



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ, 73 100 ΧΑΝΙΑ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ «ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ»**



**ΚΑΡΑΜΠΑΤΣΟΥ ΧΡΥΣΗΔΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΠΑΕΥΘΥΜΙΟΥ ΣΠΥΡΟΣ**  
**ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΧΑΝΙΑ 2013**

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελεί μέρος μιας ενιαίας διπλωματικής εργασίας δύο ατόμων που έχει ως στόχο τη συγκριτική μελέτη θερμικών ηλιακών συστημάτων για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στην περιοχή των Χανίων, σε σχέση με τη συνολική περιβαλλοντική-οικονομική-ενεργειακή τους απόδοση.

Η εκπόνηση της οικονομικής-ενεργειακής ανάλυσης των συστημάτων μέσω των προγραμμάτων RETSCREEN και f-chart πραγματοποιήθηκε από τον Βασίλειο Μελισσάρη ενώ η υλοποίηση της μελέτης ανάλυσης κύκλου ζωής των συστημάτων με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro από την Χρυσίδα Καραμπάτσου.

### **Ευχαριστίες**

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη συνεργασία του φίλου μου Βασίλειου Μελισσάρη. Του εκφράζω ένα μεγάλο ευχαριστώ για όλη τη βοήθεια που μου προσέφερε. Οφείλω επίσης ευχαριστίες στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Σπυρίδωνα Παπαευθυμίου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα θέμα που με ενδιέφερε πολύ στην πορεία. Ευχαριστώ πολύ ακόμα την οικογένειά μου για την αγάπη της και την ηθική –οικονομική υποστήριξή της όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος ,ευχαριστώ ειλικρινά τις φίλες μου εδώ στα Χανιά για την αγάπη τους και την κατανόησή τους κατά τη διάρκεια όλων των μηνών της προσπάθειάς μου. Αφιερώνω ειδικά την εργασία αυτή στην πολύ καλή μου φίλη Απανωμεριτάκη Χριστίνα.

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη συγκριτική μελέτη θερμικών ηλιακών συστημάτων για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στην περιοχή των Χανίων.

Γίνεται μια γενική περιγραφή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων (συστήματα επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και συλλεκτών κενού) για θέρμανση νερού σε οικιακές χρήσεις στην περιοχή των Χανίων. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία υλοποίησης μελέτης ανάλυσης κύκλου ζωής των συστημάτων με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro. Τέλος προτείνεται το σύστημα το οποίο είναι βέλτιστο σε σχέση με τη συνολική περιβαλλοντική του απόδοση.

### **ABSTRACT**

This diploma thesis aims to the comparative study of thermal solar systems for domestic hot water heating in Chania.

There is a general description of active solar systems (flat plate collectors systems and evacuated tube collectors systems) for water heating in domestic uses in Chania. Thereafter is described: the implementation process study Life cycle analysis of systems with the aid of software SimaPro. Finally, is proposed the system that is optimum as far as the total environmental performance, is concerned.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b> .....	7
1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	8
1.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	8
1.3 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ .....	10
1.4 ΗΛΙΑΚΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ .....	10
1.5 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΩΝ .....	11
1.6 ΜΕΡΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ .....	12
1.7 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ .....	13
1.8 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (BOILER).....	14
1.9 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	14
1.10 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ .....	15
1.11 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ .....	21
1.12 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ .....	21
1.13 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	23
1.14 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ-ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ .....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b> .....	27
2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCA) .....	28
2.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	28
2.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ LCA .....	28
2.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ .....	29
2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ LCA .....	30
2.4 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ LCA .....	31
2.5 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΤΑ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ISO .....	31
2.5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	32
2.5.1.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	33
2.5.1.2 ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	33
2.5.1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ LCA.....	34
2.5.2 ΑΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (LCI) .....	34
2.5.2.1 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΤΟΥ LCI .....	35
2.5.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ .....	36
2.5.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ LCI .....	36
2.5.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ (LCIA).....	38
2.5.3.1 ΒΗΜΑΤΑ LCIA .....	38
2.5.3.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ .....	39
2.5.3.1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	39
2.5.3.1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ .....	40
2.5.3.1.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ LCIA .....	41
2.5.4 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ LCA .....	41
2.6 ΕΚΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b> .....	43
ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ .....	44
3.1 SIMAPRO.....	45

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b> .....	48
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ SIMAPRO .....	49
4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ SIMAPRO .....	55
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ</b> .....	57
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup></b> .....	58
5.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ .....	59
5.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	59
5.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ .....	61
5.2.1 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ .....	61
5.2.2 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ .....	64
5.2.3 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΒΛΑΒΗΣ .....	65
5.2.4 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ .....	67
5.2.5 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΣΤΑΘΜΙΣΗ .....	68
5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ .....	70
5.3.1 ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ .....	71
5.3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ .....	73
5.3.3 ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ .....	76
5.3.4 ΟΞΙΝΙΣΗ - ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ .....	77
5.3.5 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ .....	78
5.3.6 ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ .....	79
5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ .....	81
5.4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕ ΚΑΡΛΟ .....	83
5.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ .....	84
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup></b> .....	88
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	89
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	91

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

Στο πρώτο κεφάλαιο προσδιορίζεται η έννοια της ηλιακής ενέργειας και των ηλιακών συστημάτων με έμφαση στα ενεργητικά με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Περιγράφονται αναλυτικά τα είδη των ηλιακών θερμοσιφώνων, τα τμήματα από τα οποία οι ίδιοι απαρτίζονται καθώς επίσης και η αρχή λειτουργίας τους. Τέλος πραγματοποιείται και μια σύντομη αναφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο, τη θερμική απόδοση και τις απώλειες των συλλεκτών, το βασικότερο ίσως τμήμα ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης.

## 1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με τη χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της.

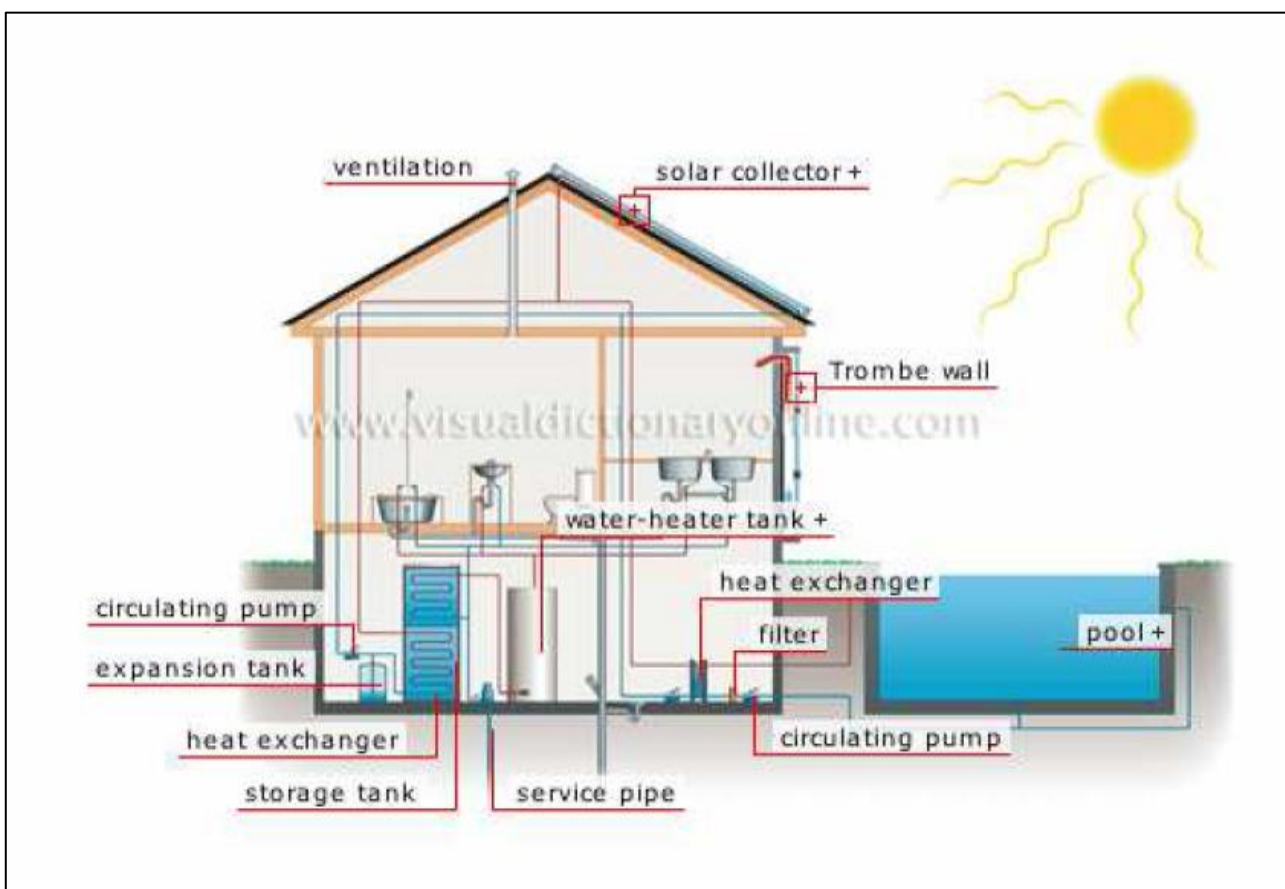
Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη πηγή δεδομένου ότι ο ήλιος θα παρέχει ενέργεια επί πέντε δισεκατομμύρια έτη και η ίδια υπερβαίνει κατά 2.500 φορές την ποσότητα που καταναλώνουμε ετησίως. Το γεγονός αυτό είναι αρκετά σημαντικό αν λάβουμε υπόψη μας ότι τα ενεργειακά αποθέματα της γης εξαντλούνται. Χαρακτηριστικά τα αποθέματα άνθρακα εκτιμάται ότι επαρκούν για περίπου 150 έτη ενώ τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου θα έχουν εξαντληθεί σε περίπου 40 χρόνια.

Η Ελλάδα, χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι είναι 4,6 kWh/m<sup>2</sup>. [22]

## 1.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σήμερα αξιοποιούμε με πολλούς τρόπους την ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας:

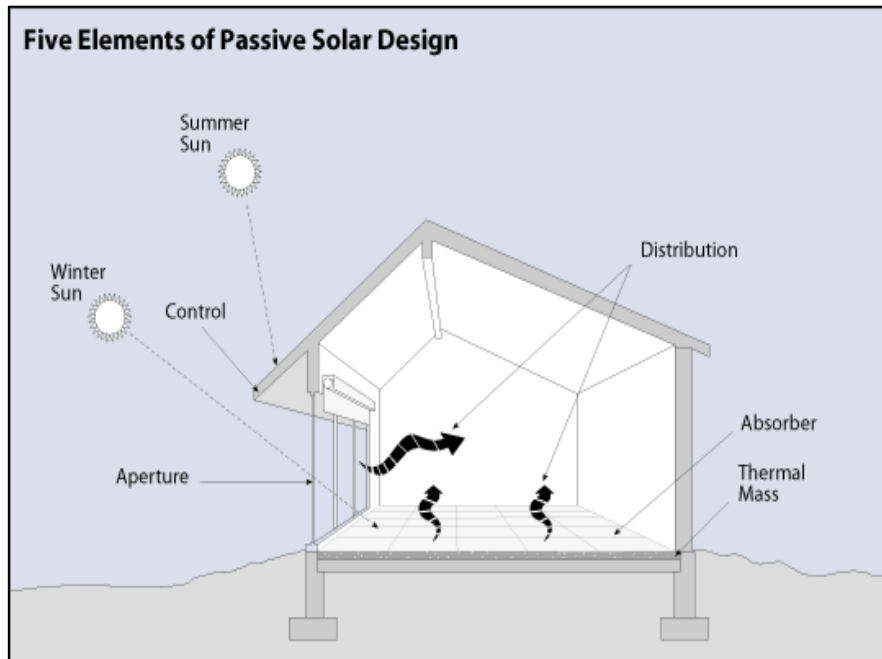
1. Με τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν.



Εικόνα 1.1: Παράδειγμα εφαρμογής ενεργητικού ηλιακού συστήματος σε μια κατοικία

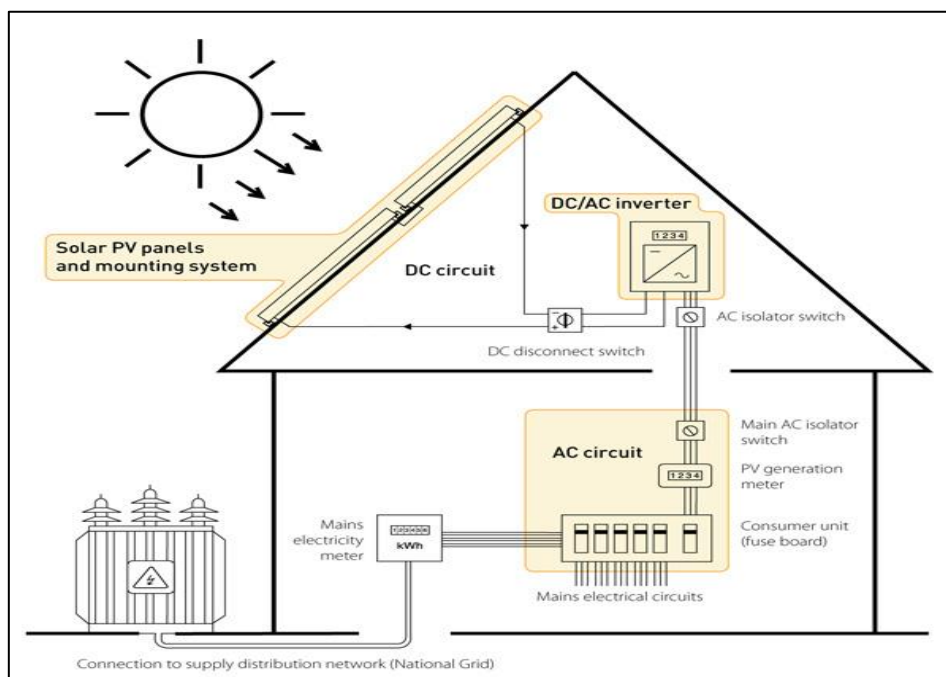


2. Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτιρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή μέση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα είτε για τον κλιματισμό το καλοκαίρι.



Εικόνα:1.2: Παράδειγμα εφαρμογής παθητικού ηλιακού συστήματος σε ένα σπίτι

3. Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Εικόνα 1.3: Παράδειγμα εφαρμογής φωτοβολταϊκού συστήματος σε μια κατοικία

### 1.3 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Η ενεργητική ηλιακή θέρμανση είναι παρόμοια με την παθητική ηλιακή θέρμανση, αλλά είναι μια πολύ πιο περίπλοκη διαδικασία και παράγει πολύ περισσότερη θερμότητα από ότι τα παθητικά συστήματα.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν τους συλλέκτες και τη δεξαμενή αποθήκευσης ως χωριστές συνιστώσες και η μεταφορά της ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια κάποιας αντλίας του συστήματος.

Τα ενεργητικά συστήματα ηλιακής θέρμανσης μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες : τα συστήματα αέρα και τα συστήματα υγρού. Οι διαφορές στα συστήματα θέρμανσης βρίσκονται στον τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια συσσωρεύεται στον ηλιακό συλλέκτη. Ειδικότερα, στα συστήματα υγρού, ως ρευστό μεταφοράς της ενέργειας που συλλέγεται στον ηλιακό συλλέκτη χρησιμοποιείται κάποιο υγρό ενώ τα συστήματα αέρα απορροφούν την ενέργεια μέσω του αέρα.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- ❖ για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης
- ❖ για τη θέρμανση ή την ψύξη χώρων
- ❖ για θέρμανση πισινών
- ❖ για διάφορες βιομηχανικές διεργασίες και αγροτικές εφαρμογές (αφαλάτωση, ξήρανση προϊόντων, διαδικασίες απόσταξης)

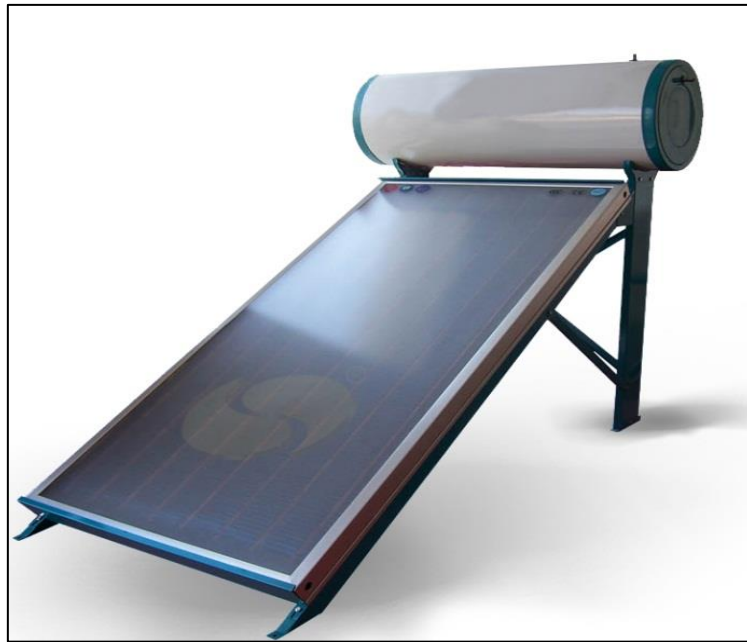
Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στην Ελλάδα, είναι περίπου 3.587.200 m<sup>2</sup> (στοιχεία 2007). Ήδη περισσότερες ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετήσιων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα και περίπου 60% των ετήσιων αναγκών θέρμανσης του σπιτιού τους.

Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητά τους γενικά έχει βελτιωθεί σε σημαντικό βαθμό τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα η χώρα μας να κατέχει αυτή τη στιγμή την τρίτη θέση μετά την Αυστρία στην ευρωπαϊκή αγορά ως προς την εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών και να αποτελεί τον μεγαλύτερο εξαγωγέα σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση όπως η Γερμανία. [3],[6]

### 1.4 ΗΛΙΑΚΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα που ζεσταίνει νερό χρησιμοποιώντας ηλιακή ακτινοβολία. Χρησιμοποιείται σε χώρες που έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια όπως για παράδειγμα στις χώρες της Μεσογείου και στην Κύπρο.

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι η πιο απλή και γνωστή ηλιακή συσκευή. Κατά τη λειτουργία του γίνεται εκμετάλλευση δύο φυσικών φαινομένων, **η αρχή του θερμοσίφωνου και το φαινόμενο του θερμοκηπίου**. Με την αρχή του θερμοσίφωνου επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του νερού με φυσικό τρόπο χωρίς μηχανικά μέρη (αντλίες κλπ.) ενώ με την εκμετάλλευση του φαινομένου του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στους συλλέκτες πραγματοποιείται η θέρμανση του νερού.



Εικόνα 1.4: Τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνας

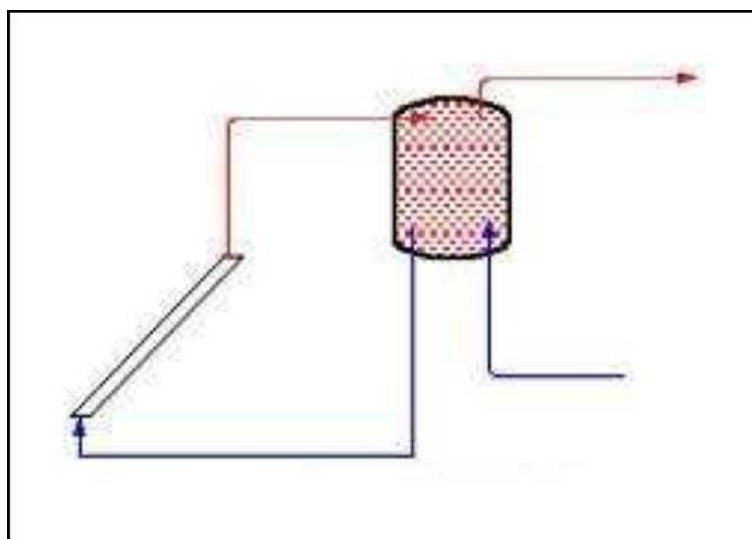
### 1.5 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΩΝ

Ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι αντλίας στο σύστημα οι ηλιακοί θερμοσίφωνες χωρίζονται σε:

- ❖ Φυσικής κυκλοφορίας (παθητικό σύστημα ): Δε χρησιμοποιούνται αντλίες για την αποθήκευση νερού.
- ❖ Εξαναγκασμένης κυκλοφορίας( ενεργό σύστημα) : Χρησιμοποιούν αντλίες για την κίνηση του θερμού ρευστού από τον συλλέκτη προς τη δεξαμενή αποθήκευσης.

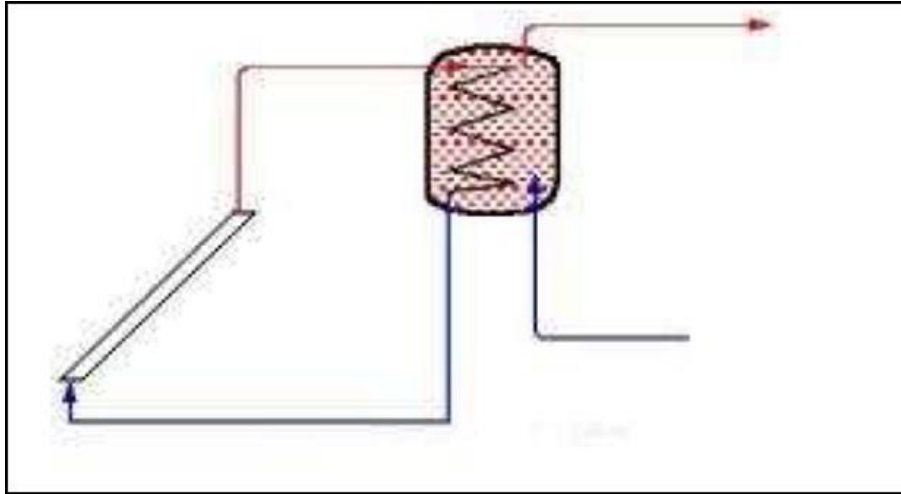
Ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου διακρίνουμε δύο είδη ηλιακών θερμοσιφώνων :

- ❖ Ανοικτού βρόγχου: απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης( το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε)



Εικόνα 1.5: Σύστημα ανοικτού βρόγχου

- ❖ Κλειστού βρόγχου: έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης( το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους ,μέσω εναλλάκτη θερμότητας.



**Εικόνα 1.6:** Σύστημα κλειστού βρόγχου

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανοιχτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, έχουν όμως προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες (παγετούς) γιατί δε μπορούμε να τους προσθέσουμε αντιψυκτικά μίγματα( το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό χρήσης).

Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος μπορεί το θερμαινόμενο μέσο να είναι και άλλο ρευστό( πχ. λάδι). Αν είναι μόνο νερό έχει αντιψυκτικά και αντιδιαβρωτικά πρόσθετα για την προστασία της συσκευής.

Επιπρόσθετα, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τους ηλιακούς θερμοσίφωνες ανάλογα με τον αριθμό των ενεργειακών πηγών που μπορούν να εκμεταλλευτούν σε :

- ❖ Διπλής ενέργειας: Ο θερμοσίφωνας λειτουργεί εκμεταλλευόμενος είτε την ηλιακή ενέργεια είτε το ηλεκτρικό ρεύμα( πχ. κατά τη διάρκεια συννεφιάς οπότε η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για να ζεστάνει το νερό). Για τον σκοπό αυτό, υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη εντός του τμήματος αποθήκευσης.
- ❖ Τριπλής ενέργειας: Λειτουργεί όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνας διπλής ενέργειας αλλά έχει επιπλέον μια είσοδο για να εκμεταλλευτεί ως θερμαντικό μέσο το ζεστό νερό του καλοριφέρ που παράγεται από το λέβητα κεντρικής θέρμανσης.

Προϋπόθεση για την εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα τριπλής ενέργειας είναι να υπάρχει κατάλληλη υποδομή στο οίκημα υπό τη μορφή ξεχωριστών σωληνώσεων (ανά διαμέρισμα αν πρόκειται για πολυκατοικία) που συνδέουν το λεβητοστάσιο με το χώρο εγκατάστασης του θερμοσίφωνα (ταράτσα ή σκεπή).[4],[5],[6]

## 1.6 ΜΕΡΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανεξάρτητα από το είδος τους αποτελούνται από δύο βασικά μέρη:

- ❖ το τμήμα συλλογής ( οι ηλιακοί συλλέκτες ,η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας )
- ❖ το τμήμα αποθήκευσης ( η δεξαμενή αποθήκευσης νερού)

Τα δύο αυτά μέρη είναι συναρμολογημένα μαζί και συνδέονται με σωληνώσεις, αλλά σε μεγαλύτερα συστήματα μπορεί να είναι και χωριστά και να χρησιμοποιούνται αντλίες για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου, ειδικά όταν το τμήμα αποθήκευσης δε βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το τμήμα συλλογής.

Το τμήμα αποθήκευσης διαθέτει και ηλεκτρική αντίσταση με θερμοστάτη για να μπορεί να παράγει ζεστό νερό και σε άσχημες καιρικές συνθήκες.

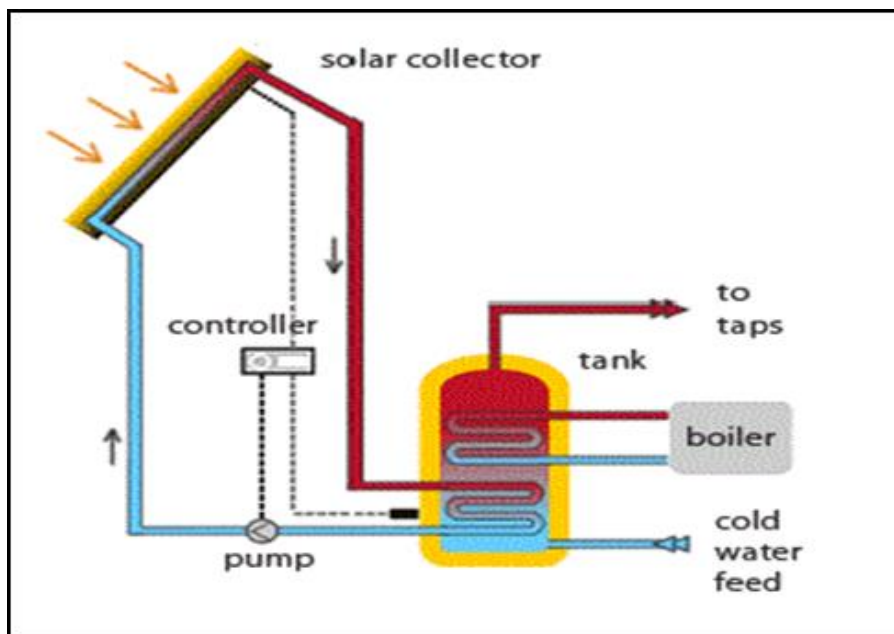
Οι ακριβότεροι ηλιακοί θερμοσίφωνες διαθέτουν και κάποια λίγα εξαρτήματα ελέγχου όπως βαλβίδα υπερπίεσης ή αυτόματα εξαεριστικά.

### 1.7 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας κατά τη λειτουργία του εκμεταλλεύεται το φυσικό φαινόμενο ροής των ρευστών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (διαφοράς πυκνότητας) γνωστό και σαν αρχή του θερμοσίφωνου.

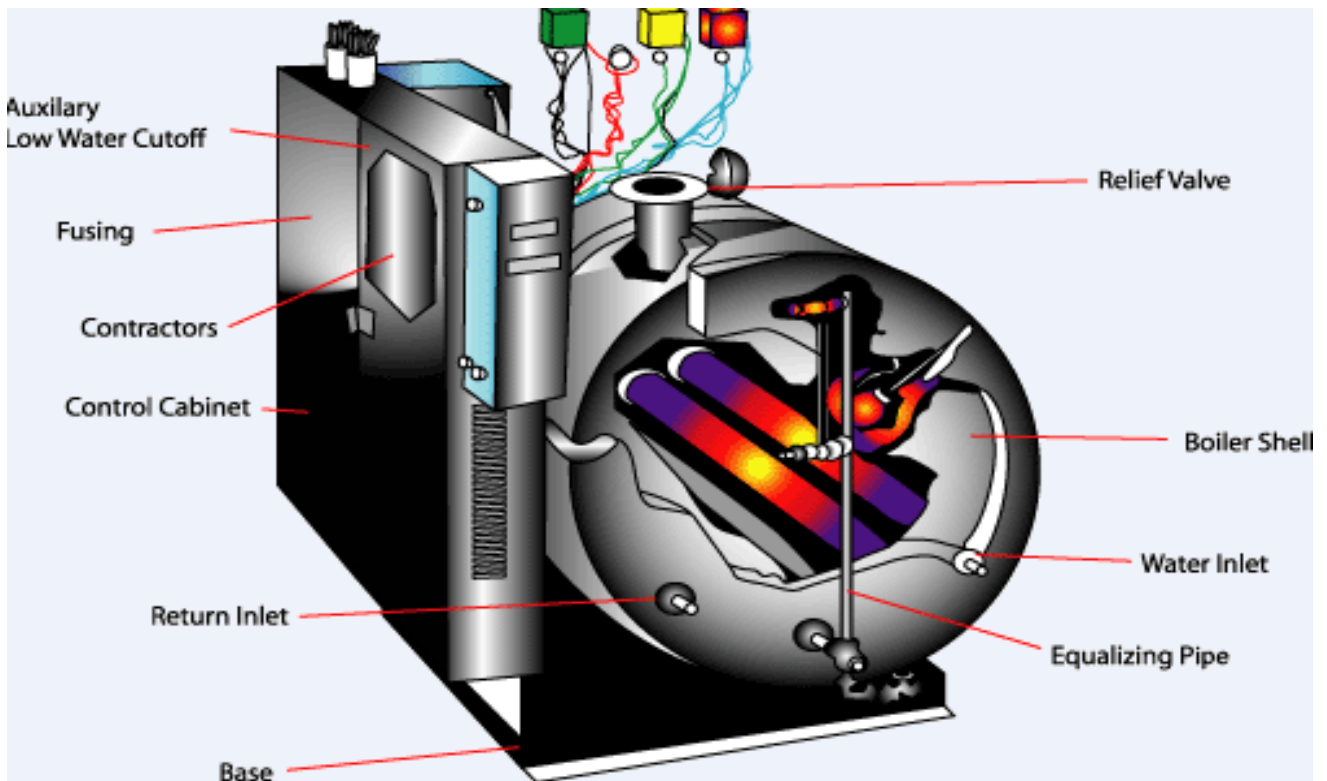
Έτσι επιτυγχάνεται με φυσικό τρόπο χωρίς κυκλοφορητή (αντλία) συνεχής ροή του θερμαινόμενου μέσου από το θερμότερο σημείο (συλλέκτης) προς το ψυχρότερο (δεξαμενή νερού), μέχρι έως ότου τα δύο σημεία να αποκτήσουν παρόμοιες θερμοκρασίες .Για να είναι αυτό δυνατό πρέπει το ψυχρότερο σημείο να βρίσκεται ψηλότερα από το θερμότερο σημείο και για το λόγο αυτό σε όλους τους ηλιακούς θερμοσίφωνες η δεξαμενή αποθήκευσης είναι πάντα ψηλότερα από τους ηλιακούς συλλέκτες.

Η συνολική απόδοση του ηλιακού θερμοσίφωνα εξαρτάται και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη νεφοκάλυψη και την αποτελεσματικότητα της θερμικής μόνωσης του συστήματος.



Εικόνα 1.7: Αρχή λειτουργίας ηλιακού θερμοσίφωνα

## 1.8 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (Boiler)



Εικόνα 1.8: Σύστημα δεξαμενής αποθήκευσης (boiler)

Η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού χρήσης έχει χωρητικότητα που κυμαίνεται από 100 έως 200 λίτρα για συνήθεις οικιακές εφαρμογές. Η χωρητικότητά της είναι συνάρτηση της συλλεκτικής επιφάνειας που διαθέτει.

Είναι συνήθως χαλύβδινη, με εσωτερική επίστρωση για προστασία από τη διάβρωση. Η επίστρωση αυτή είναι συνήθως από ειδικά πλαστικά ή εποξειδικά χρώματα ή εμαγιέ (υαλόκραμα). Εναλλακτικά και για ακριβότερα συστήματα η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να είναι χάλκινη ή ανοξείδωτη. Εξωτερικά έχει πολύ καλή μόνωση συνήθως από πολυουρεθάνη ή υαλοβάμβακα.

Τις περισσότερες φορές, στη δεξαμενή αποθήκευσης υπάρχει ενσωματωμένη κάποια ηλεκτρική αντίσταση. Στα συστήματα κλειστού βρόγχου έχει επιπλέον ενσωματωμένο εναλλάκτη ή αλλιώς σερπαντίνα για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου ή σε πιο ακριβά συστήματα είναι διπλών τοιχωμάτων (ανάμεσα στα δύο τοιχώματα κυκλοφορεί το θερμαινόμενο μέσο).[2],[3]

## 1.9 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Το κυριότερο μέρος ενός ηλιακού θερμοσίφωνα είναι οι ηλιακοί συλλέκτες ή αλλιώς καθρέπτες, που είναι η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ενέργειας.

Η επιφάνεια αυτή αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη:

1. Την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας
2. Τους σωλήνες ροής του νερού
3. Την κάλυψη (κρύσταλλο) της πλάκας απορρόφησης (1 ή 2)

4. Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα

### **Λειτουργία ηλιακών συλλεκτών**

Η λειτουργία των συλλεκτών του ηλιακού θερμοσίφωνα βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη.

Αρχικά η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στη συνήθως μαύρη απορροφητική πλάκα ανεβάζοντας τη θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (ζέστη) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση νερού (που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σε επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σε αυτή).

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι:

- ❖ Η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία
- ❖ Ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία
- ❖ Η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου
- ❖ Η χρήση γυαλιού για την κάλυψη της απορροφητικής πλάκας
- ❖ Η χρήση αλουμινίου ή χαλκού για την κατασκευή της συνήθως χρωματισμένης μαύρης απορροφητικής επιφάνειας [1],[2],[4]

### **1.10 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ**

Οι ηλιακοί συλλέκτες με βάση τις θερμοκρασίες λειτουργίας τους χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

A) Μη συγκεντρωτικοί (Χαμηλές-Μέσες θερμοκρασίες) :

- i. Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα
- ii. Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες
- iii. Συλλέκτες κενού

B) Συγκεντρωτικοί (Υψηλές θερμοκρασίες):

- i. Ηλιακοί πύργοι
- ii. Ηλιακοί δίσκοι
- iii. Συλλέκτες Φρενέλ
- iv. Παραβολικά κοίλα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα επικεντρωθούμε στην πρώτη κατηγορία συλλεκτών που είναι οι μη συγκεντρωτικοί των οποίων και η χρήση είναι πιο ευρέως διαδεδομένη.

❖ Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα



**Εικόνα 1.9 :** Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα για τη θέρμανση πισινών

**Ιδιότητες:**

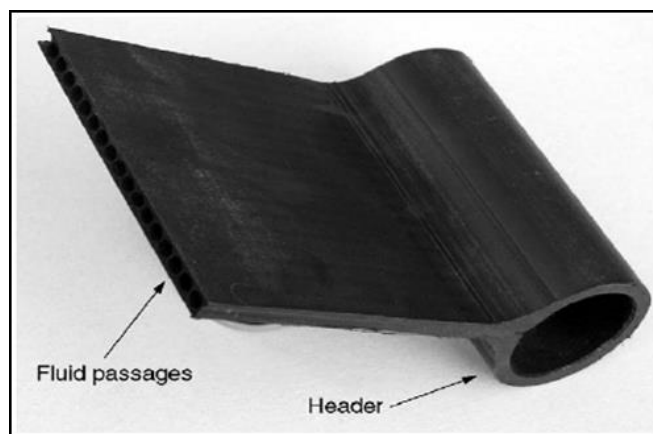
- Εφαρμογές μόνο σε κολυμβητικές δεξαμενές ,όπου η επιθυμητή θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή(°C)
- Χαμηλό κόστος (70-100 € /m<sup>2</sup>), χρόνος αποπληρωμής 1-5 έτη
- Απαιτούμενη επιφάνεια m<sup>2</sup> συλλεκτών= 0.8 m<sup>2</sup> πισίνας (Ελλάδα)

**Πλεονεκτήματα:**

- Δεν απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός (πχ. μονάδα αποθήκευσης, εναλλάκτες θερμότητας), που επιβαρύνει τον προϋπολογισμό.
- Η αισθητική ένταξη των συλλεκτών του συστήματος είναι αρκετά ομαλή.
- Στα ψυχρά κλίματα παρέχεται νερό σε ιδανική θερμοκρασία για κολύμβηση το καλοκαίρι. Στα θερμά κλίματα η κολυμβητική περίοδος επεκτείνεται από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο

**Λειτουργία :**

Το νερό της πισίνας κυκλοφορεί μέσα στον ηλιακό συλλέκτη, θερμαίνεται από τον ήλιο και διοχετεύεται απευθείας στην πισίνα. Ενδείκνυται η χρήση πλαστικού καλύμματος για μείωση απωλειών θερμότητας.



**Εικόνα 1.10:** Τομή ηλιακού συλλέκτη χωρίς κάλυμμα και μόνωση



❖ **Συλλέκτες κενού**



**Εικόνα 1.11:** Συλλέκτες κενού

**Ιδιότητες :**

- Υψηλό κόστος
- Κύλινδροι από γυαλί με εσωτερικό απορροφητή, εκκενωμένοι ( $10^5$  bar)
- Απώλειες θερμότητας μόνο λόγω ακτινοβολίας και όχι συναγωγής
- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας
- Ιδανικοί για ψυχρά κλίματα

**Εφαρμογές:**

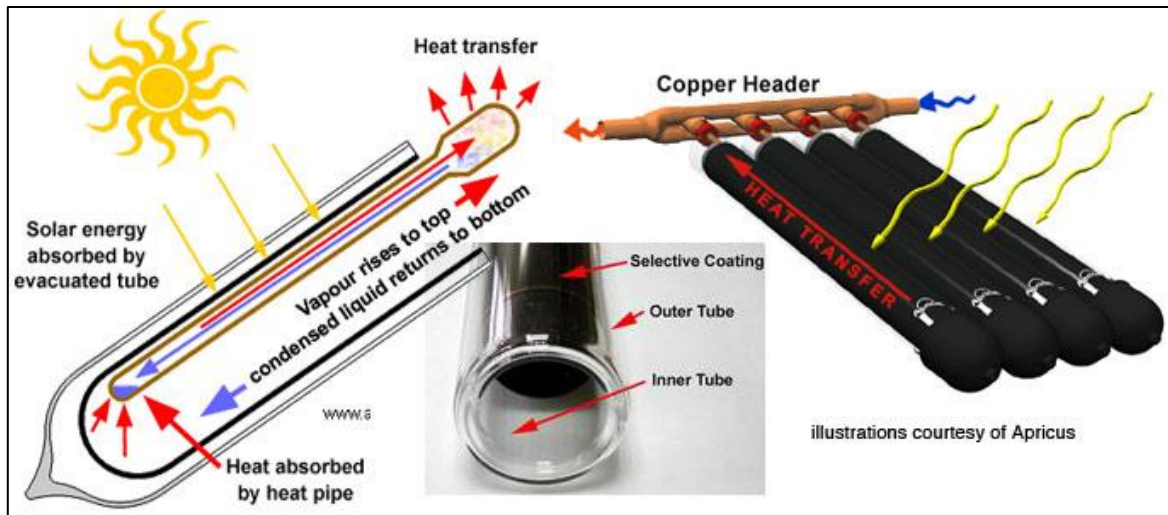
- Δε συνιστώνται σε κατοικίες, αφού το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους ξεπερνάει τους  $300^{\circ}\text{C}$ .
- Κυρίως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται θερμοκρασίες νερού μεγαλύτερες των  $80^{\circ}\text{C}$  (ηλιακός κλιματισμός, βιομηχανία).

