickel)	Virgin (0%)	10	1	10	7,1e+02	16,6
HEAT SINK	Polyurethane rubber (unfilled)	Virgin (0%)	3,5	1	3,5	2,8e+02	6,7

WATER TANK	Iron, commercial purity, ingot iron, annealed, >99.9%Fe	Virgin (0%)	3	1	3	73	1,7
WATER TANK	Polyurethane rubber (unfilled)	Virgin (0%)	1,4	1	1,4	1,2e+02	2,8
SUPPORT SYSTEM	Alloy steel, 9Cr-1Mo, Grade F9	Virgin (0%)	23	1	23	6,4e+02	15,0
SUPPORT SYSTEM	Stainless steel, austenitic, ASTM CF-3, cast, water quenched	Virgin (0%)	0,34	1	0,34	24	0,6
SUPPORT SYSTEM	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,5	1	2,5	5e+02	11,8

Εικόνα 8.23. Υλικά θερμοαπορροφητή, αντλία δεξαμενής και βάσης στήριξης στο λογισμικό CES Edupack

Συνεπώς, η κάθε περίπτωση έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μιας και τα θερμικά/ φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου έχουν καλύτερη απόδοση, τα πάνελ άμορφου πυριτίου έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια και αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα, ενώ τα πάνελ CIS έχουν πολύ καλύτερη περιβαλλοντική συμπεριφορά.

Συμπεράσματα

Τη σημερινή εποχή θεωρείται αναγκαία η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ολοένα και αυξανόμενων αναγκών για ηλεκτρική και θερμική ενέργειας. Η αλματώδης ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής βιομηχανίας προσφέρεται ως βιώσιμη λύση για τη προστασία του περιβάλλοντος από τους βλαβερούς ρύπους των συμβατικών καυσίμων. Ωστόσο, νέες μελέτες εμφα-νίζουν περιβαλλοντικούς κινδύνους που είναι άμεσα συνδεδεμένοι με την αλόγιστη τελική διάθεση των συμβατικών φωτοβολταϊκών και των θερμικών φωτοβολταϊκών μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Ο κύριος όγκος των αποβλήτων αναμένεται να

εμφανιστεί μετά το 2030, δίνοντας τον απαραίτητο χρόνο για έρευνα και ανάπτυξη νέων μεθόδων και καινοτομιών που θα κάνουν την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την ανάκτηση υλικών ελκυστικές μεθόδους τελικής διαχείρισής.

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκαν η απαιτούμενη ενέργεια και το αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα σε όλο το κύκλο ζωής των θερμικών φωτοβολταϊκών, καθώς και η περιβαλλοντική τους συμπεριφορά με τη βοήθεια του λογισμικού CES Edupack και Sima Pro αντίστοιχα. Μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές κατηγορίες, εκ των οποίων η μία έχει ήδη τεθεί σε κυκλοφορία, ενώ οι άλλες δύο είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Ως προς την απαιτούμενη ενέργεια σε όλο το κύκλο ζωής και το αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα ως ιδανικότερη επιλογή από τις τρεις κρίθηκε αυτή των θερμικών/φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου, εν τούτοις η συγκεκριμένη κατηγορία δεν έχει την καλύτερη απόδοση για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Βάση των υλικών κατασκευής τους, την καλύτερη περιβαλλοντική συμπεριφορά έχουν τα θερμικά/φωτοβολταϊκά CIS. Η κατηγορία των πάνελ που έχει τεθεί σε κυκλοφορία έχει την λιγότερο καλή περιβαλλοντική συμπεριφορά, αλλά έχει την καλύτερη δυνατή απόδοση.

Καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους, τα θερμικά φωτοβολταϊκά συστήματα καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες μη ανανεώσιμων πόρων και παράγουν απόβλητα με σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες. Τα απόβλητα που παράγονται έχουν διάφορες αρνητικές επιπτώσεις, όπως η αύξηση των στερεών αποβλήτων, η πιθανή έκπλυση μολύβδου και καδμίου στο υπέδαφος, ο κίνδυνος απώλειας σημαντικών υλικών, όπως το αλουμίνιο και το γυαλί, εάν δεν ανακυκλωθούν σωστά, και η μη ανάκτηση σπάνιων μετάλλων, όπως το γάλλιο και το ίνδιο. Η μη ανάκτηση αυτών των σπάνιων μετάλλων θα μπορούσε να έχει ως επακόλουθο την εξάντλησή τους από την φύση. Αρκετά από τα προαναφερθέντα μέταλλα δεν είναι μόνο πολύτιμα αλλά και κρίσιμα για τις προηγμένες τεχνολογίες και τις πράσινες εφαρμογές, και ο εφοδιασμός τους μπορεί να επηρεαστεί από οικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες. Ως εκ τούτου, η ανάκτηση αυτών των μετάλλων ως πρωτογενών πρώτων υλών καθίσταται ζωτικής σημασίας. Στον τομέα της εμβιομηχανικής, αρκετά υλικά έχουν σημαντική σημασία λόγω του ευρέος φάσματος των εφαρμογών τους, συμπεριλαμβανομένων των Pt, Te, In, As, Si, Se, Ag, Cd, Zn, Ga, Au, Al, Fe και Cu.

Επί του παρόντος, η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων είναι περιορισμένη και η έλλειψη οικονομικών κινήτρων αποθαρρύνει τη δημιουργία ειδικών εγκαταστάσεων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης. Ωστόσο, μετά το 2030, καθώς ο όγκος των αποβλήτων θα αυξάνεται, θα υπάρξει οικονομικό ενδιαφέρον για επενδύσεις σε υποδομές διαχείρισης αποβλήτων. Η εφαρμογή κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης του τέλους του κύκλου ζωής θα προσφέρει μια βιώσιμη λύση που θα αντιμετωπίζει τις ανησυχίες σχετικά με τη διαθεσιμότητα των πόρων, τους οικονομικούς κινδύνους και τους περιβαλλοντικούς κινδύνους.

Βιβλιογραφία

[1] Fava J. A., Denison R., Jones B., Curran M. A., Vigon B. et al. (1991), A Technical Framework for Life-Cycle Assessments, SETAC Foundation, Vermont.

[2] Curran M. A. (1993), "Broad-Based Environmental Life Cycle Assessment", Environ. Sci. Tech no 1., vol. 27, No 3, pp. 430-436.

- [3] *Rubik F., Baumgartner T.* (1992), *Technological Innovation in the Plastics Industry and its Influence on the Environmental Problems of the Plastic Waste: Evaluation of Eco-Balances, Monitor - Sast Activity* (sast project No 7), Commission of the European Communities, Brussels
- [4] *Kloepffer W.* (1992), "Survey of Activities", *Life-Cycle Assessment - Workshop Report*, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, April, pp. 29-33.
- [5] *Curran M. A.* (1993), "Broad-Based Environmental Life Cycle Assessment", *Environ. Sci. Tech* no 1., vol. 27, No 3, pp. 430-436.
- [6] Ζαμπανιώτου, Α. (1997), *Ανακύκλωση Χαρτιού και Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Σημειώσεις Τμήματος Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ. (Σεμινάριο Ε.Ε.Τ.Α.Α. Ανακύκλωση Χαρτιού, Θεσσαλονίκη, 2000).*
- [7] Μαρία Λοϊζίδου, «Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) Θεωρητικό Υπόβαθρο και Μεθοδολογία», Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης & Τεχνολογίας, Σημειώσεις σχολής Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- [8] Guinee, J.B., H.A. Udo de Haes, G. Huppes (1993) Quantitative life cycle assessment of products: 1: Goal definition and inventory. *Journal of Cleaner Production*
- [9] Babu B. V. (2006) "Life Cycle Inventory Analysis (LCIA)", *Life Cycle Assessment & Life Cycle Management Methodologies*, The Boulevard Hotel, Kuala Lumpur, 4th-5th December 2006
- [10] <https://www.setac.org/>
- [11] Tan R.R., Culaba A.B. (2009) "Environmental Life-Cycle Assessment: A tool for Public and Corporate Policy Development", De La Salle University, Manila
- [12] Γεωργιοπούλου Μ. (2007) «Ανάπτυξη Μεθόδων για την επιλογή της καλύτερης διαθέσιμης Τεχνολογίας για την επεξεργασία υγρών βιομηχανικών αποβλήτων», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [13] <https://pre-sustainability.com/>
- [14] Μουσιόπουλος Ν. , Μπούρα Α., (1999) «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Β' Έκδοση
- [15] Γεωργακέλλος Α. Δημήτριος, Πυροβολάκης Α. Αναστάσιος (2005) «Εκτίμηση Κύκλου Ζωής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Τυπικό Ελληνικό Πετρελαϊκό Σταθμό», Τεχνικό Ετήσιο Επιστημονικό Περιοδικό, εκδόσεις ΤΕΕ, τόμος 4ος , τεύχος 1-5.
- [16] EC-JRC (2011a) *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook—General Guide for Life Cycle Assessment—Detailed guidance*. European Commission—Joint Research Centre—Institute for Environment and Sustainability:

First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union

[17] Διακογιάννης Ιπποκράτης (2009). Εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης περιβάλλοντος (ΣΠΔ) με έμφαση στην ανάλυση κύκλου ζωής (LCA, ISO 14040) στην παραγωγή ελαιολάδου. Διπλωματική εργασία. Πάτρα: Ε.Α.Π.

[18] Environmental Protection Agency (2006), National Risk Management Research Laboratory Office OF Research and Development, Scientific Applications International Corporation (SAIC), Life Cycle Assessment: Principles and Practice, Cincinnati, Ohio.

[19] Dessane, Mr Damien (2003) Energy efficiency and life cycle analysis of organic and conventional olive groves in the Messara valley, Crete, Greece. Thesis, Wageningen University , Ecological Production Systems.

[20] Pennington D.W, Potting J., Finnveden G., Lindeijer E., Joliet O., Rydberg T. and Rebitzer G. (2004) “A Life Cycle Assessment: Part 2: Current Impact Assessment practice”, Journal of Environment International, vol 30, pp. 701-702.

[21] Huijbregts M.A.J, Breedveld L., Huppes G., Koning A., Oers L., and Suh S., (2003) “Normalisation Figures for environmental life-cycle assessment, The Netherlands (1997/1998), Western Europe (1995), and the world (1990 and 1995)”, Journal of Cleaner Production, vol 11, pp. 737-748.

[22] Bjørn A., Laurent A., Owsianiak M., Olsen S.I. (2018a) Goal Definition. In: Hauschild M., Rosenbaum R., Olsen S. (eds) Life Cycle Assessment. Springer, Cham

[23] Rosenbaum, R. K., Hauschild, M. Z., Boulay, A. M., Fantke, P., Laurent, A., Núñez, M., & Vieira, M. (2018a). Life cycle impact assessment. In Life Cycle Assessment (pp. 167-270). Springer, Cham.

[24] European Environment Agency (1998), Environmental Management Tools for SMEs: A handbook, edited by Richard Starkey, Project Manager Ingvar Anderson, Copenhagen.

