



Ανάλυση Κύκλου Ζωής Ηλιακά  
Τροφοδοτούμενου Συστήματος  
Τριπαραγωγής με βάση έναν  
Οργανικό Κύκλο Rankine (ORC)  
και Ψύκτη Προσρόφησης

**Τομέας: Θερμότητας**

**Επιβλέπων: Σωτήριος Καρέλλας, Καθηγητής**

Αθήνα 2022



Life Cycle Analysis of a solar driven Trigeneration System based on an Organic Rankine Cycle (ORC) and an Adsorption Chiller

**Section: Thermal Engineering**

**Supervisor: Sotirios Karellas, Professor**

**Athens 2022**

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Δρ. Καρέλλα Σωτήριο για την εμπιστοσύνη του και την ανάθεση του θέματος.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους Δρ. Ρουμπεδάκη Τρύφωνα και κ. Κάλλη Γεώργιο για την καθοδήγηση και τις συμβουλές τους, που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Ονοματεπώνυμο  
Μπουχλής Μιχαήλ

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περιεχόμενα.....	5
Περίληψη.....	8
Abstract.....	9
Επεξήγηση Όρων.....	10
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή – Περιγραφή του συστήματος.....	12
1.1 Ηλιακοί Συλλέκτες.....	13
1.1.1 Επίπεδοι Ηλιακοί Συλλέκτες.....	13
1.1.2 Ηλιακοί Συλλέκτες Κενού.....	14
1.1.3 Συλλέκτες Παραβολικού Κατόπτρου.....	18
1.1.4 Παραβολικός δίσκος.....	21
1.1.5 Ηλιακός Πύργος.....	22
1.2 Οργανικός Κύκλος Rankine.....	23
1.3 Τεχνολογίες Ψύξης.....	26
1.3.1 Ψύξη με Μηχανική Συμπίεση.....	26
1.3.2 Ψύξη με απορρόφηση.....	27
1.3.3 Ψύξη με προσρόφηση.....	29
1.3.4 Σύγκριση των τεχνολογιών ψύξης.....	34
1.4 Συστήματα Τριπαραγωγής.....	36
Κεφάλαιο 2: Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	38
2.1 Ορισμός.....	38
2.2 Μεθοδολογία ΑΚΖ.....	39
2.2.1 Καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου μελέτης.....	40
2.2.2 Αναλυτική απογραφή των δεδομένων του συστήματος.....	40

2.2.3 Εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.....	41
2.2.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μελέτης.....	42
2.3 Λογισμικό.....	43
2.4 Η μέθοδος ReCiPe 2016.....	43
2.4.1 Οι δείκτες ενδιάμεσου σημείο “midpoint” .....	44
2.4.2 Οι δείκτες τελικού σημείου “endpoint” .....	46
2.4.3 Η Ανάλυση σεναρίου.....	48
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή του Συστήματος .....	49
3.1 Εισαγωγή.....	49
3.2 Ανάλυση της εγκατάστασης.....	49
3.2.1 Κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών.....	50
3.2.2 Κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με ORC.....	51
3.2.3 Σύστημα ψύξης – θέρμανσης.....	57
3.3 Περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος.....	59
Κεφάλαιο 4: Ανάλυση του κύκλου ζωής του συστήματος.....	60
4.1 Καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου μελέτη (goal and scope definition).....	60
4.2 Αναλυτική απογραφή των δεδομένων του συστήματος (life cycle inventory analysis).....	64
4.2.1 Εξόρυξη υλικών και κατασκευή των επιμέρους δομικών μονάδων.....	64
4.2.2 Μεταφορά.....	67
4.2.3 Σύνδεση, λειτουργία και συντήρηση.....	67
4.2.4 Τέλος ζωής.....	68
4.3 Σενάρια Σύγκρισης.....	69
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα.....	70
5.1 Αποτελέσματα της ανάλυσης του συστήματος Τριπαραγωγής.....	70
5.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του σεναρίου ταφής και ανακύκλωσης.....	73