**Είδη συλλεκτών κενού:**

- Άμεσης ροής: Ένας εσωτερικός σωλήνας τύπου U
- Παραβολικός συγκεντρωτικός: Ένας διπλός σωλήνας (σωλήνας με απορροφητική επιφάνεια και εσωτερικά ένας σωλήνας U, δύο εξωτερικές ανακλαστικές επιφάνειες
- Σωλήνας θερμότητας: Επίπεδη απορροφητική λωρίδα μέσα σε σωλήνα κενού, ο οποίος συνδέεται με σωλήνα θερμότητας που περιέχει διάλυμα σε κενό. Το διάλυμα εξατμίζεται και η θερμότητά του μεταφέρεται μέσω εναλλάκτη στο μέσο:
- Ξηρής σύνδεσης: Ο εναλλάκτης συνδέεται με τον συλλέκτη
- Υγρής σύνδεσης: Ο εναλλάκτης βρίσκεται μέσα στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας

**Λειτουργία:**

Αρχικά η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται με τη βοήθεια φύλλων αλουμινίου (μέσω αγωγής) σε ένα χάλκινο σωλήνα που περιέχει ένα ανόργανο μη τοξικό πτητικό ρευστό( εξατμίζεται στους 25 °C).Το ρευστό αυτό μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό, ανεβαίνει στην πάνω πλευρά του σωλήνα που είναι τοποθετημένος μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας και ζεσταίνει το νερό χρήσης. Το ρευστό μεταφέροντας τη θερμότητα στο νερό συμπυκνώνεται και κατεβαίνει στην κάτω πλευρά του αυλού όπου επαναλαμβάνεται η διαδικασία.



**Εικόνα 1.12:** Αρχή λειτουργίας συλλεκτών κενού

❖ **Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες**

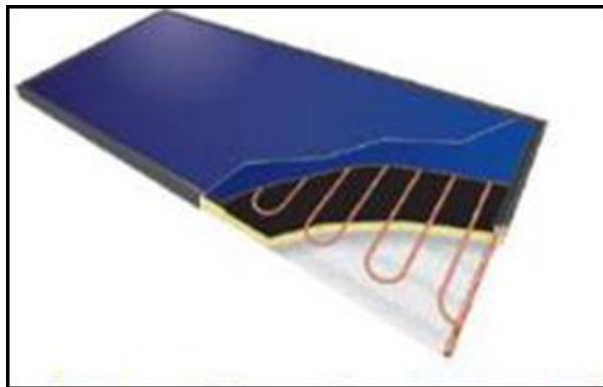


**Εικόνα 1.13:** Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης σε οροφή κατοικίας

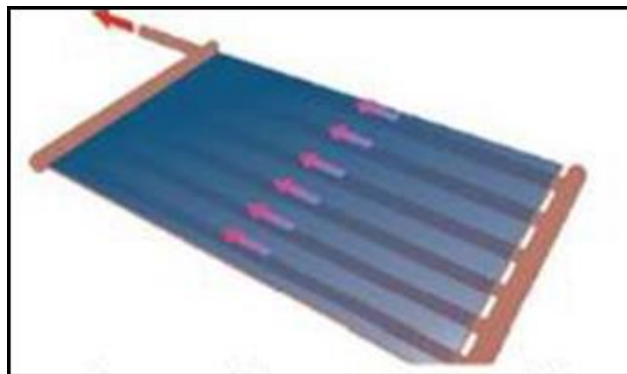
**Ιδιότητες:**

- Μεσαίου κόστους
- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας (150- 200°C)
- Βαρύτερος (23-32kg/m<sup>2</sup>) και πιο εύθραυστος

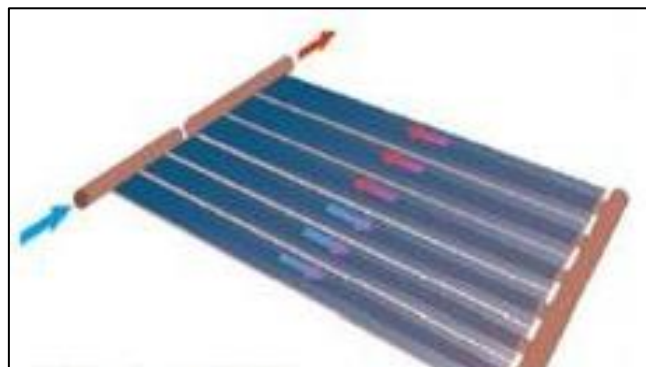
- Κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, πάχους 3-4 mm με συντελεστή διαπερατότητας 91 %
- Απορροφητική επιφάνεια: διατίθεται σε διάφορους τύπους: μαύρη μπογιά, ημιεπιλεκτική επιφάνεια και επιλεκτική επιφάνεια
- Επιλεκτική επιφάνεια: διακρίνεται από μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) και ελάχιστη ανάκλαση (5-15 %) στα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας και από ελάχιστη ανάκλαση στα μεγαλύτερα μήκη κύματος. Δηλαδή απορροφά την ενέργεια του ήλιου χωρίς να την ανακλά.
- Συντελεστής απώλειας θερμότητας :  $UL = 3.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



**Εικόνα 1.14:** Απορροφητής με σωλήνες τύπου σερπαντίνας (κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας)



**Εικόνα 1.15:** Απορροφητής με ευθύγραμμους σωλήνες (κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας)



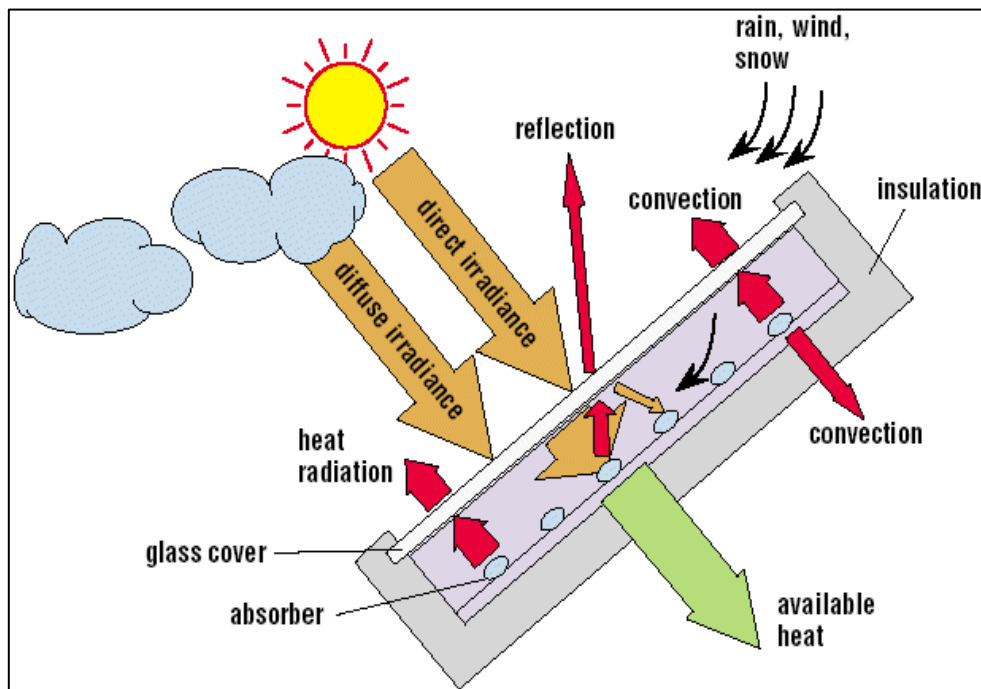
**Εικόνα 1.16:** Απορροφητής με ευθύγραμμους σωλήνες ( 2 ροές)

**Εφαρμογές:**

- Για ζεστό νερό χρήσης
- Για θέρμανση χώρου
- Για ηλιακό κλιματισμό (επιλεκτική επιφάνεια)



**Εικόνα 1.17:** Τμήματα ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη



**Εικόνα 1.18:** Μετάδοση θερμότητας σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη

### 1.11 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Για λόγους απλοποίησης θα θεωρήσουμε ότι έχουμε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη.

Σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας η ωφέλιμη ενέργεια  $Q_u$  που λαμβάνεται από τον συλλέκτη επιφάνειας  $A_c$  είναι η διαφορά μεταξύ της ηλιακής ενέργειας που αυτός απορροφά  $Q_i$  και των θερμικών και οπτικών απωλειών  $Q_o$ .

Επομένως το ενεργειακό κέρδος που αποδίδεται από τον εκάστοτε συλλέκτη προκύπτει από την παρακάτω σχέση :

$$Q_u = Q_i - Q_o \quad (i)$$

Λαμβάνοντας υπόψη μας όμως ότι:

$$Q_i = I_T(\tau\alpha)_n \quad (ii)$$

όπου  $I_T$  η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ ) και  $(\tau\alpha)_n$  το γινόμενο του συντελεστή διαπερατότητας του διάφανου καλύμματος του συλλέκτη  $\alpha$ , με τον συντελεστή απορρόφησης της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας  $\tau$ , μεγέθη άμεσα εξαρτώμενα από τα υλικά κατασκευής του συλλέκτη και τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και

$$Q_o = U_L A_c (T_{pm} - T_a) \quad (iii)$$

όπου  $U_L$  είναι ο ολικός συντελεστής απωλειών προς το περιβάλλον του συλλέκτη,  $T_{pm}$  η μέση θερμοκρασία του απορροφητή και  $T_a$  η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Η σχέση (i) θα τροποποιηθεί ως εξής:

$$Q_u = A_c [ (I_T(\tau\alpha)_n - U_L (T_{pm} - T_a)) ] \quad (iv)$$

Η μέση θερμοκρασία του απορροφητή  $T_{pm}$  δεν είναι εύχρηστη. Για τον λόγο αυτό εισάγεται ένα νέο μέγεθος, τον συντελεστή απομάκρυνσης θερμότητας από τον συλλέκτη  $F_R$ , ο οποίος είναι ανηγμένο μέγεθος στη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον απορροφητή του συλλέκτη,  $T_i$ :

$$F_R = [mc_p(T_o - T_i)] / (A_c [Q_i - U_L(T_i - T_a)]) \quad (v)$$

Ακόμα ισχύει ότι :

$$Q_u = mc_p(T_o - T_i) \quad (vi)$$

Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε έναν συλλέκτη επιτυγχάνεται όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται στη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού σε αυτόν. Τότε το πραγματικό θερμικό κέρδος λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (v) και (vi) θα είναι:

$$Q_u = F_R A_c [I_T(\tau\alpha)_n - U_L(T_i - T_a)] \quad (vii)$$

### 1.12 Θερμική απόδοση ηλιακού συλλέκτη

Ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη  $n_c$  ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (της τάξης των λεπτών) προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για το ίδιο χρονικό διάστημα:

$$n_c = \frac{\int_1^2 Q_u dt}{A_c \int_1^2 I_T dt}$$

Ο υπολογισμός της απόδοσης μπορεί να γίνει είτε με βάση την ολική επιφάνεια του συλλέκτη  $A_c$ , είτε με το εμβαδό του ορατού παράθυρου του συλλέκτη που είναι ίσο με το εμβαδό του

απορροφητή  $A_p$ . Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω σχέση προκύπτει ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης ο οποίος είναι ίσος με:

$$n_{instantaneous} = (Q_u)/(A_c I_T)$$

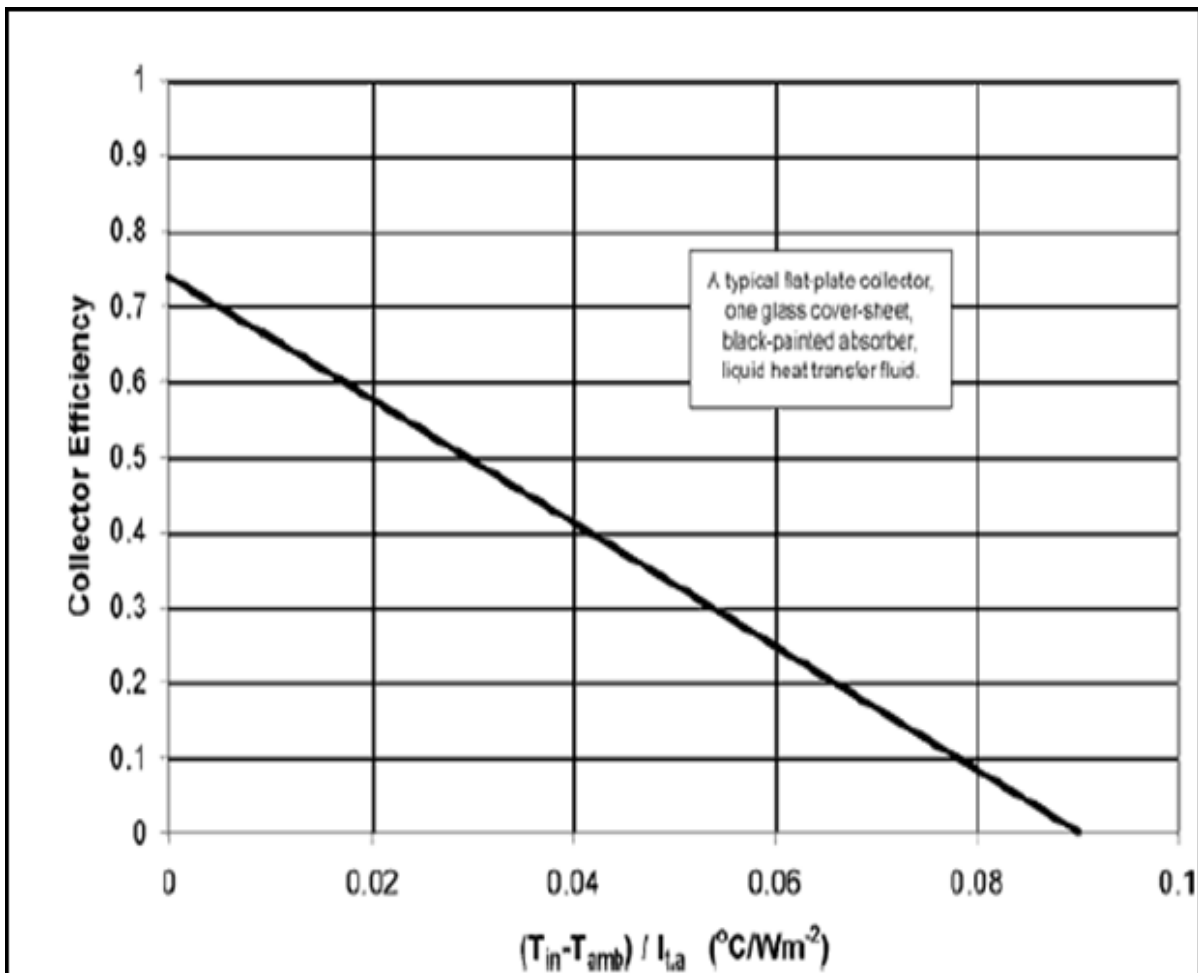
ή

$$n_{instantaneous} = F_R(\tau, \alpha)n - F_R U_L((T_i - T_a))/I_T$$

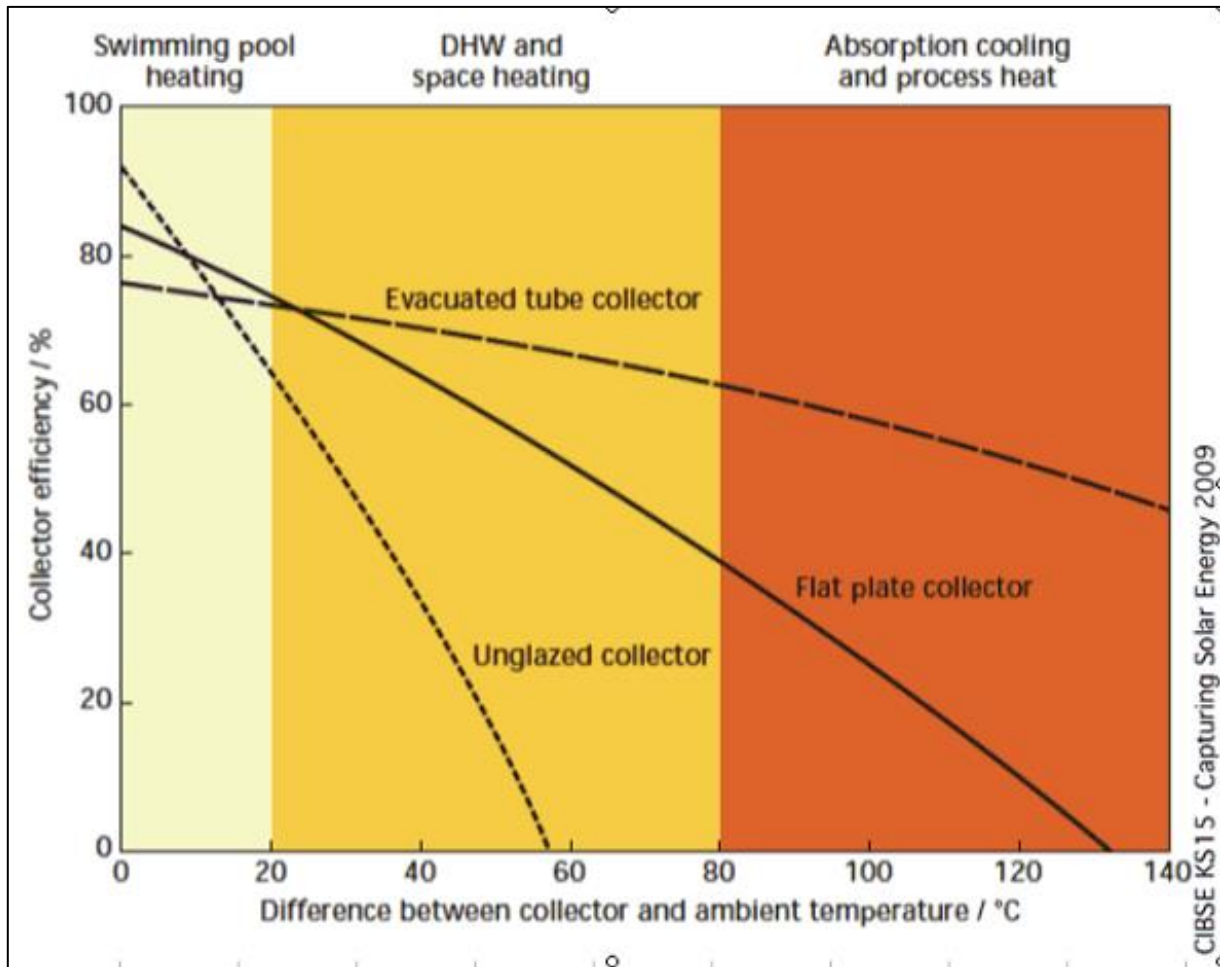
Στην παραπάνω εξίσωση οι παράμετροι  $F_R(\tau, \alpha)n$  και  $F_R U_L$  περιγράφουν τη λειτουργία του συλλέκτη. Η πρώτη περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο η ενέργεια απορροφάται από τον συλλέκτη, ενώ η δεύτερη τον τρόπο με τον οποίο η ενέργεια χάνεται από τον συλλέκτη.

Αν ο συντελεστής  $U_L$  υποτεθεί ότι παραμένει σταθερός η γραφική παράσταση της απόδοσης του συλλέκτη ως συνάρτηση του  $\frac{(T_i - T_a)}{I_T}$  είναι γραμμική με κλίση  $F_R U_L$ . Η ευθεία τέμνει τον άξονα y στο σημείο  $F_R(\tau, \alpha)n$ .

Σύμφωνα με το ISO 9806-1 ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη μπορεί να υπολογισθεί όχι μόνο με τη χρήση της θερμοκρασίας εισόδου του ρευστού στον απορροφητή,  $T_i$  αλλά και με βάση τη μέση θερμοκρασία του απορροφητή  $T_{pm}$ , οπότε και η αρχική σχέση του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης τροποποιείται αναλόγως.



Εικόνα 1.19: Απόδοση ενός τυπικού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη (θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C)



Εικόνα 1.20: Βαθμός απόδοσης και περιοχές εφαρμογής ηλιακών συλλεκτών

### 1.13 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Στους ηλιακούς συλλέκτες η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον απορροφητή και κατανέμεται σε ωφέλιμη ενέργεια και θερμικές απώλειες .

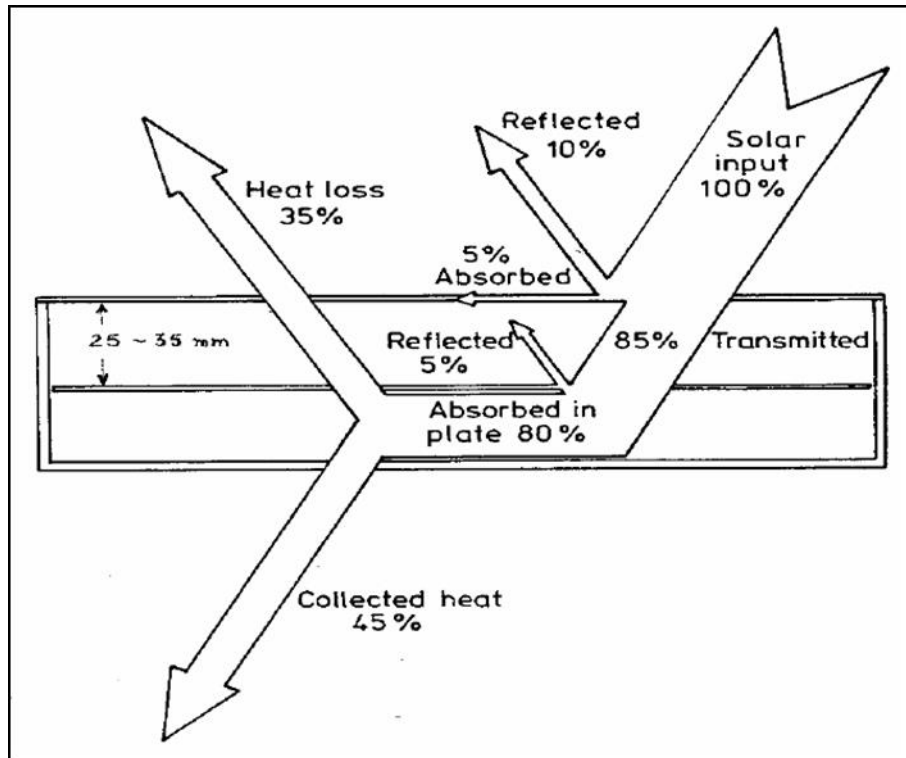
Οι θερμικές απώλειες ενός ηλιακού συλλέκτη αποτελούνται από το άθροισμα των επιμέρους απωλειών του πάνω μέρους μέσω του διάφανου καλύμματος και των απωλειών από τα πλαϊνά και πίσω διαμέσου της μόνωσης. Θεωρώντας ότι όλες οι απώλειες βασίζονται σε μια κοινή θερμοκρασία του απορροφητή  $T_{pm}$  οι ολικές απώλειες του συλλέκτη είναι:

$$Q_{απωλειών} = U_L A_c (T_{pm} - T_a)$$

όπου  $U_L$  ο συντελεστής ολικών απωλειών του συλλέκτη. Φυσικά ισχύει ότι:

$$Q_{απωλειών} = Q_t + Q_e + Q_b$$

Οι δείκτες  $t$ ,  $e$  και  $b$  αντιστοιχούν στη συμμετοχή του πάνω, του πλαϊνού και πίσω μέρους αντίστοιχα.



Εικόνα 1.21: Απώλειες θερμότητας σε ηλιακό συλλέκτη

❖ **Απώλειες πάνω μέρους μέσω του διάφανου καλύμματος**

Για τον προσδιορισμό των θερμικών απωλειών μέσω του διαφανούς καλύμματος όλοι οι μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας μεταξύ του απορροφητή, του διάφανου καλύμματος και της ατμόσφαιρας πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Το μοντέλο υπολογισμού του συλλέκτη θεωρεί την ύπαρξη δύο καλυμμάτων τα οποία έχουν τη δυνατότητα να είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά. Για την περίπτωση χρήσης πολυμερικών καλυμμάτων, εξαιτίας της μερικής διαπερατότητάς τους στο μακρινό υπέρυθρο φάσμα, η εναλλαγή της άμεσης ακτινοβολίας μεταξύ απορροφητή και ατμόσφαιρας λαμβάνεται υπόψη. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει για γυάλινα καλύμματα τα οποία είναι αδιαφανή στη μακρινή υπέρυθρη ακτινοβολία. Για τον προσδιορισμό χρησιμοποιείται η μέθοδος της καθαρής ακτινοβολίας (net radiation):

Αρχικά, η εξερχόμενη ροή ακτινοβολίας από τα καλύμματα συνδέεται με την εισερχόμενη ροή με τις παρακάτω σχέσεις:

$$q_{1o} = \tau_{c1} q_{2i} + \rho_{c1} q_{1i} + \epsilon_{c1} \sigma T_{c1}^4 \quad (1)$$

$$q_{2o} = \tau_{c1} q_{1i} + \rho_{c1} q_{2i} + \epsilon_{c1} \sigma T_{c1}^4 \quad (2)$$

$$q_{3o} = \tau_{c2} q_{4i} + \rho_{c2} q_{3i} + \epsilon_{c2} \sigma T_{c2}^4 \quad (3)$$

$$q_{4o} = \tau_{c2} q_{3i} + \rho_{c2} q_{4i} + \epsilon_{c2} \sigma T_{c2}^4 \quad (4)$$

όπου οι δείκτες  $c_1$  και  $c_2$  αντιστοιχούν στο πρώτο και δεύτερο κάλυμμα αντίστοιχα ενώ τα  $\tau$ ,  $\rho$ ,  $\epsilon$  και  $\sigma$  είναι κατά σειρά η διαπερατότητα, ανακλαστικότητα, εκπομπή των καλυμμάτων και του απορροφητή και η σταθερά Stefan Boltzmann.

Στη συνέχεια, οι εισερχόμενες ροές συνδέονται με τις εξερχόμενες με τις σχέσεις:



$$q_{1i} = \rho_p q_{1o} + \varepsilon_p \sigma T_{pm}^4 \quad (5)$$

$$q_{2i} = q_{3o} \quad (6)$$

$$q_{3i} = q_{2o} \quad (7)$$

$$q_{4i} = \sigma * T_s^4 \quad (8)$$

όπου ο δείκτης  $\rho$  αναφέρεται στον απορροφητή και ο δείκτης  $s$  αναφέρεται στον ουράνιο θόλο.

Τέλος εφαρμόζοντας το ισοζύγιο ενέργειας μεταξύ των δύο καλυμμάτων προκύπτει:

$$q_{1i} - q_{1o} + h_{c,p_{c1}}(T_{pm} - T_{c1}) = q_{2o} - q_{2i} + h_{c,c1c2}(T_{c1} - T_{c2}) \quad (9)$$

$$q_{3i} - q_{3o} + h_{c,c1c2}(T_{c1} - T_{c2}) = q_{4o} - q_{4i} + h_w(T_{c2} - T_a) \quad (10)$$

όπου  $h_{c,p_{c1}}$  και  $h_{c,c1c2}$  είναι οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας μέσω συναγωγής μεταξύ του απορροφητή και του καλύμματος και μεταξύ των καλυμμάτων αντίστοιχα και  $h_w$  συντελεστές μετάδοσης θερμότητας λόγω ανέμου.

Εκμεταλλευόμενοι τις εξισώσεις (10) και (5) προκύπτουν όλες οι άγνωστες ροές ακτινοβολίας και οι θερμοκρασίες των καλυμμάτων  $T_{c1}$  και  $T_{c2}$  για δεδομένη θερμοκρασία του απορροφητή  $T_p$  και του ουράνιου θόλου  $T_s$

Επομένως, οι απώλειες διαμέσου του καλύμματος προς την ατμόσφαιρα προκύπτουν από τη σχέση:

$$Q_t = A_p [q_{c11i} - q_{c11o} + h_{c,p_{c1}}(T_{pm} - T_{c1})]$$

όπου  $A_p$  το εμβαδόν του ορατού παραθύρου του συλλέκτη, το οποίο θεωρείται ίσο με το εμβαδό του απορροφητή.

#### ❖ Απώλειες πίσω μέρους και πλαϊνών τοιχωμάτων

Οι απώλειες στο πίσω μέρος του συλλέκτη είναι αποτέλεσμα της αγωγής μέσω της πίσω μόνωσης και της συναγωγής και της ακτινοβολίας θερμότητας από το πίσω μέρος του συλλέκτη προς το περιβάλλον. Καθώς η ακτινοβολία και η αντίσταση συναγωγής είναι κατά τάξεις μικρότερες της αγωγής, θεωρείται ότι όλη η θερμική αντίσταση του πίσω μέρους ελέγχονται από την αγωγιμότητα της μόνωσης. Επομένως, οι απώλειες του πίσω μέρους δίνονται από τη σχέση:

$$Q_b = k_b / L_b A_c (T_{pm} - T_a)$$

όπου  $k_b$  και  $L_b$  είναι η θερμική αγωγιμότητα και το πάχος της μόνωσης αντίστοιχα.

Θεωρώντας μονοδιάστατη θερμική ροή περιμετρικά του συλλέκτη απώλειες από τα πλαϊνά τοιχώματα υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_e = k_e / L_e A_e (T_{pm} - T_a)$$

όπου  $k_e$  και  $L_e$  είναι η θερμική αγωγιμότητα και το πάχος της μόνωσης των τοιχωμάτων, αντίστοιχα και  $A_e$  η επιφάνεια των πλαϊνών τοιχωμάτων του συλλέκτη. Θεωρούμε, δηλαδή και σε αυτήν την περίπτωση ότι η αντίσταση συναγωγής είναι συγκριτικά με την αντίσταση αγωγής αμελητέα όπως επίσης και η ακτινοβολία. [2],[3],[8]

### 1.14 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ-ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Ο καλύτερος προσανατολισμός για την τοποθέτηση των ηλιακών θερμοσίφωνων (πιο συγκεκριμένα των ηλιακών συλλεκτών) είναι ο νότιος για να εκμεταλλεύεται ο θερμοσίφωνας όσο περισσότερες ώρες ηλιοφάνεια γίνεται. Απόκλιση 15 μοίρες από το νότο δεν έχει μεγάλη επίπτωση

στην απόδοσή του. Σε μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται μείωση της απόδοσης. Ακόμα η κλίση του ηλιακού συλλέκτη πρέπει να είναι 20-50 μοίρες. Μεγαλύτερη ή μικρότερη κλίση μειώνει την απόδοση.

Οι προβλεπόμενες συνδέσεις για τη λειτουργία του ηλιακού θερμοσίφωνα είναι δύο υδραυλικές (είσοδος κρύου νερού, έξοδος ζεστού νερού χρήσης) και μια ηλεκτρική (ηλεκτρική αντίσταση). Στην είσοδο του κρύου νερού πρέπει να τοποθετηθεί βάννα για να είναι δυνατή η απομόνωσή του από το δίκτυο σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής. Κρίνεται ως αναγκαίο στις υδραυλικές σωληνώσεις να τοποθετηθεί βαλβίδα ασφαλείας έναντι υπερπίεσης και αυτόματο εξαεριστικό, αν δεν υπάρχουν ήδη ενσωματωμένα από τον κατασκευαστή. Συνιστάται ακόμα στην σωλήνωση εξόδου του ζεστού νερού χρήσης η τοποθέτηση εξωτερικού μονωτικού περιβλήματος καλής ποιότητας.

Χρειάζεται στοιχειώδης συντήρηση, κυρίως καθαρισμός των πλακών επιφανειακά, αντικατάσταση της αντιδιαβρωτικής προστασίας όποτε αυτό απαιτείται σύμφωνα με τον κατασκευαστή και συμπλήρωση με αντιψυκτικό υγρό τον χειμώνα( μόνο στα συστήματα κλειστού βρόγχου). Επιπρόσθετα, σε περιπτώσεις ισχυρού ψύχους( χιόνι, παγετός) συνιστάται η κάλυψη των κρυστάλλων με πανί ή χαρτόνι για να αποφευχθεί η καταστροφή τους (θραύση). Στο σημείο αυτό ,επισημαίνεται ότι η κάλυψη των κρυστάλλων δεν προσφέρει καμία προστασία σε κυκλώματα ανοιχτού βρόγχου. Το μόνο αποτελεσματικό μέτρο στην προκειμένη περίπτωση είναι το πλήρες άδειασμα του θερμοσίφωνα από το νερό μέχρι να αυξηθεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πάνω από το 0. [4],[6]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται διεξοδικά η μέθοδος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA). Ειδικότερα, αρχικά τοποθετείται χρονικά ως ερευνητική μεθοδολογία και δίνεται ο ορισμός της ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα εφαρμογής της, οι αρχές και τα κριτήριά της καθώς επίσης και τα στάδιά της σύμφωνα με το διεθνή οργανισμό για την τυποποίηση ISO.

## 2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCA)

### 2.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης τα τελευταία 100 χρόνια διευκολύνθηκε αρκετά η ζωή των ανθρώπων. Ωστόσο, δεν είναι λίγες οι αρνητικές συνέπειες που έχουν προκληθεί κυρίως στο φυσικό περιβάλλον.

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον γι' αυτό το ζήτημα οδήγησε τους επιστήμονες στην έρευνα για την ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων που θα κάνουν κατανοητές αλλά και θα μειώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον.

Μία από αυτές τις μεθόδους, ίσως η πιο ολοκληρωμένη, πιο έγκριτη και διεθνώς αποδεκτή είναι η LCA, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως.

### 2.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ LCA

Η έννοια της LCA γεννήθηκε από την ανάγκη αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο από μεγάλα γραφεία περιβαλλοντικών συμβούλων. Πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ προς το τέλος της δεκαετίας του '60 και την αρχή της δεκαετίας του '70.

Κατά τη δεκαετία 60-70 η εξάντληση των αποθεμάτων ενέργειας και των φυσικών πόρων αρχίζει να απασχολεί τους επιστήμονες. Έτσι η βιομηχανία της Coca Cola το 1969 αναθέτει έρευνα στο Ινστιτούτο Ερευνών του Midwest σχετικά με την τυποποίηση των προϊόντων της. Αυτή η έρευνα έμεινε στην ιστορία καθώς αποτελεί την πρώτη ανάλυση κύκλου ζωής προϊόντων. Στόχος της έρευνας ήταν η εύρεση νέων υλικών εμφιάλωσης τα οποία θα είχαν μειωμένες απώλειες ενέργειας και ως αποτέλεσμα λιγότερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις.

Κατά τη δεκαετία του 70-80 και άλλες μεγάλες εταιρείες στις ΗΠΑ πραγματοποίησαν παρόμοιες έρευνες. Στην Ευρώπη οι αντίστοιχες μελέτες έγιναν γνωστές ως έρευνες οικολογικού ισοζυγίου (eco-balance). Την ίδια περίοδο όσο διευρυνόταν η πετρελαϊκή κρίση αυξανόταν το ενδιαφέρον για την LCA.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80, ενώ στην Αμερική το ενδιαφέρον για την LCA μειώθηκε, στη Ευρώπη το ενδιαφέρον αυξήθηκε σημαντικά λόγω του προβλήματος διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Έτσι το 1985, η Περιβαλλοντική Διεύθυνση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας ανέθεσε ως θέμα έρευνας τη συσκευασία των υγρών τροφίμων, το οποίο ενθάρρυνε τη χρήση του οικολογικού ισοζυγίου στην Ευρώπη.

Στα τέλη της δεκαετίας του '80, το πρόβλημα της συσκευασίας για το περιβάλλον οδήγησε και πάλι σε έρευνα ανάλυσης κύκλου ζωής για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη δημιουργία συσκευασιών σε Ευρώπη και Αμερική. Το πεδίο της βελτίωσης της περιβαλλοντικής επίδοσης των συσκευασιών των καταναλωτικών προϊόντων συνιστά το πλέον προβεβλημένο παράδειγμα επιτυχούς εφαρμογής της LCA. Από τότε και μέχρι σήμερα το ενδιαφέρον για την ανάλυση κύκλου ζωής έχει αυξηθεί σημαντικά σε διεθνές επίπεδο.

Διάφορες LCA που πραγματοποιήθηκαν κατά καιρούς από διαφορετικούς μελετητές οδήγησαν σε διαφορετικά και μερικές φορές αλληλοσυγκρουόμενα συμπεράσματα.

Ιστορικά, η πρώτη προσπάθεια να επιτευχθεί η συναίνεση σε ένα ευρύ, διεθνές επίπεδο άρχισε μέσα στην Εταιρεία Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (SETAC) το 1990. Η διαδικασία εναρμόνισης οδήγησε σύντομα στη συγγραφή και έκδοση του αποκαλούμενου κώδικα συμπεριφοράς SETAC για την LCA. (SETAC 1993).

Στη συνέχεια, μια δεύτερη προσπάθεια τυποποίησης της LCA ξεκίνησε στα πλαίσια του Διεθνούς Οργανισμού για την τυποποίηση (ISO). Τα διεθνή πρότυπα που αναπτύχθηκαν και έγιναν αποδεκτά προς το τέλος της δεκαετίας του '90 παρουσίαζαν συστάσεις για διάφορα μεθοδολογικά ζητήματα που δεν καλύπτονταν στον κώδικα της SETAC. Ωστόσο, πολλά μεθοδολογικά προβλήματα παραμένουν ακόμα άλυτα στα κείμενα του ISO. [22]

## 2.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

### Ορισμός κατά SETAC:

“Εργαλείο εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, μια διεργασία ή μια δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον.”