[25] <https://www.ecosme.eu/en>

[26] <https://www.euroquality.gr/>

[27] Environmental Protection Agency (EPA), National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, Scientific Applications International Corporation (SAIC) (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. Cincinnati Ohio

[28] CALCAS (2008) (Co-ordination Action for Innovation in Life-Cycle Analysis for Sustainability): Critical Review of the Current Research Needs and Limitations Related to ISO-LCA Practice: Deliverable D7 of CALCAS Work Package 5, by Zamagni, A., P. Buttol, P. L. Porta, R Buonamici, P. Masoni, J. Guinée, R. Heijungs, T. Ekvall, R. Bersani, A. Bieñkowska, and U. Pretato

- [29] Ekvall, T (2012) Life cycle assessment. In: Ahmed K (ed) Getting to green: a sourcebook of pollution management policy tools for growth and competitiveness. World Bank, Washington, DC
- [30] Frankl, P., Rubik, F. (2000) Life cycle assessment in industry and business. Adoption patterns, applications and implications. In: IGARSS 2014
- [31] Broberg, O., Christensen, P. (1999): LCA experiences in Danish industry—results of a survey. *Int. J. LCA* 4, 257–262
- [32] Dubois, C., Humbert, S. (2015) How to calculate the LCA of a retailer. *LCA Discuss. Forum* 31(03), 2015
- [33] Johnson, M.P., Schaltegger, S.(2015) Two decades of sustainability management tools for SMEs: how far have we come? *J. Small Bus. Manag.*
- [34] Zackrisson, M., Rocha, C., Christiansen, K., Jarnehammar, A. (2008) Stepwise environmental product declarations: ten SME case studies. *J. Clean. Prod.* 16, 1872–1886
- [35] Kurczewski, P. (2013) Life cycle thinking in small and medium enterprises: the results of research on the implementation of life cycle tools in Polish SMEs-part 1: background and framework. *Int. J. Life Cycle Assess.*
- [36] Witczak, J., Kasprzak, J., Klos, Z., et al. (2014) Life cycle thinking in small and medium enterprises: the results of research on the implementation of life cycle tools in Polish SMEs-part 2: LCA related aspects. *Int. J. Life Cycle Assess*
- [37] European Commission (2008) Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)
- [38] Iswara, A. P., Farahdiba, A. U., Nadhifatin, E. N., Pirade, F., Andhikaputra, G., Muflihah, I., & Boedisantoso, R. (2020). A Comparative Study of Life Cycle Impact Assessment using Different Software Programs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 506, 012002. doi:10.1088/1755-1315/506/1/012002
- [39] Gabi Software, <https://sphaera.com/product-sustainability-software/>
- [40] Petrovic, B., Myhren, J. A., Zhang, X., Wallhagen, M., & Eriksson, O. (2019). Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden. *Energy Procedia*, 158, 3547–3552. doi:10.1016/j.egypro.2019.01.913
- [40] Vučetić, A. Š. (2018). Importance of environmental indicators of sustainable development in the transitional selective tourism destination. *International Journal of Tourism Research*, 20(3), 317–325. doi:10.1002/jtr.2183

[41] Gallego, I. (2006). The use of economic, social and environmental indicators as a measure of sustainable development in Spain. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 13(2), 78–97. doi:10.1002/csr.94

[42] <https://unfccc.int/> , United Nations Climate Change

[43] Καλδέλλης Κ. Ιωάννης, Χαλβατζής Ι. Κωνσταντίνος (2005) Περιβάλλον και Βιομηχανική Ανάπτυξη (Τόμος Πρώτος), Εκδόσεις Σταμούλη

[44] Rosenbaum, R. K., Hauschild, M. Z., Boulay, A. M., Fantke, P., Laurent, A., Núñez, M., & Vieira, M. (2018a). Life cycle impact assessment. In *Life Cycle Assessment* (pp. 167-270). Springer, Cham.

[45] Μανωλιάδης Ο., (2005) Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός , Εκδόσεις Ίων, Κοζάνη

[46] Patricia M. Glibert, Sybil Seitzinger, Cynthia A. Heil, Joann M. Burkholder, Matthew W. Parrow, Louis A. Codispoti, Vince Kelly (2005) “ The Rolw of Eutrophication in the Global Proliferation of Harmful Algal Blooms” , Vol.18 No2

[47] Hertwich, E. G., Mateles, S. F., Pease, W. S., & McKone, T. E. (2001). Human toxicity potentials for life-cycle assessment and toxics release inventory risk screening. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(4), 928–939.

[48] Rebelato, M. G., Rodrigues, A. M., Thomaz, A. G. de B., Saran, L. M., Madaleno, L. L., & Oliveira, O. J. de. (2019). Developing an index to assess human toxicity potential of sugarcane industry. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1274–1284.

[49] Fantke, P., Jolliet, O., Evans, J. S., Apte, J. S., Cohen, A. J., Hänninen, O. O., ... & Loh, M. M. (2015). Health effects of fine particulate matter in life cycle impact assessment: findings from the Basel Guidance Workshop. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(2), 276-288.

[50] <https://unric.org/el/> , ΠΟΥ (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας)

[51] Van Oers, L., & Guinée, J. (2016) “The abiotic depletion potential: background, updates, and future”. *Resources*, 5(1), 16

[52] Van Oers, L., De Koning, A., Guinée, J. B., & Huppes, G. (2002). Abiotic resource depletion in LCA-Improving characterisation factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA Handbook. *Public Works and Water Management (V&W)*.

[53] Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P., Pigosso, D. C., Soufani, K., from Geissdoerfer, M., & Pieroni, M. P. (2020). Circular business models: A review. . *Journal of Cleaner Production*.

- [54] Ellen MacArthur Foundation. (2014) «Towards the circular economy Vol. 3: Accelerating the scale-up across global supply chains»
- [55] Ellen MacArthur Foundation. (2019) «Completing the picture: How the circular economy tackles climate change»
- [56] Su, B., A. Heshmati, Y. Geng and X. Yu (2013), “A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation”, *Journal of Cleaner Production*, 42, 215-227
- [57] Den Hollander, M.C., Bakker, C.A., Hultink, H.J. (2017). Product design in a circular economy; development of a typology of key concepts and terms (accepted for publication in *Journal of Industrial Ecology*)
- [58] Cox, J., Griffith, S., Giorgi, S. and King, G. (2013). Consumer understanding of product lifetimes. *Resources, Conservation and Recycling*, 79, 21–29.
- [59] Echegaray, F. (2016). Consumers’ reactions to product obsolescence in emerging markets: The case of Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 134, p. 191-203.
- [60] Saheed O Ajayi, Lukumon O Oyedele, Muhammad Bilal, Olugbenga O Akinade, Hafiz A Alaka, Hakeem A Owolabi (2017) “Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects”
- [61] Cooper, D. R., & Gutowski, T. G. (2015). The Environmental Impacts of Reuse: A Review. *Journal of Industrial Ecology*, 21(1), 38–56. doi:10.1111/jiec.12388
- [62] Jaime Solís-Guzmán, Madelyn Marrero, Maria Victoria Montes Delgado, Antonio Ramírez-de-Arellano (2009) “ A Spanish model for quantification and management of construction waste”
- [63] Tayebi-Khorami, M., Edraki, M., Corder, G., & Golev, A. (2019). Re-thinking mining waste through an integrative approach led by circular economy aspirations. In *Minerals* (Vol. 9, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/min9050286>
- [64] Lèbre, É., Corder, G., & Golev, A. (2017). The Role of the Mining Industry in a Circular Economy: A Framework for Resource Management at the Mine Site Level. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 662–672. doi:10.1111/jiec.12596
- [65] F. Pavloudakis, C.Roumpos, P.M. Spanidis (2022) Optimization of surface mining operation based on a circular economy model doi: 10.106
- [66] Caterpillar Inc. (2021). Caterpillar Reports Fourth-Quarter and Full-Year 2020 Results
<https://www.caterpillar.com/en/investors/financial-news/quarterly-earnings/2020/q4-2020-earnings.html>
- [67] Rio Tinto (2021). Rio Tinto Annual Report 2020
<https://www.riotinto.com/invest/reports/annual-report>

- [68] Komatsu Ltd. (2021). FY2021 1Q Financial Results
https://www.komatsu.com/CompanyInfo/ir/ar/pdf/2022_1Q/1Q_2022_Supplementary_Information_E.pdf
- [69] Sandvik AB (2022). Annual Report 2022
<https://www.annualreport.sandvik/en/2022/>
- [70] A. Norgren, A. Carpenter, and G. Heath, (2020) “Design for Recycling Principles Applicable to Selected Clean Energy Technologies: Crystalline-Silicon Photovoltaic Modules, Electric Vehicle Batteries, and Wind Turbine Blades,” J. Sustain. Metall., vol. 6, no. 4, pp. 761–774, 2020, doi: 10.1007/s40831-020-00313-3.
- [71] https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en ,
Circular economy action plan
- [72] <https://www.globalfiberglassolutions.com/> , Εταιρεία Global Fiberglass Solution
- [73] <https://www.nrel.gov/> , National Renewable Energy Laboratory
- [74] International Energy Agency (IEA). (2020). Global EV Outlook 2020,
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- [75] BloombergNEF. (2019). Second-life batteries: A circular solution for the EV battery value chain <https://about.bnef.com/>
- [76] Tesla. (2020). Battery Day,
<https://www.mrsustainability.com/stories/2020/battery-day-by-dnv>
- [77] European Commission. (2020). A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf
- [78] <https://www.mytilineos.com/el/>
- [79] <https://www.reweee.gr/en/ellinikos-organismos-anakiklosis.html>,
Hellenic Recycling Agency
- [80] Tukker, A. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy – a review. Journal of Cleaner Production, 97, 76–91.
- [81] Zhou, Z., Tang, Y., Chi, Y., Ni, M., & Buekens, A. (2017). Waste-to-energy: A review of life cycle assessment and its extension methods. Waste Management & Research, 36(1), 3–16. doi:10.1177/0734242x1773013
- [82] TD de Oliveira (2020) «Facades and Solar Parking Yield Estimation at Utrecht University» , Universidade de Évora - School of Science and Technology

- [83] Heracleous, C., Charalambous, C., Michael, A., Yiannaka, A., Efthymiou, V. (2019) "Development of an innovative compact hybrid electrical-thermal storage system for historic building integrated applications in the Mediterranean climate" , University of Cyprus
- [84] <https://cordis.europa.eu/project/id/646286>
- [85] Technical University of Crete. (2021). PVT system installation in TUC's building
- [86] "The Kos Aktis Art Hotel." PVT Magazine.
https://www.pv-magazine.com/2013/09/19/the-kos-aktis-art-hotel_100013886/.
- [87] P. S. Datsios, D. G. Papageorgiou, and V. P. Soloiu, (2015) "Development of PVT hybrid system for energy efficient buildings," IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 1756-1761
- [88] Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Κοσμάς Α. Καββαδίας « Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας», Εκδόσεις Σταμούλη
- [89] <https://www.iea.org/> , Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας
- [90] <https://www.solarpowereurope.org/> , European Photovoltaic Industry Association
- [91] Han, Y., Wang, M., Fan, L., & Li, H. (2019). Cost and life cycle assessment of crystalline silicon photovoltaic module recycling in China. *Journal of Cleaner Production*, 229, 144-154.
- [92] <http://www.ebhe.gr/index.php/el/> , Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας
- [93] Emam, M., Ookawara, S., & Ahmed, M. (2017). Performance study and analysis of an inclined concentrated photovoltaic-phase change material system. *Solar Energy*, 150, 229–245. doi:10.1016/j.solener.2017.04.050
- [94]<https://www.eco2day.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%BB/>
- [95] Mahmud, M., Huda, N., Farjana, S., & Lang, C. (2018). Environmental Impacts of Solar-Photovoltaic and Solar-Thermal Systems with Life-Cycle Assessment. *Energies*, 11(9), 2346. doi:10.3390/en11092346
- [96] Parvez Mahmud, M. A., Huda, N., Hisan Farjana, S., & Lang, C. (2018). Environmental Life-Cycle Assessment and Techno-Economic Analysis of Photovoltaic (PV) and Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems. 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). doi:10.1109/eeeic.2018.8493967