5.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του συμβατικού συστήματος με το σύστημα τριπαραγωγής.....	75
5.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του συστήματος τριπαραγωγής με ψύκτη απορρόφησης και με ψύκτη προσρόφησης.....	78
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	81
Περιεχόμενα Γραφημάτων.....	83
Περιεχόμενα Εικόνων.....	84
Περιεχόμενα Πινάκων.....	86
Βιβλιογραφία.....	88
Παράρτημα Α: Πίνακες.....	96

## Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η Ανάλυση Κύκλου Ζωής ενός συστήματος τριπαραγωγής. Σκοπός του συστήματος είναι η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ψύξης και θέρμανσης, για τη κάλυψη των αναγκών ενός κτηρίου, με την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Το σύστημα αποτελείται από τρία υποσυστήματα: σύστημα ηλιοθερμικών συλλεκτών, σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με Οργανικό Κύκλο Rankine και σύστημα ψύξης - θέρμανσης με ψύκτη προσορόφησης. Η μελέτη περιλαμβάνει όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του συστήματος, από την εξόρυξη των πρώτων υλών, την επεξεργασία, τη μεταφορά, τη χρήση έως και τη διαχείριση των αποβλήτων μετά το τέλος ζωής του συστήματος. Ο στόχος είναι ο υπολογισμός και η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συστήματος. Εφαρμόστηκε η μέθοδος ReCiPe 2016, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων ecoinvent και η ανάλυση έγινε με τη χρήση του προγράμματος SimaPro.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε η μελέτη δύο επιπρόσθετων αναλύσεων ευαισθησίας. Η πρώτη αφορά την αλλαγή στο τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων. Η αρχική μελέτη πραγματοποιήθηκε με τα απόβλητα να ανακυκλώνονται στο 100%, αν είναι ανακυκλώσιμα και τα υπόλοιπα να υπόκεινται σε ταφή ή καύση. Το πρώτο σενάριο περιείχε καθολική απόρριψη των υλικών προς ταφή στο 100%, εξαιρουμένων κάποιων ουσιών που υπόκεινται σε καύση ως βλαβερές. Τα αποτελέσματα σε επίπεδο τελικού σημείου ήταν κατά 1 - 5,6% καλύτερα στην επιλογή της ανακύκλωσης και σε επίπεδο ενδιάμεσου σημείου 0,1-14,4%. Η δεύτερη ανάλυση ευαισθησίας αφορά τη σύγκριση του υπό εξέταση συστήματος με ένα συμβατικό σύστημα ψύξης – θέρμανσης, με φυσικό αέριο. Η ψύξη επιτυγχάνεται με κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου και η θέρμανση με κλειστό κύκλωμα ζεστού νερού με σώματα θέρμανσης, τροφοδοτούμενο από λέβητα φυσικού αερίου. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης του συμβατικού και του συστήματος τριπαραγωγής, ανέδειξαν το δεύτερο ως λιγότερο ζημιόγONO για το περιβάλλον, με κάποιους δείκτες επιπτώσεων να αποτελούν εξαίρεση. Η διαφορά που προέκυψε στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δύο συστημάτων, οφείλεται στην αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου του συμβατικού συστήματος σε βάθος εικοσαετίας.

Τέλος, σχολιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της μελέτης και προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα.



## Abstract

In the current thesis, a Life Cycle Analysis of a Trigeneration System was performed. The system generates electricity and provides cooling and heating to the building by utilizing solar energy. The system consists of three subsystems: a system of solar panels, a system for electricity generation with an Organic Rankine Cycle and a system for cooling and heating with an adsorption chiller. The study includes all stages of the life cycle: mining, processing, transportation, and end-of-life waste management. The objective is to calculate and evaluate the environmental impact of the system. The analysis was carried out according to the ReCiPe 2016 method, Ecoinvent database and through the use of SimaPro, an LCA software.

In addition, two case studies were examined to provide a comparison with the trigeneration system. The first scenario relates to waste management. The initial study included full recycling of recyclable materials and landfilling or incineration as a waste treatment method for non-recyclables. The first additional scenario contained full landfilling as a waste treatment method, except for hazardous waste, which was incinerated. The environmental damage indicators were 0.5-2.5% higher for the landfill scenario than for the recycling scenario. The second case study was applied to a conventional heating and cooling system, which operates with natural gas and electricity. Cooling is provided by air conditioners and heating is provided by a closed circuit of hot water, hydronic radiator heaters, a circulating pump and a natural gas boiler. The results of the analysis show that the conventional system is more harmful to the environment, except for some damage indicators. The difference in environmental impact is due to the consumption of electricity and natural gas in a time period of 20 years. The third scenario refers to a trigeneration system with absorption chiller, with the same devices and systems as the main analysis. The results show that the trigeneration system with absorption heat pump are 15% friendlier for the environment.