### Ορισμός κατά ISO:

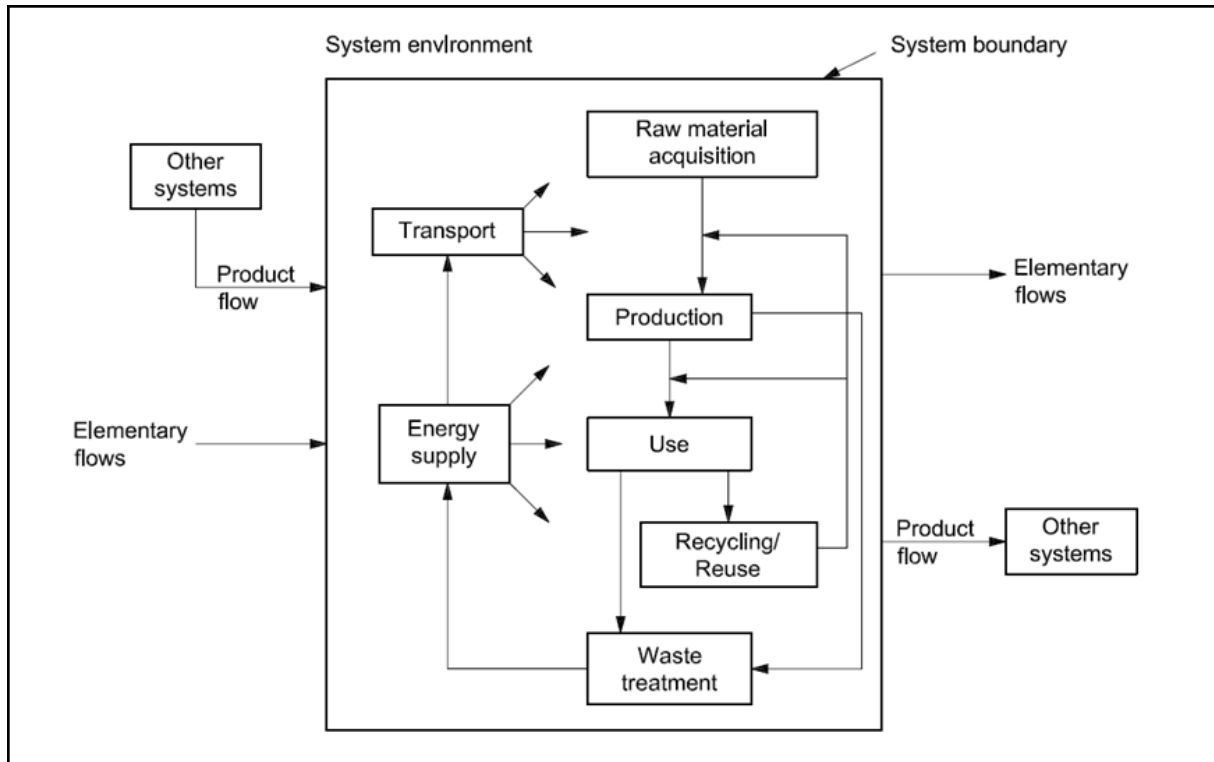
Η LCA είναι μια τεχνική αποτίμησης των περιβαλλοντικών θέσεων και των ενδεχόμενων επιπτώσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία :

- ❖ Μεταφράζοντας την απογραφή της σχετικής ενέργειας και των υλικών που εισάγονται καθώς και των εκπομπών στο περιβάλλον.
- ❖ Αποτιμώντας τις ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν σχέση με συγκεκριμένες εισροές και εκροές.
- ❖ Ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα έτσι ώστε να ληφθεί μια πιο σωστή απόφαση.

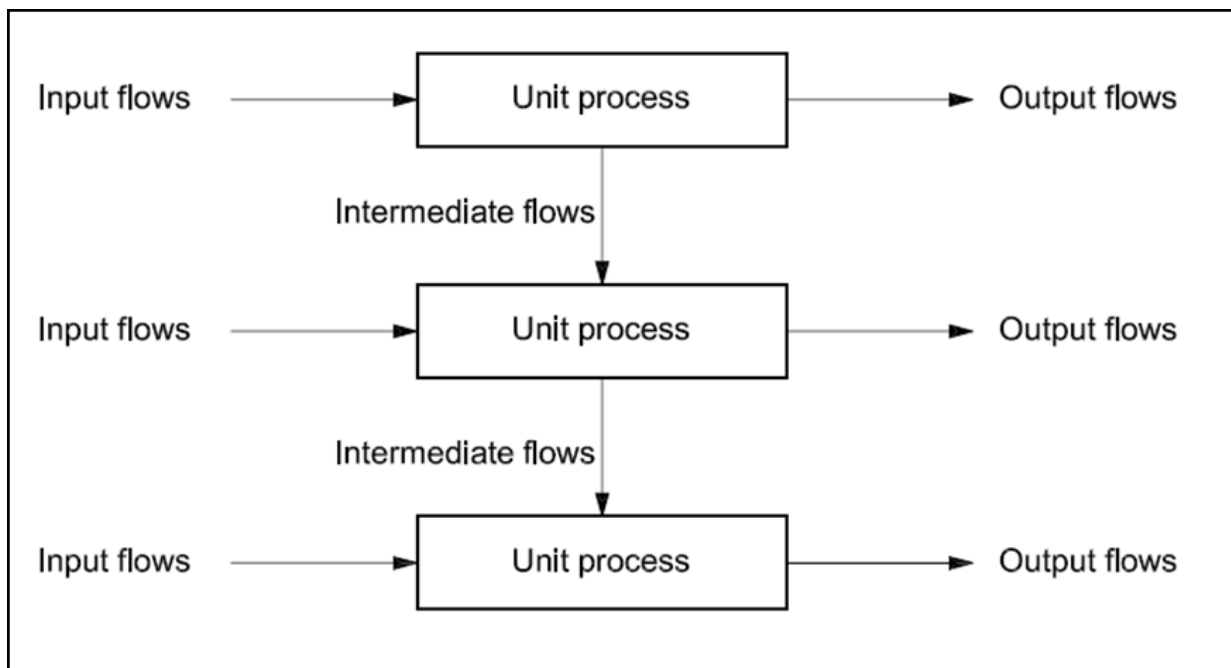
Συνοπτικά :

Η LCA είναι μια τεχνική αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, από τη γέννησή του μέχρι το θάνατό του (“from cradle –to- grave”).





Εικόνα 2.1: Παράδειγμα ενός συστήματος προϊόντος για την LCA



Εικόνα 2.2: Παράδειγμα από ένα σύνολο διεργασιών μονάδας μέσα σε ένα σύστημα προϊόντος

### 2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ LCA

Εκτελώντας μια εκτίμηση κύκλου ζωής οι ερευνητές μπορούν :

- ❖ Να αναπτύξουν μια σύνθετη αποτίμηση των περιβαλλοντικών συνεπειών που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο προϊόν.

- ❖ Να πραγματοποιούν ποσοτικό προσδιορισμό των περιβαλλοντικών εκροών στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής .
- ❖ Να προσδιορίσουν κάθε σημαντική μετακίνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ των σταδίων του κύκλου ζωής και των περιβαλλοντικών μέσων.
- ❖ Να αποτιμήσουν τις επιπτώσεις στον άνθρωπο και στην οικολογία από την κατανάλωση υλικών αγαθών και των εκροών στο περιβάλλον, στα όρια μιας τοπικής κοινωνίας, μιας γεωγραφικής περιοχής και στον κόσμο.
- ❖ Να συγκρίνουν τις επιπτώσεις στην υγεία και στη οικολογία, δύο ή περισσότερων εφάμιλλων προϊόντων ή μεθόδων ή να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή μιας συγκεκριμένης μεθόδου.
- ❖ Να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις για ένα ή περισσότερους συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς τομείς όπου υπάρχει ανησυχία.

## 2.4 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ LCA

Προκειμένου να καταστεί ο οικολογικός σχεδιασμός λειτουργικός πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες περιβαλλοντικές αρχές και κριτήρια :

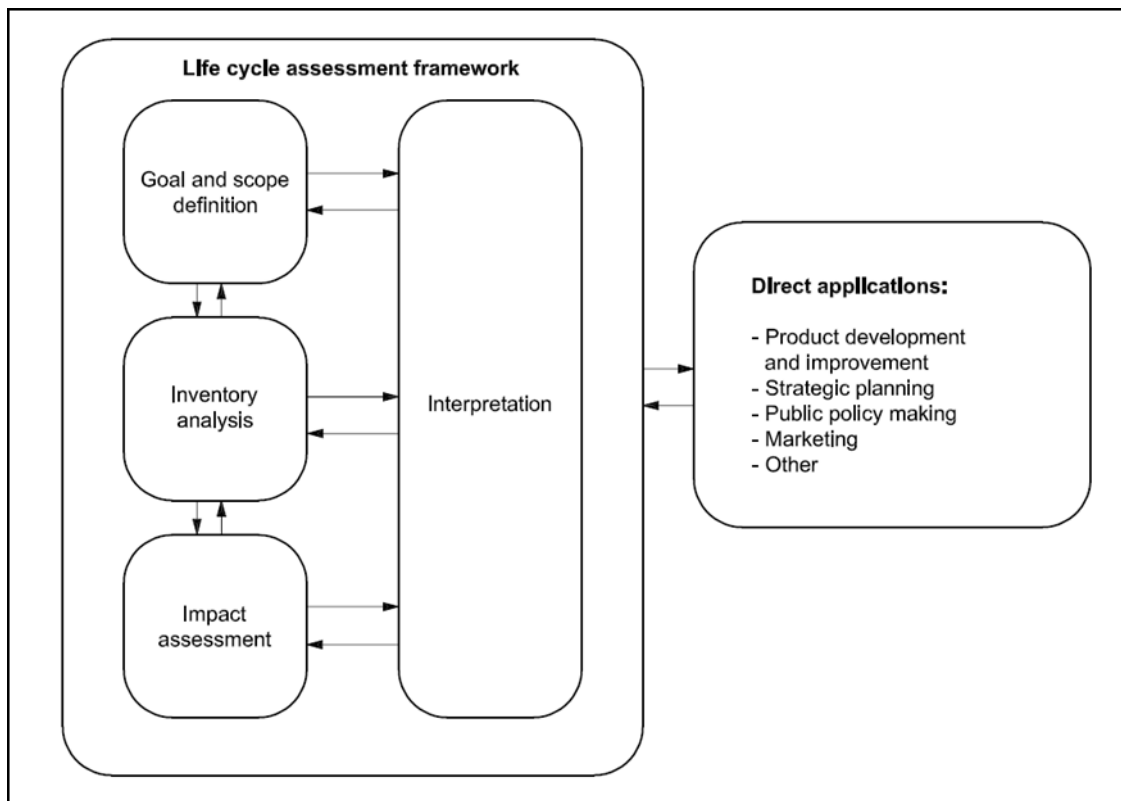
- ❖ Επίτευξη της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας και της βέλτιστης λειτουργίας.
- ❖ Ύπαρξη πόρων αποταμίευσης
- ❖ Χρήση των ανανεώσιμων και αρκετά διαθέσιμων πόρων
- ❖ Αυξανόμενη διάρκεια των προϊόντων.
- ❖ Σχέδιο για την επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων.
- ❖ Σχέδιο για την υλική ανακύκλωση
- ❖ Ελαχιστοποίηση των επιβλαβών ουσιών
- ❖ Φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή
- ❖ Ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της χρήσης
- ❖ Φιλική προς το περιβάλλον συσκευασία
- ❖ Φιλική προς το περιβάλλον διάθεση των μη ανακυκλώσιμων υλικών
- ❖ Εφαρμογή προς το περιβάλλον φιλικών διεργασιών όσον αφορά τα υλικά [22]

## 2.5 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΤΑ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ISO

Σύμφωνα με το Διεθνή οργανισμό για την τυποποίηση ISO, η μεθοδολογία για την ανάλυση κύκλου ζωής των προϊόντων, αγαθών και υπηρεσιών ) αποτελείται από τέσσερα στάδια :

1. Προσδιορισμός του στόχου και του πεδίου εφαρμογής- Goal and Scope definition ( ISO 14040,1997)
2. Απογραφική ανάλυση- Life Cycle Inventory (ISO 14041, 1998)
3. Εκτίμηση των επιπτώσεων –Life Cycle Impact Assessment (ISO 14042, 2000)
4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων-Life Cycle Interpretation (ISO 14043, 2000)

Η κύρια διαφορά της μεθοδολογίας της SETAC και αυτής των τεσσάρων προτύπων του ISO είναι το στάδιο της ερμηνείας που έχει προστεθεί στη μεθοδολογία του ISO.



**Εικόνα 2.3:** Τα στάδια μιας ανάλυσης κύκλου ζωής κατά τα πρότυπα ISO

### 2.5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Ο στόχος της LCA δηλώνει :

- ❖ Την εκάστοτε εφαρμογή
- ❖ Τους λόγους για τη διεξαγωγή της μελέτης
- ❖ Το κοινό στο οποίο απευθύνεται, δηλαδή σε ποιόν τα αποτελέσματα της μελέτης πρόκειται να κοινοποιηθούν
- ❖ Αν τα αποτελέσματα που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν σε συγκριτικούς ισχυρισμούς πρόκειται να αποκαλυφθούν στο κοινό

Το πεδίο εφαρμογής θα πρέπει να είναι επαρκώς καθορισμένο για να διασφαλίσει ότι το βάθος, το εύρος και η λεπτομέρεια της μελέτης είναι συμβατά και επαρκή για την αντιμετώπιση του αναφερόμενου στόχου. Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- ❖ Το σύστημα του προϊόντος που πρέπει να μελετηθεί
- ❖ Τις λειτουργίες του συστήματος του προϊόντος ή στην περίπτωση των συγκριτικών μελετών των συστημάτων
- ❖ Τη λειτουργική μονάδα
- ❖ Τα όρια του συστήματος
  
- ❖ Τις κατηγορίες επιπτώσεων που επιλέγονται, τη μεθοδολογία της αξιολόγησης των επιπτώσεων και την επακόλουθη ερμηνεία που χρησιμοποιείται
- ❖ Τις απαιτήσεις δεδομένων
- ❖ Τις παραδοχές



- ❖ Τους περιορισμούς
- ❖ Τις αρχικές απαιτήσεις ποιότητας των δεδομένων
- ❖ Τον τύπο της κριτικής αναθεώρησης (εφόσον υπάρχει)
- ❖ Τον τύπο και τη μορφή της έκθεσης που απαιτείται για τη μελέτη

Η LCA είναι μια επαναληπτική μέθοδος. Συνεπώς το πεδίο εφαρμογής της μπορεί να χρειαστεί τροποποιήσεις καθώς η μελέτη διεξάγεται σε περίπτωση που πρόσθετες πληροφορίες συλλέγονται.

### 2.5.1.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

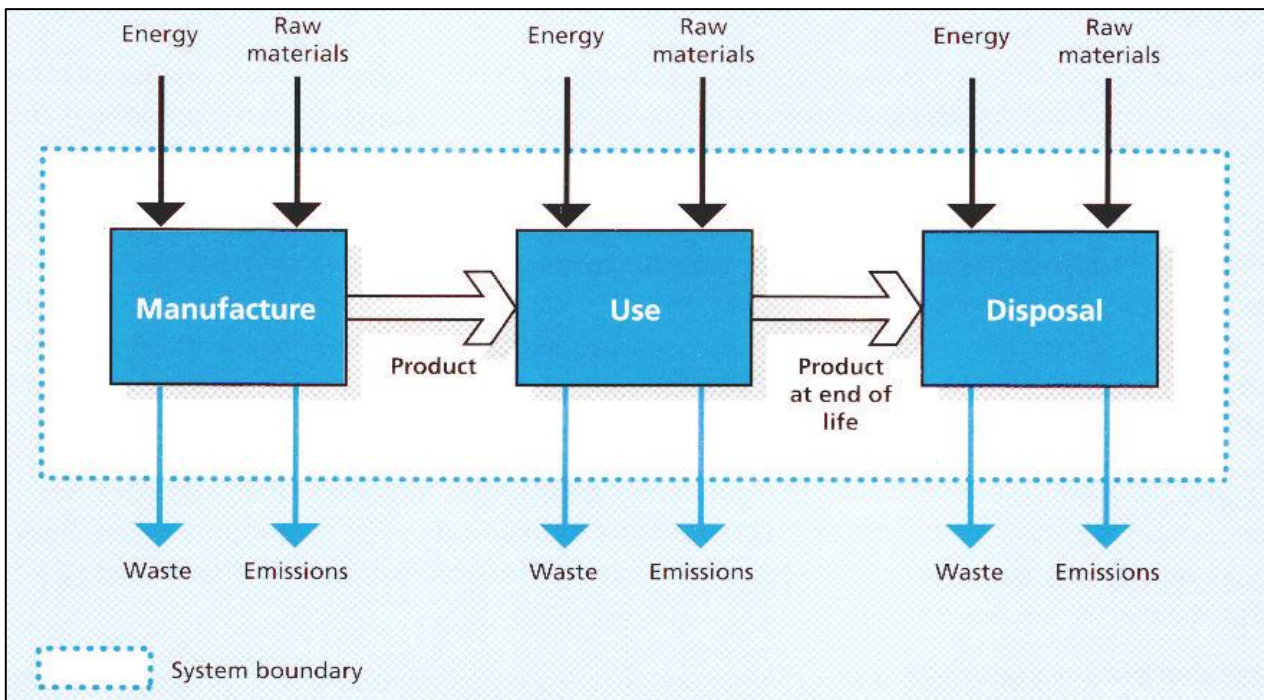
Η λειτουργική μονάδα αναφοράς καθορίζει την κλίμακα για τη σύγκριση δύο ή περισσότερων προϊόντων. Αυτός είναι και ο λόγος που χαρακτηρίζεται και ως θεμέλιο της ανάλυσης κύκλου ζωής.

Επιπρόσθετα, καθορίζει την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων ενός προϊόντος και έχει ως πρωταρχικό της στόχο την παροχή μιας αναφοράς στην οποία οι εισροές και οι εκροές σχετίζονται. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η εξασφάλιση της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων.

Όλα τα δεδομένα της απογραφικής ανάλυσης (LCI) σχετίζονται με αυτήν. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα λειτουργικής μονάδας για τη σύγκριση διαφορετικών υλικών συσκευασίας είναι το 1 m<sup>3</sup> προϊόντος συσκευασμένου, έτοιμου για παράδοση. Με βάση αυτή τη λειτουργική μονάδα μπορεί να βρεθεί το φιλικότερο προς το περιβάλλον υλικό συσκευασίας ανάμεσα στο χαρτί, το πλαστικό, το μέταλλο κ.ο.κ.

### 2.5.1.2 ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν ποιές διεργασίες θα συμπεριληφθούν στον κύκλο ζωής που εξετάζεται και ποιές όχι.



Εικόνα 2.4: Όρια συστήματος

### 2.5.1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ LCA

Οι πιο συνηθισμένοι περιορισμοί είναι οι εξής:

- ❖ Όρια μεταξύ της παραγωγικής μονάδας και του περιβάλλοντος
- ❖ Γεωγραφικοί περιορισμοί
- ❖ Περιορισμοί ανάμεσα στον κύκλο ζωής και τους κύκλους ζωής άλλων σχετικών τεχνικών συστημάτων
- ❖ Χρονικοί περιορισμοί

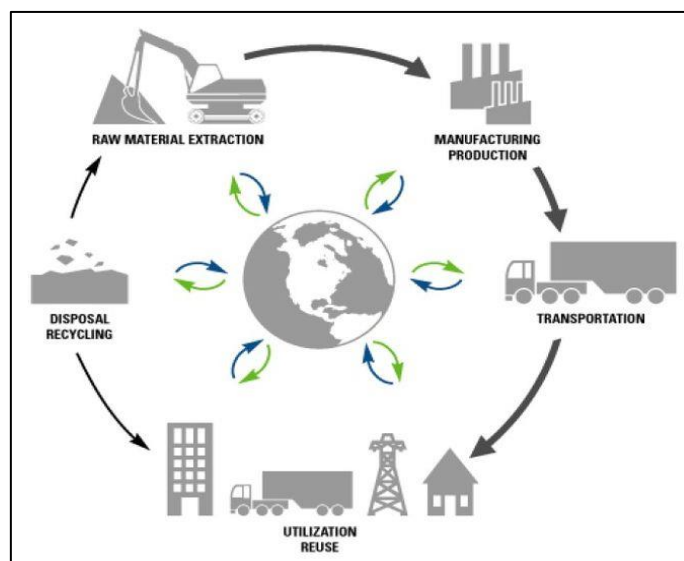
### 2.5.2 ΑΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (LCI)

Στο δεύτερο στάδιο της LCA πραγματοποιείται η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων. Η συλλογή των δεδομένων εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει στις περισσότερες μελέτες εκείνο το βήμα το οποίο απαιτεί την πιο εντατική εργασία και είναι βέβαια το πιο χρονοβόρο. Τα δεδομένα αναφέρονται στη λειτουργική μονάδα ενώ ο μελετητής έχει στη διάθεσή του κάποια προγράμματα Η/Υ για την επεξεργασία τους.

Στην LCI κάθε προϊόν πρέπει να παρουσιάζεται ως ένα σύστημα το οποίο προσδιορίζεται από ένα σύνολο διεργασιών που συνδέονται υλικά ή ενεργειακά. Κάθε σύστημα περιέχει όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος ενώ στο περιβάλλον του συστήματος ανήκουν όλες οι ροές μάζας και ενέργειας που εισέρχονται στο σύστημα καθώς και ροές που εξέρχονται από αυτό. Στο στάδιο αυτό γίνεται η μέτρηση και η καταγραφή όλων των τιμών των ροών υλικών και ενέργειας from cradle-to-grave, σαν ποσότητες σε φυσικές μονάδες.

#### ΣΤΑΔΙΑ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ:

- ❖ Χρήση πρώτων και βοηθητικών υλών
- ❖ Διαδικασία παραγωγής –κατασκευής
- ❖ Μεταφορά και διανομή του τελικού προϊόντος στον καταναλωτή
- ❖ Χρήση, επαναχρησιμοποίηση και συντήρηση
- ❖ Ανακύκλωση
- ❖ Διαχείριση αποβλήτων



Εικόνα 2.5: Τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος

### 2.5.2.1 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΤΟΥ LCI

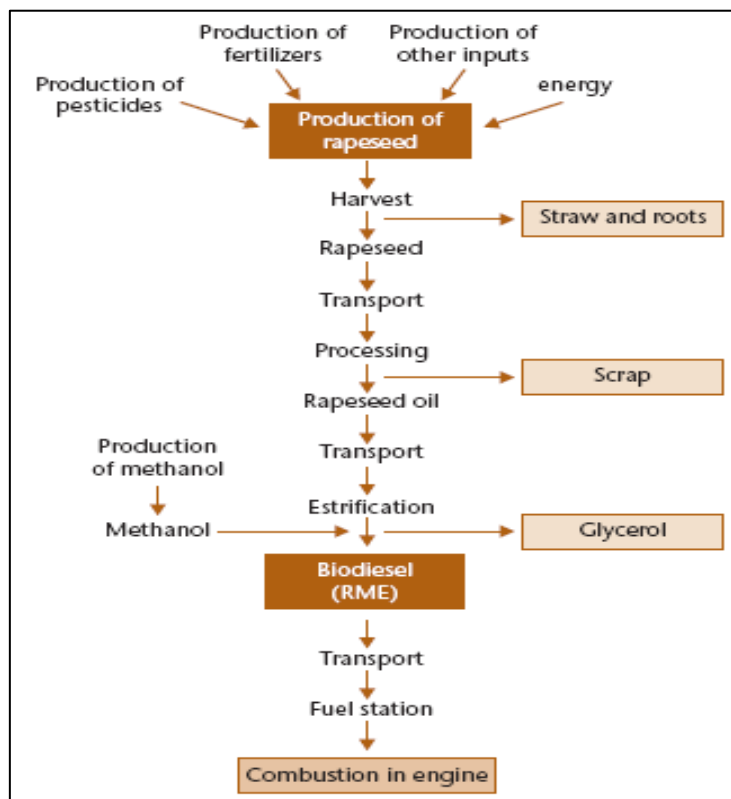
#### Βήμα 1<sup>ο</sup>: Ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής

Η κατασκευή του διαγράμματος ροής είναι μια ποιοτική γραφική απεικόνιση όλων των διαδικασιών που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του συστήματος. Αποτελείται από διαδοχικές διαδικασίες που απεικονίζονται σε κουτιά και συνδέονται με ροές υλικών που απεικονίζονται με βέλη.

Ο κύριος στόχος της κατασκευής του διαγράμματος ροής είναι να επικεντρωθεί ο μελετητής περισσότερο στις διεργασίες που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επεμβάσεις και όχι να προσπαθήσει να καλύψει 100% το θέμα.

Το διάγραμμα ροής αρχίζει με τη διαδικασία παραγωγής του κύριου προϊόντος, η οποία τοποθετείται στο κέντρο του διαγράμματος. Στη συνέχεια προσδιορίζονται τα σημαντικότερα βήματα των διεργασιών και οι κυριότερες ροές των υλικών. Στη διαδικασία παραγωγής του προϊόντος προστίθενται τα προηγούμενα και τα επόμενα στάδια ώστε να περιληφθεί όλος ο κύκλος ζωής του προϊόντος. Τα στάδια που προηγούνται του σταδίου της παραγωγής είναι η εξόρυξη, η παραγωγή και η επεξεργασία πρώτων υλών και των συστατικών τους. Τα επόμενα στάδια περιλαμβάνουν τη χρήση του προϊόντος από τους καταναλωτές καθώς και την ανακύκλωση και την επεξεργασία όλων των αποβλήτων.

Η πολυπλοκότητα του διαγράμματος ροής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο αποκτώνται τα δεδομένα. Υπογραμμίζεται ότι το ενδιαφέρον εστιάζεται σε εκείνα τα στάδια του διαγράμματος ροής που προκαλούν τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Βέβαια τα στάδια αυτά είναι δύσκολο να εντοπιστούν από την αρχή αλλά καθώς η μελέτη εξελίσσεται. Ακόμα το διάγραμμα ροής δείχνει σε ποιο σημείο δημιουργούνται παραπροϊόντα.



Εικόνα 2.6: Διάγραμμα ροής της παραγωγής και της χρήσης του βιοντίζελ

### **Βήμα 2ο: Ανάπτυξη ενός σχεδίου συλλογής δεδομένων**

Στο στάδιο αυτό συγκαταλέγονται :

1. Ο προσδιορισμός των κριτηρίων ποιότητας των δεδομένων
2. Ο καθορισμός των δεικτών ποιότητας των δεδομένων
3. Η κατηγοριοποίηση των δεδομένων με βάση την πηγή προέλευσή τους και τον τύπο τους.
4. Η ανάπτυξη ενός φύλλου εργασίας και μιας λίστας ελέγχου για τη συλλογή των δεδομένων

### **Βήμα 3ο: Συλλογή των δεδομένων**

Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται η συμπλήρωση του διαγράμματος ροής και του φύλλου εργασίας με αριθμητικά δεδομένα. Μια διαδικασία αρκετά περίπλοκη επειδή:

- κάποια δεδομένα είναι δύσκολο ή αδύνατο να συλλεχθούν
- τα διαθέσιμα δεδομένα ίσως είναι δύσκολο να μετατραπούν στη λειτουργική μονάδα που επιλέχτηκε

### **Βήμα 4ο: Επεξεργασία των δεδομένων (Gabi,SimaPro,RETScreen)**

### **Βήμα 5ο: Εκτίμηση και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της LCA**

#### **2.5.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ**

Η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιείται στα πλαίσια της απογραφικής ανάλυσης LCA και συνιστά μέσο διαπίστωσης της ποικιλομορφίας και της αβεβαιότητας των δεδομένων καθώς και των κενών των δεδομένων που επηρεάζουν τα τελικά συμπεράσματα της μελέτης.

Αποτελεί μέρος του σταδίου βελτίωσης της διαδικασίας της εκτίμησης του κύκλου ζωής ενώ βοηθάει επιπρόσθετα τόσο στην αντιμετώπιση των μελλοντικών νομοθεσιών όσο και στον προγραμματισμό των προτεραιοτήτων της εταιρίας.

#### **2.5.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ LCI**

Τα αποτελέσματα της LCI είναι μια λίστα η οποία περιέχει τις ποσότητες των ρύπων που ελευθερώθηκαν στο περιβάλλον και τις ποσότητες ενέργειας και υλικών που καταναλώθηκαν.

Οι πληροφορίες μπορούν να διαχωριστούν με βάση το στάδιο του κύκλου ζωής ,του μέσου στο οποίο ελευθερώθηκαν οι ρύποι (αέρας, νερό, έδαφος), μιας συγκεκριμένης διεργασίας ή οποιοδήποτε συνδυασμό αυτών.

No	Substance	Compartment	Unit	Total
1	Air	Raw material	g	220
2	Barrage water	Raw material	kg	99
3	Baryte	Raw material	mg	82
4	Bauxite	Raw material	mg	440
5	Bentomite	Raw material	mg	32
6	Clay minerals	Raw material	mg	9
7	Coal	Raw material	g	135
8	Crude oil IDEMAT	Raw material	g	400
9	Dolomite	Raw material	mg	2
10	Energy (undefined)	Raw material	MJ	113
i				
22	Cl <sub>2</sub>	Air	mg	2
23	CO	Air	g	2.3
24	CO <sub>2</sub>	Air	kg	2
25	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Air	g	19
26	Dust	Air	g	29
!				
36	Acid as H <sup>+</sup>	Wastewater	mg	48
37	BOD	Wastewater	mg	850
38	Calcium ions	Wastewater	mg	47
39	Cl	Wastewater	g	37
40	COD	Wastewater	mg	76
41	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Wastewater	mg	26
42	Detergent/oil	Wastewater	mg	49
i				
60	Mineral waste	Solid waste	g	42
61	Plastic production waste	Solid waste	mg	440
62	Slag	Solid waste	g	9.4
63	Unspecified	Solid waste	mg	9
64	Occupied area as industrial area	Non material (land use)	m <sup>2</sup>	400

Εικόνα 2.7: Επιλεγμένα στοιχεία σε έναν πίνακα απογραφής για την παραγωγή ενός kg του PVC που προέρχεται από το πρόγραμμα SimaPro

### 2.5.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ (LCIA)

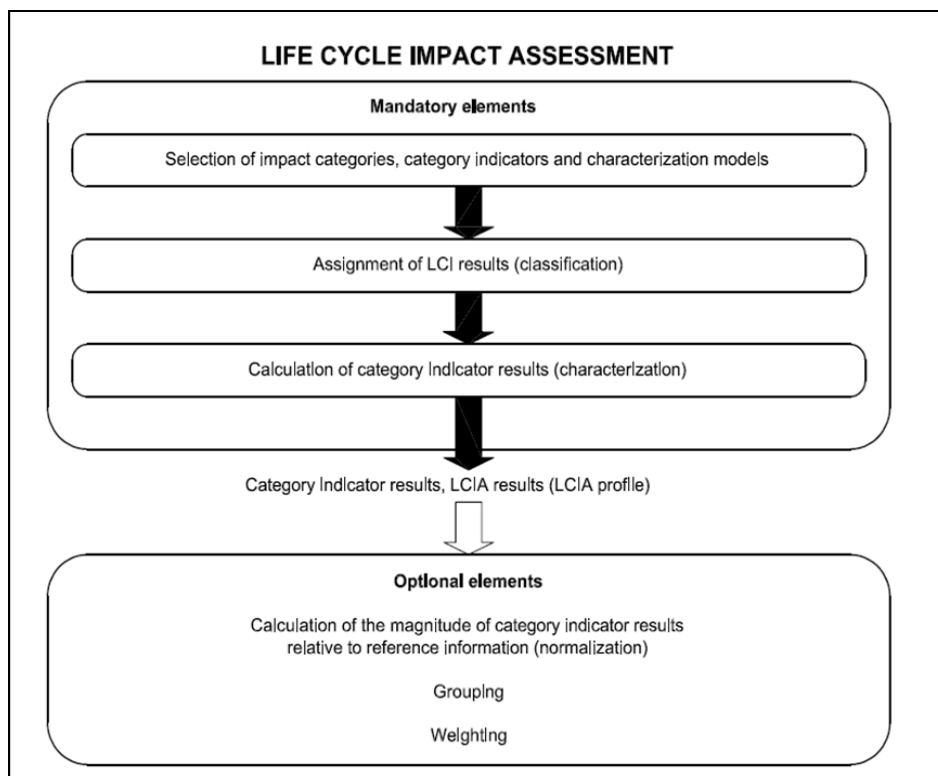
Το τρίτο στάδιο της LCA, η εκτίμηση των επιπτώσεων, είναι ένα εργαλείο που συνδέει τα αποτελέσματα της αναλυτικής απογραφής δεδομένων με τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Ειδικότερα, γίνεται εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον από τις περιβαλλοντικές πηγές και εκροές που διερευνώνται κατά τη διάρκεια της LCI.

Διάφορες επιτροπές εργάζονται ακόμα πάνω στη δημιουργία μιας μεθόδου. Μια πρώτη παγκόσμια ομοφωνία διαφαίνεται στον κανονισμό ISO DIN 14042, ο οποίος ακολουθεί τις συστάσεις της SETAC.

#### 2.5.3.1 ΒΗΜΑΤΑ LCIA

1. Συλλογή και καθορισμός των κατηγοριών των επιπτώσεων
2. Ταξινόμηση
3. Χαρακτηρισμός
4. Κανονικοποίηση
5. Ομαδοποίηση
6. Στάθμιση
7. Αξιολόγηση και έκθεση των αποτελεσμάτων της LCIA

Τα στάδια 1,2,3 και 7, είναι υποχρεωτικά για κάθε ανάλυση κύκλου ζωής και μετατρέπουν τα αποτελέσματα της LCI σε ένα δείκτη για κάθε κατηγορία επιπτώσεων, ενώ τα ενδιάμεσα στάδια 4,5 και 6 είναι προαιρετικά και έχουν ως σκοπό τους την απόδοση ενός ενιαίου δείκτη επιπτώσεων χρησιμοποιώντας αριθμητικούς συντελεστές κανονικοποίησης και στάθμισης.



**Εικόνα 2.8:** Τα στοιχεία του σταδίου LCIA κατά τα πρότυπα ISO

### 2.5.3.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Οι κατηγορίες των επιπτώσεων είναι αρκετές και η ανάλυση που θα κάνουμε εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες:

1) από τη σκοπιά που μελετούμε το αντικείμενο, δηλαδή αν μας ενδιαφέρουν περισσότερο οι επιπτώσεις στον άνθρωπο ή γενικότερα στο οικοσύστημα

2) από την ποσότητα και την ποιότητα των στοιχείων που έχουμε στη διάθεσή μας για την ανάλυση.

**Ορισμένες βασικές κατηγορίες επιπτώσεων παρατίθενται στη συνέχεια :**

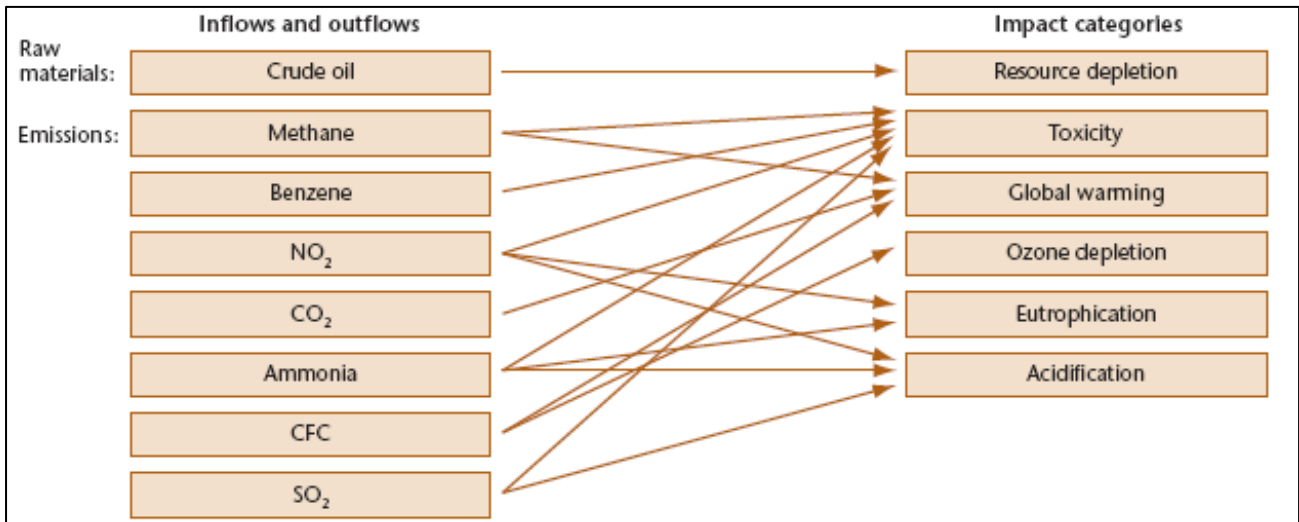
- ❖ Η αβιοτική εξασθένηση (ADP), μετριέται σε σχέση με τα αποθέματα σε παγκόσμιο επίπεδο
- ❖ Η εξασθένηση της ενέργειας ή το ενεργειακό (EDP), σε Mj/kg ή σε Mj/m<sup>3</sup>
- ❖ Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ( GWP) , μετριέται σε σχέση με την επίδραση που έχει 1kg CO<sub>2</sub>
- ❖ Το φωτοχημικό νέφος (POCP) , μετριέται σε σχέση με την επίδραση που έχει 1 kg αιθυλενίου
- ❖ Η όξυνση του περιβάλλοντος (AP) , μετριέται σε σχέση με την επίδραση που έχει 1kg SO<sub>2</sub>
- ❖ Η τοξικότητα (HT), μετριέται σε σχέση με την ποσότητα του βάρους του ανθρώπινου σώματος που μπορεί να εκτεθεί στο επιτρεπόμενο τοξικά όριο ενός kg της ουσίας
- ❖ Η θαλάσσια τοξικότητα (ECA), αφορά την ποσότητα του νερού που θα μολυνθεί ως ένα κρίσιμο επίπεδο από 1kg ουσίας
- ❖ Η εδαφική τοξικότητα (ECT) , αφορά την επιβάρυνση του εδάφους ως ένα κρίσιμο επίπεδο από 1 kg ουσίας
- ❖ Ο ευτροφισμός (NP) , μετριέται σε σχέση με την επίδραση που έχει 1kg φωσφόρου
- ❖ Η εξασθένηση της στοιβάδας του όζοντος(ODP) , μετριέται σε σχέση με την επίδραση που έχει 1 kg CFC-

### 2.5.3.1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Στο στάδιο της ταξινόμησης οργανώνονται και συνδυάζονται τα αποτελέσματα της LCI σε κατηγορίες επιπτώσεων. Για τα στοιχεία που της LCI που συμβάλλουν μόνο σε μια κατηγορία επιπτώσεων, η διαδικασία είναι απλή ,ενώ για τα στοιχεία που συμβάλλουν σε δύο ή περισσότερες διαφορετικές κατηγορίες πρέπει να θεσπιστεί ένας κανόνας για την ταξινόμηση.

Υπάρχουν δύο τρόποι τα αποτελέσματα της LCI να τοποθετηθούν στις πολλαπλές κατηγορίες επιπτώσεων (ISO 1998) :

- ❖ Διάθεση μια αντιπροσωπευτικής μερίδας των αποτελεσμάτων της LCI στις κατηγορίες των επιπτώσεων στις οποίες συμβάλλουν (τα αποτελέσματα εξαρτώνται το ένα από το άλλο)
- ❖ Ταξινόμηση των αποτελέσματα της LCI σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων στις οποίες συμβάλλουν (τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.)