- [97] Mohammed Alktranee (2023) ‘Increase the efficiency of the hybrid photovoltaic thermal system’, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Energy Engineering and Chemical Machinery, Department of Fluid and Heat Engineering
- [98] Ahmad Fudholi, Mariyam Fazleena Musthafa, Abrar Ridwan, Rado Yendra, Ari Pani Desvina, Rahmadeni, Tri Suyono, Kamaruzzaman Sopian (2019) “Energy and exergy analysis of air based photovoltaic thermal (PVT) collector: a review”, International Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 9, No. 1, pp109-117
- [99] Chialastri, A., & Isaacson, M. (2017). Performance and optimization of a BIPV/T solar air collector for building fenestration applications. *Energy and Buildings*, 150, 200–210.
- [100] Mohd Afzanizam Mohd Rosli, Yap Joon Ping, Suhaimi Misha, Mohd Zaid Akop, Kamaruzzaman Sopian, Sohif Mat, Ali Najah Al-Shamani, Muhammad Asraf Saruni (2018) “Simulation Study of Computational Fluid Dynamics on Photovoltaic Thermal Water Collector with Different Designs of Absorber Tube” , *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 12-22
- [101] İlhan Volkan ÖNER, Muhammet Kaan YEŞİLYURT, Efe Çetin YILMAZ, Gökhan ÖMEROĞLU (2016) “Photovoltaic Thermal (PVT) Solar Panels”, *International Journal of New Technology and Research*, Volume-2, Issue-12, Pages 13-16
- [102] Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318–345.
- [103] Ansys Granta Edupack <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>
- [104] European Commission DG ENV (2011). Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE Directive; ENV.
- [105] Panthi, G., Bajagain, R., An, Y.-J., & Jeong, S.-W. (2020). Leaching potential of chemical species from real perovskite and silicon solar cells. *Process Safety and Environmental Protection*
- [106] Paiano, A. (2015). Photovoltaic waste assessment in Italy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 99–112.
- [107] Malandrino, O., D., Sica, M., Testa and Supino, S. (2017). Policies and Measures for Sustainable Management of Solar Panel End-of-Life in Italy. *Sustainability*, MDPI.
- [108] Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A.L. and C. Yang, 2018. Global status of recycling waste solar panels: A review, *Waste Management*, 75, 450-458.
- [109] Gertsakis J. και Lewis H., 2008. “Sustainability and the Waste Management Hierarchy”, *Sustainability Victoria*, Melbourne Australia

[110] Dubey, S., Jadhav, N. Y., & Zakirova, B. (2013). Socio-Economic and Environmental Impacts of Silicon Based Photovoltaic (PV) Technologies. Energy Procedia, 33, 322–334.

[111] Bombach, E. Rover, I. Muller, A. Sclenker, S. Wambach, K. Korecek, R. Wefringhaus, E. (2006). Technical experience during thermal and chemical recycling of a 23 year old PV generator formerly installed on Pellworm island, pp. 2048-2053

[112] <https://www.deutsche-csp.com/en-gb> , Deutsche Solar

[113] <https://www.firstsolar.com/en-Emea/> , First solar

[114] <https://www.solaris-shop.com/brands/SolarWorld.html> , Solar World

[115] <https://pvcycle.org/> , Οργανισμός PV CYCLE

[116] <https://ioniosanakiklosi.gr/2021/03/04/anakyklosi-fotovoltaikon-kai-anemogennitron-sti-dytiki-ellada/> , IONIOS RECYCLING

[117] <https://fotokiklosi.gr/> , Φωτοκύκλωσης

[118] Yi Y.K., Kim, H. S., Tran, T., Hong, S.K. and M. J. Kim (2014). Recovering valuable metals from recycled photovoltaic modules. Journal of the Air & Waste Management Association, 64.7: 797-807.

[119] <https://www.dailymetalprice.com/metalprices.php?c=al&u=lb&d=20>

[120] Critical Materials Strategy - U.S. Department of Energy

[121] Souliotis, M., Arnaoutakis, N., Panaras, G., Kavga, A., & Papaefthimiou, S. (2018). Experimental study and Life Cycle Assessment (LCA) of Hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T) solar systems for domestic applications. Renewable Energy, 126, 708–723.

Παράρτημα

1. Ανάλυση κύκλου ζωής πλαστικών μπουκαλιών

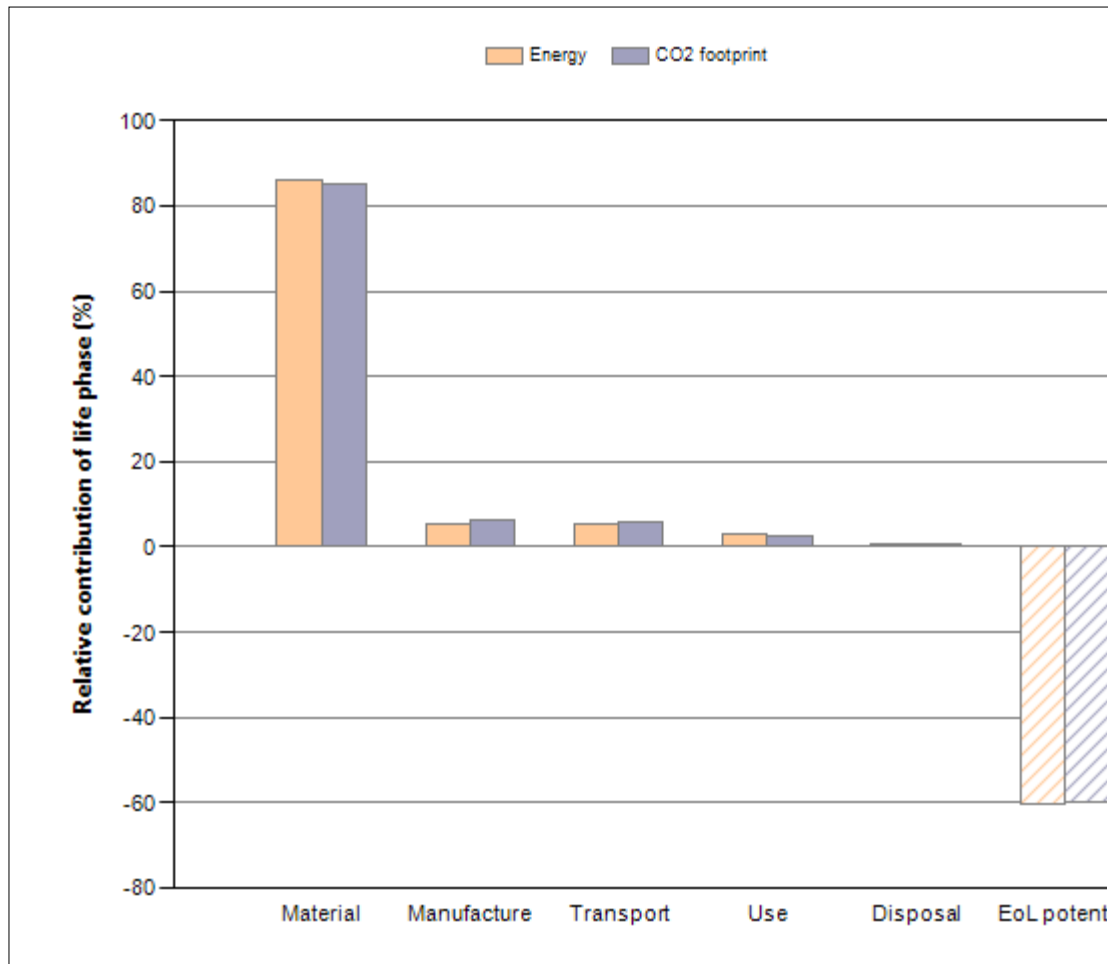


Eco Audit Report

Product name Plastic bottles

Country of use Greece

Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	1,4e+03	86,2	91	85,2
Manufacture	87,7	5,4	6,58	6,2
Transport	85,9	5,3	6,18	5,8
Use	50,1	3,1	3,01	2,8

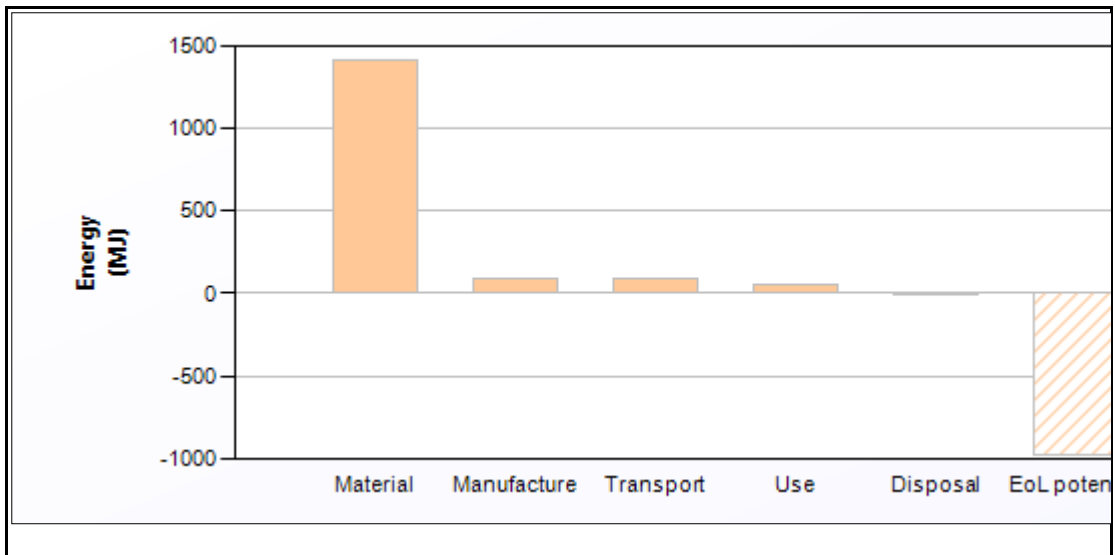
Disposal	0,855	0,1	0,0599	0,1
Total (for first life)	1,63e+03	100	107	100
End of life potential	-983		-63,7	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Summary](#)



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	1,63e+03

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
Bottles	PET (30% carbon fiber)	Virgin (0%)	0,04	100	4	1,4e+03	99,8

Caps	PP (65-70% barium sulfate)	Virgin (0%)	0,001	100	0,1	3,1	0,2
Water			1	100	1e+02	0	0,0
Total				300	1e+02	1,4e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
Bottles	Polymer molding	-	4 kg	86	98,1
Caps	Polymer molding	-	0,1 kg	1,7	1,9
Total				88	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
Factory to store	14 tonne (2 axle) truck	5,5e+02	86	100,0
Total		5,5e+02	86	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
Bottles	4	3,3	3,8
Caps	0,1	0,083	0,1

Water	1e+02	83	96,1
Total	1e+02	86	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Electric to mechanical (electric motors)
Country of use	Greece
Power rating (kW)	0,12
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	2
Product life (years)	1

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	50	100,0
Mobile	0	
Total	50	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
Bottles	Reuse	70,0	0,8	93,6
Caps	Recycle	70,0	0,055	6,4

Water	None	100,0	0	0,0
Total			0,86	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
Bottles	Reuse	70,0	-9,8e+02	99,9
Caps	Recycle	70,0	-1,4	0,1
Water	None	100,0	0	0,0
Total			-9,8e+02	100

Notes:

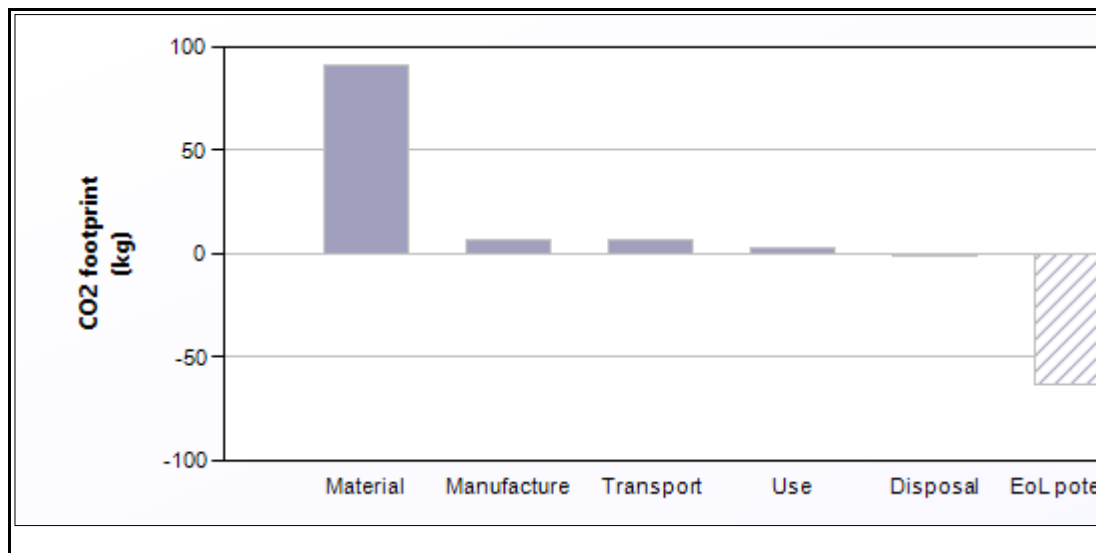
[Summary](#)



Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

[Summary](#)



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	107

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
Bottles	PET (30% carbon fiber)	Virgin (0%)	0,04	100	4	91	99,9
Caps	PP (65-70% barium sulfate)	Virgin (0%)	0,001	100	0,1	0,11	0,1
Water			1	100	1e+02	0	0,0
Total				300	1e+02	91	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
Bottles	Polymer molding	-	4 kg	6,5	98,1
Caps	Polymer molding	-	0,1 kg	0,13	1,9
Total				6,6	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
Factory to store	14 tonne (2 axle) truck	5,5e+02	6,2	100,0
Total		5,5e+02	6,2	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
Bottles	4	0,24	3,8
Caps	0,1	0,0059	0,1
Water	1e+02	5,9	96,1
Total	1e+02	6,2	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Electric to mechanical (electric motors)
Country of use	Greece
Power rating (kW)	0,12
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	2
Product life (years)	1

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
------	--------------------	---

Static	3	100,0
Mobile	0	
Total	3	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
Bottles	Reuse	70,0	0,056	93,6
Caps	Recycle	70,0	0,0039	6,4
Water	None	100,0	0	0,0
Total			0,06	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
Bottles	Reuse	70,0	-64	99,9
Caps	Recycle	70,0	-0,043	0,1
Water	None	100,0	0	0,0
Total			-64	100

Notes:

[Summary](#)

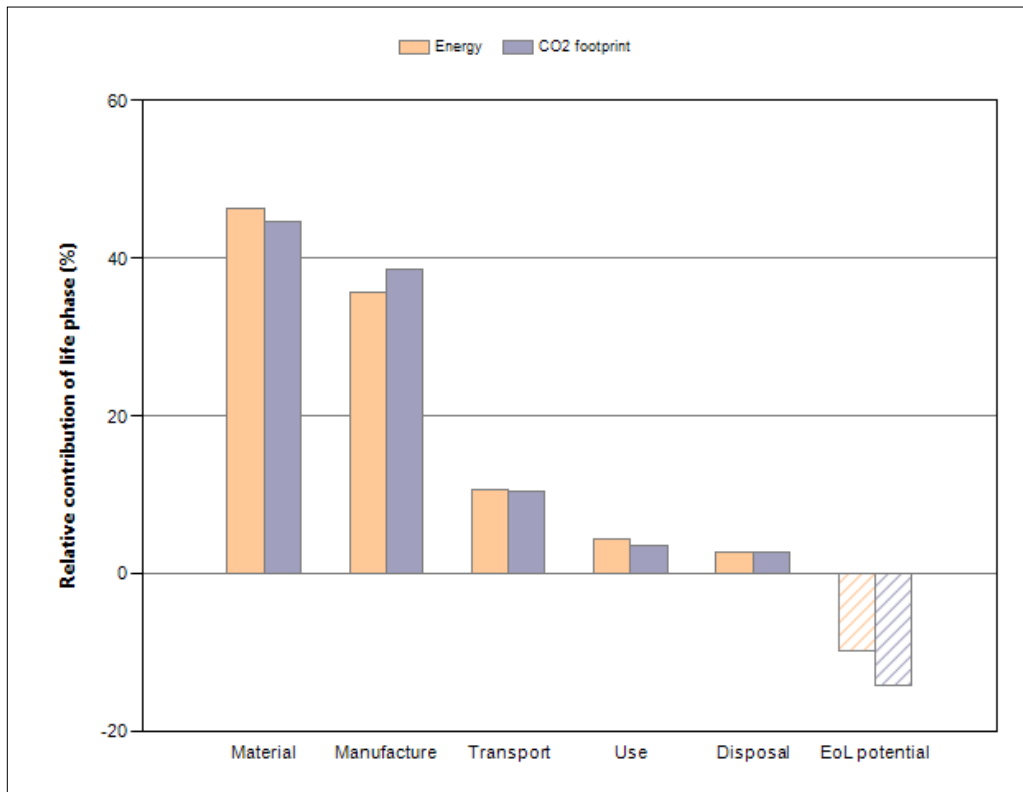
2. Ανάλυση κύκλου ζωής γυάλινου μπουκαλιού



Eco Audit Report

Product name	Glass bottle
Country of use	Greece
Product life (years)	1

Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	516	46,3	36,7	44,6
Manufacture	397	35,6	31,8	38,6
Transport	120	10,7	8,62	10,5
Use	50,1	4,5	3,01	3,7
Disposal	31,6	2,8	2,21	2,7

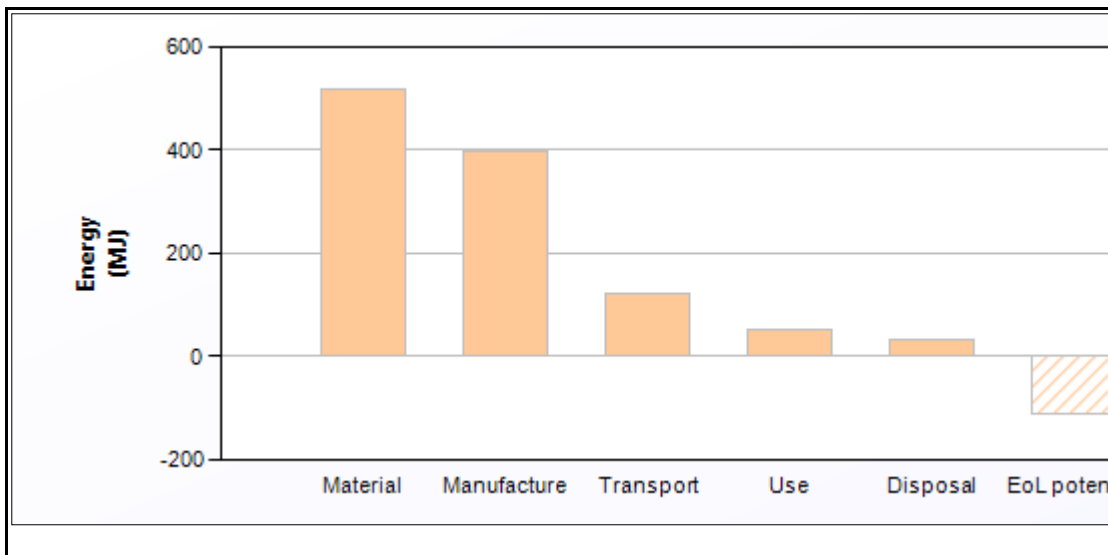
Total (for first life)	1,11e+03	100	82,3	100
End of life potential	-109		-11,7	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Summary](#)



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	1,11e+03

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
Bottle	Soda-lime - 0070	Virgin (0%)	0,45	100	45	4,8e+02	92,3

Cap	Aluminum, commercial purity, 1050A, H19	Virgin (0%)	0,002	100	0,2	40	7,7
Water			1	100	1e+02	0	0,0
Total				300	1,5e+02	5,2e+02	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
Bottle	Glass molding	-	45 kg	4e+02	99,8
Cap	Roll forming	-	0,2 kg	0,87	0,2
Total				4e+02	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
Factory to store	14 tonne (2 axle) truck	5,5e+02	1,2e+02	100,0
Total		5,5e+02	1,2e+02	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
Bottle	45	37	31,0
Cap	0,2	0,17	0,1

Water	1e+02	83	68,9
Total	1,5e+02	1,2e+02	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Electric to mechanical (electric motors)
Country of use	Greece
Power rating (kW)	0,12
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	2
Product life (years)	1

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	50	100,0
Mobile	0	
Total	50	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
Bottle	Recycle	100,0	32	99,7
Cap	Recycle	70,0	0,11	0,3

Water	None	100,0	0	0,0
Total			32	100

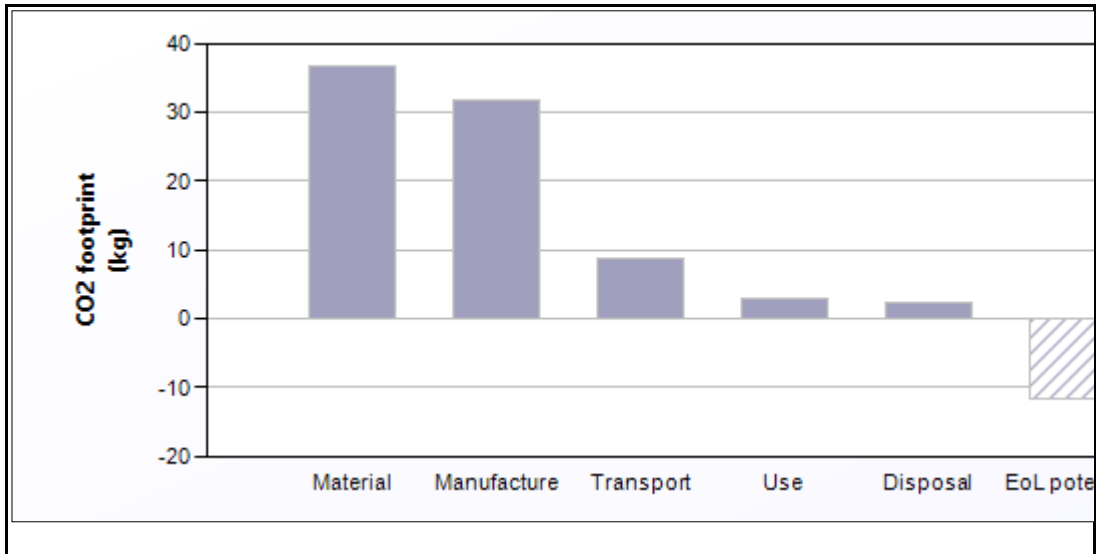
EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
Bottle	Recycle	100,0	-86	78,9
Cap	Recycle	70,0	-23	21,1
Water	None	100,0	0	0,0
Total			-1,1e+02	100

Notes:

[Summary](#)

CO2 Footprint Analysis

[Summary](#)


	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	82,3

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
Bottle	Soda-lime - 0070	Virgin (0%)	0,45	100	45	34	92,9
Cap	Aluminum, commercial purity, 1050A, H19	Virgin (0%)	0,002	100	0,2	2,6	7,1
Water			1	100	1e+02	0	0,0
Total				300	1,5e+02	37	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
Bottle	Glass molding	-	45 kg	32	99,8
Cap	Roll forming	-	0,2 kg	0,065	0,2
Total				32	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
Factory to store	14 tonne (2 axle) truck	5,5e+02	8,6	100,0
Total		5,5e+02	8,6	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
Bottle	45	2,7	31,0
Cap	0,2	0,012	0,1
Water	1e+02	5,9	68,9
Total	1,5e+02	8,6	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Electric to mechanical (electric motors)
Country of use	Greece
Power rating (kW)	0,12
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	2
Product life (years)	1

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	3	100,0
Mobile	0	
Total	3	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
Bottle	Recycle	100,0	2,2	99,7
Cap	Recycle	70,0	0,0077	0,3
Water	None	100,0	0	0,0
Total			2,2	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
Bottle	Recycle	100,0	-10	87,7
Cap	Recycle	70,0	-1,4	12,3
Water	None	100,0	0	0,0
Total			-12	100

Notes:

[Summary](#)

Ολοκληρωμένο σύστημα θερμικό/ φωτοβολταϊκό κρυσταλλικού πυριτίου



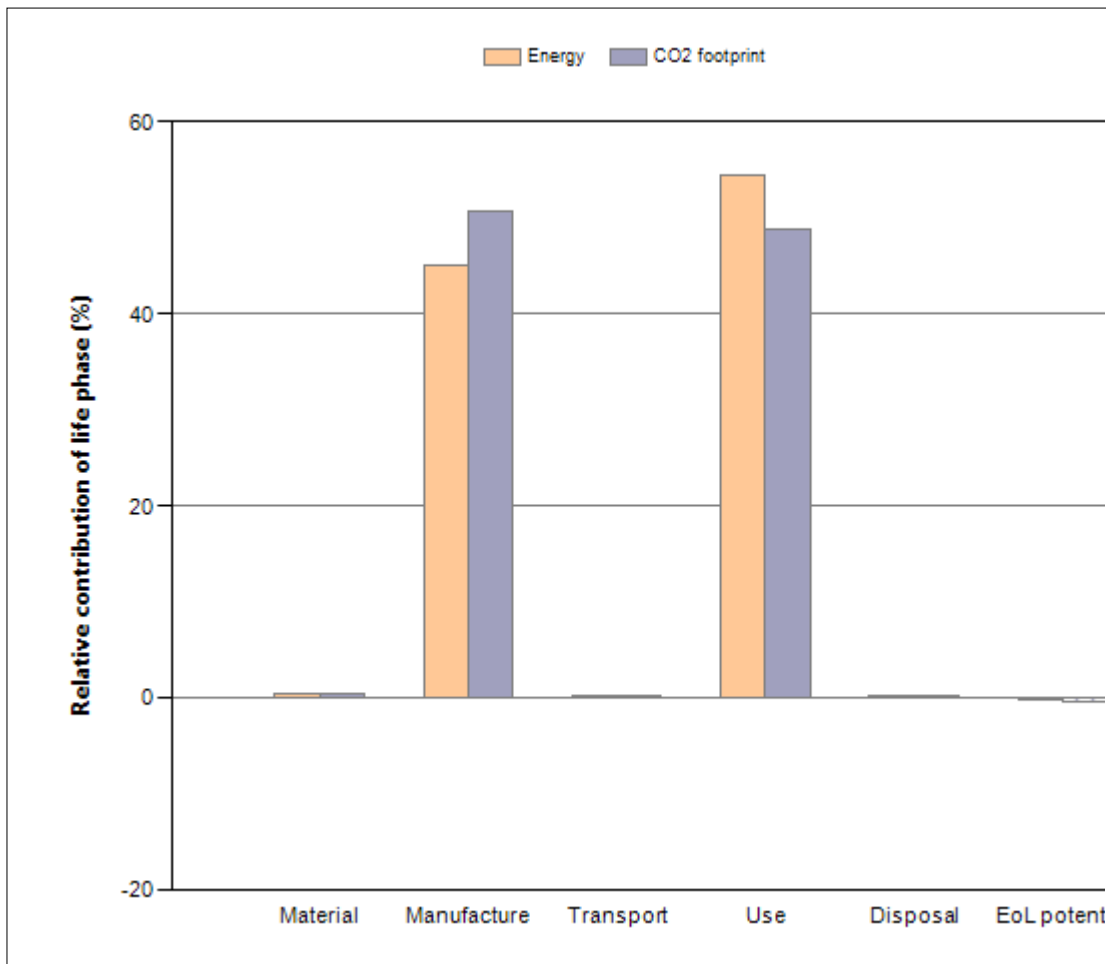
Eco Audit Report

Product name PVT PANEL

Country of use Greece

Product life (years) 25

Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

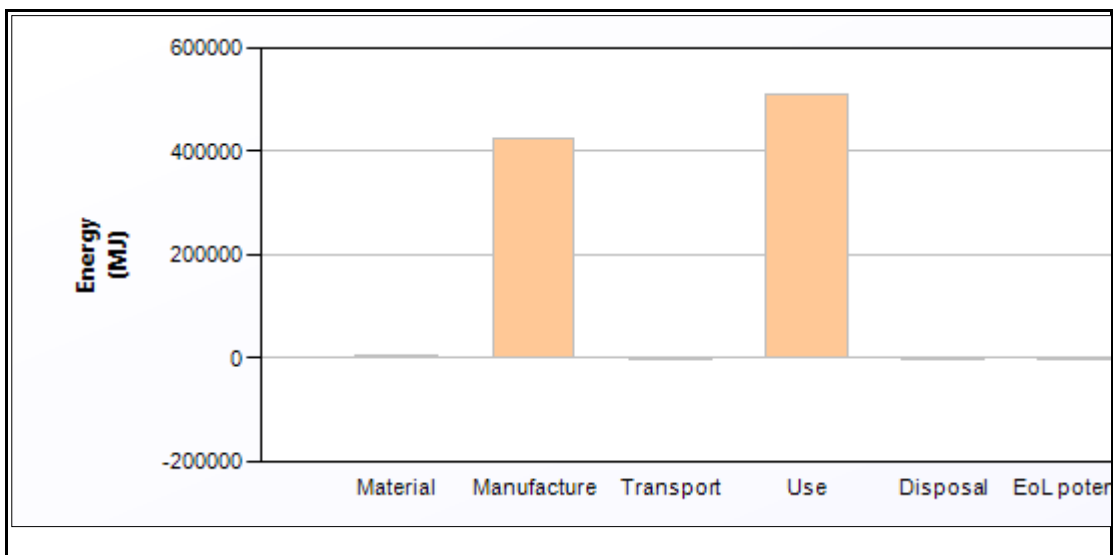
Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	4,26e+03	1	288	0,9
Manufacture	4,22e+05	99	3,17e+04	99,1
Transport	88,6	0	6,38	0,0
Use	0	0	0	0
Disposal	22,5	0	1,57	0,0
Total (for first life)	4.26e+05	100	3,20e+04	100
End of life potential	-1,15e+03		-187	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Summary](#)



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 25 year product life):	3,74e+04

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15	2,1e+02	4,8
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,1	1	2,1	4,1e+02	9,6
PANEL	Ethylene vinyl acetate rubber (EVM, 60-70% VA)	Virgin (0%)	1,3	1	1,3	1,4e+02	3,2
PANEL	PP (65-70% barium sulfate)	Virgin (0%)	0,72	1	0,72	22	0,5
PANEL	Copper-nickel alloy, C96200, cast (90/10 copper-nickel)	Virgin (0%)	0,11	1	0,11	7,9	0,2
PANEL	Silver, commercial purity, fine, cold worked, hard	Virgin (0%)	0,001	1	0,001	1,5	0,0
PANEL	Tin, commercial purity, Grade A	Virgin (0%)	0,024	1	0,024	5,5	0,1
PANEL	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	0,024	1	0,024	1,1	0,0
PANEL	Single crystalline silicon, photovoltaics	Virgin (0%)	0,67	1	0,67	1,1e+03	26,4
PANEL	Lead-antimony alloy, Hard lead 95-5, cast	Virgin (0%)	0,012	1	0,012	0,41	0,0
HEAT SINK	Copper-nickel alloy, C96200, cast (90/10 copper-nickel)	Virgin (0%)	10	1	10	7,1e+02	16,6
HEAT SINK	Polyurethane rubber (unfilled)	Virgin (0%)	3,5	1	3,5	2,8e+02	6,7
WATER TANK	Iron, commercial purity, ingot iron, annealed, >99.9%Fe	Virgin (0%)	3	1	3	73	1,7
WATER TANK	Polyurethane rubber (unfilled)	Virgin (0%)	1,4	1	1,4	1,2e+02	2,8

SUPPORT SYSTEM	Alloy steel, 9Cr-1Mo, Grade F9	Virgin (0%)	23	1	23	6,4e+02	15,0
SUPPORT SYSTEM	Stainless steel, austenitic, ASTM CF-3, cast, water quenched	Virgin (0%)	0,34	1	0,34	24	0,6
SUPPORT SYSTEM	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,5	1	2,5	5e+02	11,8
Total				17	64	4,3e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
PANEL	Glass molding	-	15 kg	1,7e+02	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	2,1 kg	24	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Polymer molding	-	1,3 kg	24	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Polymer molding	-	0,72 kg	12	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,11 kg	1,1	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,001 kg	0,0072	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0

PANEL	Casting	-	0,024 kg	0,14	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Metal powder forming	-	0,024 kg	0,24	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,012 kg	0,065	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
HEAT SINK	Casting	-	10 kg	96	0,0
HEAT SINK	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
HEAT SINK	Polymer molding	-	3,5 kg	58	0,0
HEAT SINK	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
WATER TANK	Vaporization	-	3 kg	3,4e+04	8,0
WATER TANK	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
WATER TANK	Polymer molding	-	1,4 kg	24	0,0
WATER TANK	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
SUPPORT SYSTEM	Vaporization	-	23 kg	3,5e+05	82,1
SUPPORT SYSTEM	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
SUPPORT SYSTEM	Casting	-	0,34 kg	3,9	0,0
SUPPORT SYSTEM	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
SUPPORT SYSTEM	Vaporization	-	2,5 kg	4,1e+04	9,7
SUPPORT SYSTEM	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
Total				4,2e+05	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
1MARINE TRANSPORTATION	Ocean freight	7,5e+03	86	97,1
1ROAD TRANSPORTATION	40 tonne (6 axle) truck	50	2,6	2,9
Total		7,6e+03	89	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
PANEL	15	21	23,3
PANEL	2,1	2,9	3,2
PANEL	1,3	1,8	2,1
PANEL	0,72	1	1,1
PANEL	0,11	0,16	0,2
PANEL	0,001	0,0014	0,0
PANEL	0,024	0,033	0,0
PANEL	0,024	0,033	0,0
PANEL	0,67	0,93	1,1
PANEL	0,012	0,017	0,0
HEAT SINK	10	14	16,0
HEAT SINK	3,5	4,8	5,4
WATER TANK	3	4,2	4,7

WATER TANK	1,4	2	2,2
SUPPORT SYSTEM	23	32	36,1
SUPPORT SYSTEM	0,34	0,47	0,5
SUPPORT SYSTEM	2,5	3,5	4,0
Total	64	89	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Light to electric (solar cell)
Country of use	Greece
Power rating (W)	3e+02
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	25

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	0	100,0
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%

PANEL	Recycle	100,0	10	46,2
PANEL	Recycle	100,0	1,4	6,4
PANEL	Landfill	100,0	0,26	1,2
PANEL	Landfill	100,0	0,14	0,6
PANEL	Re-manufacture	100,0	0,023	0,1
PANEL	Landfill	100,0	0,0002	0,0
PANEL	Recycle	100,0	0,017	0,1
PANEL	Recycle	100,0	0,017	0,1
PANEL	Reuse	100,0	0,13	0,6
PANEL	Recycle	100,0	0,0084	0,0
HEAT SINK	Landfill	100,0	2	9,1
HEAT SINK	Landfill	100,0	0,69	3,1
WATER TANK	Landfill	100,0	0,6	2,7
WATER TANK	Landfill	100,0	0,29	1,3
SUPPORT SYSTEM	Re-manufacture	100,0	4,6	20,5
SUPPORT SYSTEM	Re-manufacture	100,0	0,068	0,3
SUPPORT SYSTEM	Recycle	100,0	1,8	7,8
Total			22	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
PANEL	Recycle	100,0	-37	1,5

PANEL	Recycle	100,0	-3,4e+02	13,5
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Re-manufacture	100,0	-7,5	0,3
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Recycle	100,0	-4,6	0,2
PANEL	Recycle	100,0	-0,84	0,0
PANEL	Reuse	100,0	-1,1e+03	44,6
PANEL	Recycle	100,0	-0,3	0,0
HEAT SINK	Landfill	100,0	0	0,0
HEAT SINK	Landfill	100,0	0	0,0
WATER TANK	Landfill	100,0	0	0,0
WATER TANK	Landfill	100,0	0	0,0
SUPPORT SYSTEM	Re-manufacture	100,0	-5,7e+02	22,5
SUPPORT SYSTEM	Re-manufacture	100,0	-23	0,9
SUPPORT SYSTEM	Recycle	100,0	-4,2e+02	16,5
Total			-2,5e+03	100