Εικόνα 2.9: Σχέσεις μεταξύ εκπομπών και κατηγοριών επιπτώσεων

### 2.5.3.1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ

Στον χαρακτηρισμό χρησιμοποιούμε παράγοντες μετατροπής βασισμένους σε επιστημονικά δεδομένα για να μετατρέψουμε και να συνδυάσουμε τα αποτελέσματα της LCI σε αντιπροσωπευτικούς δείκτες επιπτώσεων στην ανθρώπινη και οικολογική υγεία. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων της LCI μέσα σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων. Οι δείκτες επιπτώσεων χαρακτηρίζονται τυπικά χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση :

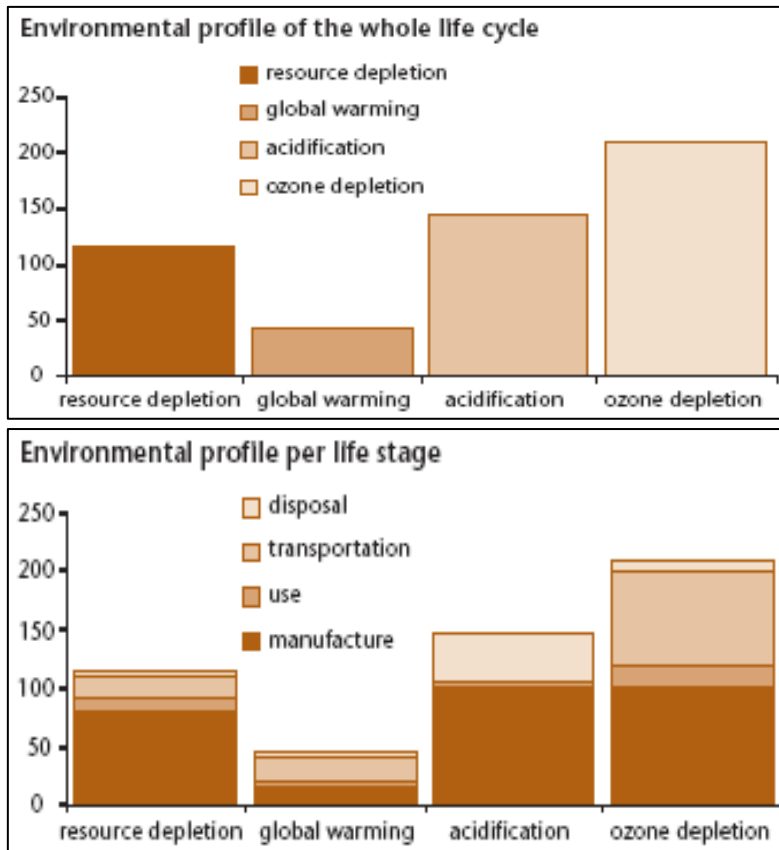
$$(\text{Απογραφικά στοιχεία}) \times (\text{Παράγοντας χαρακτηρισμού}) = \Delta\text{Ε}$$

Substance	Amount (kg)	GWP Equivalence factor	CO <sub>2</sub> (kg)
Methane	0.001	11	0.011
CO <sub>2</sub>	25	1	25
N <sub>2</sub> O	5	270	1350
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0.0005	15	0.0075
CFCl <sub>3</sub>	0.00001	13000	0.13
CO <sub>2</sub> - equivalents			1375.1485

Εικόνα 2.10: Δείκτης κατηγορίας επίπτωσης (GWP) δοσμένος σε kg CO<sub>2</sub> – eq./kg gas

Το τελικό αποτέλεσμα του βήματος χαρακτηρισμός είναι ένας κατάλογος των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτή η λίστα των σκορ αποτελέσματος ,ένα για κάθε κατηγορία ονομάζεται περιβαλλοντικό προφίλ του προϊόντος ή της υπηρεσίας.





Εικόνα 2.11: Περιβαλλοντικά προφίλ καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής και ανά στάδιο του κύκλου ζωής

#### 2.5.3.1.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ LCIA

Με την ταξινόμηση και τον χαρακτηρισμό δίνεται ένα περιβαλλοντικό προφίλ στο προϊόν ενώ με την αξιολόγηση ο μελετητής μετατρέπει το περιβαλλοντικό προφίλ σε ένα πίνακα δεδομένων. Έτσι γίνεται ευκολότερη η σύγκριση και η αποτίμηση της αξιοπιστίας του αποτελέσματος.

Η αποτίμηση πραγματοποιείται σε 4 στάδια:

1. Προσδιορισμός της επιβάρυνσης των περιβαλλοντικών προβλημάτων
2. Μετατροπή του περιβαλλοντικού προφίλ σε περιβαλλοντικό πίνακα
3. Έλεγχος ορθότητας του αποτελέσματος
4. Επισκόπηση της LCA από εξωτερικούς μελετητές

#### 2.5.4 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ LCA

Η ερμηνεία είναι το τελικό βήμα μιας LCA και αποτελεί μια συστηματική τεχνική για την ταυτοποίηση, τον ποσοτικό προσδιορισμό, τον έλεγχο και την εκτίμηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την απογραφή του κύκλου ζωής (LCI) και από την αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA).

Στο στάδιο αυτό συνδέονται όλα τα αποτελέσματα μεταξύ τους και λαμβάνονται αποφάσεις που θα βελτιώσουν διαδικασίες και καταστάσεις που αφορούν τη βιομηχανία ή και γενικότερα το περιβάλλον.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14043 τα βήματα της ερμηνείας των αποτελεσμάτων είναι τα εξής:

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Προσδιορισμός των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων

**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Αποτίμηση της πληρότητας, της ευαισθησίας και της συνοχής των δεδομένων (έλεγχος πληρότητας, έλεγχος ευαισθησίας, έλεγχος συνέπειας)

**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων [11],[13],[14],[15],[18]

## 2.6 ΕΚΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όταν πλέον έχει ολοκληρωθεί η εκτίμηση της LCA τα υλικά πρέπει να καταγράφονται σε μια κατανοητή έκθεση αποτελεσμάτων με καθαρό και οργανωμένο τρόπο. Αυτό θα βοηθήσει να κοινοποιούνται τα αποτελέσματα της μελέτης έντιμα και με ακρίβεια σε όσους ενδιαφέρονται.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό SimaPro που χρησιμοποιήθηκε για την περιβαλλοντική ανάλυση κύκλου ζωής που πραγματοποιήθηκε σε ηλιακά συστήματα για ζεστό νερό χρήσης στην περιοχή των Χανίων.

## ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΤΑΜΗΛΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Κατά την πορεία εύρεσης του κατάλληλου λογισμικού τέθηκαν υπό εξέταση λογισμικά που περιέχει ο κατάλογος από την αρμόδια Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργεια και διαθέτει όλα τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση κύκλου ζωής. Ο κατάλογος παρουσιάζεται παρακάτω:

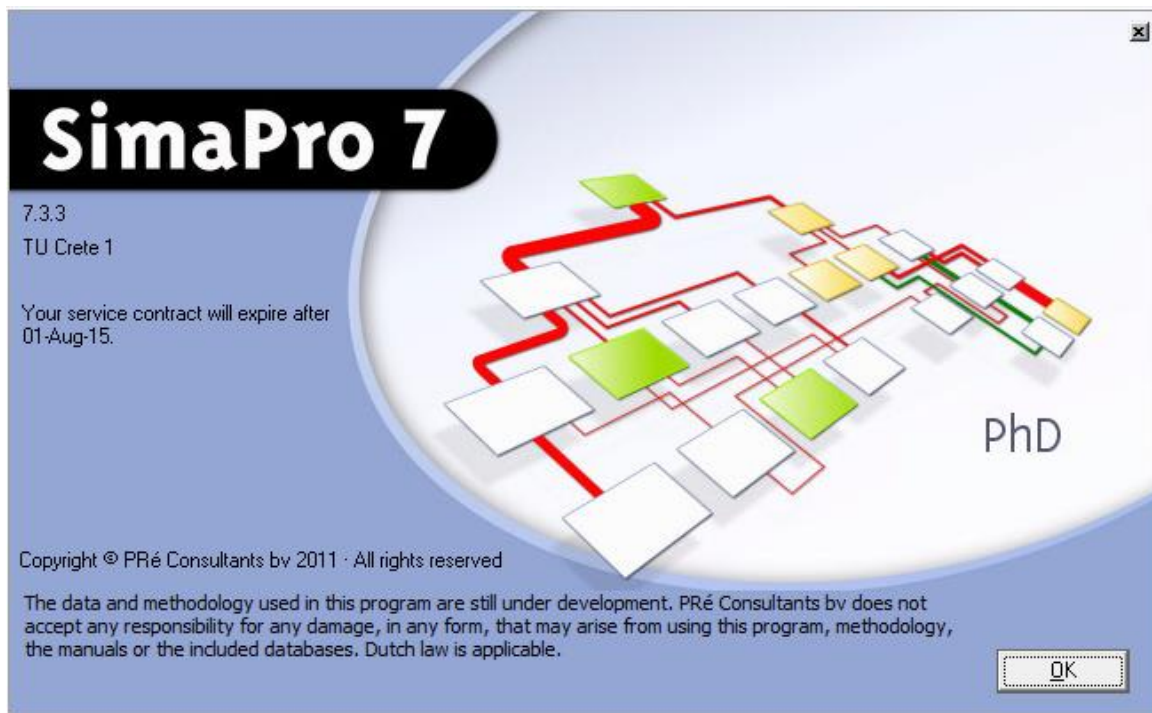
<b>AirConLCA</b>	<b>LTE OGIP; Version 5.0;</b>	<b>TESPI</b>
	<b>Build-Number 2092;</b>	
	<b>2005/12/12</b>	
<b>AIST-LCA Ver.4</b>	<b>Modular MSWI Model</b>	<b>The Boustead Model</b>
<b>1.0</b>	<b>5.0.12</b>	
<b>BEES 3.0d</b>	<b>Prototype Demolition</b>	<b>trainEE</b>
	<b>Waste Decision Tool 1</b>	
<b>DPL 1.0</b>	<b>REGIS 2.3</b>	<b>Umberto 5.5</b>
<b>e!Sankey 1.0</b>	<b>Sabento 1.1</b>	<b>USES-LCA</b>
<b>Eco-Bat 2.1</b>	<b>SALCA-animal 1.0</b>	<b>Verdee</b>
<b>Eco-Quantum</b>	<b>SALCA-biodiversity</b>	<b>WAMPS, betaversion</b>
	<b>061</b>	
<b>ECODESIGN X-Pro v1.0</b>	<b>SALCA-biodiversity 1.0</b>	<b>WISARD 4.0</b>
<b>ecoinvent waste</b>	<b>SALCA-crop 061</b>	<b>WRATE</b>
<b>disposal inventory tools v1.0</b>		
<b>EcoScan 3.1</b>	<b>SALCA-crop 2.02</b>	<b>RETScreen</b>
<b>EIME V2.4</b>	<b>SALCA-erosion 061</b>	<b>FAIR 2.0</b>
<b>EIME V3.0</b>	<b>SALCA-erosion 2.0</b>	<b>GEMIS</b>
<b>Environmental Impact</b>	<b>SALCA-farm 1.31</b>	<b>NREL's</b>
<b>Estimator V3.0.2</b>		
<b>EPD Tools Suit 2007</b>	<b>SALCA-farm 2.1</b>	<b>KCL-ECO</b>
<b>eVerdEE v.1.0</b>	<b>SALCA-heavy metals</b>	<b>WRI Project Protocol</b>
	<b>061</b>	
<b>eVerdEE v.2.0</b>	<b>SALCA-heavy metals</b>	<b>REFUGE 2</b>
	<b>1.0</b>	
<b>GaBi 4.2</b>	<b>SALCA-nitrate 061</b>	<b>GaBi</b>
<b>GaBi DfX</b>	<b>SALCA-nitrate 4.0</b>	<b>BIOMITRE</b>
<b>GaBi lite</b>	<b>SALCA-soil quality 061</b>	<b>SimaPro</b>
<b>GEMIS version 4.4</b>	<b>SALCA-soil quality 1.1</b>	<b>Umberto</b>
<b>Green-E, version 1.0</b>	<b>SankeyEditor 3.0</b>	<b>Boustead Model 5.0</b>
<b>JEMAI-LCA Pro ver.2</b>	<b>SimaPro 7</b>	<b>TEAMTM</b>
<b>KCL-ECO 4.0</b>	<b>STAN 1.1.3 - Software</b>	<b>Ecoinvent</b>
	<b>for Substance Flow Analysis</b>	
<b>LCA - Evaluator 2.0</b>	<b>TEAM™ 4.5</b>	<b>GAVE CO2 Tool</b>
<b>LEGEP 1.2</b>	<b>TEAM™ Web Simulator</b>	

**Εικόνα:** Λίστα λογισμικών Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (European Commission)

Έπειτα από έρευνα σχετικά με τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία των παραπάνω εργαλείων ανάλυσης κύκλου ζωής επιλέχθηκε το ακόλουθο εργαλείο:

- SimaPro: Περιβαλλοντική ανάλυση

### 3.1 SimaPro



Το λογισμικό SimaPro δημιουργήθηκε και διατίθεται από την εταιρεία Pre-Consultants B.V. Αποτελεί ένα ευρέως διαδομένο εργαλείο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής παρέχοντας ιδιαίτερα εξειδικευμένες διεργασίες, παραμένοντας ταυτόχρονα αρκετά εύχρηστο. Διαθέτει μεγάλο όγκο παρεχόμενων δεδομένων, ο οποίος ευρίσκονται σε βάσεις δεδομένων και βιβλιοθήκες εγκατεστημένες στο λογισμικό. Τα δεδομένα είναι κατανομημένα σε ξεχωριστές βιβλιοθήκες, υποστηριζόμενες από όλο το εύρος των δυνατών διεργασιών ή διαδικασιών. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα τα ήδη υπάρχοντα αποτελέσματα μαζί με τα παραγόμενα αποτελέσματα από την εκάστοτε διεργασία να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές διαδικασίες. Ο χρήστης έχει στη διάθεση του διάφορα εργαλεία, η χρήση των οποίων επιτρέπει τον προσδιορισμό του κύκλου ζωής προϊόντων με περισσότερη ακρίβεια, προσθέτοντας τα σημαντικότερα δεδομένα ενώ παράλληλα παρουσιάζονται σε ραβδογράμματα και πίνακες τις πιο σημαντικές πληροφορίες που λαμβάνει από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών. Δηλαδή μέσω επιλογής ορίων από το χρήστη το πρόγραμμα αποφεύγει την παρουσίαση δεδομένων εξόδου με συνεισφορά εκτός των τιμών των ορίων αυτών. Η κατάσταση των δεδομένων εξόδου ορίζεται από τον αποδέκτη εκπομπών (εκπομπές σε υδάτινο περιβάλλον, εκπομπές στην ατμόσφαιρα, εκπομπές στο έδαφος) και από τον αποδέκτη αποβλήτων. Η παρουσίαση των

αποτελεσμάτων γίνεται με διάφορους τρόπους, δίνοντας τη δυνατότητα να αποφευχθούν αποτελέσματα τα οποία στην εκάστοτε συγκεκριμένη κατηγορία ευρείας επίδρασης.

Εκτός της δυνατότητας ανάλυσης κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή αντικειμένου εμπεριέχονται και άλλα εργαλεία όπως :

- ❖ Design for environment (DfE, DfR)
- ❖ Life cycle assessment (LCA)
- ❖ Life cycle costing (LCC)
- ❖ Life cycle impact assessment (LCIA) [European Commission, 2007].
- ❖ Life cycle inventory (LCI)
- ❖ Life cycle management (LCM)
- ❖ Life cycle sustainability assessment (LCS)
- ❖ Life cycle work environment (LCWE)
- ❖ Life cycle engineering (LCE)
- ❖ Product stewardship supply chain management, Substance/material flow analysis (SFA/MFA)

### **Μέθοδοι αποτίμησης αντικτύπου**

Το λογισμικό SimaPro περιέχει διάφορες μεθόδους αποτίμησης αντικτύπου. Η βασική δομή των μεθόδων αντικτύπου είναι οι εξής :

#### ❖ Characterisation-Χαρακτηρισμός

Οι συνεισφέρουσες ουσίες σε μια κατηγορία ευρείας επίδρασης πολλαπλασιάζονται με κάποιο αντίστοιχο συντελεστή (Characterisation Factor), ο οποίος εκφράζει το βαθμό συνεισφοράς της κάθε υπό εξέταση ουσίας στην αντίστοιχη κατηγορία επίδρασης. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα εκφράζεται σε δείκτες ευρείας επίδρασης (Impact Category Indicators).

#### ❖ Damage Assessment-Αποτίμηση βλάβης

Σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι ο συνδυασμός ενός πλήθους δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης σε μια ευρύτερη κατηγορία βλάβης (Damage Category). Συμπύσσοντας τις επιβαρύνσεις σε συγκεκριμένες ευρείες καθίσταται ευκολότερο να αξιολογηθεί η συνολική επιβάρυνση που προκαλείται από κάθε κατηγορία ευρείας επίδρασης στις κατηγορίες βλάβης.

#### ❖ Normalization-Κανονικοποίηση

Η κανονικοποίηση ως μέθοδος αποτίμησης αντικτύπου δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Διαδικασία που επιτυγχάνεται μέσω της διαίρεσης των δεικτών με το σημείο αναφοράς, ανάγοντας κατά αυτόν τον τρόπο όλους τους δείκτες στην ίδια μονάδα μέτρησης. Σημείο αναφοράς ορίζεται ευρέως το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο ανά χώρα ή ήπειρο, διαιρούμενο με τον αντίστοιχο πληθυσμό.

#### ❖ Weighting-Στάθμιση

Στη συγκεκριμένη μέθοδο τα δεδομένα πολλαπλασιάζονται είτε με τους δείκτες κατηγορίας ευρείας επίδρασης είτε τους αντίστοιχους δείκτες κατηγορίας βλάβης (Damage Category Indicator) με ένα συντελεστή στάθμισης (weighting factor), προσθέτοντας τα νέα αποτελέσματα ώστε να προκύψει ένα συνολικό τελικό αποτέλεσμα. Η στάθμιση δύναται να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα ή μη δεδομένα.

**Μέθοδος Eco-Indicator 99 v2.1**

Η μέθοδος σύγκρισης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων που επιλέχτηκε είναι η Eco-Indicator 99 v2.1. Βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η δυνατότητα εφαρμογής και των τεσσάρων προαναφερθέντων μεθόδων αντικτύπου, προσφέροντας μεγαλύτερο εύρος στοιχείων, καθώς και μια πιο ολοκληρωμένη παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Αναφέρεται ότι αποτελεί τη μοναδική μέθοδο εκ των δοθέντων από το λογισμικό, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής και των τεσσάρων μεθόδων αντικτύπου. Επιπλέον συμπεριλαμβάνει τη δυνατότητα ανάλυσης μέσω της αποτίμησης βλάβης.

**Κατηγορίες αποδεκτών περιβαλλοντικών φορτίων:**

- ❖ Damage to Human Health-Βλάβες στην Ανθρώπινη Υγεία

Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως ο αριθμός των ετών ζωής που χάθηκαν και τον αριθμό των ετών ζωής σε αναπηρία. Από τον παραπάνω συνδυασμό προκύπτει η αντίστοιχη μονάδα μέτρησης DALY(Disability Adjusted Life Years)

- ❖ Damage to ecosystem Quality-Βλάβες στην ποιότητα του οικοσυστήματος

Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως ο αριθμός ειδών που εξαφανίστηκαν σε καθορισμένη περιοχή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

- ❖ Damage to Resources-Βλάβες στους πόρους

Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως το πλεόνασμα της ενέργειας που απαιτείται για τη μελλοντική εξαγωγή ορυκτών πόρων. [20]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

Στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιείται συγκριτική περιβαλλοντική ανάλυση μεταξύ δύο δεδομένων τύπων ηλιακών συλλεκτών: ενός υαλοκάλυπτου επίπεδου συλλέκτη και ενός συλλέκτη κενού μέσω του λογισμικού SimaPro. Ο λόγος που η σύγκριση συγκεκριμενοποιείται στους συλλέκτες είναι η ταύτιση του υπόλοιπου συστήματος των δύο εναλλακτικών.



#### 4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ SimaPro

Η περιβαλλοντική ανάλυση πραγματοποιήθηκε εκτενέστερα μέσω του λογισμικού SimaPro δεδομένου ότι μέσω του λογισμικού RETScreen, η περιβαλλοντική ανάλυση περιορίζεται μόνο σε εκπομπές που έχουν αντίκτυπο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ο παραπάνω περιορισμός δεν παρέχει μια ικανοποιητική και ολοκληρωμένη περιβαλλοντική σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων, με αποτέλεσμα η περαιτέρω διερεύνηση μέσω του λογισμικού SimaPro να κρίνεται απαραίτητη.

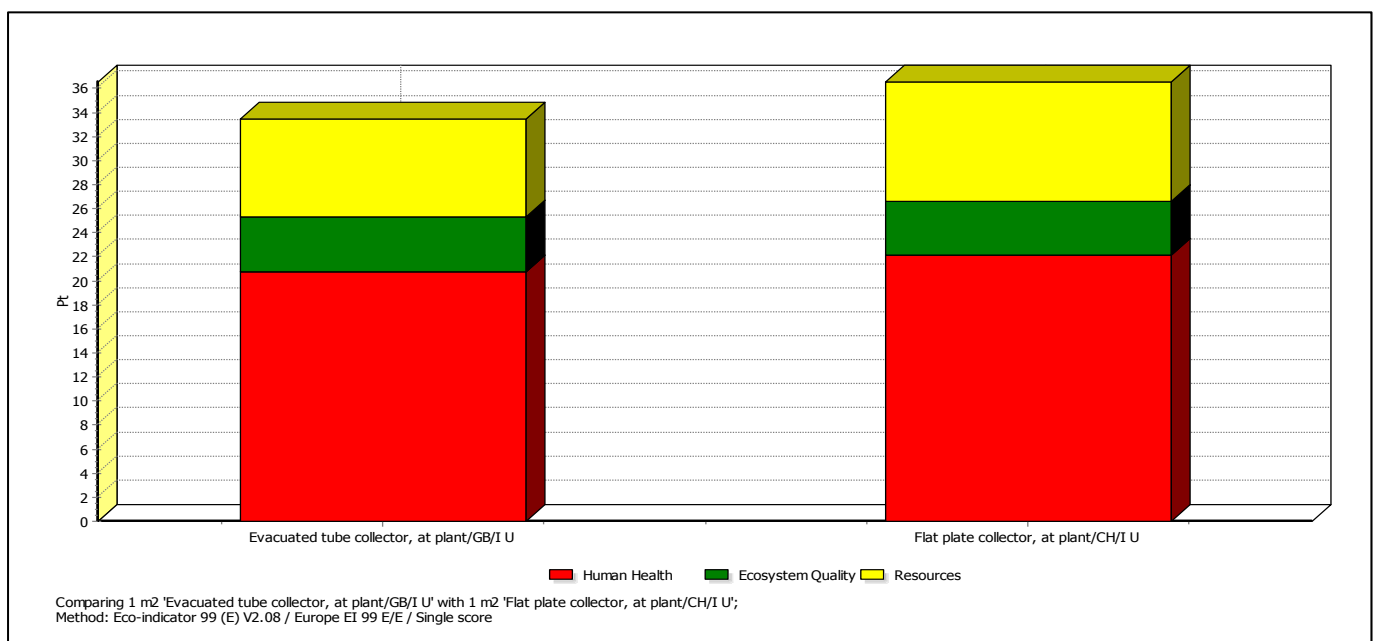
Αρχικά γίνεται επικεντρωμένη περιβαλλοντική σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων ηλιακών συλλεκτών, προκειμένου να ελεγχθεί ποιος τύπος έχει το μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Η σύγκριση γίνεται μεταξύ δυο μοντέλων που παρέχονται από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού και εμπεριέχουν όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, από την κατασκευή τους έως την τελική διάθεση τους. Ο λόγος που η σύγκριση συγκεκριμενοποιείται στους συλλέκτες είναι η ταύτιση του υπόλοιπου συστήματος των δύο εναλλακτικών. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η **Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E**.

Παρακάτω παρατίθενται με τη μορφή συγκριτικών διαγραμμάτων τα αποτελέσματα που προέκυψαν και αφορούν όλες τις κατηγορίες βλάβης και τις κατηγορίες ευρείας επίδρασης.

##### **Μέθοδος αποτίμησης – Τελικό αποτέλεσμα**

##### **ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΛΑΒΗΣ**

Όσον αφορά την αποτίμηση τελικού αποτελέσματος προκύπτει ότι ο συλλέκτης κενού επηρεάζει λιγότερο το περιβαλλοντικό φορτίο σε σχέση με τον απλό επίπεδο. Παρατηρείται διαφορά της τάξεως του 8,4% μεταξύ τους στο συνολικό τελικό αποτέλεσμα. Λαμβάνοντας υπόψη το διάγραμμα και τον πίνακα τιμών που ακολουθούν, διακρίνεται και στους δύο τύπους συλλεκτών ότι η μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση σχετίζεται με τον τομέα της ανθρώπινης υγείας.



**Εικόνα 4.1:** Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης -Μέθοδος αποτίμησης – Τελικό αποτέλεσμα

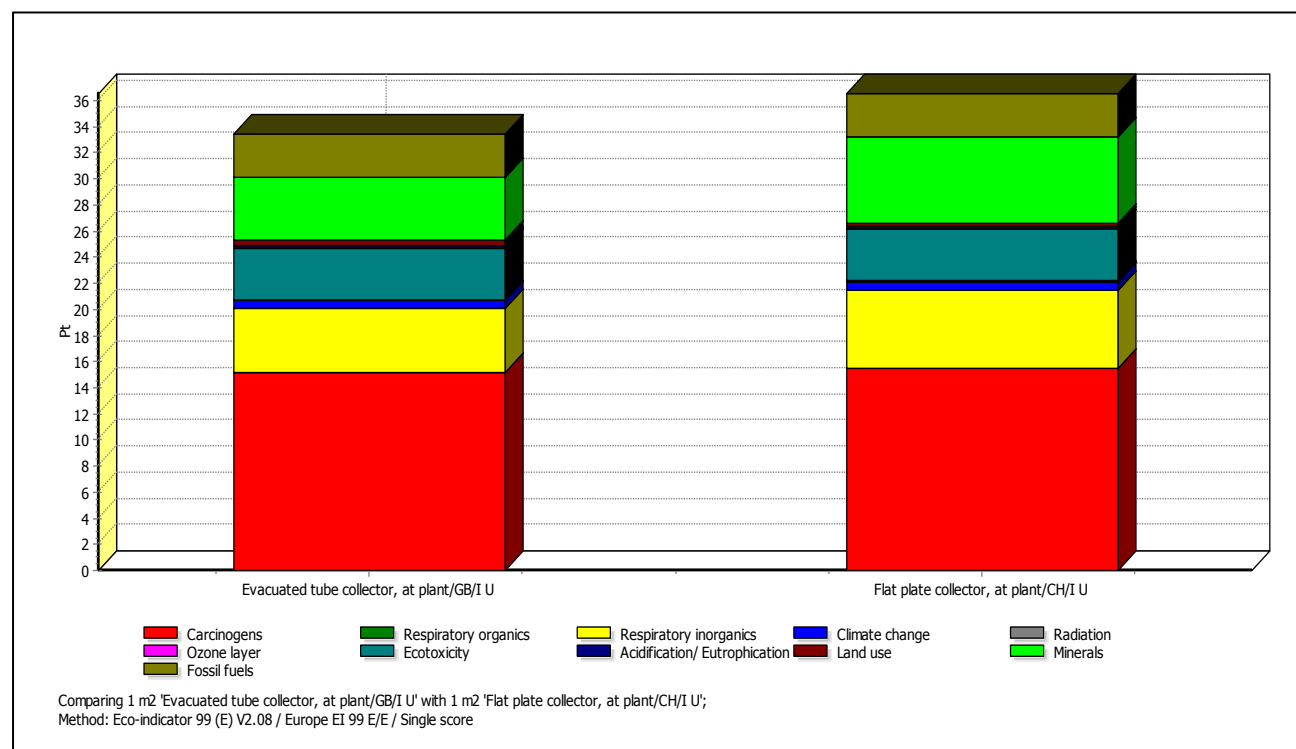
Damage category	Unit	Evacuated tube collector, at plant/GB/U	Flat plate collector, at plant/CH/I U
<b>Total</b>	Pt	<b>33.43122</b>	<b>36.53576</b>
<b>Human Health</b>	Pt	20.75577	22.18058
<b>Ecosystem Quality</b>	Pt	4.537046	4.469292
<b>Resources</b>	Pt	8.138398	9.885884

Εικόνα 4.2: Πίνακας τιμών κατανομής περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης -Μέθοδος αποτίμησης – Τελικό αποτέλεσμα

### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

Στο τρέχων κομμάτι του λογισμικού γίνεται επιμέρους ανακαταμερισμός των κατηγοριών βλάβης σε επιμέρους λεπτομερέστερες κατηγορίες επίδρασης που σχετίζονται με αυτές. Οι κατηγορίες καρκινογόνων ουσιών και οργανικών ή ανόργανων ουσιών που συμβάλλουν σε παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος αντιστοιχούν στην ευρύτερη κατηγορία της ανθρώπινης υγείας. Η ευρύτερη κατηγορία της ποιότητας οικοσυστήματος υποδιαιρείται στις κατηγορίες επίπτωσης: κλιματική αλλαγή, ακτινοβολία, εξασθένηση της στοιβάδας του όζοντος, τοξικότητα, οξίνιση του περιβάλλοντος-ευτροφισμός. Τέλος, η κατηγορία των πόρων εμπεριέχει τις εξής επιπτώσεις: χρήση εδάφους, ορυκτά, ορυκτά καύσιμα.

Ειδικότερα, η κύρια κατηγορία επίδρασης είναι οι καρκινογόνες ουσίες και στους δύο τύπους συλλεκτών.



Εικόνα 4.3: Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης- Μέθοδος αποτίμησης – Τελικό αποτέλεσμα

Impact category	Unit	Evacuated tube collector, at plant/GB/I U	Flat plate collector, at plant/CH/I U
Total	Pt	33.43122	36.53576
Carcinogens	Pt	15.12963	15.45564
Respiratory organics	Pt	0.002225	0.002486
Respiratory inorganics	Pt	4.966479	5.970915
Climate change	Pt	0.641892	0.73311
Radiation	Pt	0.015244	0.018086
Ozone layer	Pt	0.000301	0.000346
Ecotoxicity	Pt	3.894664	3.95232
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.234345	0.234219
Land use	Pt	0.408036	0.282753
Minerals	Pt	4.856057	6.570714
Fossil fuels	Pt	3.282341	3.31517

**Εικόνα 4.4:** Πίνακας τιμών κατανομής περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης -Μέθοδος αποτίμησης – Τελικό αποτέλεσμα

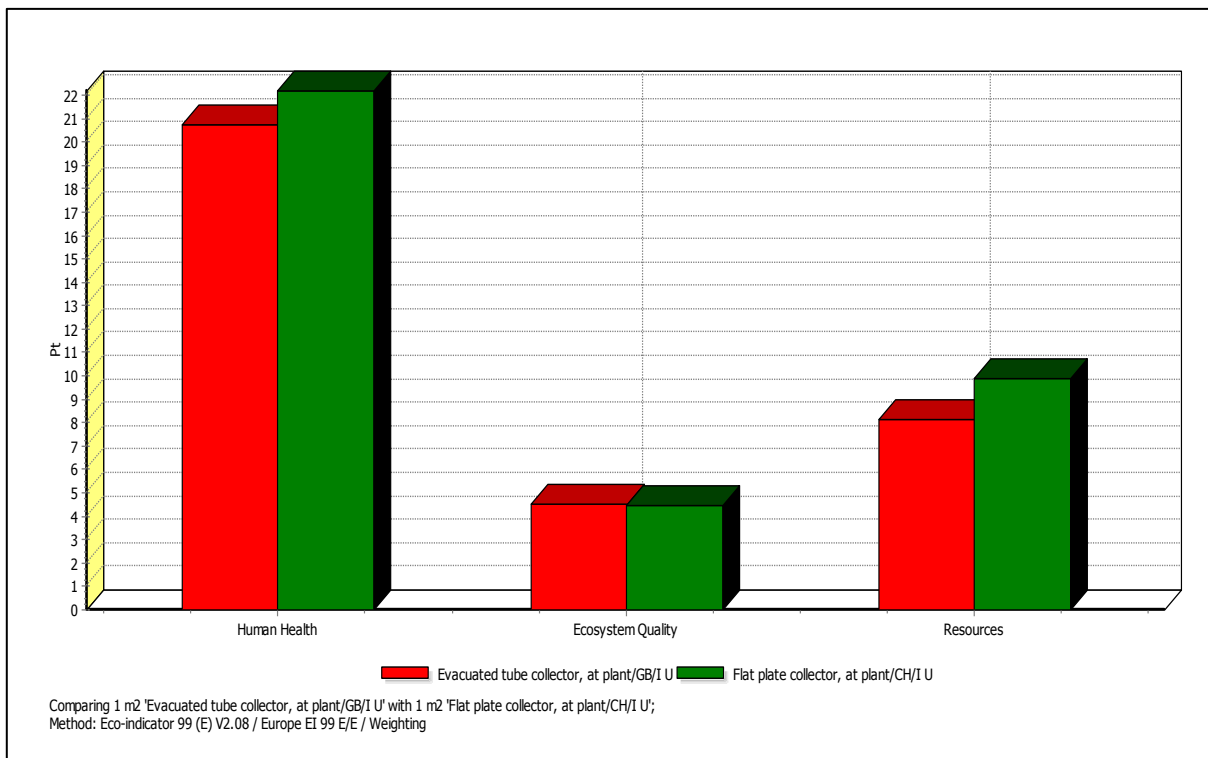
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των δύο συλλεκτών με την επιλογή του τελικού αποτελέσματος (single score) ως μεθόδου αποτίμησης, ο συλλέκτης κενού κρίθηκε περιβαλλοντικά “φιλικότερος”. Η μεταξύ τους διακύμανση, όπως προαναφέρθηκε, εντοπίζεται στις 8,4 ποσοστιαίες μονάδες απόκλισης. Λόγω της μικρής διαφοράς που παρατηρείται, κρίθηκε σκόπιμη η περαιτέρω σύγκριση των δύο συλλεκτών με τις υπόλοιπες μεθόδους αποτίμησης που διαθέτει το λογισμικό, αποσκοπώντας σε μια διαυγέστερη και πιο σφαιρική εικόνα.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των υπόλοιπων μεθόδων:

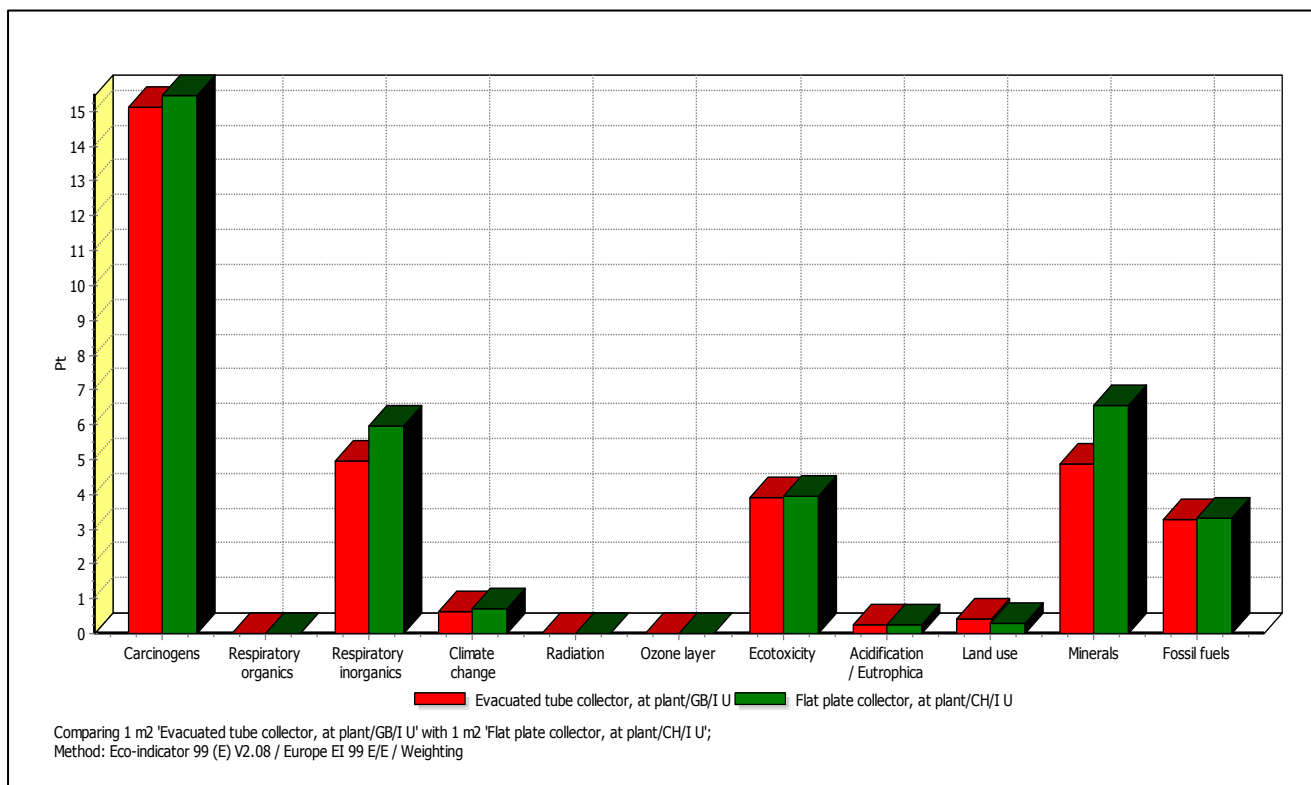
#### **Μέθοδος αποτίμησης – Στάθμιση**

Στη συγκεκριμένη μέθοδο τα δεδομένα πολλαπλασιάζονται είτε με τους δείκτες κατηγορίας ευρείας επίδρασης είτε τους αντίστοιχους δείκτες κατηγορίας βλάβης (Damage Category Indicator) με ένα συντελεστή στάθμισης (weighting factor), προσθέτοντας τα νέα αποτελέσματα ώστε να προκύψει ένα συνολικό τελικό αποτέλεσμα. Η στάθμιση δύναται να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα ή μη δεδομένα.