Notes:

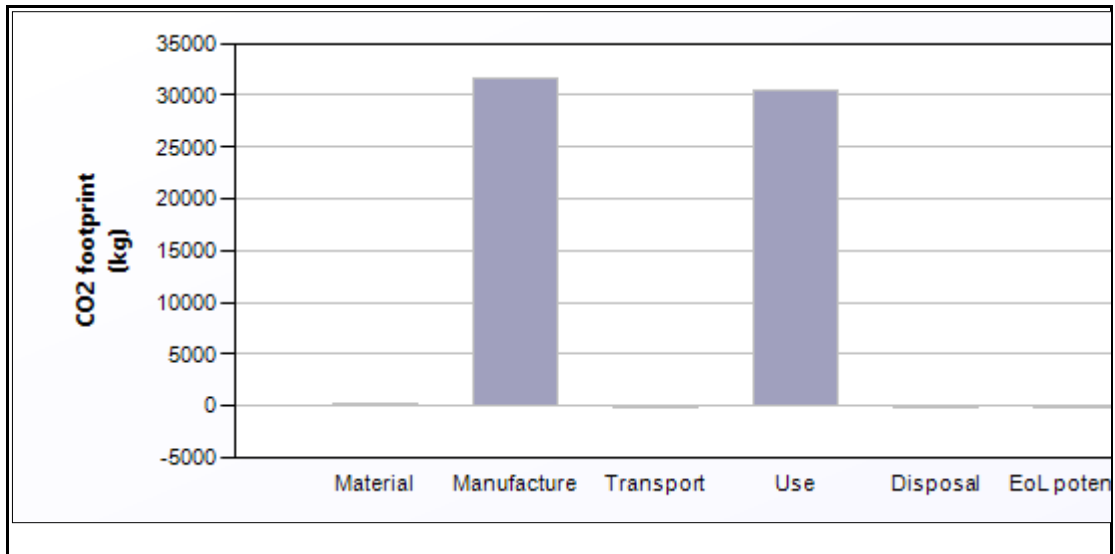
[Summary](#)



Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

[Summary](#)



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 25 year product life):	2,5e+03

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15	14	4,8
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,1	1	2,1	27	9,2
PANEL	Ethylene vinyl acetate rubber (EVM, 60-70% VA)	Virgin (0%)	1,3	1	1,3	6,5	2,3
PANEL	PP (65-70% barium sulfate)	Virgin (0%)	0,72	1	0,72	0,81	0,3

PANEL	Copper-nickel alloy, C96200, cast (90/10 copper-nickel)	Virgin (0%)	0,11	1	0,11	0,5	0,2
PANEL	Silver, commercial purity, fine, cold worked, hard	Virgin (0%)	0,001	1	0,001	0,1	0,0
PANEL	Tin, commercial purity, Grade A	Virgin (0%)	0,024	1	0,024	0,38	0,1
PANEL	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	0,024	1	0,024	0,087	0,0
PANEL	Single crystalline silicon, photovoltaics	Virgin (0%)	0,67	1	0,67	84	29,3
PANEL	Lead-antimony alloy, Hard lead 95-5, cast	Virgin (0%)	0,012	1	0,012	0,034	0,0
HEAT SINK	Copper-nickel alloy, C96200, cast (90/10 copper-nickel)	Virgin (0%)	10	1	10	45	15,6
HEAT SINK	Polyurethane rubber (unfilled)	Virgin (0%)	3,5	1	3,5	11	3,8
WATER TANK	Iron, commercial purity, ingot iron, annealed, >99.9%Fe	Virgin (0%)	3	1	3	6,9	2,4
WATER TANK	Polyurethane rubber (unfilled)	Virgin (0%)	1,4	1	1,4	4,6	1,6
SUPPORT SYSTEM	Alloy steel, 9Cr-1Mo, Grade F9	Virgin (0%)	23	1	23	53	18,4
SUPPORT SYSTEM	Stainless steel, austenitic, ASTM CF-3, cast, water quenched	Virgin (0%)	0,34	1	0,34	1,7	0,6
SUPPORT SYSTEM	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,5	1	2,5	33	11,3
Total				17	64	2,9e+02	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Glass molding	-	15 kg	13	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	2,1 kg	1,8	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Polymer molding	-	1,3 kg	1,9	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Polymer molding	-	0,72 kg	0,92	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,11 kg	0,08	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,001 kg	0,00054	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,024 kg	0,01	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Metal powder forming	-	0,024 kg	0,019	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,012 kg	0,0049	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
HEAT SINK	Casting	-	10 kg	7,2	0,0
HEAT SINK	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0

HEAT SINK	Polymer molding	-	3,5 kg	4,6	0,0
HEAT SINK	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
WATER TANK	Vaporization	-	3 kg	2,5e+03	8,0
WATER TANK	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
WATER TANK	Polymer molding	-	1,4 kg	1,9	0,0
WATER TANK	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
SUPPORT SYSTEM	Vaporization	-	23 kg	2,6e+04	82,1
SUPPORT SYSTEM	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
SUPPORT SYSTEM	Casting	-	0,34 kg	0,3	0,0
SUPPORT SYSTEM	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
SUPPORT SYSTEM	Vaporization	-	2,5 kg	3,1e+03	9,7
SUPPORT SYSTEM	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
Total				3,2e+04	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
1MARINE TRANSPORTATION	Ocean freight	7,5e+03	6,2	97,1
1ROAD TRANSPORTATION	40 tonne (6 axle) truck	50	0,19	2,9
Total		7,6e+03	6,4	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	15	1,5	23,3
PANEL	2,1	0,21	3,2
PANEL	1,3	0,13	2,1
PANEL	0,72	0,072	1,1
PANEL	0,11	0,011	0,2
PANEL	0,001	0,0001	0,0
PANEL	0,024	0,0024	0,0
PANEL	0,024	0,0024	0,0
PANEL	0,67	0,067	1,1
PANEL	0,012	0,0012	0,0
HEAT SINK	10	1	16,0
HEAT SINK	3,5	0,35	5,4
WATER TANK	3	0,3	4,7
WATER TANK	1,4	0,14	2,2
SUPPORT SYSTEM	23	2,3	36,1
SUPPORT SYSTEM	0,34	0,034	0,5
SUPPORT SYSTEM	2,5	0,25	4,0
Total	64	6,4	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Light to electric (solar cell)
Country of use	Greece
Power rating (W)	3e+02
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	25

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	0	100,0
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Recycle	100,0	0,73	46,2
PANEL	Recycle	100,0	0,1	6,4
PANEL	Landfill	100,0	0,018	1,2
PANEL	Landfill	100,0	0,01	0,6
PANEL	Re- manufacture	100,0	0,0016	0,1
PANEL	Landfill	100,0	1,4e-05	0,0
PANEL	Recycle	100,0	0,0012	0,1

PANEL	Recycle	100,0	0,0012	0,1
PANEL	Reuse	100,0	0,0094	0,6
PANEL	Recycle	100,0	0,00059	0,0
HEAT SINK	Landfill	100,0	0,14	9,1
HEAT SINK	Landfill	100,0	0,048	3,1
WATER TANK	Landfill	100,0	0,042	2,7
WATER TANK	Landfill	100,0	0,02	1,3
SUPPORT SYSTEM	Re-manufacture	100,0	0,32	20,5
SUPPORT SYSTEM	Re-manufacture	100,0	0,0048	0,3
SUPPORT SYSTEM	Recycle	100,0	0,12	7,8
Total			1,6	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Recycle	100,0	-4,2	2,2
PANEL	Recycle	100,0	-21	11,3
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Re-manufacture	100,0	-0,48	0,3
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Recycle	100,0	-0,31	0,2
PANEL	Recycle	100,0	-0,066	0,0

PANEL	Reuse	100,0	-84	45,3
PANEL	Recycle	100,0	-0,025	0,0
HEAT SINK	Landfill	100,0	0	0,0
HEAT SINK	Landfill	100,0	0	0,0
WATER TANK	Landfill	100,0	0	0,0
WATER TANK	Landfill	100,0	0	0,0
SUPPORT SYSTEM	Re-manufacture	100,0	-48	25,9
SUPPORT SYSTEM	Re-manufacture	100,0	-1,7	0,9
SUPPORT SYSTEM	Recycle	100,0	-26	13,9
Total			-1,9e+02	100

Notes:

[Summary](#)

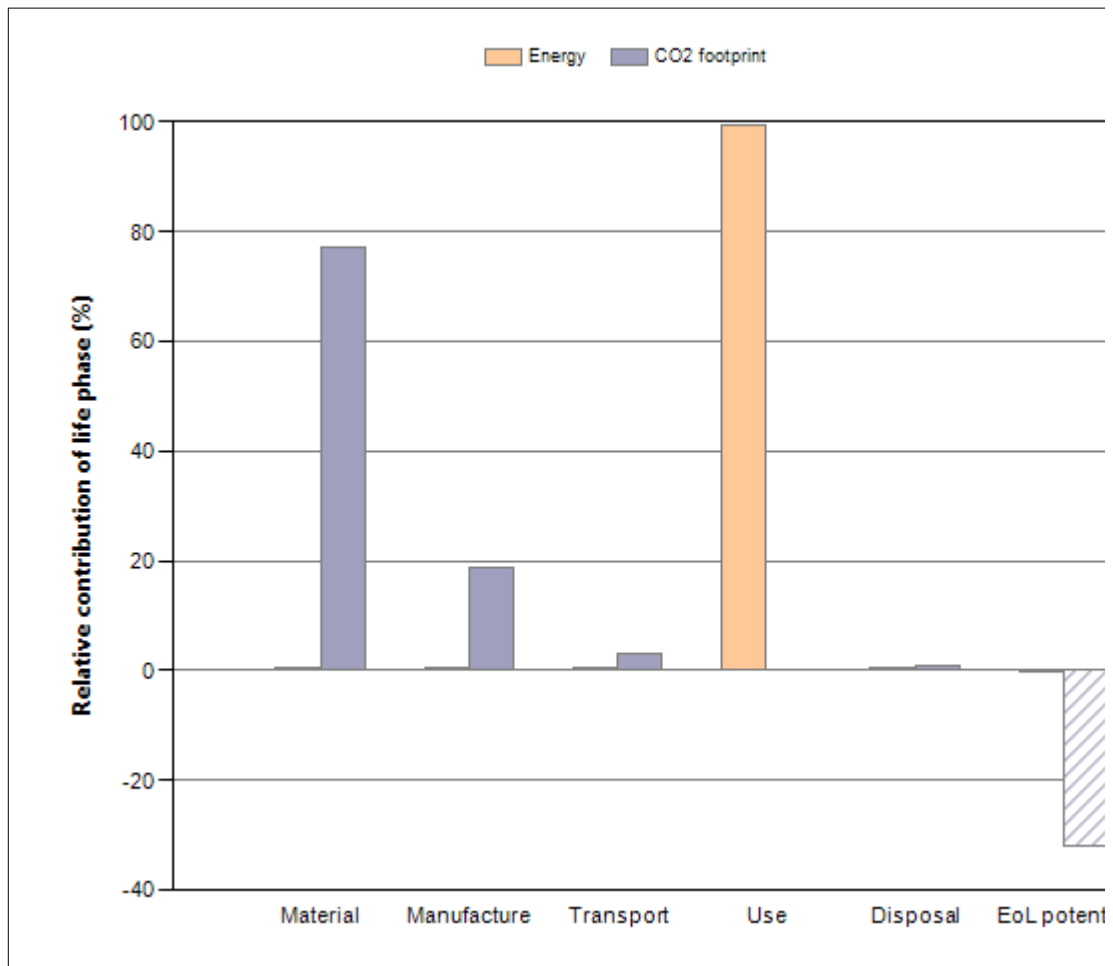
Ανάλυση Κύκλου Ζωής πάνελ άμορφου πυριτίου