Στην συγκεκριμένη μέθοδο αποτίμησης παρατηρείται επίσης η πειβαλλοντική υπεροχή του συλλέκτη κενού. Τα διαγράμματα που προέκυψαν παρέχουν καλύτερη εικόνα της συνεισφοράς των δύο συλλεκτών, ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης και ανά κατηγορία ευρείας επίπτωσης, καθώς και καλύτερη αποτίμηση της μεταξύ τους σύγκρισης



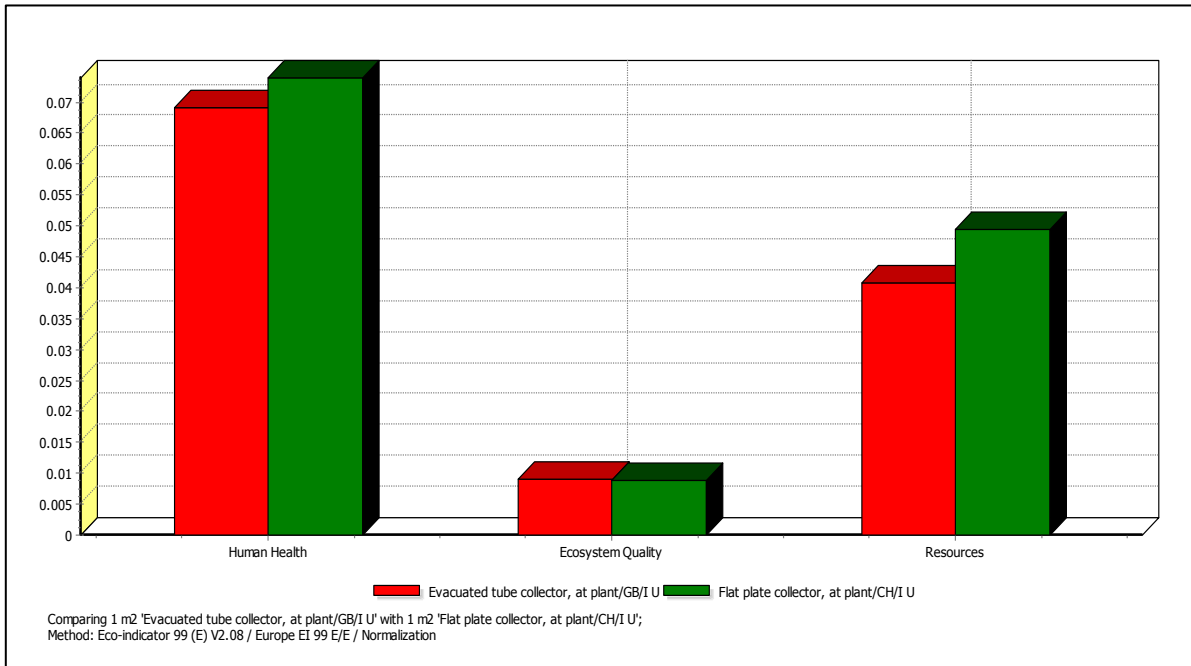
**Εικόνα 4.5:** Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης- Μέθοδος αποτίμησης – Στάθμιση



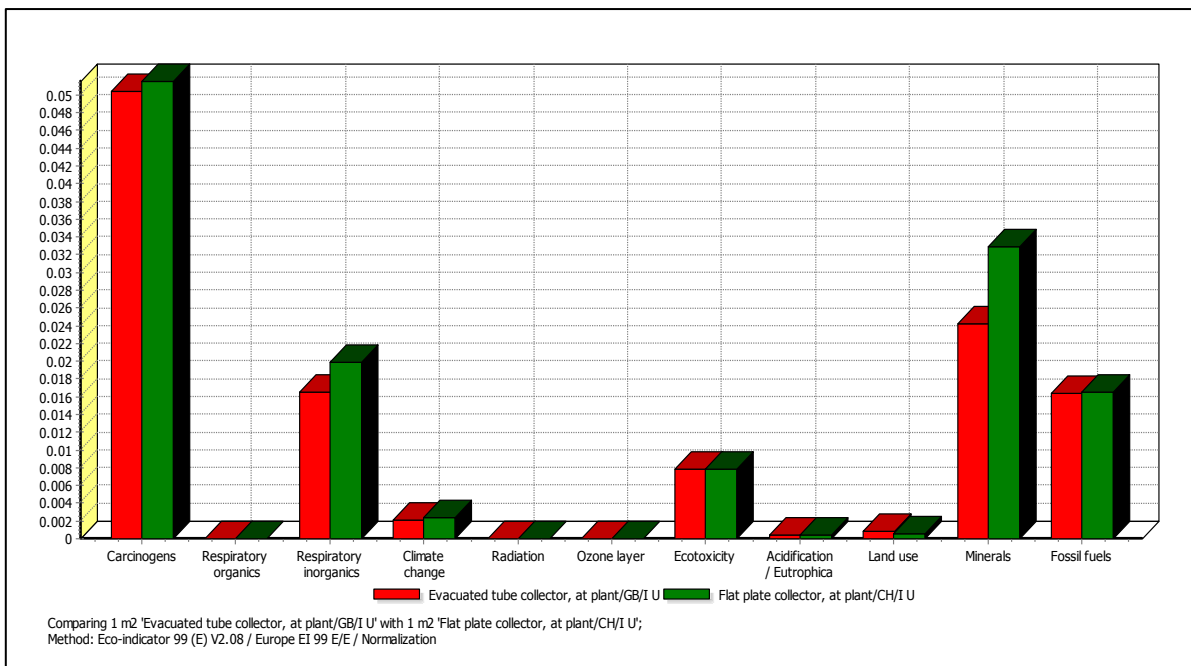
**Εικόνα 4.6:** Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης- Μέθοδος αποτίμησης – Στάθμιση

### Μέθοδος αποτίμησης – Κανονικοποίηση

Η κανονικοποίηση ως μέθοδος αποτίμησης αντικτύπου δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Διαδικασία που επιτυγχάνεται μέσω της διαίρεσης των δεικτών με το σημείο αναφοράς, ανάγοντας κατά αυτόν τον τρόπο όλους τους δείκτες στην ίδια μονάδα μέτρησης. Σημείο αναφοράς ορίζεται ευρέως το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο ανά χώρα ή ήπειρο, διαιρούμενο με τον αντίστοιχο πληθυσμό.



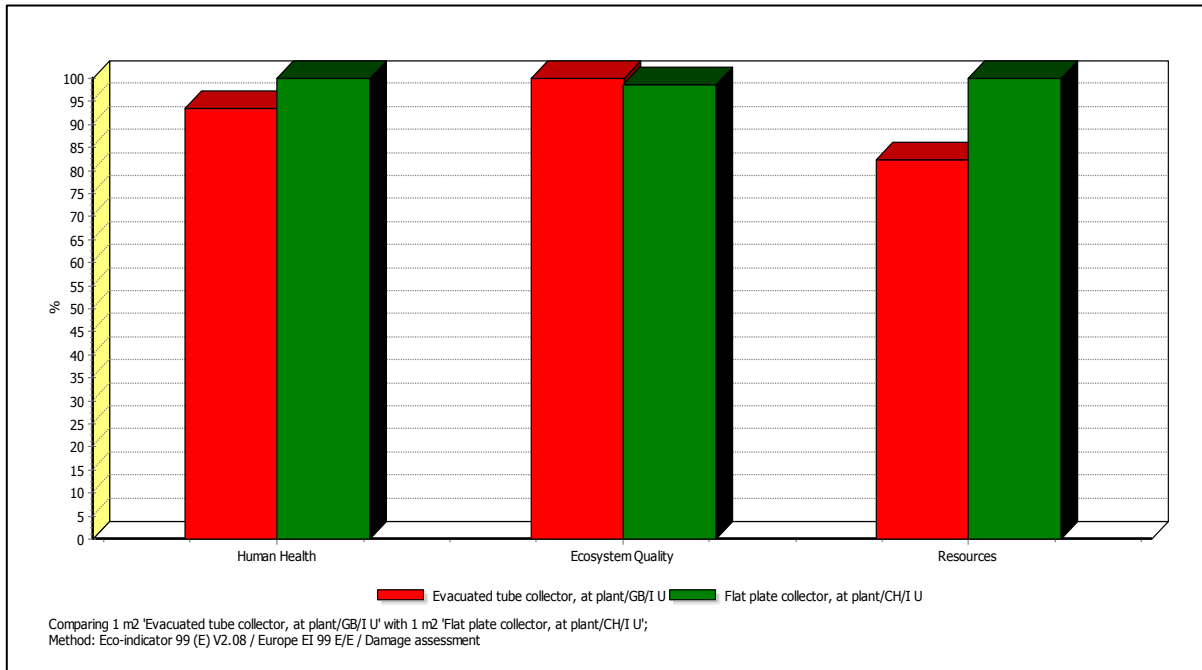
**Εικόνα 4.7:** Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης - Μέθοδος αποτίμησης – Κανονικοποίηση



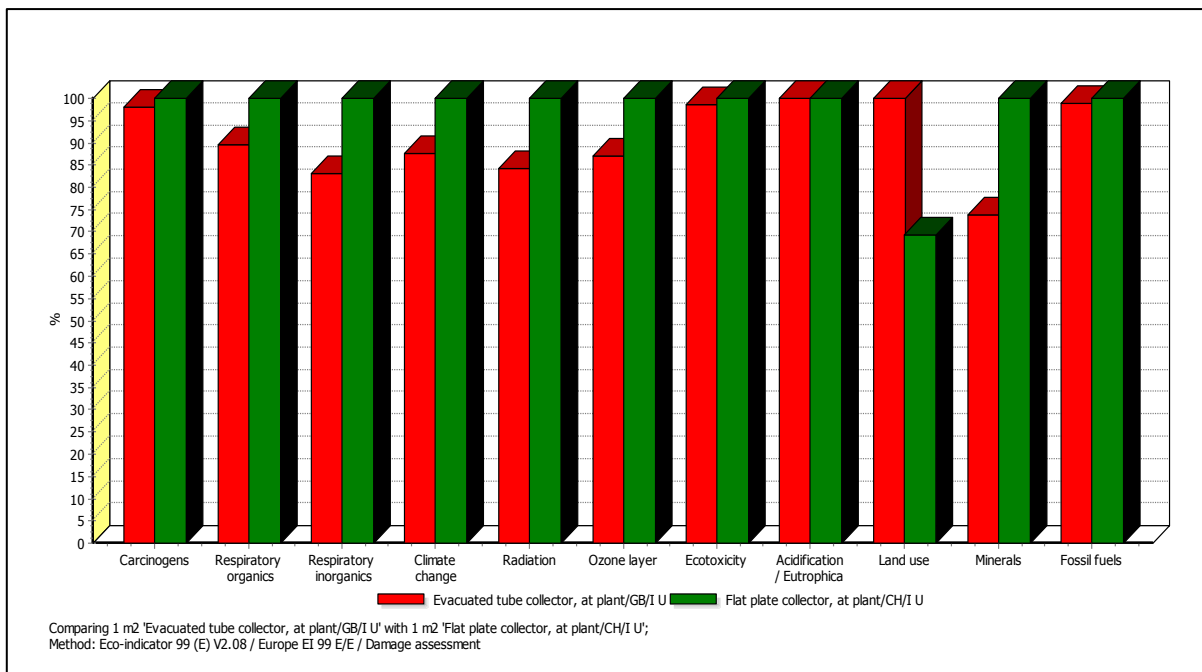
**Εικόνα 4.8:** Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης - Μέθοδος αποτίμησης – Κανονικοποίηση

### Μέθοδος αποτίμησης – Αποτίμηση βλάβης

Σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι ο συνδυασμός ενός πλήθους δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης σε μια ευρύτερη κατηγορία βλάβης (Damage Category). Συμπύσσοντας τις επιβαρύνσεις σε συγκεκριμένες ευρείες καθίσταται ευκολότερο να αξιολογηθεί η συνολική επιβάρυνση που προκαλείται από κάθε κατηγορία ευρείας επίδρασης στις κατηγορίες βλάβης.



Εικόνα 4.9: Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης - Μέθοδος αποτίμησης – Αποτίμηση βλάβης

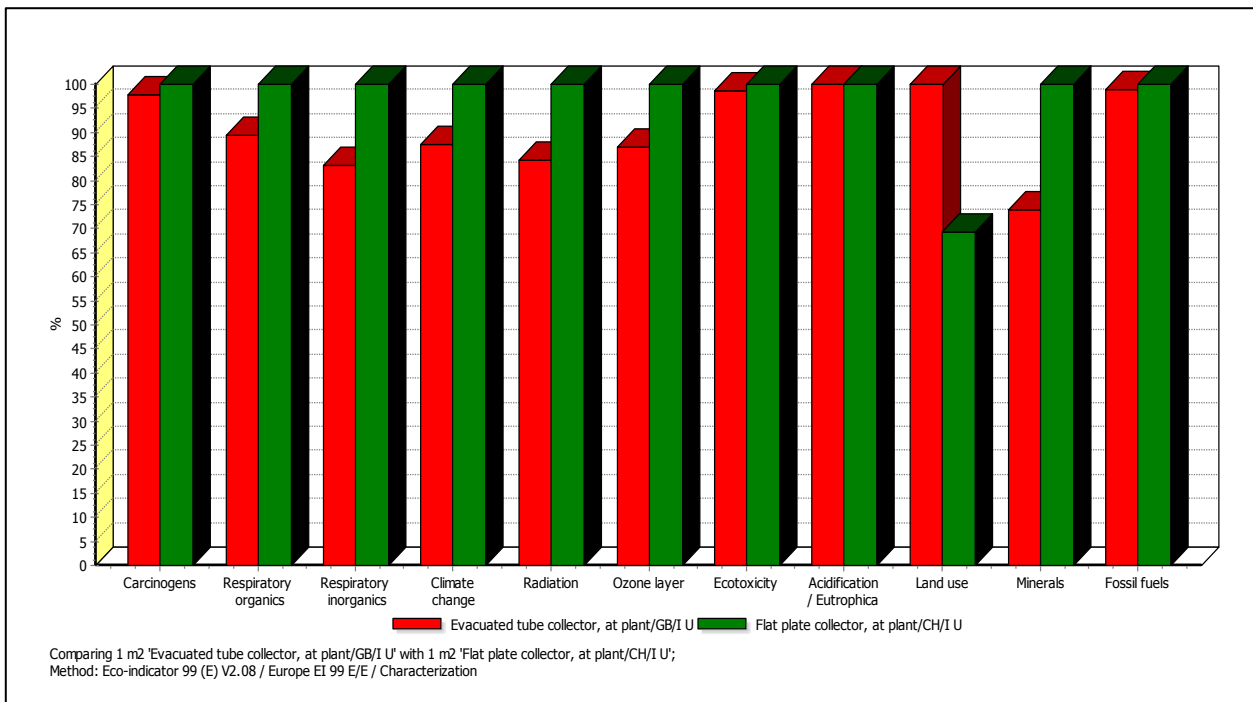


Εικόνα 4.10: Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης - Μέθοδος αποτίμησης – Αποτίμηση βλάβης

### Μέθοδος αποτίμησης – Χαρακτηρισμός

Οι συνεισφέρουσες ουσίες σε μια κατηγορία ευρείας επίδρασης πολλαπλασιάζονται με κάποιο αντίστοιχο συντελεστή (Characterisation Factor), ο οποίος εκφράζει το βαθμό συνεισφοράς της κάθε υπό εξέταση ουσίας στην αντίστοιχη κατηγορία επίδρασης. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα εκφράζεται σε δείκτες ευρείας επίδρασης (Impact Category Indicators).

Indicator: Characterization



Εικόνα 4.11: Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης - Μέθοδος αποτίμησης – Χαρακτηρισμός

### 4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ SimaPro

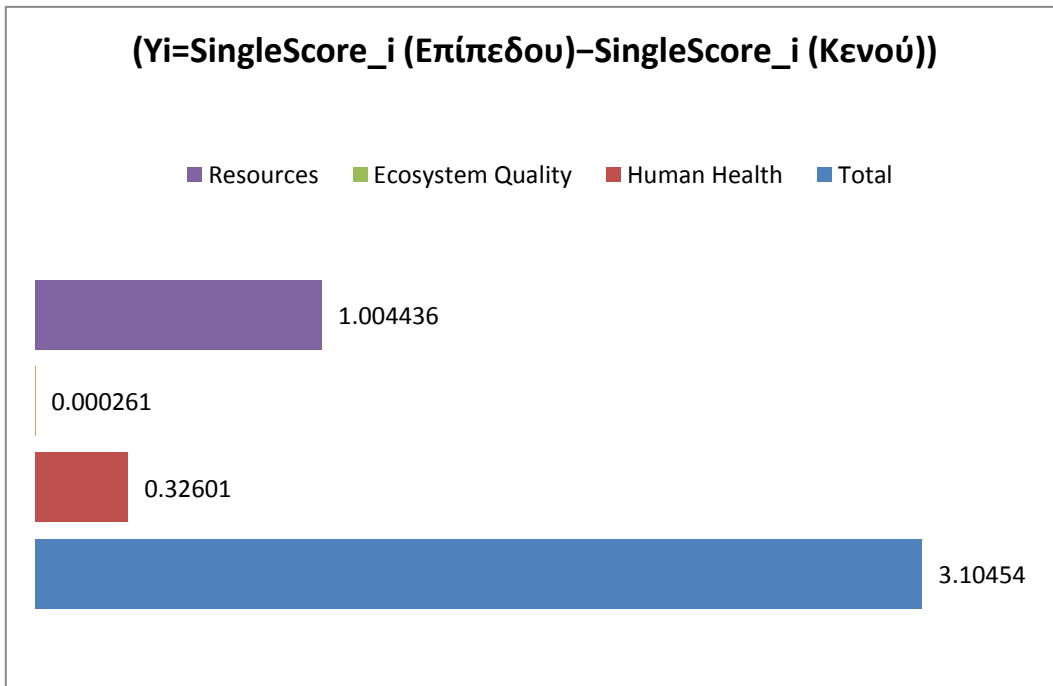
Η διεκπεραίωση της συγκριτικής περιβαλλοντικής μελέτης μέσω του λογισμικού SimaPro οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

- ❖ Ο συλλέκτης κενού έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο όσον αφορά τις κατηγορίες βλάβης. Η διαπίστωση αυτή γίνεται αντιληπτή τόσο από το συνολικό περιβαλλοντικό του φορτίο αλλά και από την υπεροχή στις περισσότερες κατηγορίες βλάβης ξεχωριστά.
- ❖ Όσον αφορά τις κατηγορίες επίδρασης, ο συλλέκτης κενού συγκεντρώνει μικρότερες τιμές από τον επίπεδο στις περισσότερες κατηγορίες.

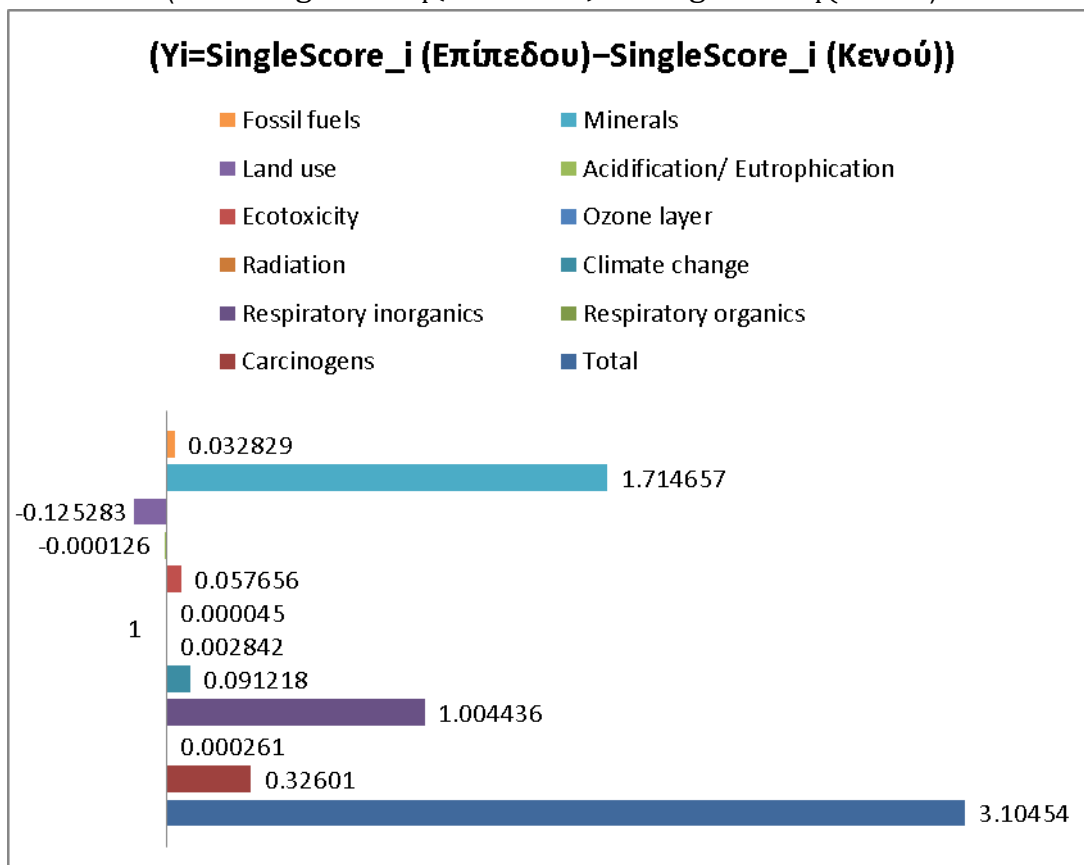
Οι παραπάνω παρατηρήσεις οπτικοποιούνται στο παρακάτω διάγραμμα διαφορών χαρακτηρίζεται από τη σχέση:

$$Y_i = SingleScore_i(Επίπεδου) - SingleScore_i(Κενού)$$

Οι τιμές αφορούν τις κατηγορίες βλάβης ή επίδρασης αντίστοιχα και διακρίνονται μέσω των κόκκινων στηλών του διαγράμματος. [11],[14],[20]



**Εικόνα 4.12:** Διάγραμμα διακριτών διαφορών ανά κατηγορία βλαβής μεταξύ των δύο συστημάτων ( $Y_i = \text{SingleScore}_i(\text{Επίπεδου}) - \text{SingleScore}_i(\text{Κενού})$ )



**Εικόνα 4.13:** Διάγραμμα διακριτών διαφορών ανά κατηγορία επίδρασης μεταξύ των δύο συστημάτων ( $Y_i = \text{SingleScore}_i(\text{Επίπεδου}) - \text{SingleScore}_i(\text{Κενού})$ )



## ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ

Μέσω της διεκπεραίωσης συγκριτικών μελετών σε οικονομικό, ενεργειακό και περιβαλλοντικό επίπεδο μεταξύ των δύο τύπων συλλεκτών (επίπεδου-κενού) συνεπάγεται ότι :

### ❖ Οικονομικό επίπεδο (RETScreen)

Ο απλός επίπεδος ηλιακός συλλέκτης κρίνεται ως καλύτερος για την εγκατάστασή του στην περιοχή των Χανίων.

### ❖ Ενεργειακό επίπεδο (F-chart, RETScreen)

Οι ενεργειακές αποδόσεις του επίπεδου συλλέκτη υπερσχύουν αυτών του κενού, γεγονός το οποίο οφείλεται στο θερμό κλίμα της περιοχής των Χανίων που επιλέχθηκε στο σενάριο χρήσης.

### ❖ Περιβαλλοντικό επίπεδο(SimaPro, RETScreen)

Η μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση προκαλείται από τον απλό επίπεδο ηλιακό συλλέκτη . Ωστόσο η μεταξύ τους διαφορά θεωρείται μικρή .

Ανακεφαλαιωτικά προκύπτει ότι ο απλός επίπεδος συλλέκτης κρίνεται ως η καλύτερη εναλλακτική για την εγκατάστασή του στην περιοχή των Χανίων. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε αναγκαίο να πραγματοποιηθεί στην πορεία μια εκτενής περιβαλλοντική αποτίμηση ενός συστήματος με απλό επίπεδο συλλέκτη για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε οικιακό περιβάλλον.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

Στο πέμπτο κεφάλαιο, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς και των τριών λογισμικών (RETSCREEN, f-chart, SimaPro), σύμφωνα με τα οποία ο απλός επίπεδος συλλέκτης κρίνεται ως η καλύτερη εναλλακτική για την εγκατάστασή του στην περιοχή των Χανίων, διεξάγεται μέσω του λογισμικού SimaPro μια εκτενής περιβαλλοντική αποτίμηση ενός συστήματος απλού επίπεδου συλλέκτη για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε οικιακό περιβάλλον.

## 5.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

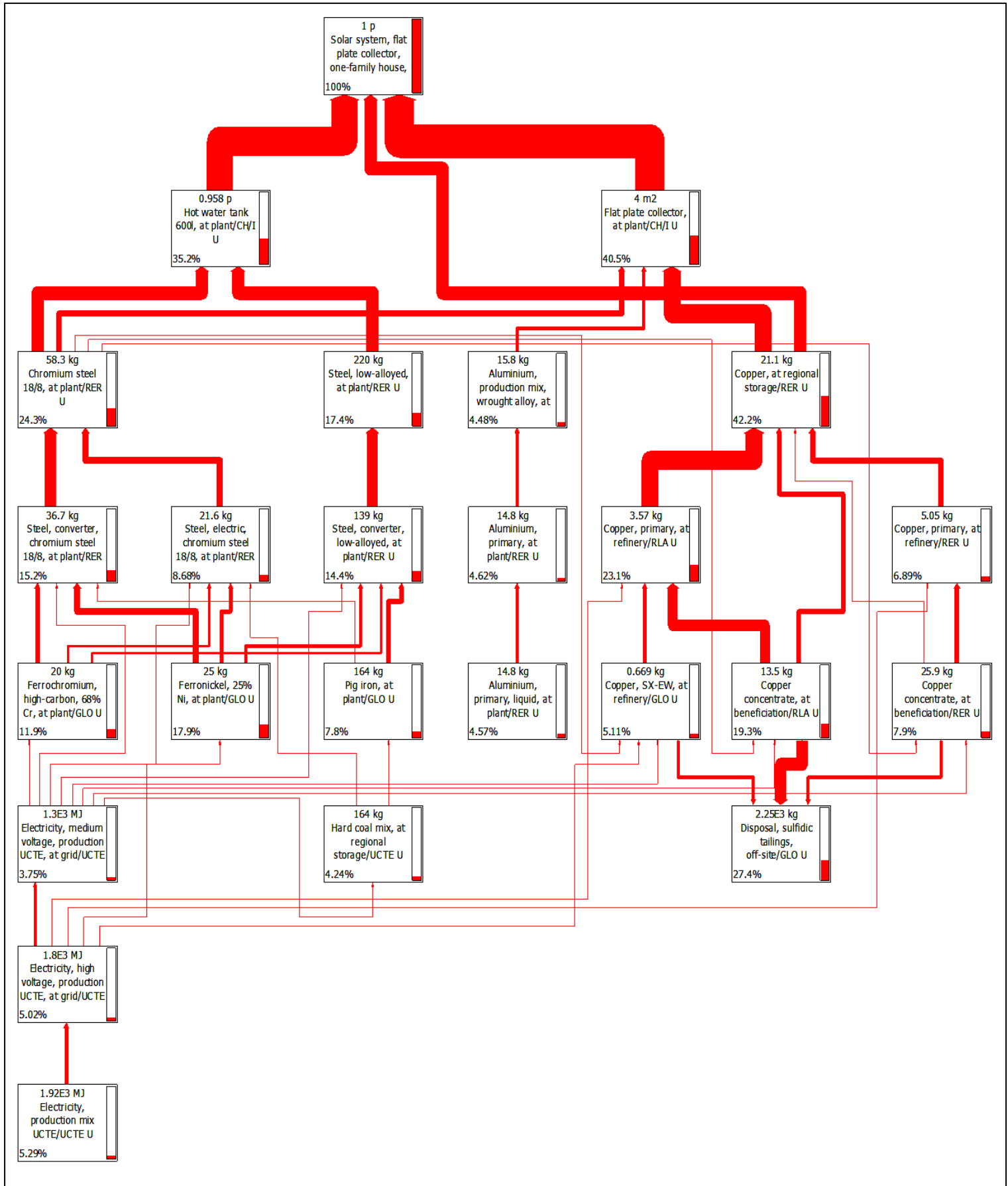
Η ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και του οικολογικού αντίκτυπου ενός συστήματος επίπεδου ηλιακού συλλέκτη με σκοπό την παροχή ζεστού νερού χρήσης σε οικιακό περιβάλλον, πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού SimaPro. Η βάση δεδομένων που διατίθεται από το λογισμικό, εμπεριέχει στοιχεία επαρκή για ανάλυση κύκλου ζωής από τη γέννηση του προϊόντος μέχρι την τελική διάθεσή του, όπως αναφέρεται στη διεθνή ορολογία σύμφωνα με τα πρότυπα του οργανισμού ISO (ISO 14040-14043), **from cradle-to-grave analysis**. Για την αποτίμηση των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε η μέθοδος αποτίμησης **Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E**.

### 5.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το λογισμικό παράγει δίκτυο στο οποίο παρουσιάζεται το σύνολο των διαδικασιών. Κάθε πλαίσιο αντιπροσωπεύει μία διαδικασία. Τα βέλη παρουσιάζουν τις ροές μεταξύ των διαδικασιών. Η κόκκινη στήλη στο δεξί μέρος του κάθε πλαισίου υποδεικνύει το περιβαλλοντικό φορτίο που παράγεται σε κάθε διαδικασία και στις ανάντι διαδικασίες της. Αυτό είναι ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό καθώς γίνεται εύκολα αντιληπτό ποια διαδικασία κρίνεται ως σημαντική και ποια λιγότερο.

Για την παρουσίαση του δικτύου επιλέχθηκε ο δείκτης τελικού αποτελέσματος (single score). Δεδομένου ότι το δίκτυο του συστήματος αποτελείται από 2048 κόμβους ορίστηκε κατώφλι συνεισφοράς της τάξεως του 3,2% για την απεικόνιση του. Σύμφωνα με τον παραπάνω περιορισμό το δίκτυο που διαφαίνεται παρακάτω αποτελείται από κόμβους που έχουν συνεισφορά μεγαλύτερη των 3,2 ποσοστιαίων μονάδων.

Παρατηρείται ότι η μέγιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση προκαλείται από τον κόμβο που αντιστοιχεί στον επίπεδο συλλέκτη με ποσοστό επιβάρυνσης 40,5%. Ακολουθεί η δεξαμενή αποθήκευσης με ποσοστό συνεισφοράς 35,2%. Οι παραπάνω ενδείξεις διασαφηνίζονται από τη χρήση εντονότερων γραμμών ροής.



Εικόνα 5.1: Δίκτυο Συστήματος – Κατώφλι συνεισφοράς 3,2%

## 5.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ

### 5.2.1 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ

#### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ

#### ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΛΑΒΗΣ

Από το παρακάτω διάγραμμα διακρίνεται ότι οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις προκαλούνται από τον επίπεδο συλλέκτη, τη δεξαμενή αποθήκευσης ύδατος και στον κόμβο που αντιστοιχεί σε όλες τις διαδικασίες που σχετίζονται με το χαλκό. Οι τομείς επίδρασης που εξετάζονται είναι η ανθρώπινη υγεία, η ποιότητα του οικοσυστήματος και οι πόροι. Αναλυτικά:

❖ Ανθρώπινη υγεία :

Στη συγκεκριμένη κατηγορία βλάβης η μέγιστη επιβάρυνση προκαλείται από τον επίπεδο συλλέκτη. Ακολουθεί η δεξαμενή αποθήκευσης και τέλος ο χαλκός. Το τελικό αποτέλεσμα που διακρίνουμε από την περιβαλλοντική επιβάρυνση των κόμβων της προπυλενογλυκόλης και της μεταφοράς (μέσω φορτηγών) είναι σημαντικό αλλά επισκιάζεται από τις ιδιαίτερα μεγαλύτερες τιμές που εντοπίζονται στις τρεις περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν.

❖ Ποιότητα οικοσυστήματος:

Σε αντίθεση με την προηγούμενη κατηγορία το μέγιστο περιβαλλοντικό φορτίο προκαλείται από τη δεξαμενή αποθήκευσης. Ακολουθεί ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης και έπεται ο κόμβος του χαλκού.

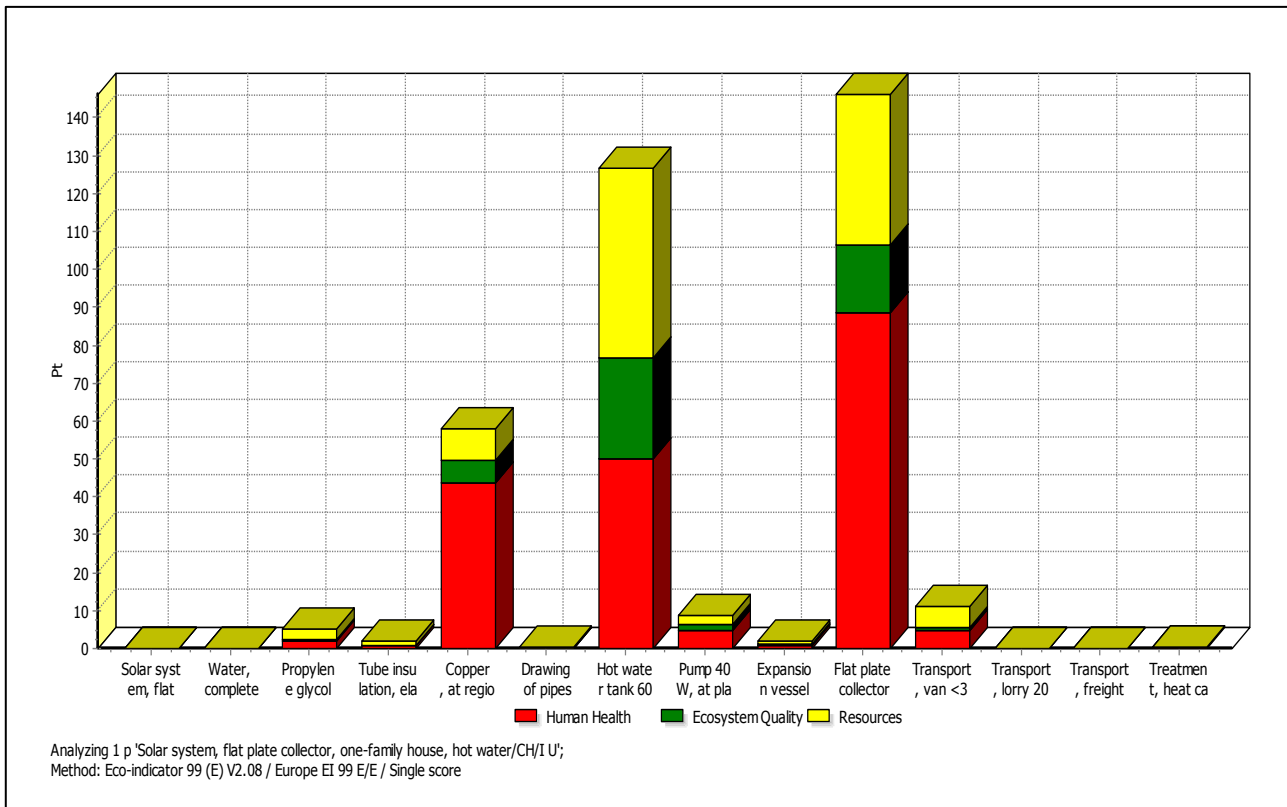
❖ Πόροι:

Η κατάταξη των περιβαλλοντικών φορτίων στην κατηγορία των πόρων ταυτίζεται με αυτήν της ποιότητας οικοσυστήματος.

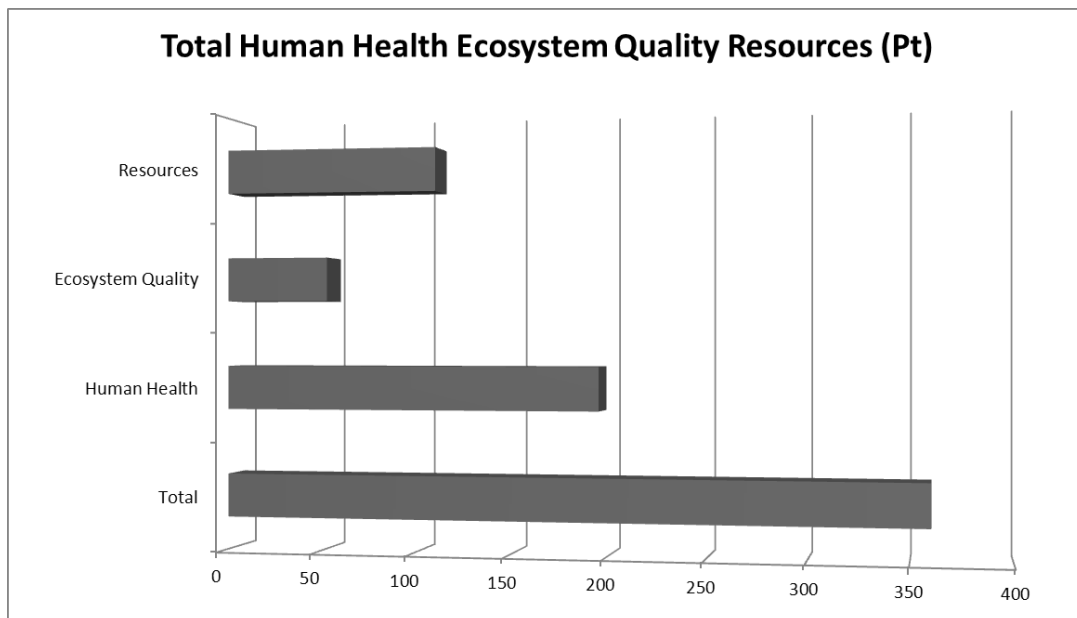
Οι παραπάνω διαπιστώσεις παρουσιάζονται στον πίνακα και το διάγραμμα που ακολουθεί:

Damage category	Unit	Total	Flat plate collector	Hot water tank	Copper
<b>Total</b>	Pt	360.44217	146.143	126.8023	57.8095
<b>Human Health</b>	Pt	195.80286	88.72232	49.89126	43.7155
<b>Ecosystem Quality</b>	Pt	53.542793	17.87717	26.58586	6.007074
<b>Resources</b>	Pt	111.09652	39.54354	50.32522	8.086932

**Εικόνα 5.2:** Δείκτης: Τελικό αποτέλεσμα –Πίνακας τιμών κατανομής περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης– Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας



Εικόνα 5.3: Δείκτης: Τελικό αποτέλεσμα - Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης – Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας



Εικόνα 5.4: Δείκτης: Τελικό αποτέλεσμα – Συνολικό Σκορ Ανά Κατηγορία Βλάβης- Σενάριο Οικίας

**ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ**

Στο τρέχον κομμάτι του λογισμικού γίνεται επιμέρους ανακαταμερισμός των κατηγοριών βλάβης σε επιμέρους λεπτομερέστερες κατηγορίες επίδρασης που σχετίζονται με αυτές. Οι κατηγορίες καρκινογόνων ουσιών και οργανικών ή ανόργανων ουσιών που συμβάλλουν σε παθήσεις του

αναπνευστικού συστήματος αντιστοιχούν στην ευρύτερη κατηγορία της ανθρώπινης υγείας. Η ευρύτερη κατηγορία της ποιότητας οικοσυστήματος υποδιαιρείται στις κατηγορίες επίπτωσης: κλιματική αλλαγή, ακτινοβολία, εξασθένηση της στοιβάδας του όζοντος, τοξικότητα, οξίνιση του περιβάλλοντος-ευτροφισμός. Τέλος, η κατηγορία των πόρων εμπεριέχει τις εξείς επιπτώσεις: χρήση εδάφους, ορυκτά καύσιμα.

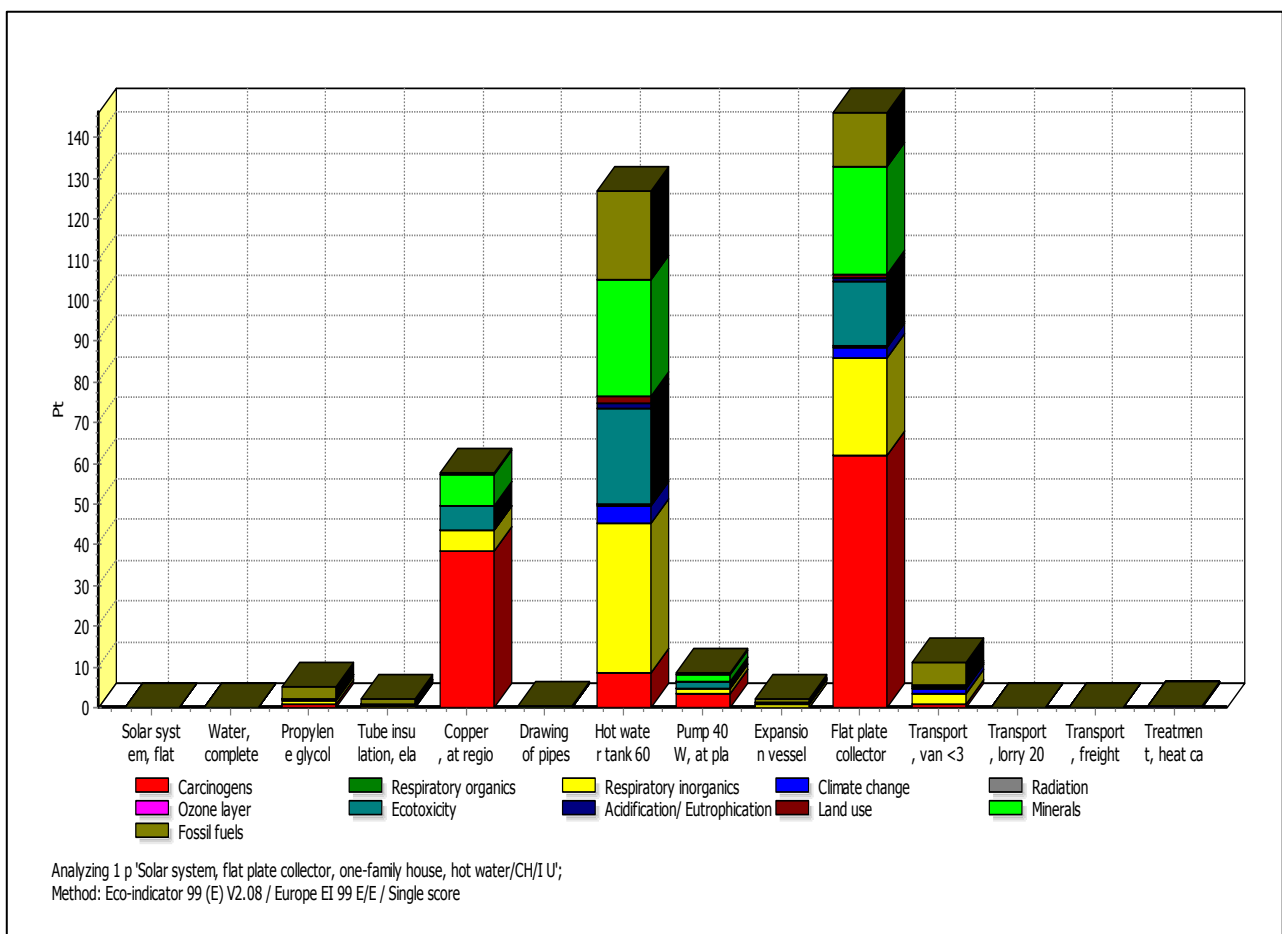
Έπειτα από τους υπολογισμούς του λογισμικού προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία πρωτοστατούν οι καρκινογόνες και οι ανόργανες ουσίες που επηρεάζουν το αναπνευστικό σύστημα. Η έκλυση καρκινογόνων ουσιών εντοπίζεται κατά κύριο λόγο στον επίπεδο συλλέκτη και στο χαλκό, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό της έκλυσης ανόργανων ουσιών παρατηρείται στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Σχετικά με την ποιότητα του οικοσυστήματος, η οικοτοξικότητα και η κλιματική αλλαγή συμβάλλουν κυρίως στο τελικό αποτέλεσμα, με την πρώτη να εμφανίζεται τόσο στο συλλέκτη, στη δεξαμενή όσο και στο χαλκό (σε μικρότερο ωστόσο ποσοστό), ενώ η δεύτερη κατά κύριο λόγο στο συλλέκτη και τη δεξαμενή.

Αναφορικά με τον τομέα των πόρων, διακρίνεται εντονότερη η συνεισφορά των ορυκτών καυσίμων και των ορυκτών, ενδείξεις οι οποίες απαντώνται σε μεγαλύτερο ποσοστό στον επίπεδο συλλέκτη και στη δεξαμενή αποθήκευσης σε σχέση με τις υπόλοιπες διαδικασίες (χαλκός).

Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που σχολιάστηκαν στην παρούσα φάση:



**Εικόνα 5.5:** Δείκτης: Τελικό αποτέλεσμα – Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης – Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

Impact category	Unit	Total
<b>Total</b>	Pt	360.44217
<b>Carcinogens</b>	Pt	114.43
<b>Respiratory organics</b>	Pt	0.04145847
<b>Respiratory inorganics</b>	Pt	71.644915
<b>Climate change</b>	Pt	9.4384095
<b>Radiation</b>	Pt	0.24324759
<b>Ozone layer</b>	Pt	0.00482284
<b>Ecotoxicity</b>	Pt	47.452721
<b>Acidification/ Eutrophication</b>	Pt	2.5158456
<b>Land use</b>	Pt	3.5742269
<b>Minerals</b>	Pt	64.650872
<b>Fossil fuels</b>	Pt	46.445651

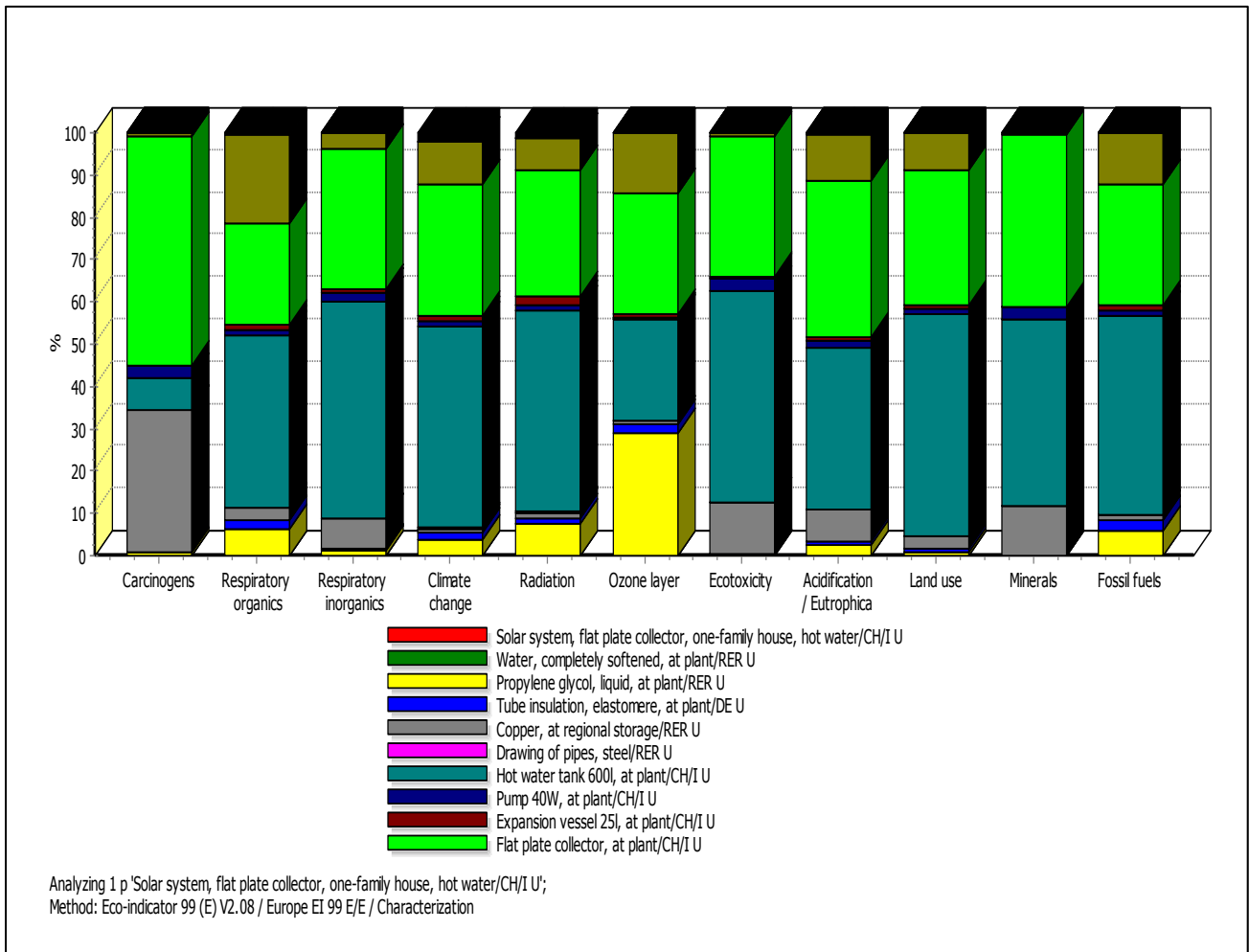
**Εικόνα 5.6:** Δείκτης: Τελικό αποτέλεσμα – Πίνακας τιμών κατανομής περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης – Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

## 5.2.2 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ

### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

Τα αποτελέσματα που εξάγονται με τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου, οπτικοποιούν καλύτερα σε ποσοστιαία κλίμακα τα αποτελέσματα της ανάλυσης του συστήματος. Η αποτίμηση αφορά τις εξειδικευμένες κατηγορίες επίπτωσης που σχετίζονται με την ανάλυση κύκλου ζωής (LCA 14040). Ο βαθμός συνεισφοράς της κάθε διαδικασίας υποδηλώνεται από το αντίστοιχο χρώμα στην εκάστοτε στήλη. Η διευκρίνιση των χρωματικών διαφορών διευκρινίζεται από το υπόμνημα στο κάτω μέρος του διαγράμματος.



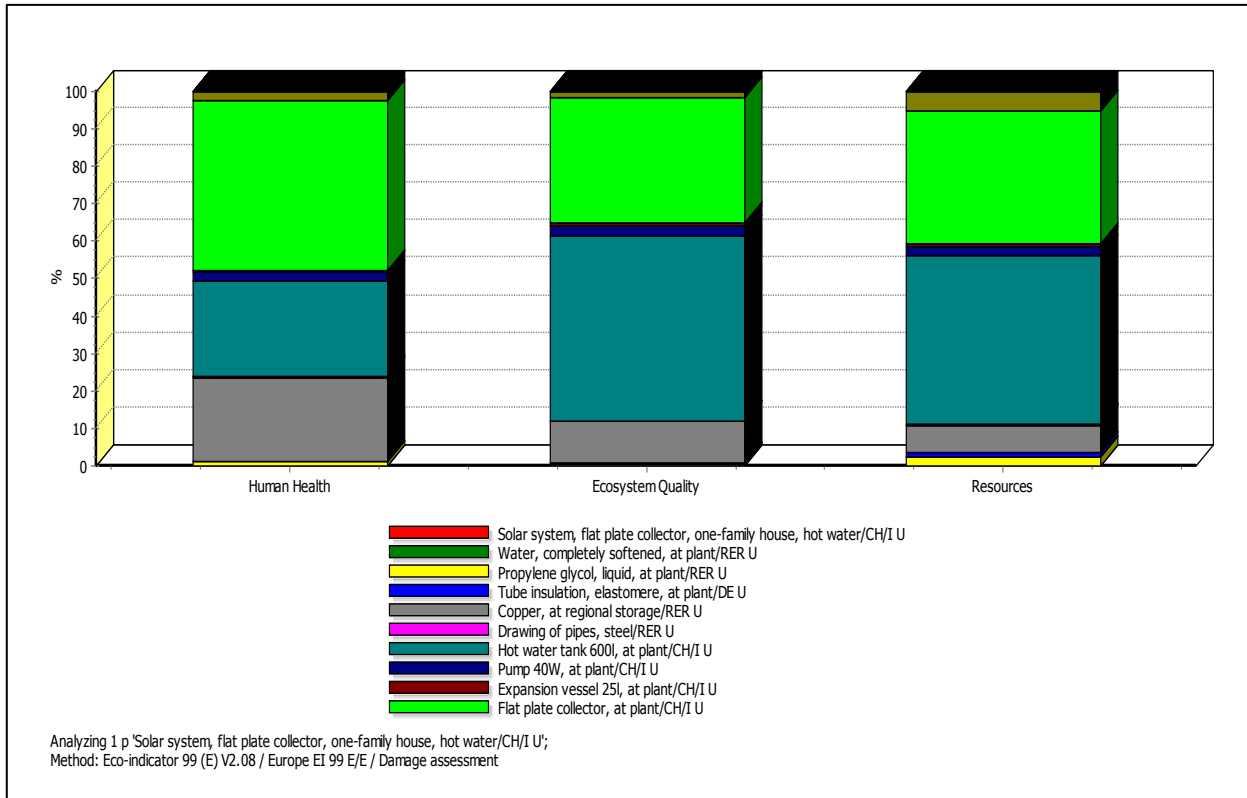


**Εικόνα 5.7:** Δείκτης: Χαρακτηρισμός - Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης- Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

### 5.2.3 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΒΛΑΒΗΣ

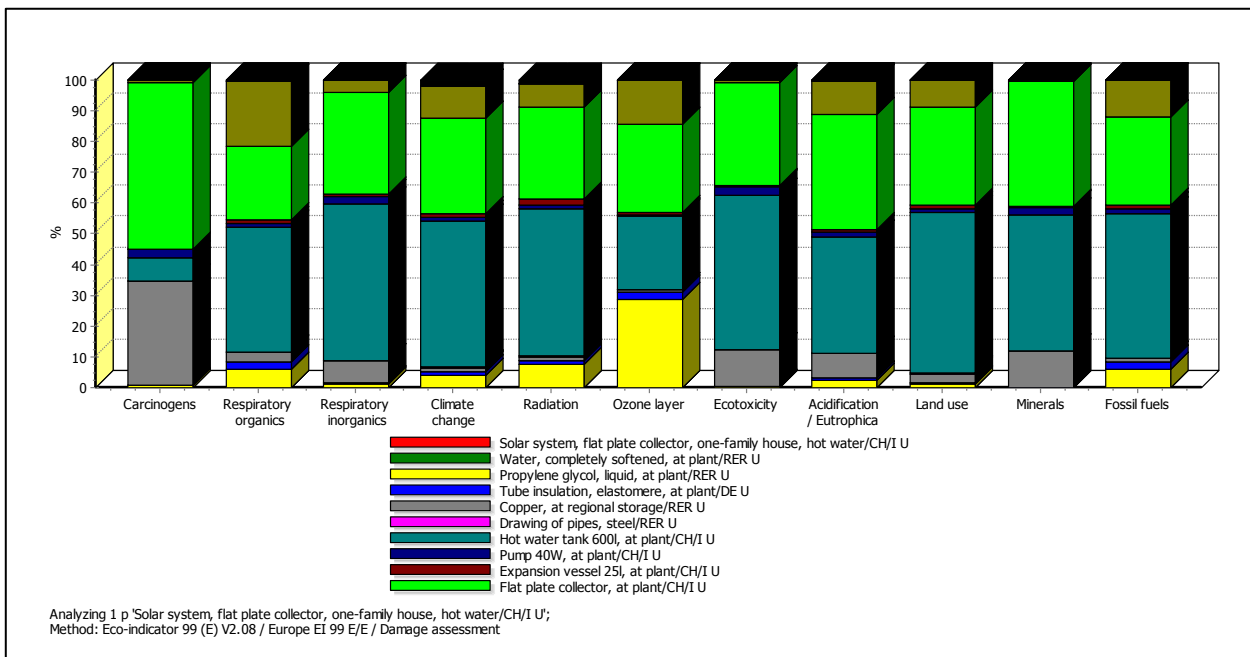
#### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΛΑΒΗΣ

Σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι ο συνδυασμός ενός πλήθους δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης σε μια ευρύτερη κατηγορία βλάβης (Damage Category). Συμπύσσοντας τις επιβαρύνσεις σε συγκεκριμένες ευρείες καθίσταται ευκολότερο να αξιολογηθεί η συνολική επιβάρυνση που προκαλείται από κάθε κατηγορία ευρείας επίδρασης στις κατηγορίες βλάβης.



Εικόνα 5.8: Δείκτης: Αποτίμηση βλάβης- Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης – Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

**ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ**

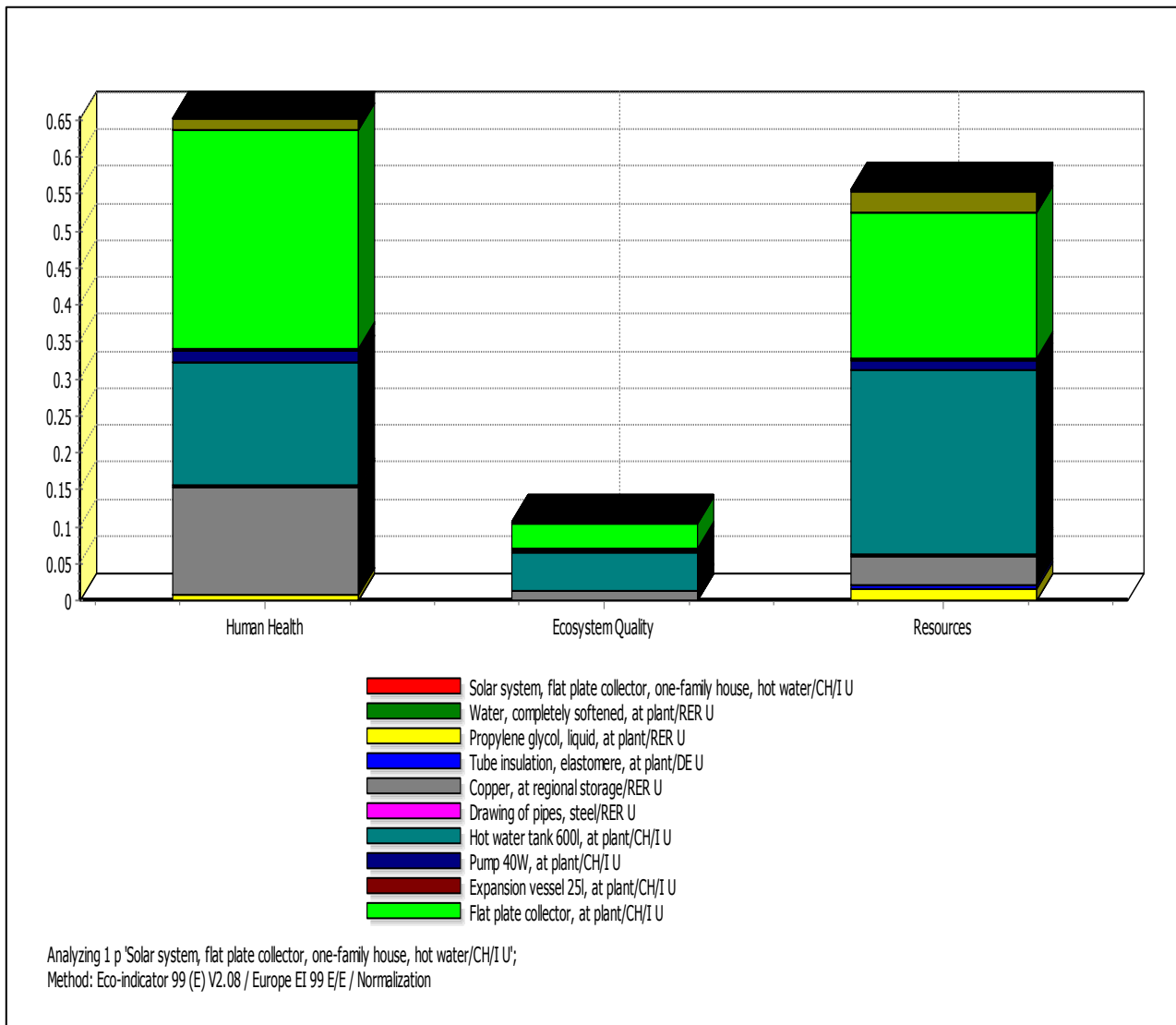


Εικόνα 5.9: Δείκτης: Αποτίμηση βλάβης – Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης – Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

### 5.2.4 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

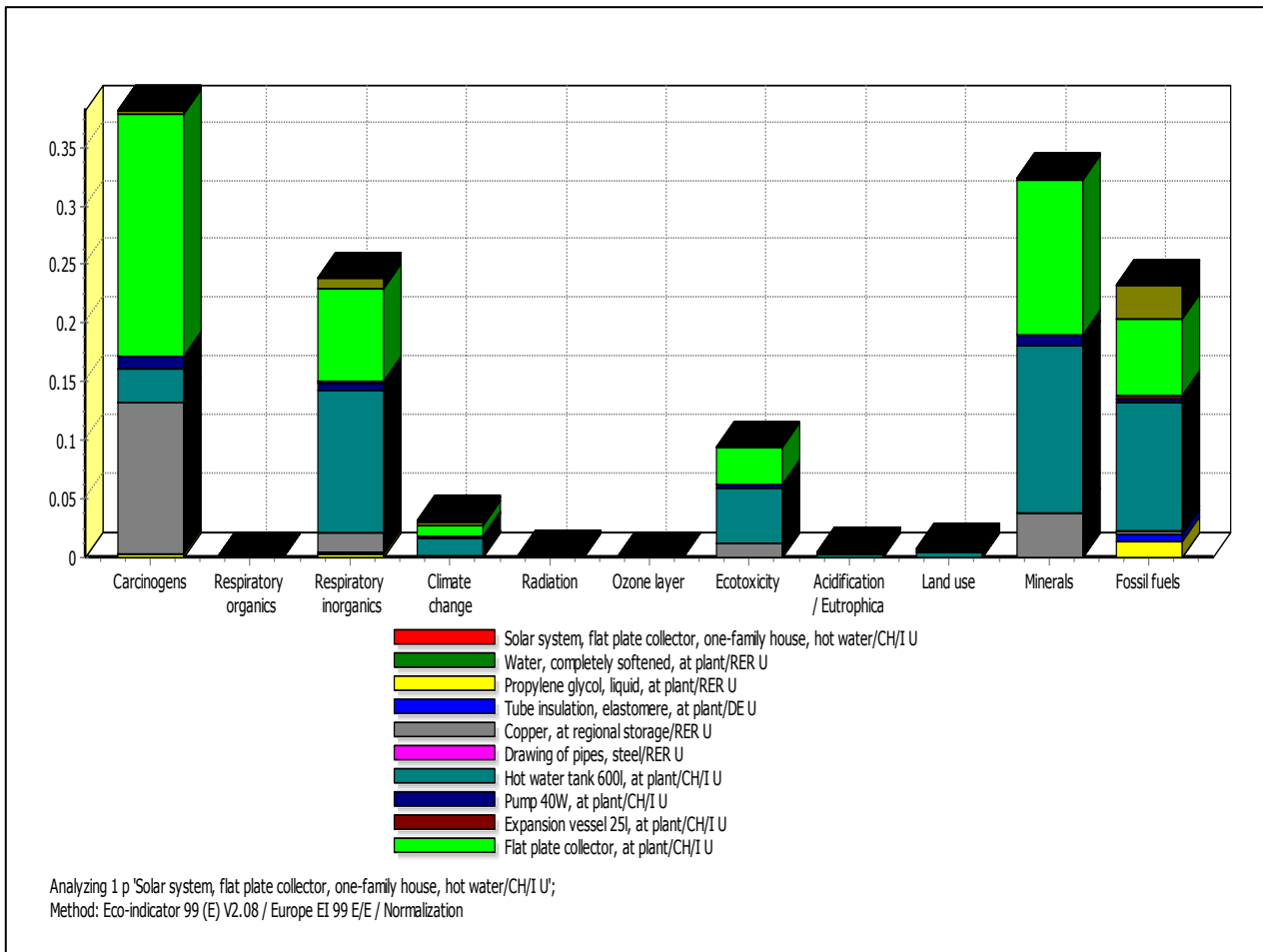
#### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΛΑΒΗΣ

Η κανονικοποίηση ως μέθοδος αποτίμησης αντικτύπου δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Διαδικασία που επιτυγχάνεται μέσω της διαίρεσης των δεικτών με το σημείο αναφοράς, ανάγοντας κατά αυτόν τον τρόπο όλους τους δείκτες στην ίδια μονάδα μέτρησης. Σημείο αναφοράς ορίζεται ευρέως το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο ανά χώρα ή ήπειρο, διαιρούμενο με τον αντίστοιχο πληθυσμό.



**Εικόνα 5.10:** Δείκτης: Κανονικοποίηση - Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης – Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

**ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ  
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ**



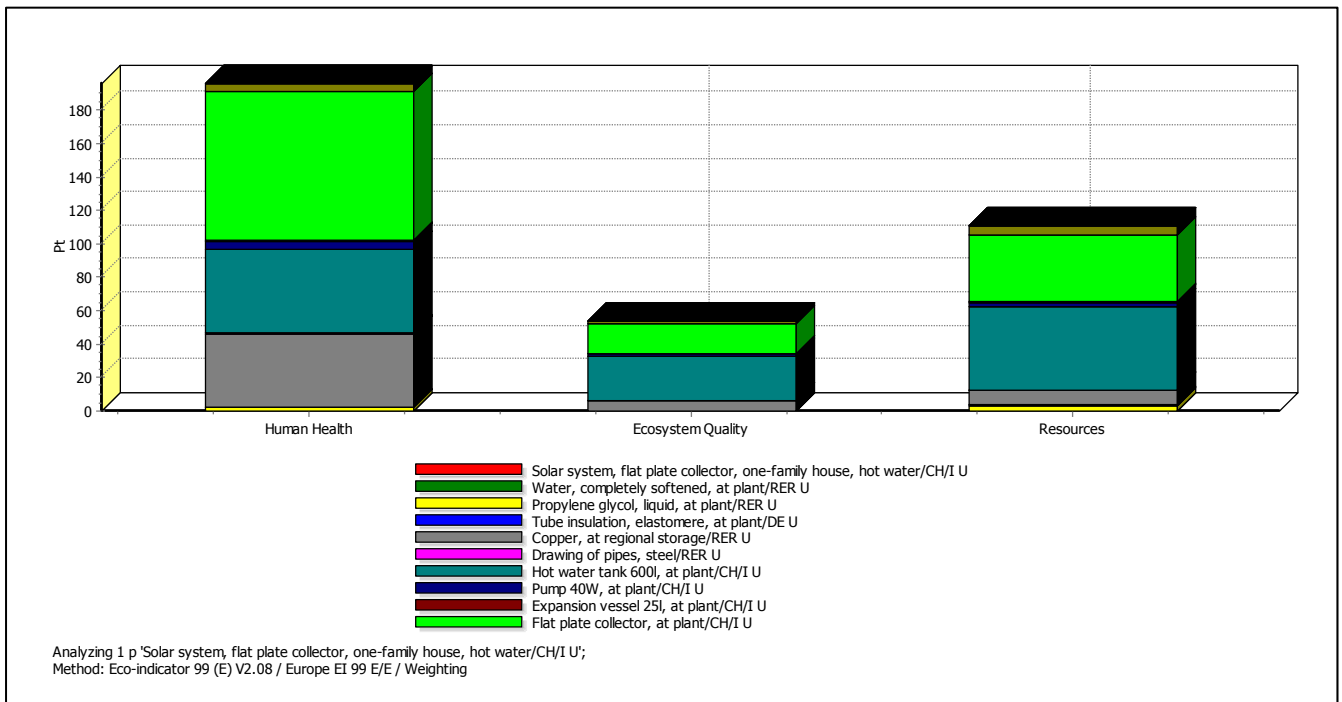
**Εικόνα 5.11:** Δείκτης: Κανονικοποίηση - Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης – Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

**5.2.5 ΔΕΙΚΤΗΣ: ΣΤΑΘΜΙΣΗ**

**ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ  
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΛΑΒΗΣ**

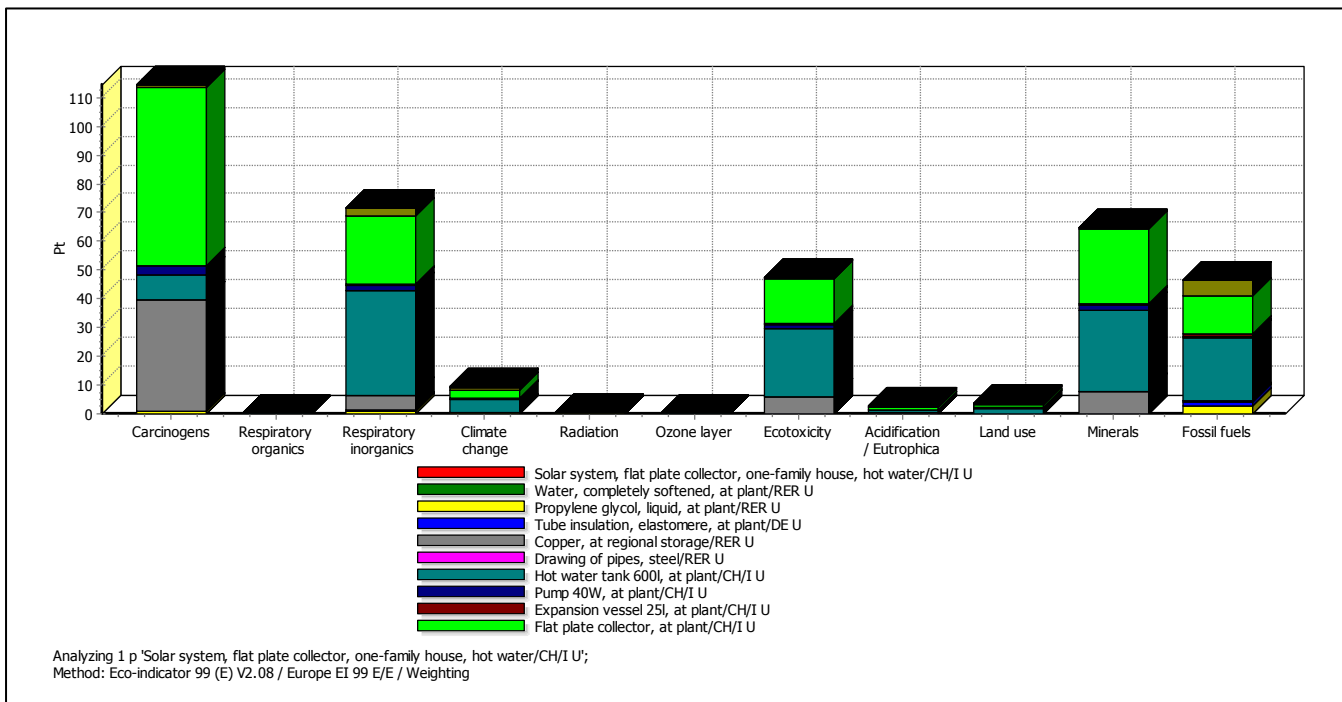
Στη συγκεκριμένη μέθοδο τα δεδομένα πολλαπλασιάζονται είτε με τους δείκτες κατηγορίας ευρείας επίδρασης είτε τους αντίστοιχους δείκτες κατηγορίας βλάβης (Damage Category Indicator) με ένα συντελεστή στάθμισης (weighting factor), προσθέτοντας τα νέα αποτελέσματα ώστε να προκύψει ένα συνολικό τελικό αποτέλεσμα. Η στάθμιση δύναται να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα ή μη δεδομένα.

Indicator: Weighting



Εικόνα 5.12: Δείκτης: Στάθμιση -- Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία βλάβης -Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

**ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ**



Εικόνα 5.13: Δείκτης: Στάθμιση-- Κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης -Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Σενάριο Οικίας

### 5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΥΡΕΙΑΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

Στο τρέχων κομμάτι της εργασίας πραγματοποιείται η αποτίμηση της περιβαλλοντικής βλάβης των διαδικασιών του συστήματος εκφρασμένη σε ειδικά διαμορφωμένους δείκτες. Οι διαδικασίες εξετάζονται υπό το πρίσμα της επιρροής τους στις κύριες κατηγορίες βλάβης σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εφαρμογής του χαρακτηρισμού ως μεθόδου αποτίμησης. Αναλυτικά οι δείκτες (μονάδες) που χρησιμοποιούνται για την εκάστοτε επίδραση είναι οι εξής:

- ❖ DALY –Disability adjusted life years- Έτη ζωής με αναπηρία
  - ❖ Καρκινογόνες ουσίες – Κλιματική αλλαγή - Ακτινοβολία

Το DALY είναι ένα εναλλακτικό εργαλείο, το οποίο έκανε την εμφάνισή του στις αρχές του '90, ως ένα μέσο ποσοτικοποίησης του φορτίου της νόσου. Τα DALYs αθροίζουν τα χρόνια που χάνονται (YLL, Years of Life Lost) εξαιτίας πρόωμης θνησιμότητας και τα χρόνια που ζει κανείς με αναπηρία ή νόσο (YLD, Years Lived in Disability /Disease).

Τα YLL υπολογίζονται ως ο αριθμός των θανάτων σε κάθε ηλικία, πολλαπλασιασμένων με το προσδόκιμο ζωής για κάθε ηλικία. Τα YLD αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των περιστατικών με νόσο/αναπηρία σε μια περίοδο, πολλαπλασιασμένων με τη μέση διάρκεια της νόσου/αναπηρίας και σταθμισμένων από ένα παράγοντα ανικανότητας. Για παράδειγμα, μια γυναίκα με πρότυπο προσδόκιμο ζωής τα 82,5 έτη, η οποία πεθαίνει στα 50 έτη, έχει 32,5 YLL. Εάν επιπλέον τυφλωνόταν σε ηλικία 45 ετών, θα είχε 5 επιπλέον έτη σε μια κατάσταση αναπηρίας που αντιστοιχεί σε σταθμικό παράγοντα 0,33, οπότε θα είχε  $0,33 * 5 = 1,65$  YLD. Συνολικά, αυτό θα σήμαινε 34,15 DALYs.

Για τα DALYs η κλίμακα που χρησιμοποιείται για να μετρήσει την κατάσταση της υγείας αναστρέφεται σε μια κλίμακα «σοβαρότητας της νόσου», όπου το «0» σημαίνει πλήρη υγεία και το «1» σημαίνει θάνατο. Οι σταθμικοί δείκτες είναι προσαρμοσμένοι ηλικιακά, ώστε να αντανakλούν την κοινωνική προτίμηση για τα χρόνια ζωής ενός νεαρού ενήλικα (σε σχέση με ένα μεγαλύτερο σε ηλικία ενήλικα ή ένα μικρό παιδί). Επιπλέον, εκπίπτουν με το χρόνο, ευνοώντας τα άμεσα οφέλη για την υγεία έναντι των μακροχρόνιων.

- ❖ PAFm2yr - Potentially affected fraction
  - ❖ Οικοτοξικότητα

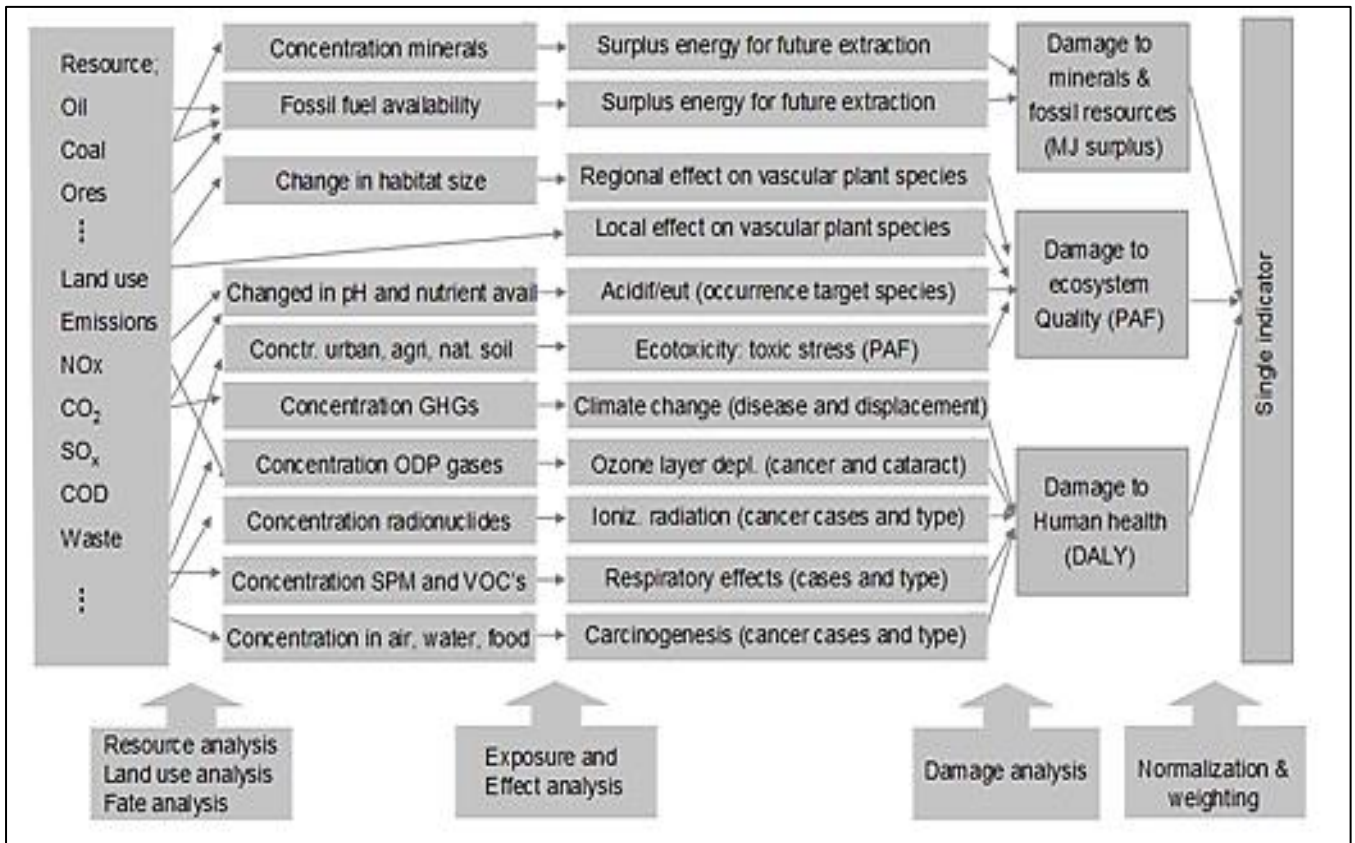
Το ποσοστό όλων των παρόντων ειδών που ζουν υπό τοξικό στρες.

- ❖ PDFm2yr - Potentially disappeared fraction – Κλάσμα δυνητικά εξαφανισμένων φυτικών ειδών
  - ❖ Οξίνιση - ευτροφισμός

Εκφράζεται ως το ποσοστό των ειδών που έχουν εξαφανιστεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή λόγω του περιβαλλοντικού φορτίου.

- ❖ MJ surplus – Additional energy requirement to compensate lower future ore grade – Πρόσθετη απαίτηση σε ενέργεια για να αντισταθμιστούν τα χαμηλότερα αποθέματα κοιτασμάτων
  - ❖ Φυσικοί πόροι

Η λήψη φυσικών πόρων σχετίζεται με μια παράμετρο, η οποία υποδεικνύει την ποιότητα των εναπομεινάντων κοιτασμάτων ορυκτών πόρων και ορυκτών καυσίμων. Και στις δυο περιπτώσεις η εξαγωγή αυτών των φυσικών πόρων θα έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε μελλοντική εκμετάλλευση.