Eco Audit Report

Product name PVT a-Si
 Country of use Greece
 Product life (years) 25

Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	911	83,5	47,3	77,2
Manufacture	146	13,4	11,5	18,8

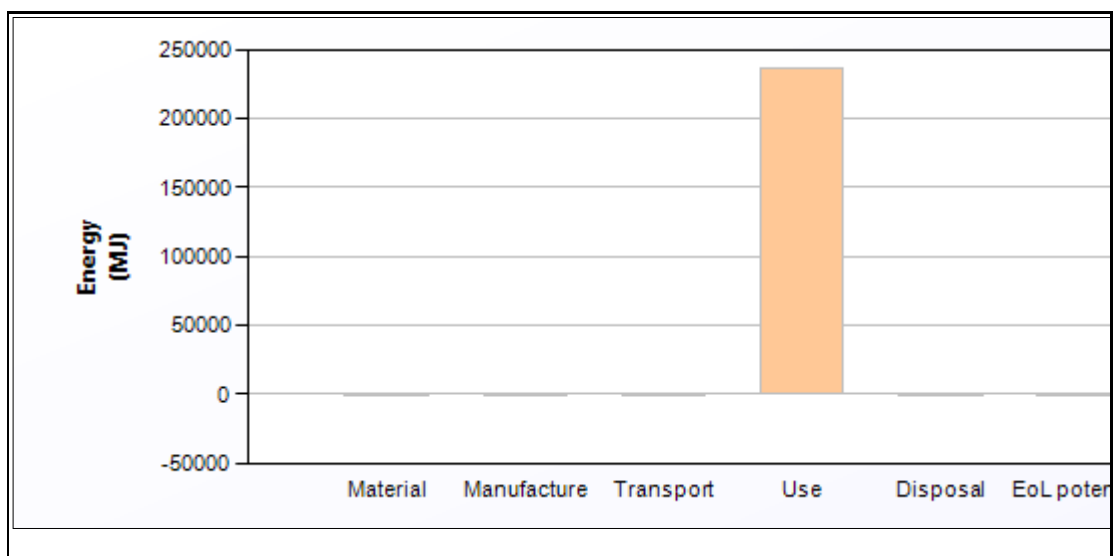
Transport	25	2,3	1,8	2,9
Use	2,37e+05	0	0	0,0
Disposal	9,1	0,8	0,637	1,0
Total (for first life)	2,38e+05	100	61,2	100
End of life potential	-314		-19,5	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Summary](#)



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 25 year product life):	9,5e+03

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
-----------	----------	-----------------------	----------------	------	-----------------------------	-------------	---

PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15	4,5e+02	49,5
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	0,0063	1	0,0063	1,3	0,1
PANEL	PE-HD (low/medium molecular weight)	Virgin (0%)	2,2	1	2,2	1,7e+02	18,9
PANEL	Coated copper, copper, lead coated	Virgin (0%)	0,16	1	0,16	8,6	0,9
PANEL	Tin, commercial purity, Grade A	Virgin (0%)	0,0077	1	0,0077	1,8	0,2
PANEL	Single crystalline silicon, photovoltaics	Virgin (0%)	0,012	1	0,012	19	2,1
PANEL	Indium, commercial purity, min 99.97%	Virgin (0%)	0,09	1	0,09	2,6e+02	28,2
Total				7	18	9,1e+02	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
PANEL	Glass molding	-	15 kg	1e+02	68,7
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0063 kg	0,073	0,1
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Polymer molding	-	2,2 kg	44	29,9
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,16 kg	1,5	1,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0

PANEL	Casting	-	0,0077 kg	0,044	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,09 kg	0,49	0,3
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
Total				1,5e+02	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
MARINE TRANSPORTATION	Ocean freight	7,5e+03	24	96,6
ROAD TRANSPORTATION	32 tonne (4 axle) truck	50	0,84	3,4
Total		7,6e+03	25	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
PANEL	15	22	86,4
PANEL	0,0063	0,0088	0,0
PANEL	2,2	3	12,1
PANEL	0,16	0,23	0,9
PANEL	0,0077	0,011	0,0
PANEL	0,012	0,016	0,1

PANEL	0,09	0,13	0,5
Total	18	25	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Light to electric (solar cell)
Country of use	Greece
Power rating (W)	3e+02
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	25

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	2,4e+05	100,0
Mobile	0	
Total	2,4e+05	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
PANEL	Recycle	70,0	8,5	93,6
PANEL	Recycle	100,0	0,0044	0,0
PANEL	Landfill	100,0	0,43	4,7

PANEL	Downcycle	100,0	0,081	0,9
PANEL	Landfill	100,0	0,0015	0,0
PANEL	Re-manufacture	100,0	0,0023	0,0
PANEL	Recycle	100,0	0,063	0,7
Total			9,1	100

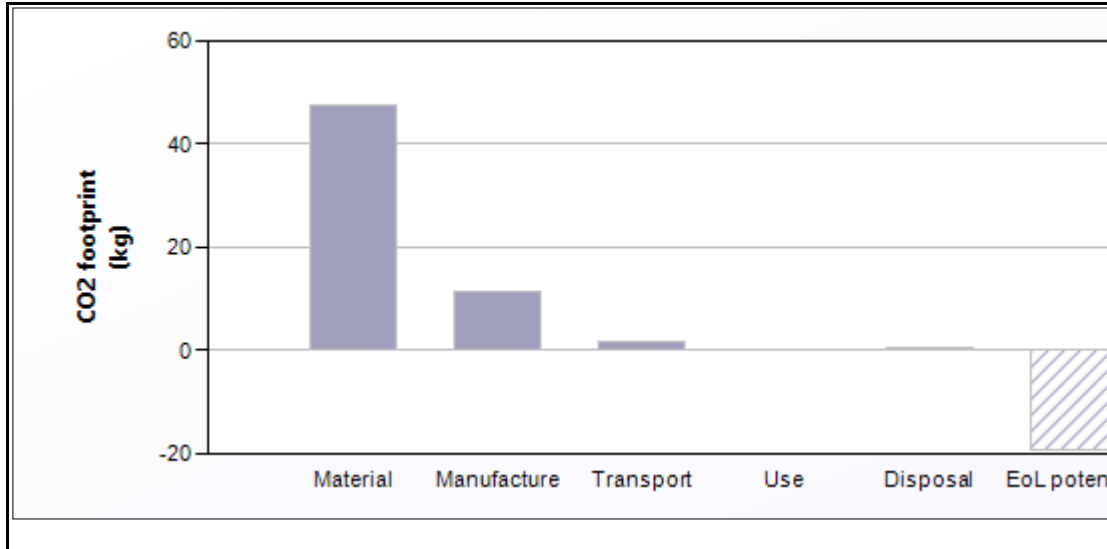
EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
PANEL	Recycle	70,0	-57	18,1
PANEL	Recycle	100,0	-1	0,3
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Downcycle	100,0	-3,3	1,1
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Re-manufacture	100,0	-19	6,1
PANEL	Recycle	100,0	-2,3e+02	74,4
Total			-3,1e+02	100

Notes:

[Summary](#)

CO2 Footprint Analysis

[Summary](#)


	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 25 year product life):	2,45

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15	27	57,4
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	0,0063	1	0,0063	0,081	0,2
PANEL	PE-HD (low/medium molecular weight)	Virgin (0%)	2,2	1	2,2	4	8,5
PANEL	Coated copper, copper, lead coated	Virgin (0%)	0,16	1	0,16	0,56	1,2

PANEL	Tin, commercial purity, Grade A	Virgin (0%)	0,0077	1	0,0077	0,12	0,3
PANEL	Single crystalline silicon, photovoltaics	Virgin (0%)	0,012	1	0,012	1,5	3,1
PANEL	Indium, commercial purity, min 99.97%	Virgin (0%)	0,09	1	0,09	14	29,4
Total				7	18	47	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Glass molding	-	15 kg	8	70,1
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0063 kg	0,0055	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Polymer molding	-	2,2 kg	3,3	28,6
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,16 kg	0,11	1,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0077 kg	0,0033	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,09 kg	0,036	0,3

PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
Total				11	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
MARINE TRANSPORTATION	Ocean freight	7,5e+03	1,7	96,6
ROAD TRANSPORTATION	32 tonne (4 axle) truck	50	0,061	3,4
Total		7,6e+03	1,8	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	15	1,6	86,4
PANEL	0,0063	0,00063	0,0
PANEL	2,2	0,22	12,1
PANEL	0,16	0,016	0,9
PANEL	0,0077	0,00078	0,0
PANEL	0,012	0,0012	0,1
PANEL	0,09	0,0091	0,5
Total	18	1,8	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Light to electric (solar cell)
Country of use	Greece
Power rating (W)	3e+02
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	25

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	0	NaN
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Recycle	70,0	0,6	93,6
PANEL	Recycle	100,0	0,00031	0,0
PANEL	Landfill	100,0	0,03	4,7
PANEL	Downcycle	100,0	0,0057	0,9
PANEL	Landfill	100,0	0,00011	0,0
PANEL	Re- manufacture	100,0	0,00016	0,0

PANEL	Recycle	100,0	0,0044	0,7
Total			0,64	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Recycle	70,0	-5,7	29,2
PANEL	Recycle	100,0	-0,065	0,3
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Downcycle	100,0	-0,2	1,0
PANEL	Landfill	100,0	0	0,0
PANEL	Re-manufacture	100,0	-1,4	7,4
PANEL	Recycle	100,0	-12	62,0
Total			-19	100

Notes:

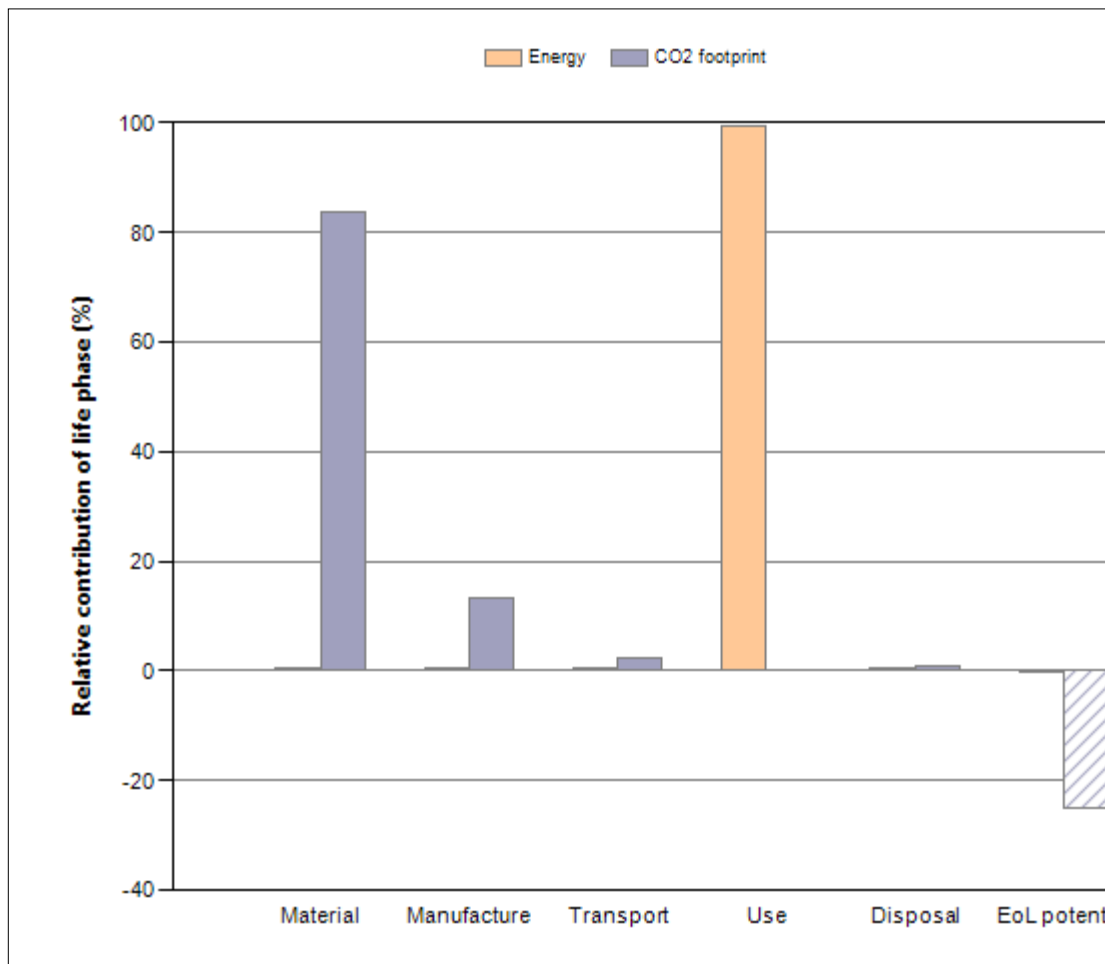
[Summary](#)