Εικόνα 5.14: Σχηματικό διάγραμμα για τη μέθοδο Eco-indicator 99 σύμφωνα με το Manual του SimaPro

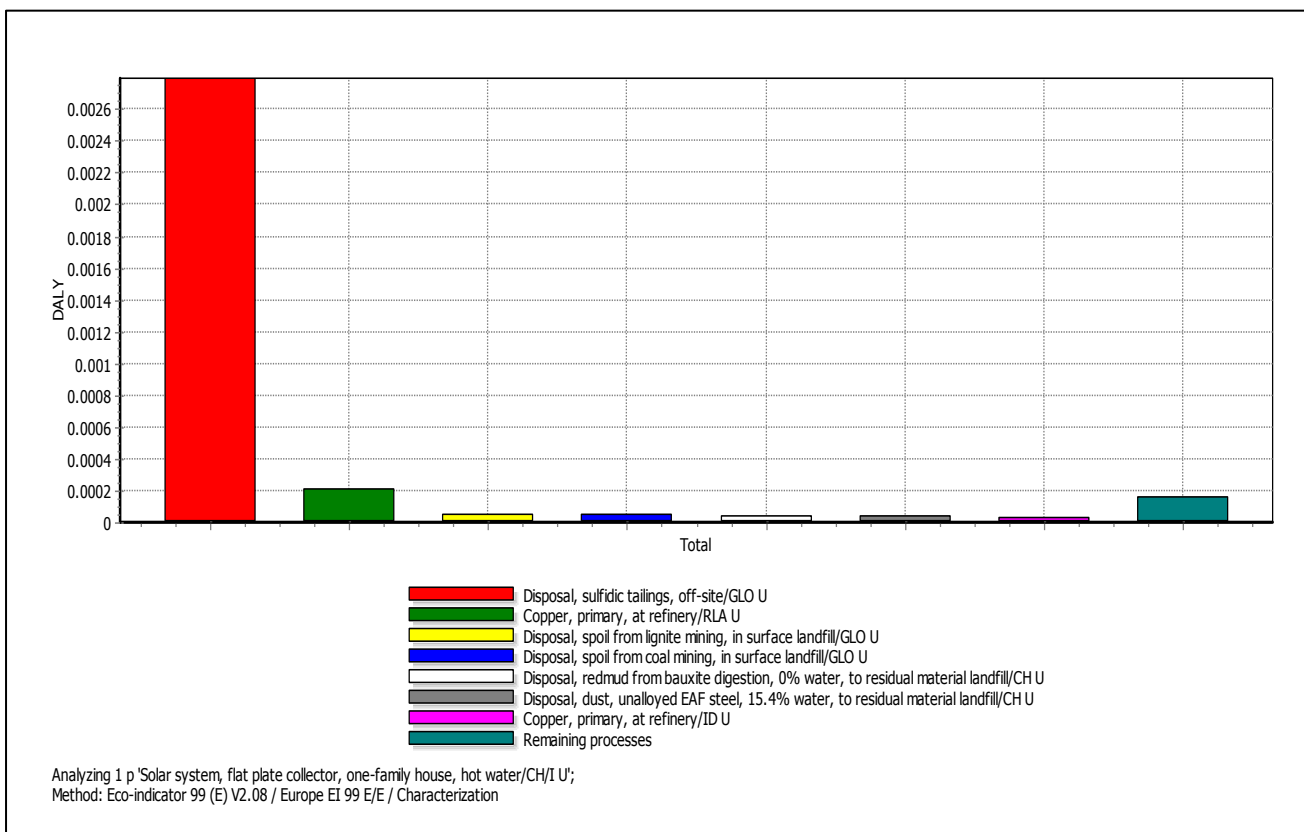
Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων και πλήθους διαδικασιών, ορίσθηκε κατώφλι συνεισφοράς 0,55% προκειμένου να γίνει δυνατή η διαγραμματική απεικόνιση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Κατά τον παραπάνω περιορισμό παρουσιάζονται, στα διαγράμματα που ακολουθούν, διαδικασίες οι οποίες συνεισφέρουν κατά 0,55% ή περισσότερο της συνολικής επιβάρυνσης της κάθε επίπτωσης.

### 5.3.1 ΚΑΡΚΙΝΟΓΟΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

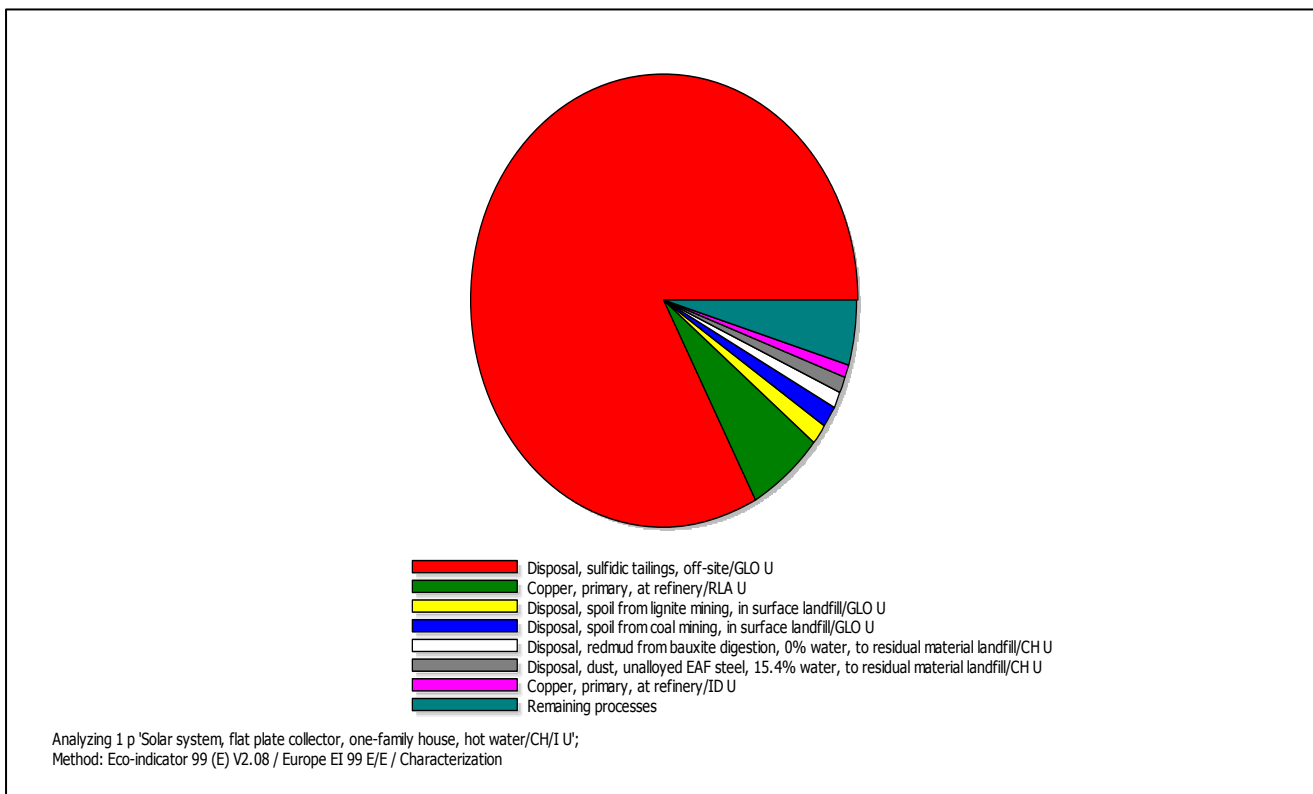
Στην συγκεκριμένη κατηγορία επίδρασης εντοπίζεται ως κύριος παράγοντας η τελική διάθεση απορριμμάτων που εμπριέχουν σουλφίδια.

Στη Χημεία και Βιοχημεία με το συνοπτικό όνομα σουλφίδια, ή σουλφίδες, (εκ του αγγλικού όρου sulfides), χαρακτηρίζονται τόσο οργανικές όσο και ανόργανες ενώσεις του θείου (S) με άλλα στοιχεία ή ρίζες. Έτσι τα σουλφίδια διακρίνονται σε οργανικά σουλφίδια και ανόργανα σουλφίδια, καλούμενα και σουλφίδια μετάλλων.

Για παράδειγμα στα οργανικά σουλφίδια περιλαμβάνονται οι θειαιθέρες του τύπου R-S-R' (όπου R και R' είναι οργανικές ρίζες), ενώ στα ανόργανα σουλφίδια περιλαμβάνονται τα θειούχα άλατα των μετάλλων (π.χ. το θειούχο νάτριο, ή σουλφίδιο νατρίου, (Na<sub>2</sub>S). Τα σουλφίδια παρασκευάζονται είτε με διοχέτευση υδρόθειου στα άλατα μετάλλων, είτε απ' ευθείας με ένωση θείου με μέταλλα.



Εικόνα 5.15: Καρκινογόνες ουσίες - Σενάριο Οικίας



Εικόνα 5.16: Καρκινογόνες ουσίες - Σενάριο Οικίας (Διάγραμμα Πίτας)



### 5.3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

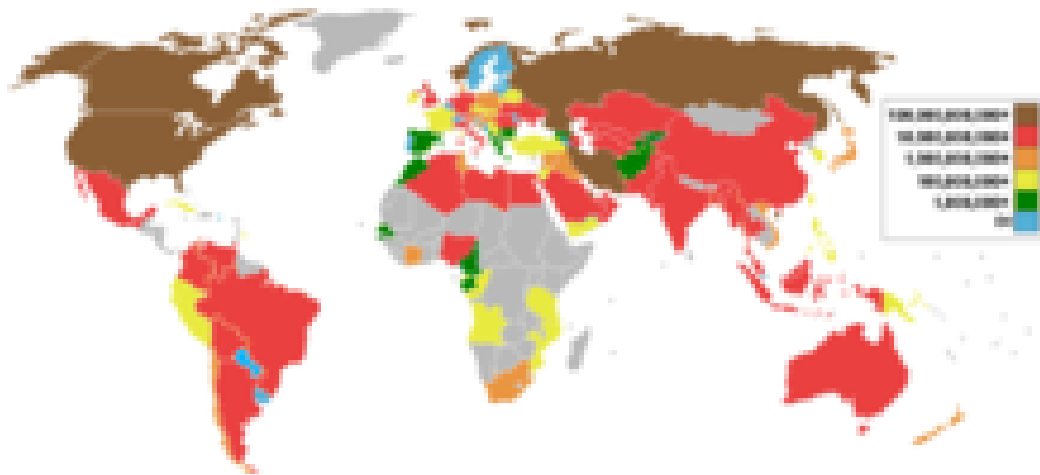
Στην συγκεκριμένη κατηγορία επίδρασης εντοπίζεται ως κύριος παράγοντας ο χυτοσίδηρος (στο εργοστάσιο) και η καύση λιθάνθρακα σε βιομηχανικούς φούρνους. Επιπλέον σημαντική κρίνεται η συμβολή της καύσης φυσικού αερίου σε βιομηχανικούς φούρνους.

Ο χυτοσίδηρος (κοινώς μαντέμι) είναι κράμα σιδήρου με άνθρακα σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 2,1% κατά βάρος. Στην πραγματικότητα με τον όρο «χυτοσίδηρος» εννοείται μία οικογένεια κραμάτων τα οποία εκτός από άνθρακα, μπορεί να περιέχουν και άλλα στοιχεία όπως πυρίτιο, κ.λπ. Οι χυτοσίδηροι είναι εύθραυστοι σε σύγκριση με τον χάλυβα, αλλά παρουσιάζουν πιο καλή αντίσταση στην τριβή και την διάβρωση.

Ο λιθάνθρακας είναι ιζηματογενές πέτρωμα μαύρου χρώματος σκληρής υφής. Σχηματίζεται από την εξανθράκωση φυτικής ύλης μέσα στην Γη. Κύριο συστατικό του είναι ο άνθρακας, ο οποίος αποτελεί το 50% του βάρους και άνω του 70% του όγκου του πετρώματος. Είναι ορυκτό καύσιμο και χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, θερμικής ενέργειας και ατσαλιού. Με ξηρή απόσταξη του λιθάνθρακα παρασκευάζεται, επίσης, το φωταέριο, μίγμα καυσίμων αερίων, αμμωνίας και άλλων ενώσεων του άνθρακα, κυρίως κυκλικών. Βασικό συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως σε αυτό και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου, καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, υδρογόνο, ήλιο και υδρόθειο.

Συστατικά	% κατά όγκο σύσταση
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	70-90
Αιθάνιο (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	5-15
Προπάνιο (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) και Βουτάνιο (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	< 5
CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, κτλ.	μικρότερες ποσότητες

Το φυσικό αέριο που είναι απαλλαγμένο από τους υδρογονάνθρακες πέραν του μεθανίου, δηλαδή το καθαρό μεθάνιο, συχνά αποκαλείται και ξηρό φυσικό αέριο. Αντίστοιχα, το φυσικό αέριο που συμπεριλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο, αποκαλείται και υγρό φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά ώστε να γίνεται αντιληπτό σε τυχόν διαρροές. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αερίων καυσίμων. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα: έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59. Η καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων όπως ο γαϊάνθρακας ή το λάδι, έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον. Παράγει, για παράδειγμα, μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Το φυσικό αέριο είναι καύσιμο και πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας. Εξορύσσεται από υπόγειες κοιλότητες στις οποίες βρίσκεται υπό υψηλή πίεση. Σε αυτές τις κοιλότητες το φυσικό αέριο σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο σχηματισμού του πετρελαίου. Μεταφέρεται προς τους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας.



Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή φυσικού αερίου (με καφέ χρώμα οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή, ακολουθούν αυτές που σημειώνονται με κόκκινο χρώμα) Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως• συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάσταση του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία.

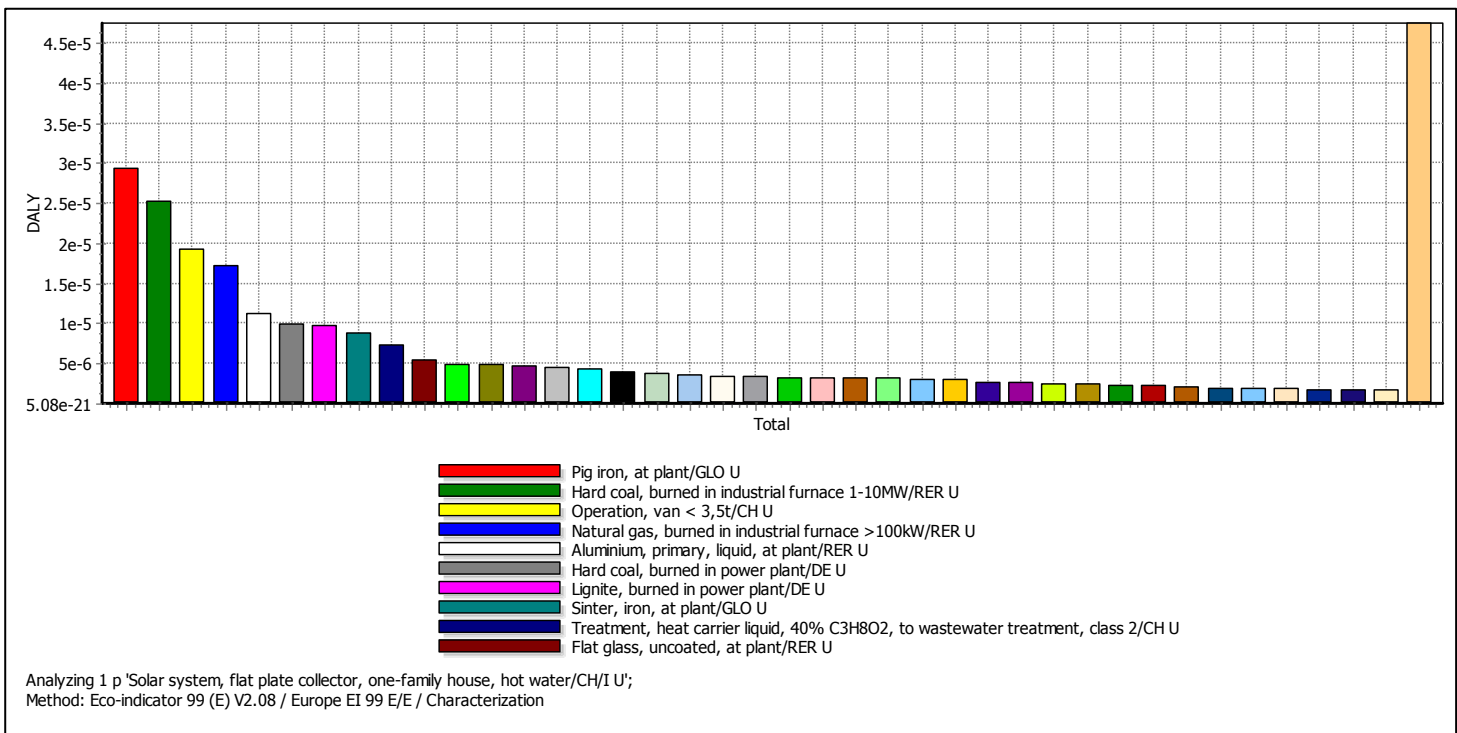
Οι μεγάλοι αγωγοί υψηλής πίεσης καθιστούν δυνατή τη μεταφορά του αερίου σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων. Παραδείγματα τέτοιων αγωγών είναι οι αγωγοί της Βόρειας Αμερικής, που εκτείνονται από το Τέξας και τη Λουιζιάνα μέχρι τη βορειοανατολική ακτή και από την Αλμπέρτα ως τον Ατλαντικό. Αγωγοί επίσης εκτείνονται από τη Σιβηρία μέχρι την Κεντρική και Δυτική Ευρώπη. Οι έρευνες για πετρέλαιο έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη μεγάλων κοιτασμάτων αερίου στην Αφρική, Μέση Ανατολή, Αλάσκα και αλλού. Η μεταφορά από τέτοιες περιοχές γίνεται με πλοία. Το αέριο υγροποιείται στους -160 βαθμούς Κελσίου και μεταφέρεται, όπως το πετρέλαιο, με δεξαμενόπλοια ειδικά κατασκευασμένα για τον σκοπό αυτό. Ένα κυβικό μέτρο υγρού φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε 600 κυβικά μέτρα αερίου σε ατμοσφαιρική πίεση. Το ειδικό βάρος του υγρού αερίου είναι σχετικά χαμηλό (περίπου 0,55).

Η Ελλάδα προμηθεύεται φυσικό αέριο από την Ρωσία και την Αλγερία.

Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται με αρκετούς τρόπους:

- ❖ Αποτελεί βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- ❖ Χρησιμοποιείται στην παραγωγή υδρογόνου.
- ❖ Ως καύσιμο οχημάτων (οικολογικά οχήματα). Το 2005, οι χώρες με τον μεγαλύτερο αριθμό οικολογικών οχημάτων ήταν η Αργεντινή, η Βραζιλία, το Πακιστάν, η Ιταλία, το Ιράν και οι Η.Π.Α.. Γίνονται, επίσης, προσπάθειες για χρήση του και στην αεροπορία.
- ❖ Οικιακή χρήση (μαγειρική, θέρμανση κ.α.)
- ❖ Άλλες χρήσεις (παραγωγή γυαλιού, υφασμάτων, ατσαλιού, πλαστικών, ειδών χρωματισμού και άλλων προϊόντων)
- ❖ Τα χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου που ευνοούν τη χρήση του στον βιομηχανικό τομέα είναι κυρίως τα εξής:

- ❖ Είναι εφικτή η συνεχής παροχή καυσίμου. Κάτι τέτοιο εξασφαλίζει απρόσκοπτη λειτουργία και αποδεσμεύει κεφάλαια που σε άλλες περιπτώσεις απαιτούνται για τη διατήρηση αποθεμάτων και αποθηκευτικών χώρων
- ❖ Έχει μειωμένες, σε σχέση με άλλα καύσιμα, εκπομπές ρύπων. Έτσι η χρήση του συμβάλλει στο καθαρότερο περιβάλλον και στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου
- ❖ Έχει μειωμένο λειτουργικό κόστος διαχείρισης καυσίμου και συντήρησης
- ❖ Αυξημένη ενεργειακή απόδοση και οικονομία
- ❖ Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων
- ❖ Ευχέρεια χειρισμού και ελέγχου
- ❖ Αποκέντρωση θερμικών χρήσεων
- ❖ Η χημική σύσταση του φυσικού αερίου (και των ομοειδών του) καθώς και η σύσταση των καυσαερίων του, συνιστούν δυο συνθήκες με υψηλό ενδιαφέρον από την σκοπιά της λειτουργίας με υψηλό βαθμό απόδοσης και της εξοικονόμησης ενέργειας ιδίως στις οικιακές εφαρμογές:
- ❖ Εξαιτίας της απουσίας προσμίξεων επιβαρυντικών για τα μέρη των συσκευών και των εγκαταστάσεων (καυστήρες, θάλαμοι καύσης, απαγωγή καυσαερίων κλπ), είναι απολύτως εφικτή η διατήρηση σταθερού βαθμού απόδοσης για ιδιαίτερα μεγάλες περιόδους.
- ❖ Επειδή τα προϊόντα της καύσης του φυσικού αερίου αποτελούνται κυρίως από νερό (υδρατμούς), καθίσταται εύκολα δυνατή η αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας των καυσαερίων (διαδικασία συμπύκνωσης), με αποτέλεσμα την αύξηση (πάνω από 20%) της ωφέλιμης θερμότητας που λαμβάνεται από δεδομένη ποσότητα καυσίμου - σημαντικό πλεονέκτημα για τον τελικό καταναλωτή αφού μπορεί να εξυπηρετήσει την εγκατάστασή του με λιγότερο καύσιμο.



Εικόνα 5.17: Κλιματική αλλαγή - Σενάριο Οικίας

### 5.3.3 ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Στην συγκεκριμένη κατηγορία επίδρασης εντοπίζεται ως κύριος παράγοντας το σε υψηλή περιεκτικότητα άνθρακα σιδηροχρώμιο καθώς και ο διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο διυλιστήριο και αφορούν τον πρωτογενή χαλκό.

Το σιδηροχρώμιο παράγεται με αναγωγή συμπυκνώματος χρωμίτη ((Fe,Mg)Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) σε κάμινους ηλεκτρικού τόξου.

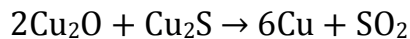
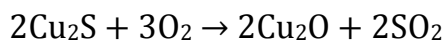
<b>Σιδηροχρώμιο (FeCr)</b>	υψηλού C: 60% Cr, 6–8% C, max 1,5% Si
----------------------------	---------------------------------------

Το χημικό στοιχείο Χαλκός (Cuprum) είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 29 και ατομικό βάρος 63,546. Έχει θερμοκρασία τήξης 1084,6 °C και θερμοκρασία βρασμού 2567 °C. Το σύμβολό του είναι Cu. Έχει κοκκινωπό χρώμα και είναι όλκιμος και ελατός. Ανήκει στην ομάδα της 1ης κύριας σειράς των στοιχείων μετάπτωσης.

Ανεύρσκεται αυτοφυής στην Φύση, ωστόσο σήμερα τα κοιτάσματα αυτοφυούς χαλκού είναι είτε περιορισμένα είτε μη οικονομικά εκμεταλλεύσιμα, όπως το αποκαλούμενο "Desseminated Copper Ore" στην Μοντάνα και άλλες Πολιτείες των ΗΠΑ.

Κυριότερα ορυκτά του χαλκού είναι ο Χαλκοπυρίτης (Cu<sub>2</sub>S), ο χαλκοσίνης, ο βορνίτης, ο κυπρίτης, ο μαλαχίτης και ο αζουρίτης (τα δύο τελευταία είναι ημιπολύτιμοι λίθοι).

Συνήθως παρασκευάζεται με φρύξη μεταλλεύματος θειούχου χαλκού, οπότε παράγεται οξείδιο του χαλκού, το οποίο αντιδρά με τον θειούχο και δίνει καθαρό χαλκό:

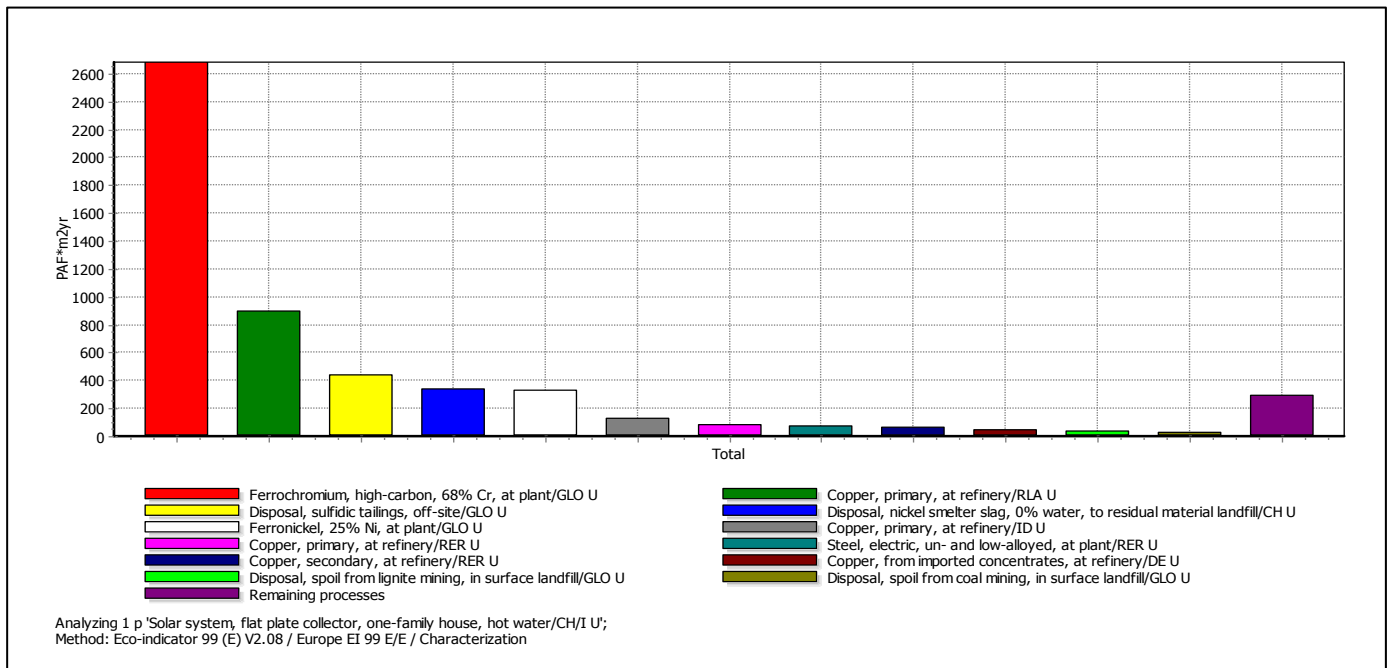


Ο παραγόμενος χαλκός δεν έχει μεγάλο βαθμό καθαρότητας. Γι' αυτό υφίσταται ηλεκτρόλυση, οπότε η καθαρότητά του φθάνει το 99,9%, ενώ στο ηλεκτρόδιο επικάθονται σίδηρος και άργυρος. Είναι μέταλλο με χαρακτηριστικό χρώμα (ερυθρό του χαλκού) και χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη. Είναι επίσης μαλακός (σκληρότητα 2.5-3 στην Κλίμακα Mohs δύστηκτος (σημείο τήξεως 1084,6° C, σημείο βρασμού 2562° C), ιδιαίτερα ελατός και όλκιμος, πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Λόγω της ιδιότητάς του όταν είναι τηγμένος να απορροφά ατμοσφαιρικό αέρα, τον οποίο αποβάλλει ψυχόμενος, δεν μπορούν να κατασκευασθούν χυτά αντικείμενα από χαλκό. Δεν εμφανίζει σχιστότητα, ενώ έχει ανώμαλη θραύση. Είναι τελείως αδιαφανής, ακόμη και σε λεπτά ελάσματα. Δεν εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες. Σε επαφή με άλλα μέταλλα εμφανίζει διαφορά δυναμικού (φαινόμενο Galvani). Ο χαλκός εμφανίζει δύο αριθμούς οξειδωσης (+1 και +2). Δεν είναι ιδιαίτερα δραστικό μέταλλο γι' αυτό και δεν αντιδρά εύκολα με άλλα στοιχεία και δεν χρησιμοποιείται ευρέως ως αναγωγικό. Στον ατμοσφαιρικό αέρα καλύπτεται αρχικά από οξείδιό του, το οποίο, με το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε ανθρακικό χαλκό, προσδίνοντάς του πρασινωπό χρώμα. Αντιδρά με οξυγόνο, θείο και αλογόνα προς τις αντίστοιχες ενώσεις. Δεν προσβάλλεται από αραιά οξέα ούτε από πυκνό θειικό οξύ, προσβάλλεται από το νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>). Έχει δύο σταθερά ισότοπα το <sup>63</sup>Cu και το <sup>65</sup>Cu.

Ο χαλκός είναι βιοστατικό στοιχείο, δηλαδή παρεμποδίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνειά του. Λόγω αυτής της ιδιότητάς του, χρησιμοποιείται για την κατασκευή βιοστατικών ινών, για πόμολα θυρών και φίλτρων σε κλιματιστικά, ιδιαίτερα σε νοσοκομειακές εγκαταστάσεις. Παλαιότερα είχε χρησιμοποιηθεί και στην ναυπηγική, επειδή δεν

επέτρεπε την ανάπτυξη θαλάσσιων οργανισμών στα ύφαλα των πλοίων.

Παλαιότερα, αλλά και σήμερα κάποιες φορές για λόγους αισθητικής, κατασκευάζονταν σφυρήλατα και άλλα μαγειρικά σκεύη από χαλκό (κοινώς μπακίρια). Η χρήση τους έχει εγκαταλειφθεί λόγω του ότι προκαλούσαν δηλητηριάσεις από το οξείδιο που δημιουργείται κατά το μαγείρεμα. Τα (σχετικά σπάνια σήμερα) χάλκινα μαγειρικά σκεύη επικασιτερώνονται (το λεγόμενο γάνωμα) ή επικαλύπτονται με ανοξείδωτο χάλυβα για να αποφεύγονται οι δηλητηριάσεις. Ο χαλκός αν έρθει σε επαφή με όξινα υλικά με pH κάτω από 6.5, που μπορεί να χρησιμοποιούνται στο μαγείρεμα, και ιδιαίτερα σε ψηλές θερμοκρασίες, μπορεί να διαβρωθεί και να μολύνει τις μαγειρεμένες τροφές με τοξικά οξείδια. Αντίθετα, δεν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης όταν ο χαλκός έρχεται σε επαφή μόνο με υγρά ουδέτερου ή βασικού pH όπως το νερό του δικτύου υδροδότησης (pH 7.2 ως 7.8). Για αυτό το λόγο η χρήση του χαλκού για μαγειρικά σκεύη είναι σπάνια, αλλά χρησιμοποιείται εκτεταμένα και άφοβα, υπό μορφή κράματος, για την κατασκευή των σωληνώσεων, στροφίγγων, βρυσών κτλ στα δίκτυα υδροδότησης πόσιμου νερού. Στην κατασκευή κτιρίων χρησιμοποιείται για στέγες και σωληνώσεις. Στις εφαρμογές του σε σωληνώσεις στα κτίρια περιλαμβάνονται εκτός από αυτές μεταφοράς θερμού ή ψυχρού νερού οικιακής χρήσης υπό πίεση, επίσης οι σωληνώσεις κεντρικής θέρμανσης με θερμαντικά σώματα με ακτινοβολία, οι σωληνώσεις θέρμανσης δαπέδων καθώς και οι σωληνώσεις φυσικού αερίου ή φωταερίου. Είναι βασικό συστατικό στην κατασκευή νομισμάτων (κερμάτων). Κυριότερα κράματά του είναι ο ορείχαλκος και ο μπρούντζος, που χρησιμοποιούνται σε ποικίλες κατασκευές, όπως εργαλεία, κατασκευή όπλων, δημιουργία αγαλμάτων (Ηνίοχος των Δελφών, Άγαλμα της Ελευθερίας), διακοσμητικών σκευών, οργάνων μέτρησης και μουσικών οργάνων (τα λεγόμενα χάλκινα πνευστά).

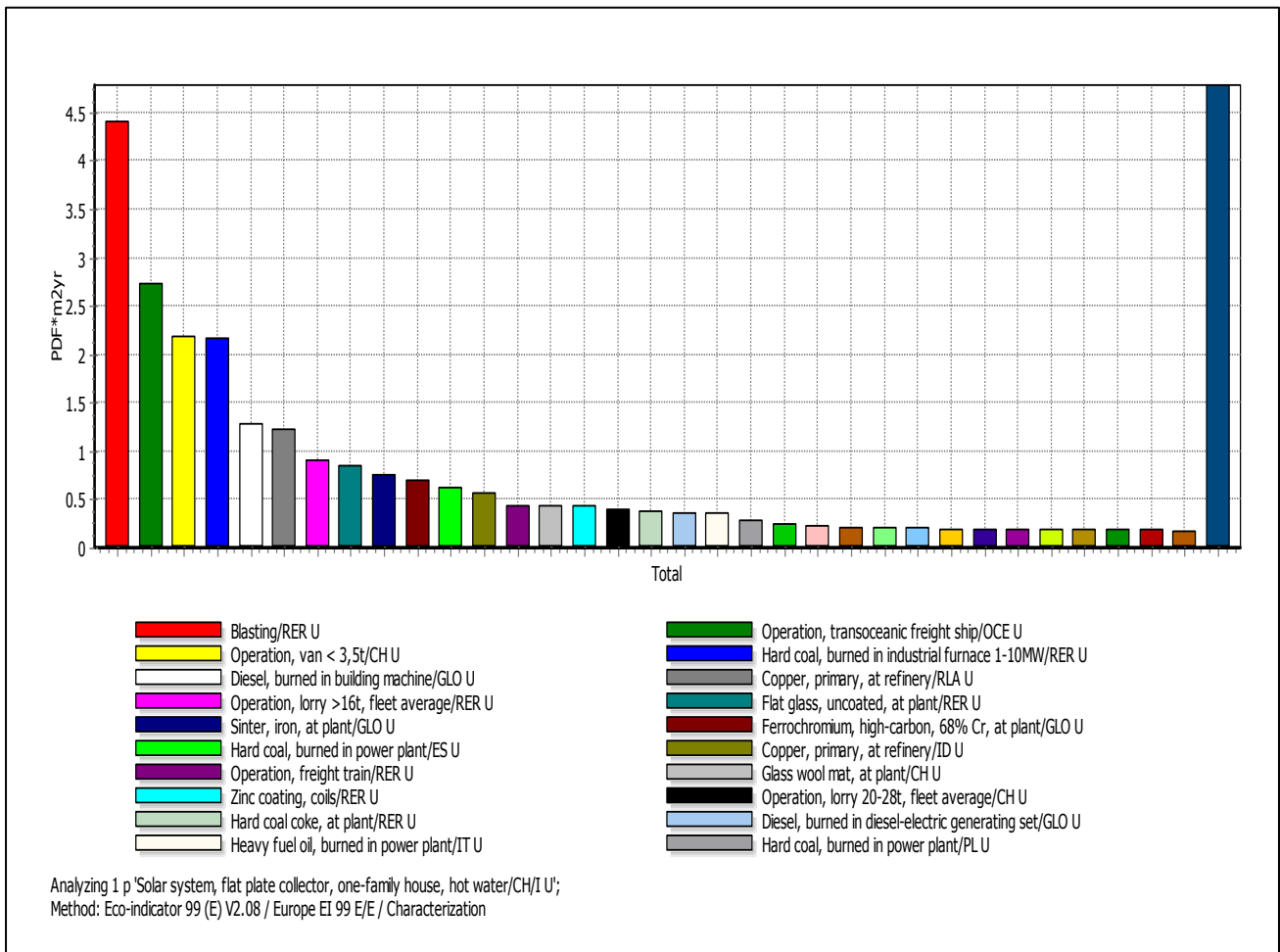


Εικόνα 5.18: Οικοτοξικότητα - Σενάριο Οικίας

### 5.3.4 ΟΞΙΝΙΣΗ - ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ

Στην συγκεκριμένη κατηγορία επίδρασης εντοπίζεται ως κύριος παράγοντας οι ανατινάξεις και λειτουργίες που σχετίζονται με τις μεταφορές. Συγκεκριμένα, οι ανατινάξεις αφορούν διεργασίες εξορύξεις ορυκτών πόρων και μεταλλευμάτων. Οι μεταφορές που προαναφέρθηκαν υποδιαιρούνται σε δυο κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία αφορά χερσαίες μεταφορές που συντελούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του συστήματος με χρήση φορτηγών που το βάρος τους δεν ξεπερνά τους 3,5 τόνους. Η δεύτερη κατηγορία αντικατοπτρίζει τον αντίκτυπο που έχουν οι θαλάσσιες μεταφορές κατά τον κύκλο ζωής του συστήματος και πραγματοποιούνται με υπερωκεάνια πλοία εμπορευματικών μεταφορών. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα δυο μέσα μεταφοράς που προαναφέρθηκαν αποτελούν σημεία αναφοράς, δηλαδή όλες οι χερσαίες και θαλάσσιες μεταφορές φέρουν τον περιβαλλοντικό του αντίκτυπο σε κατάλληλα διαμορφωμένες μονάδες ώστε να αναλογούν στη αντίστοιχη μεταφορά με τα συγκεκριμένα μέσα.



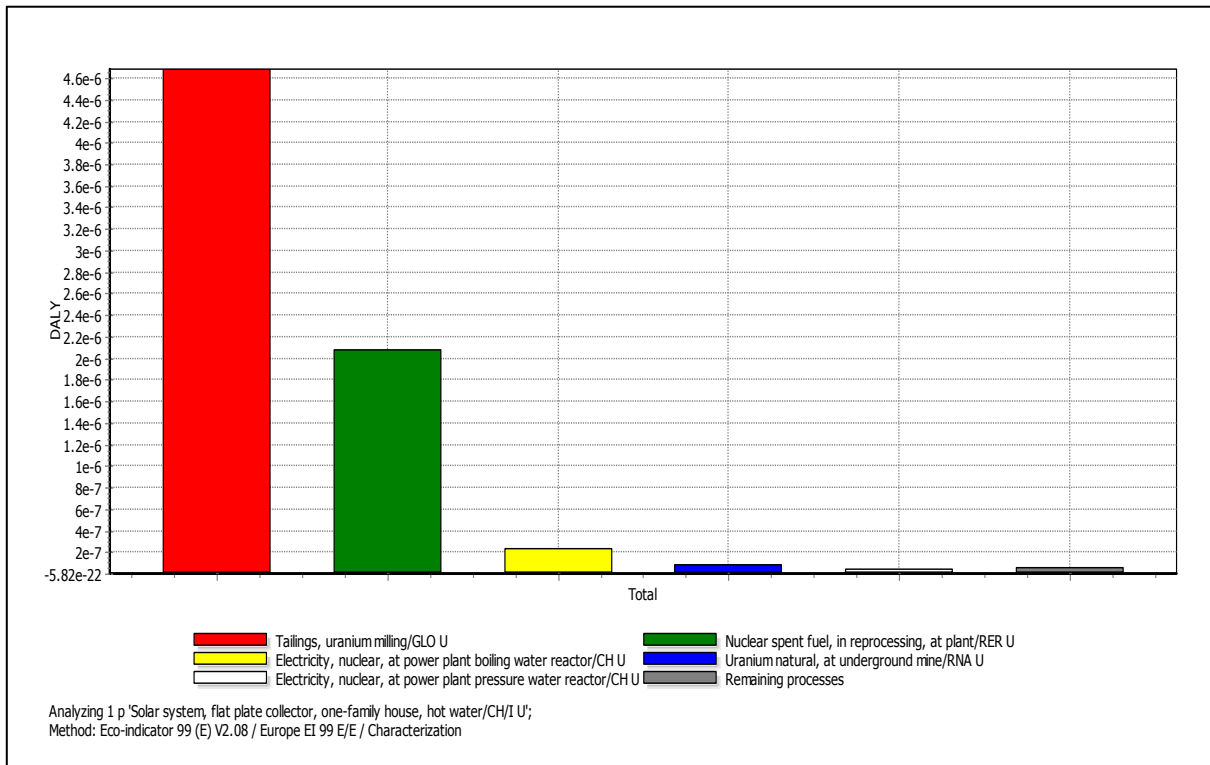
Εικόνα 5.19: Οξίνιση - Ευτροφισμός - Σενάριο Οικίας

### 5.3.5 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Στην συγκεκριμένη κατηγορία επίδρασης εντοπίζεται ως κύριος παράγοντας είναι τα απορρίμματα που παράγονται κατά την άλεση ουρανίου και τα ποσά αναλωμένου πυρηνικού καυσίμου σε διεργασίες επανεπεξεργασίας.

Το ουράνιο είναι χημικό στοιχείο στη σειρά των ακτινίδων, με ατομικό αριθμό 92 και ατομικό βάρος 238,02891 g/mol. Έχει θερμοκρασία τήξης 1405.3 K (1132,2 C°). Το ουράνιο είναι βαρύ, αργυρόλευκο, τοξικό, με μεταλλική λάμψη. Είναι ραδιενεργό και αναφλέγεται εύκολα σε λεπτό

διαμερισμό. Το ισότοπο του  $^{235}\text{U}$  χρησιμοποιείται ως "καύσιμο" σε πυρηνικούς αντιδραστήρες και ως σχάσιμο υλικό σε πυρηνικά όπλα. Το απεμπλουτισμένο ουράνιο χρησιμοποιείται σε εμπρηστικά βλήματα. Το ουράνιο βρίσκεται συνήθως σε μικρές ποσότητες στα πετρώματα, στο χώμα, στο νερό, και σε ίχνη στα φυτά και στα ζώα (συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου).



Εικόνα 5.20: Ακτινοβολία - Σενάριο Οικίας

### 5.3.6 ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Στην συγκεκριμένη κατηγορία επίδρασης εντοπίζεται ως κύριος παράγοντας η εξόρυξη λιθάνθρακα στα ορυχεία και η παραγωγή φυσικού αερίου (onshore). Επιπλέον σημαντική διακρίνεται και η συμβολή διεργασιών σχετικών με τον τομέα παραγωγής αργού πετρελαίου (onshore & offshore).

Το αργό πετρέλαιο είναι ένα ανομοιογενές υγρό που αποτελείται από πληθώρα υδρογονανθράκων. Περισσότερες από 3000 ενώσεις έχουν ταυτοποιηθεί στο αργό πετρέλαιο και περιλαμβάνουν από αέρια, όπως το μεθάνιο, μέχρι και βαριές ασφατικές ενώσεις που δεν αποστάζουν. Η σύστασή του κατά βάρος είναι κατά 80-87% από άνθρακα (ενώσεις με αριθμό ατόμων C από 5 μέχρι και 100) και κατά 11-16% από υδρογόνο (πολύ μεγαλύτερο ποσοστό από ότι τους άνθρακες), ενώ βρίσκονται σε μικρότερες ποσότητες οξυγόνο (<3%), θείο (<4%) και άζωτο (<1%). Επίσης απαντώνται και πολύ μικρές συγκεντρώσεις (μέχρι 0,1%) μετάλλων, όπως σίδηρος, νικέλιο, χρώμιο, βανάδιο κτλ. Σημειώνεται ότι παρά τις μικρές ποσότητες του θείου και του αζώτου, η παρουσία τους προκαλεί τα γνωστά περιβαλλοντικά προβλήματα με τις εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου.

Το αργό πετρέλαιο παρουσιάζει μεγάλες διαφορές σε όλες τις φυσικές ιδιότητές του, εξαιτίας της έντονης διαφοροποίησής της σύστασής του. Το χρώμα του μπορεί να είναι μαύρο, πράσινο ή

φαιοκίτρινο. Επίσης η πυκνότητά του και το ιξώδες ποικίλλουν αρκετά. Το σημείο ζέσεως των διαφόρων συστατικών του πετρελαίου κυμαίνεται από -160°C μέχρι 540°C. Οι κυριότερες οργανικές ενώσεις στο αργό πετρέλαιο ανήκουν στις παραφινικές, τις ολεφινικές, τις ναφθενικές και τις αρωματικές σειρές υδρογονανθράκων και περιέχουν συνήθως από πέντε μέχρι είκοσι άτομα άνθρακα. Οι παραφίνες συγκεντρώνονται κυρίως στα χαμηλού σημείου ζέσεως κλάσματα, οι ναφθενικές και οι μονοαρωματικές ενώσεις στα μέσου σημείου ζέσεως κλάσματα, ενώ τα πολυαρωματικά μόνο στα βαριά κλάσματα. Η σύσταση του αργού και, συνεπώς, οι ιδιότητές του εξαρτώνται σημαντικά από την περιοχή από την οποία προέρχεται το κοίτασμα. Τα πετρέλαια που είναι πλούσια σε θείο παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα κατά την επεξεργασία και την αξιοποίησή τους, όπως είναι η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, οι οσμές, η χαμηλή απόδοση και οι εκπομπές οξειδίων του θείου.

Οι φυσικές διεργασίες της διύλισης πετρελαίου (κλασματική απόσταξη, απορρόφηση και ψύξη) επηρεάζονται σημαντικά από τις ιδιότητες των υδρογονανθράκων, ενώ οι χημικές διεργασίες (π.χ. αποθείωση, πυρόλυση) επηρεάζονται από την παρουσία του θείου, του αζώτου και του οξυγόνου και από το είδος των υδρογονανθράκων.

Το αργό πετρέλαιο ταξινομείται με διάφορους τρόπους. Ο πλέον συνήθης τρόπος αφορά στην ταξινόμησή του σε σχέση με την πυκνότητά του σε μια ορισμένη θερμοκρασία στην κλίμακα °API, η οποία ορίζεται ως:

$$^{\circ}\text{API} = 141,5/\rho - 131,5$$

όπου  $\rho$  είναι το ειδικό βάρος του πετρελαίου στους 15,6°C. Έτσι, °API=10 αντιστοιχεί σε  $\rho=1$ ,

Τα περισσότερα πετρέλαια ανήκουν στην κατηγορία των ελαφρών και των ενδιάμεσων αργών πετρελαίων. Βαρύτερα πετρέλαια χαρακτηρίζονται ως μη συμβατικά. Ένα ελαφρύ αργό πετρέλαιο παράγει κατά τη διύλισή του πολύ περισσότερα ελαφρά προϊόντα (βενζίνη) και λιγότερα βαριά από ό,τι παράγει ένα βαρύ αργό πετρέλαιο.

	°API	$\rho$ (στους 15,6°C)
Ελαφρύ	>40 °API	<0,825
Μέσο	30 - 40 °API	0,825-0,875
Βαρύ	< 30 °API	0,825- 0,875
Πολύ Βαρύ	< 10 °API	> 1

Η αξιοποίηση του αργού πετρελαίου είναι πολύ πιο σύνθετη διεργασία από την αξιοποίηση του άνθρακα, όπως παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 4.4. Ειδικότερα, ή όλη προετοιμασία-επεξεργασία του πετρελαίου προτού φθάσει στον καταναλωτή είναι εξαιρετικά περίπλοκη διαδικασία και περνάει από πολλά στάδια. Ο λόγος είναι ότι παρά την παραπλήσια στοιχειακή ανάλυση, τα διάφορα είδη αργού πετρελαίου έχουν πολύ διαφορετική χημική δομή. Επίσης, τα προϊόντα του διυλιστηρίου μπορεί να είναι πολλά και διαφορετικά. Τα περισσότερα χρησιμοποιούνται ως καύσιμα, αλλά ένα σημαντικό ποσοστό χρησιμοποιούνται ως βάση στην πετροχημική βιομηχανία για παραγωγή πλαστικών, φαρμακευτικών ουσιών, υφασμάτων κτλ.





### **Αβεβαιότητες της αντιπροσωπευτικότητας του μοντέλου**

Η αβεβαιότητα σχετικά με την ορθότητα του μοντέλου αναφέρεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ένας μόνο τρόπος για να μοντελοποιηθεί η πραγματικότητα. Σε κάθε ανάλυση κύκλου ζωής, θα πρέπει να γίνουν λιγότερο ή περισσότερο υποκειμενικές επιλογές κατά την κατασκευή του μοντέλου. Μερικά παραδείγματα είναι τα ακόλουθα:

- ❖ Αντιπροσωπευτικότητα. Πολύ συχνά, χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε δεδομένα για τις διαδικασίες που θα εκτελεστούν, που προέρχονται από πηγές που επιλέχθηκαν αναγκαστικά επειδή δεν υπήρχε κάποια άλλη διαθέσιμη. Για παράδειγμα, μπορεί να μας είναι διαθέσιμα τα στοιχεία της καλλιέργειας του βαμβακιού στο Πακιστάν, αλλά να χρειαζόμαστε στοιχεία για την καλλιέργεια του βαμβακιού στην Ινδία.
- ❖ Χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα στοιχεία θα προκύψει σίγουρα ένα σφάλμα, του οποίου όμως το μέγεθος είναι δύσκολο να εκτιμηθεί.
- ❖ Βάση κατανομής. εν υπάρχει κάποιος τρόπος να επιλεγεί μια αντιπροσωπευτική βάση κατανομής και κατ' επέκταση θα πρέπει να γίνει κάποια εκτίμηση.
- ❖ Μελλοντικά γεγονότα. Πολλές αναλύσεις κύκλου ζωής ασχολούνται με προϊόντα που έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Αυτό σημαίνει ότι τα προϊόντα αυτά θα διατεθούν ως απόβλητα μετά από κάποιες δεκαετίες από την ημερομηνία κατασκευής τους. Κανείς όμως δεν ξέρει ακριβώς τον τρόπο με τον οποίο θα είναι οργανωμένη η επεξεργασία των αποβλήτων εκείνη την εποχή.
- ❖ Επιλογή της λειτουργικής μονάδας. Συχνά δεν είναι σαφές υπό ποια βάση θα συγκριθούν τα προϊόντα. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορεί να έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα, αλλά δεν είναι πάντα εύκολο να διαχειριστούν σε μια ανάλυση Μόντε Κάρλο. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε την ανάλυση ευαισθησίας που περιγράφεται παρακάτω.

### **Αβεβαιότητες δεδομένων λόγω ημιτελούς μοντέλου**

Η αβεβαιότητα που προκαλείται από τον ελλιπή χαρακτήρα του μοντέλου αναφέρεται στα αναπόφευκτα κενά στην πληρότητα των δεδομένων. Σημαντικά ζητήματα αυτής της αναφοράς είναι τα ακόλουθα:

- ❖ Τα όρια του συστήματος, όπως έχει προαναφερθεί δεν είναι εύκολο να εφαρμόζουν απόλυτα με τα όρια της ανάλυσης και τα κριτήρια περικοπής στοιχείων αυτής.
- ❖ Ελλιπή δελτία δεδομένων και ανεπαρκώς αποσαφηνισμένα δεδομένα. Σε πολλές περιπτώσεις, τα δεδομένα συγκεντρώνονται από συνεντεύξεις και μέσω ερωτηματολογίων, ενώ σε κάποιες άλλες αυτά είναι εν μέρει διαθέσιμα. Ένα ιδιαίτερο πρόβλημα είναι ότι πολλά από τα δεδομένα που συλλέγονται αφορούν πεπλεγμένες παραμέτρους, όπως η βιοχημικές απαιτήσεις οξυγόνου (Biochemical Oxygen Demand – BOD) και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - PAH). Στο στάδιο της αξιολόγησης επιπτώσεων που ακολουθεί το στάδιο της απογραφής, είναι αρκετά δύσκολο να ερμηνευθούν τέτοιες παράμετροι από τον ερωτηθέντα, αν δεν είναι γνωστές οι περιλαμβανόμενες σε αυτές ουσίες.

- ❖ Αναντιστοιχία μεταξύ απογραφής και αξιολόγησης των επιπτώσεων. Σε πολλές περιπτώσεις, τα στοιχεία που συλλέγονται κατά τη διαδικασία της απογραφής δεν έχουν συντελεστή χαρακτηρισμού, και ως εκ τούτου παραλείπονται στη συνέχεια της ανάλυσης.

Ιδιαίτερα λόγω των δύο τελευταίων τύπων αβεβαιότητας, η εφαρμογή ενός ενιαίου συστήματος για την αντιμετώπιση των ανακρίβειών καθίσταται ιδιαίτερα περίπλοκη.

#### 5.4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ MONTE CARLO

Η έκφραση μέθοδος Monte Carlo είναι πολύ γενική. Περιλαμβάνει κυρίως στοχαστικές διαδικασίες, εκείνες δηλαδή που βασίζονται στην χρήση των τυχαιών αριθμών και της στατιστικής για την λύση προβλημάτων. Γενικά, η μέθοδος Monte Carlo είναι μια αριθμητική μέθοδος για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων μέσω προσομοίωσης τυχαιών αριθμών. Χρησιμοποιείται δε στην προσομοίωση (simulation) και στην ολοκλήρωση (integration). Μιλώντας γενικά, κάθε πείραμα στο οποίο χρησιμοποιούνται τυχαιοί αριθμοί για την εξέταση του προβλήματος, λέγεται Monte Carlo πείραμα.

Μέθοδοι Monte Carlo εφαρμόζονται σε πάρα πολλούς επιστημονικούς τομείς, από την οικονομία έως την πυρηνική φυσική και την χημεία και ακόμη ως τη ρύθμιση της κυκλοφορίας.

Η χρήση των μεθόδων Monte Carlo στη μοντελοποίηση φυσικών προβλημάτων μας επιτρέπει να εξετάσουμε πολύπλοκα συστήματα που αλλιώς θα ήταν από δύσκολο έως αδύνατο. Η επίλυση εξισώσεων που περιγράφουν την αλληλεπίδραση δύο ατόμων είναι σχετικά εύκολη. Η λύση όμως των ίδιων εξισώσεων για εκατοντάδες ή χιλιάδες άτομα είναι αδύνατη. Με τις μεθόδους Monte Carlo, ένα μεγάλο σύστημα μπορεί να δειγματιστεί σε έναν αριθμό τυχαιών ρυθμίσεων, και αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουμε το σύστημα σαν σύνολο.

Η Monte Carlo είναι πολύ απλή. Ένα στοιχείο που χαρακτηρίζει την MC είναι η απλή δομή του υπολογιστικού αλγόριθμου. Σαν κανόνας, το πρόγραμμα πρέπει να διεκπεραιώσει μια τυχαία δοκιμή (στο προηγούμενο παράδειγμα της "Επιτυχίας ή Αστοχίας" πρέπει κανείς να ελέγξει αν ένα επιλεγμένο τυχαίο σημείο του τετραγώνου βρίσκεται επίσης μέσα στην περιοχή  $\Sigma$ ). Αυτή η δοκιμή επαναλαμβάνεται  $N$  φορές, με κάθε δοκιμή ανεξάρτητη από τις προηγούμενες, και μετά τα αποτελέσματα των δοκιμών παίρνονται κατά μέσο όρο.

Η μέθοδος μπορεί να είναι εξαιρετικά αργή. Για παράδειγμα στην ολοκλήρωση, το λάθος των υπολογισμών είναι ανάλογο με  $\sqrt{D/N}$ , όπου  $D$  είναι κάποια σταθερά και  $N$  ο αριθμός των δοκιμών. Γίνεται προφανές έτσι ότι για να μειώσει κανείς το λάθος κατά ένα παράγοντα 10 (δηλαδή να αποκτήσει ακόμη ένα δεκαδικό ψηφίο) απαιτείται να αυξήσει το  $N$  κατά 100 (και την ποσότητα εργασίας)

Η μέθοδος είναι πολύ δυνατή στα πολυδιάστατα προβλήματα, όπου και χρησιμοποιείται κυρίως, γιατί γενικά η ακρίβεια της εξαρτάται μόνο από την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Στην ολοκλήρωση, όπως θα δούμε αργότερα, συγκλίνει με ρυθμό  $O(N^{-1/2})$  που είναι ανεξάρτητο των διαστάσεων του ολοκληρώματος. Για αυτό το λόγο, η μέθοδος MC είναι η μόνη βιώσιμη σε ένα μεγάλο πεδίο προβλημάτων πολλών διαστάσεων, από την φυσική ως την οικονομία.[20],[14]

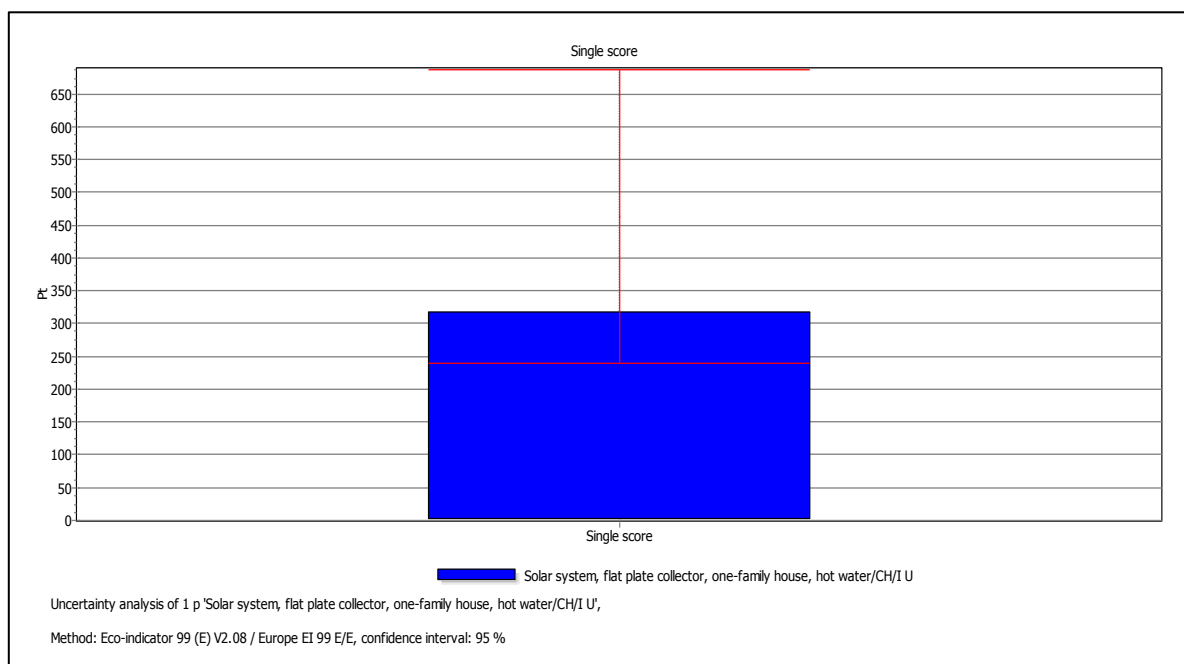
### 5.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Το λογισμικό SimaPro δίνει τη δυνατότητα απολογισμού της ανάλυσης αβεβαιότητας υπό συνθήκες απόλυτης αβεβαιότητας. Το διάστημα εμπιστοσύνης ορίζεται στο 95% και εντάσσεται σε όλους τους υπολογισμούς ανά κατηγορία ευρείας επίδρασης και κατηγορία βλάβης.

Τα κυριότερα από τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα:

#### Μέθοδος αποτίμησης - Single Score - Το σύστημα ως σύνολο

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ενώ υπάρχει 95% εμπιστοσύνη, η τιμή του τελικού αποτελέσματος, του συστήματος ως σύνολο, κυμαίνεται μεταξύ των 241Pt και 687Pt με μέση τιμή τους 361Pt και τυπική απόκλιση 274.



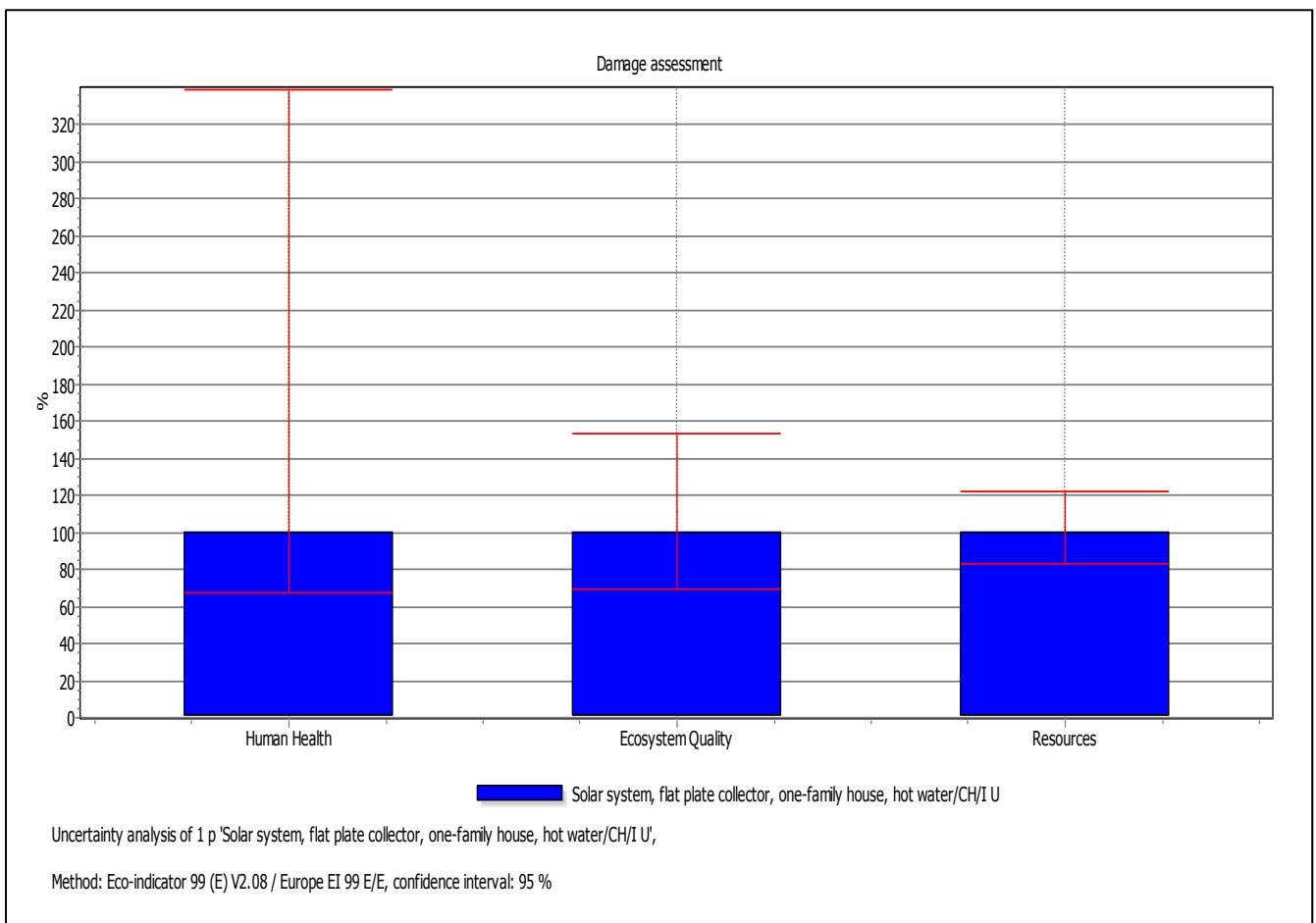
**Εικόνα 5.22:** Αποτελέσματα ανάλυσης αβεβαιότητας- Μέθοδος αποτίμησης - Τελικό αποτέλεσμα - Το σύστημα ως σύνολο

Damage category	Unit	Mean	Median	SD	CV (Coefficient of Variation)	2,50 %	97,50 %	Std.err.of mean
Single score	Pt	361	317	274	75,90%	241	687	0,024
<b>Confidence interval:</b>	95							

**Εικόνα 5.23:** Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης αβεβαιότητας- Μέθοδος αποτίμησης –Τελικό αποτέλεσμα - Το σύστημα ως σύνολο

### Μέθοδος αποτίμησης - Αποτίμηση βλάβης-Κατηγορίες βλάβης

- ❖ Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ενώ υπάρχει 95% εμπιστοσύνη, η τιμή της κατηγορίας βλάβης «ανθρώπινη υγεία», κυμαίνεται μεταξύ των 0,00297 DALY και 0,0151DALY με μέση τιμή 0,00582DALY και τυπική απόκλιση 0,008.
- ❖ Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ενώ υπάρχει 95% εμπιστοσύνη, η τιμή της κατηγορίας βλάβης «ποιότητα οικοσυστήματος», κυμαίνεται μεταξύ των 406 PDFm2yr και 898 PDFm2yr με μέση τιμή 606 PDFm2yr και τυπική απόκλιση 130.
- ❖ Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ενώ υπάρχει 95% εμπιστοσύνη, η τιμή της κατηγορίας βλάβης «πόροι», κυμαίνεται μεταξύ των 2540 MJ surplus και 3760 MJ surplus με μέση τιμή 3100 MJ surplus και τυπική απόκλιση 304.



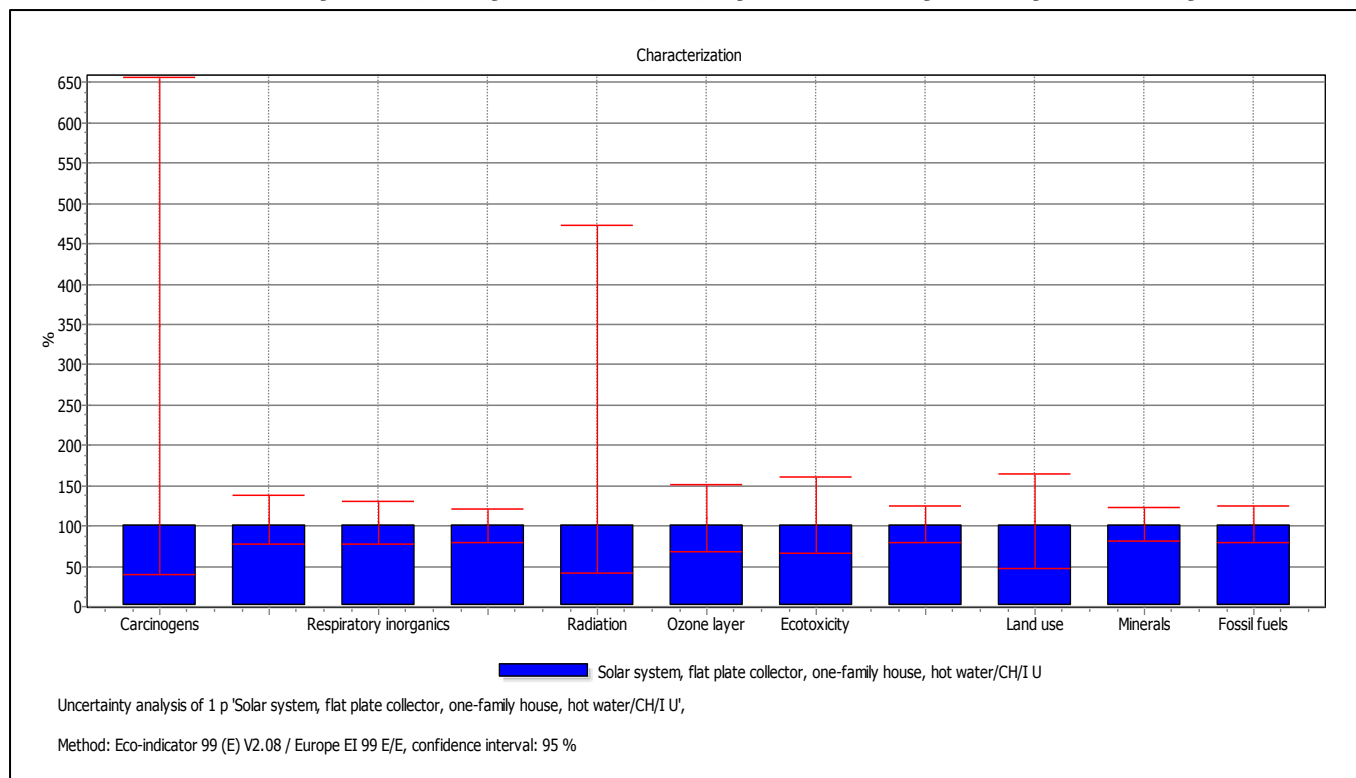
**Εικόνα 5.24:** Αποτελέσματα ανάλυσης αβεβαιότητας- Μέθοδος αποτίμησης - Αποτίμηση βλάβης - Κατηγορίες βλάβης

Damage category	Unit	Mean	Median	SD	CV (Coefficient of Variation)	2,50 %	97,50 %	Std.err.of mean
Ecosystem Quality	PDFm2 yr	606	584	13	21,40%	406	898	0,00
Human Health	DALY	0,00	0,00446	0,00	138%	0,002	0,015	0,04
Resources	MJ surplus	3,10	3,09E+0	30	9,79%	2,54E+03	3,76E+03	0,00
		3	3	4				31

Confidence interval: 95

Εικόνα 5.25: Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης αβεβαιότητας- Μέθοδος αποτίμησης - Αποτίμηση Βλάβης - Κατηγορίες βλάβης

Μέθοδος αποτίμησης - Χαρακτηρισμός – Κατηγορίες ευρείας επίδρασης



Εικόνα 5.26: Αποτελέσματα ανάλυσης αβεβαιότητας-Μέθοδος αποτίμησης-Χαρακτηρισμός- Κατηγορίες ευρείας επίδρασης

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV (Coefficient)	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Acidification	PDF*m2yr	28,8	28,7	3,28	11,40%	22,9	36,1	0,00359
Carcinogens	DALY	0,00343	0,00201	0,008	233%	0,000801	0,0132	0,0738
Climate change	DALY	0,000278	0,000277	2,97E-05	10,70%	0,000223	0,000336	0,00339
Ecotoxicity	PAF*m2yr	5,37E+03	5,16E+03	1,27E+03	23,60%	3,42E+03	8,31E+03	0,00746
Fossil fuels	MJ surplus	1,30E+03	1,28E+03	152	11,70%	1,03E+03	1,61E+03	0,00371
Land use	PDF*m2yr	40,5	39,7	11,4	28,20%	19,4	65,3	0,00893
Minerals	MJ surplus	1,80E+03	1,80E+03	186	10,30%	1,46E+03	2,21E+03	0,00327
Ozone layer	DALY	1,42E-07	1,39E-07	2,89E-08	20,40%	9,39E-08	2,08E-07	0,00644
Radiation	DALY	7,05E-06	4,93E-06	7,41E-06	105%	2,00E-06	2,33E-05	0,0332
Respiratory	DALY	0,0021	0,00209	0,00027	12,80%	0,00161	0,00269	0,00405
Respiratory	DALY	1,22E-06	1,20E-06	1,91E-07	15,60%	9,08E-07	1,65E-06	0,00493
Confidence interval		95						

**Εικόνα 5.27:** Πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης αβεβαιότητας- Μέθοδος αποτίμησης - Χαρακτηρισμός - Κατηγορίες ευρείας επίπτωσης

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

Στο έκτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται συζήτηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και πορισμάτων που προέκυψαν στα προηγούμενα κεφάλαια.



## 6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και η σταδιακή απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα αποτελεί επιτακτική ανάγκη στην σύγχρονη εποχή. Δε το επιβάλλουν μόνο η δραματική μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων-με την παράλληλη αύξηση των τιμών τους-και τη μόλυνση του περιβάλλοντος αλλά και η ανάγκη για την ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας της Ελλάδας (ενεργειακή ασφάλεια). Ειδικά σε μια χώρα με πλούσιο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ΑΠΕ όπως αυτή.

Τα τελευταία δυο χρόνια έχει γίνει μέρος της δημοσίας συζήτησης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας της χώρας μας μέσω του σχεδίου Ήλιος. Μάλιστα το συγκεκριμένο σχέδιο έχει ενταθεί και στο μνημόνιο με την τρόικα καθώς οι μελλοντικές του ροές δεσμεύονται μέσω αυτού για την αποπληρωμή του χρέους. Στην ουσία το σχέδιο Ήλιος είναι ένας μεγαλόπνοος σχεδιασμός για την εκμετάλλευση του ηλιακού δυναμικού της χώρας μας. Στόχος του είναι η παράγωγή και εξαγωγή έως και 10GW ηλεκτρικής ισχύος από ηλιακή ενεργεία σε άλλα κράτη μελή της ΕΕ. Μπορεί λοιπόν αυτός ο σχεδιασμός να καταστεί ένα εφελτήριο για αειφόρο ανάπτυξη στην Ελλάδα. Χάρη σε αυτό θα μπορέσει να εκμεταλλευτεί με παραγωγικό της τρόπο το ηλιακό της δυναμικό αλλά να δοθεί και ώθηση και σε άλλους τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας (γεωγραφικό πλάτος 33°) εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας τη δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερο από 2007 ώρες ηλιοφάνεια τον χρόνο. Στην Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της κυμαινόμενη από 2200 έως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους της Ελλάδας και της υψηλής ηλιοφάνειά της έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως κατά μέσο όρο 4,6 kWh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας. Αυτό συντελεί στο να είναι δυνατή σε ολόκληρή της την επικράτεια η οικονομικά επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Οι κύριοι τρόποι εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας στον ελλαδικό χώρο είναι οι ηλιακοί συλλέκτες για ζεστό νερό χρήσης (ηλιακοί θερμοσίφωνες), η χρήση ηλιακών συλλεκτών για μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, καθώς και η χρήση ηλιακών παθητικών συστημάτων.

Όσον αφορά τους ηλιακούς συλλέκτες για θέρμανση νερού η Ελλάδα κατέχει το 50% τέτοιων συστημάτων σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση και γίνεται εξοικονόμηση 1300GW ανά έτος. Το γεγονός αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) κατά 1.600.000 το χρόνο ,αέριο που συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (υπακοή στο Πρωτόκολλο του Κιότο). Παρ όλα αυτά η χρήση τους παραμένει ελάχιστη σε σχέση με αυτή που θα έπρεπε να είναι δηλαδή κάτω από 20% των νοικοκυριών στην Ελλάδα έχουν ηλιακούς θερμοσίφωνες.

Η παρούσα διπλωματική διαπραγματεύθηκε την ανάλυση κύκλου ζωής σε ενεργειακό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο στην περιοχή των Χανίων Κρήτης, εξετάζοντας συστήματα θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης που χρησιμοποιούν τις δυο κυρίαρχες κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών της αγοράς: τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη και το συλλέκτη κενού. Η σύγκριση τους μέσω της χρήσης των τριών λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν, οδήγησε στο συμπέρασμα της επιλογής

του συστήματος με επίπεδο ηλιακό συλλέκτη ως την καλύτερη εναλλακτική. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	Ενεργειακό επίπεδο		Οικονομικό επίπεδο	Περιβαλλοντικό επίπεδο	
	RETScreen	F-Chart	RETScreen	RETScreen	SimaPro
<b>Επίπεδος συλλέκτης</b>	+	+	+	+	
<b>Συλλέκτης κενού</b>					+

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση ενός συστήματος με επίπεδο ηλιακό συλλέκτη στην περιοχή των Χανίων είναι ιδιαίτερα σημαντικά και στα τρία επίπεδα ανάλυσης που τέθηκαν υπό εξέταση. Όσον αφορά το ενεργειακό επίπεδο, η εγκατάσταση ενός συστήματος επίπεδου ηλιακού συλλέκτη σε οικία τεσσάρων κατοίκων, εξοικονομεί 2,2MWh σε ετήσια βάση. Λαμβάνοντας ως μονάδα αναφοράς ένα ζεστό ντους 50 λίτρων στους 40°C (κατανάλωση 1,3KWh), η ενεργειακή συνεισφορά που προαναφέρθηκε μεταφράζεται σε 1692 δωρεάν (ενεργειακά- οικονομικά) ντους ανά έτος. Στο οικονομικό επίπεδο τα αποτελέσματα είναι ακόμα πιο ενθαρρυντικά. Σύμφωνα με την τρέχουσα τιμολογιακή πολιτική της ΔΕΗ (2013) το μέσο πραγματικό κόστος κατανάλωσης μιας κιλοβατώρας ανέρχεται στα 0,18€. Πράττοντας τους κατάλληλους υπολογισμούς προκύπτει ότι το σύστημα δύναται να εξοικονομεί 390€/έτος σε μια οικογένεια τεσσάρων ατόμων. Τέλος, εξετάσθηκε το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συστήματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το σύστημα συμβάλλει στη μείωση 1.800 κιλών διοξειδίου του άνθρακα σε ετήσια βάση σε σχέση με την αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του χαρακτηρίζεται από μικρά περιβαλλοντικά φορτία στην κατασκευή του και μηδενικά κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

Ανακεφαλαιωτικά, η εγκατάσταση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια αναγκαία σύμβαση για την ελληνική κοινωνία, δεδομένου του ηλιακού δυναμικού της χώρας και των τρεχόντων ενεργειακών, οικονομικών και περιβαλλοντικών συνθηκών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Solar Engineering of thermal processes- second edition  
John A. Duffie, William A. Beckman
2. Principles of Solar Engineering  
D. Yogi Goswami, Frank Kreith, Jan F. Kreider
3. Ηλιακή Ενέργεια –Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής διαδικασίας  
Ανδρέας Ε. Μοσχάτος (Δρ.Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος)
4. Συλλέκτες ηλιακής ενέργειας – Θεωρία και κατασκευή συστημάτων θέρμανσης νερού (Τρίτη έκδοση)  
Φρ.Κωτσιανάς – Δ.Χούντρας
5. Solar Thermal Energy Systems- Analysis and Design  
Howell Bannerot Viet
6. Designing and Building a Solar House  
Donald Watson
7. Solar Power Systems (The ece energy systems) –economic commission for Europe
8. Thermal Power Engineering  
R.L.Agarwal
9. Solar Energy Conversion  
A.F.Janzen, R.K.Swartman
10. Solar Energy in developing countries-An overview and buyers guide for solar scientists and engineers  
A.Eggers-Lura
11. Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters  
Soteris Kalogirou
12. F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems  
I.F.Okafor and G.Akubue
13. Energy and carbon impact analysis of a solar thermal collector system  
G.F. Menzies
14. Life cycle assessment of a solar thermal collector :sensitivity analysis, energy and environmental balances  
Fulvio Ardente, Giorgio Beccali, Maurizio Cellura
15. Life Cycle Assessment and Energy Systems  
EVERT NIEUWLAAR ( Copernicus Institute, Utrecht University, The Netherlands)
16. Comparing domestic water heating systems  
Chantelle M.Leidi, W.David Lubitz
17. Life cycle environmental impact of a thermosyphonic domestic solar water system in comparison with electrical and gas water heating  
G.Tsilingiridis, G.Martinopoulos, N.Kyriakis

18. Life cycle assessment of a solar thermal collector  
Fulvio Ardente, Giorgio Beccali, Maurizio Cellura, Valerio Lo Brano
19. Retscreen software manual tutorial
20. SimaPro 7 manual tutorial
21. F-chart user's manual
22. Διαχείριση του περιβάλλοντος  
Καρβούνης Σωτήρης Κ., Γεωργακέλλος Δημήτριος Α.