Eco Audit Report

Product name PVT CIS/CIGS
 Country of use Greece
 Product life (years) 25

Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	1,1e+03	0,5	67	83,8

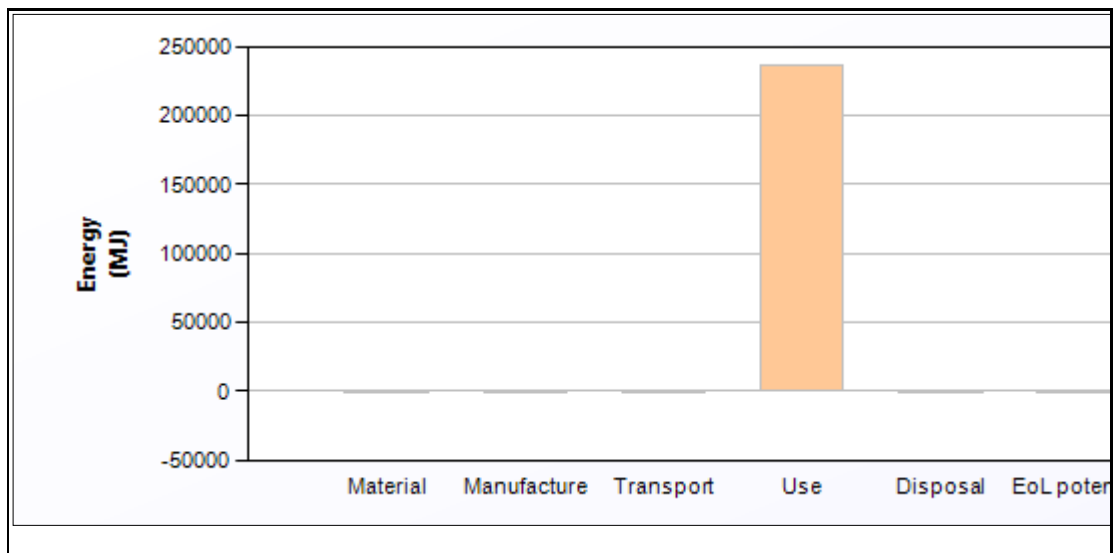
Manufacture	133	0,1	10,5	13,1
Transport	25,2	0,0	1,81	2,3
Use	0	0	0	0,0
Disposal	9,16	0,0	0,641	0,8
Total (for first life)	2,38e+05	100	80	100
End of life potential	-293		-20	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Summary](#)



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 25 year product life):	9,51e+03

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15	4,4e+02	40,0
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,2	1	2,2	4,3e+02	39,2
PANEL	EVA (Shore A95/D50, 12% vinyl acetate)	Virgin (0%)	0,54	1	0,54	43	3,9
PANEL	Coated copper, copper, lead coated	Virgin (0%)	0,14	1	0,14	7,7	0,7
PANEL	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	0,022	1	0,022	1	0,1
PANEL	Lead, Chemical	Virgin (0%)	0,009	1	0,009	0,25	0,0
PANEL	Selenium, commercial purity	Virgin (0%)	0,0054	1	0,0054	0,39	0,0
PANEL	Iridium, commercial purity, hard, min 99.9%	Virgin (0%)	0,0036	1	0,0036	1,7e+02	15,6
PANEL	Gallium, commercial purity	Virgin (0%)	0,0018	1	0,0018	5,5	0,5
Total				9	18	1,1e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
PANEL	Glass molding	-	15 kg	98	74,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	2,2 kg	25	18,9
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0

PANEL	Polymer molding	-	0,54 kg	7,8	5,9
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,14 kg	1,3	1,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,022 kg	0,15	0,1
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,009 kg	0,049	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0054 kg	0,032	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0036 kg	0,029	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0018 kg	0,01	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
Total				1,3e+02	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
MARINE TRANSPORTATION	Ocean freight	7,5e+03	24	96,6
ROAD TRANSPORTATION	32 tonne (4 axle) truck	50	0,85	3,4
Total		7,6e+03	25	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
PANEL	15	21	84,0
PANEL	2,2	3	12,0
PANEL	0,54	0,75	3,0
PANEL	0,14	0,2	0,8
PANEL	0,022	0,03	0,1
PANEL	0,009	0,013	0,0
PANEL	0,0054	0,0075	0,0
PANEL	0,0036	0,005	0,0
PANEL	0,0018	0,0025	0,0
Total	18	25	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Light to electric (solar cell)
Country of use	Greece
Power rating (W)	3e+02
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	25

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	2,4e+05	100,0
Mobile	0	
Total	2,4e+05	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
PANEL	Recycle	70,0	8,3	90,8
PANEL	Recycle	18,0	0,63	6,8
PANEL	Recycle	5,0	0,12	1,3
PANEL	Downcycle	100,0	0,072	0,8
PANEL	Recycle	100,0	0,015	0,2
PANEL	Downcycle	100,0	0,0045	0,0
PANEL	Downcycle	100,0	0,0027	0,0
PANEL	Recycle	100,0	0,0025	0,0
PANEL	Recycle	100,0	0,0013	0,0
Total			9,2	100

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
PANEL	Recycle	70,0	-56	18,9
PANEL	Recycle	18,0	-64	21,9

PANEL	Recycle	5,0	-1,4	0,5
PANEL	Downcycle	100,0	-2,9	1,0
PANEL	Recycle	100,0	-0,76	0,3
PANEL	Downcycle	100,0	-0,092	0,0
PANEL	Downcycle	100,0	-0,15	0,1
PANEL	Recycle	100,0	-1,6e+02	55,7
PANEL	Recycle	100,0	-5	1,7
Total			-2,9e+02	100

Notes:

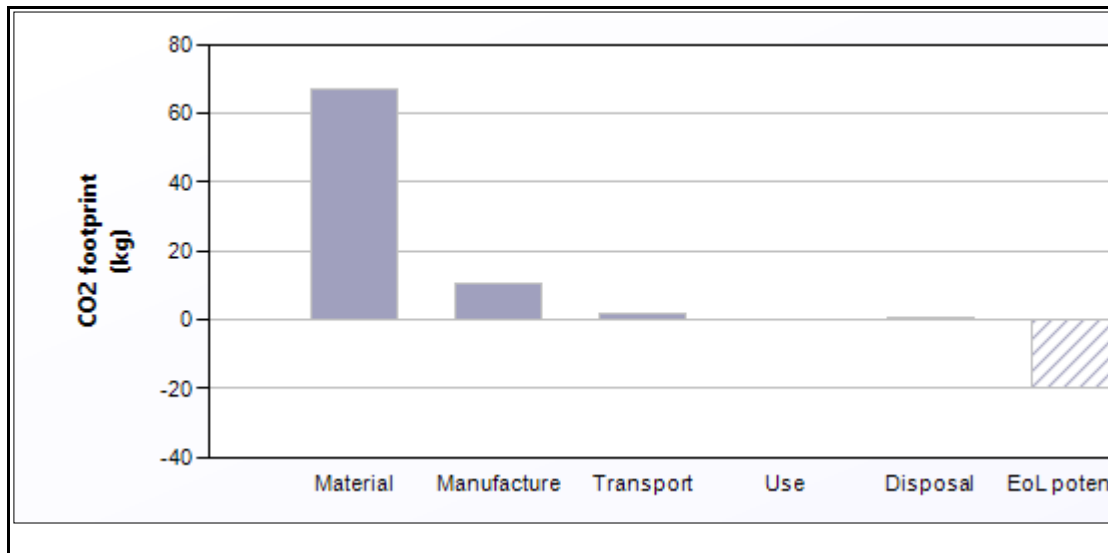
[Summary](#)



Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

[Summary](#)



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 25 year product life):	3,2

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Laminated glass	Virgin (0%)	15	1	15	27	39,5
PANEL	Aluminum, commercial purity, S150.1: LM0-M, cast	Virgin (0%)	2,2	1	2,2	28	41,7
PANEL	EVA (Shore A95/D50, 12% vinyl acetate)	Virgin (0%)	0,54	1	0,54	1,1	1,7
PANEL	Coated copper, copper, lead coated	Virgin (0%)	0,14	1	0,14	0,5	0,7
PANEL	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	0,022	1	0,022	0,079	0,1
PANEL	Lead, Chemical	Virgin (0%)	0,009	1	0,009	0,02	0,0
PANEL	Selenium, commercial purity	Virgin (0%)	0,0054	1	0,0054	0,014	0,0
PANEL	Iridium, commercial purity, hard, min 99.9%	Virgin (0%)	0,0036	1	0,0036	10	15,6
PANEL	Gallium, commercial purity	Virgin (0%)	0,0018	1	0,0018	0,37	0,6
Total				9	18	67	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Glass molding	-	15 kg	7,9	74,9
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	2,2 kg	1,9	17,9
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Polymer molding	-	0,54 kg	0,63	6,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,14 kg	0,099	0,9
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,022 kg	0,011	0,1
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,009 kg	0,0037	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0054 kg	0,0024	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0036 kg	0,0022	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
PANEL	Casting	-	0,0018 kg	0,00075	0,0
PANEL	Cutting and trimming	-	0 kg	0	0,0
Total				10	100

Transport:

[Summary](#)

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
MARINE TRANSPPORTATION	Ocean freight	7,5e+03	1,8	96,6
ROAD TRANSPORTATION	32 tonne (4 axle) truck	50	0,061	3,4
Total		7,6e+03	1,8	100

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	15	1,5	84,0
PANEL	2,2	0,22	12,0
PANEL	0,54	0,054	3,0
PANEL	0,14	0,014	0,8
PANEL	0,022	0,0022	0,1
PANEL	0,009	0,00091	0,0
PANEL	0,0054	0,00054	0,0
PANEL	0,0036	0,00036	0,0
PANEL	0,0018	0,00018	0,0
Total	18	1,8	100

Use:

[Summary](#)

Static mode

Energy input and output type	Light to electric (solar cell)
------------------------------	--------------------------------

Country of use	Greece
Power rating (W)	3e+02
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	25

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	0	NaN
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:

[Summary](#)

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Recycle	70,0	0,58	90,8
PANEL	Recycle	18,0	0,044	6,8
PANEL	Recycle	5,0	0,0085	1,3
PANEL	Downcycle	100,0	0,005	0,8
PANEL	Recycle	100,0	0,0011	0,2
PANEL	Downcycle	100,0	0,00032	0,0
PANEL	Downcycle	100,0	0,00019	0,0
PANEL	Recycle	100,0	0,00018	0,0
PANEL	Recycle	100,0	8,8e-05	0,0

Total			0,64	100
-------	--	--	-------------	------------

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
PANEL	Recycle	70,0	-5,6	27,7
PANEL	Recycle	18,0	-4	19,9
PANEL	Recycle	5,0	-0,038	0,2
PANEL	Downcycle	100,0	-0,18	0,9
PANEL	Recycle	100,0	-0,06	0,3
PANEL	Downcycle	100,0	-0,0074	0,0
PANEL	Downcycle	100,0	-0,0038	0,0
PANEL	Recycle	100,0	-9,8	49,2
PANEL	Recycle	100,0	-0,34	1,7
Total			-20	100

Notes:

[Summary](#)