Finally, the results of the analysis are reported and some topics for further analysis are mentioned.

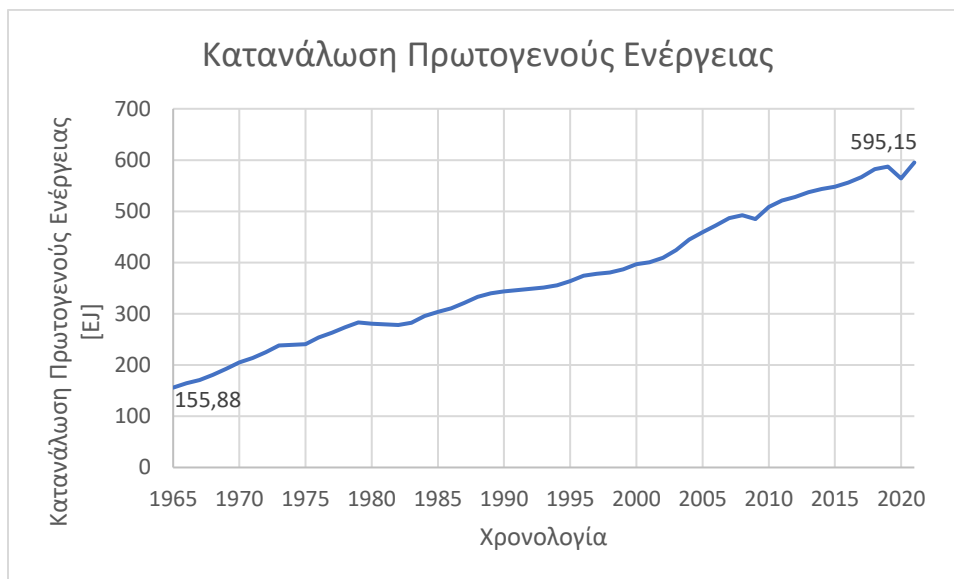
## Επεξήγηση Όρων

AP	Acidification Potential Δείκτης οξίνισης του εδάφους	[kg SO <sub>2</sub> ]
COP	Coefficient of Performance Συντελεστής απόδοσης	-
D	Διάρκεια ασθένειας	[έτη]
DALY	Disability- adjusted life years Έτη ζωής προσαρμοσμένα σε αναπηρία	[έτη]
ED	Damage to Ecosystem Diversity Καταστροφή οικοσυστημάτων	[έτη · είδη]
EJ	Exajoule =10 <sup>18</sup> Joule	-
EOFP	Ecosystem Ozone Formation Potential. Δείκτης σχηματισμού όζοντος στο οικοσύστημα	[kg NO <sub>x</sub> ]
FEP	Freshwater eutrophication potentials Δείκτης ευτροφισμού γλυκού νερού	[kg P]
FFP	Fossil Fuel Potential Δυναμικό ορυκτών πόρων	[kg oil]
GWP	Global Warming Potential. Δείκτης θέρμανσης του πλανήτη	[kg CO <sub>2</sub> -eq]
HH	Damage to Human Health Καταστροφή της ανθρώπινης υγείας	[έτη]
HOFP	Health Ozone Formation Potential. Δείκτης σχηματισμού όζοντος	[kg NO <sub>x</sub> ]
IRP	Ionizing Radiation Potential. Δείκτης ιονίζουσας ακτινοβολίας	[kBq]
ODP	Ozone Depleting Potential. Δείκτης αποδόμησης του όζοντος	[kg CFC-11]
ORC	Organic Rankine Cycle Οργανικός κύκλος Rankine	-
PMFP	Particulate Matter Formation Potential. Δείκτης σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων	[kg PM <sub>2.5</sub> ]

RA	Damage to Resource Availability Καταστροφή φυσικών πόρων	[\$]
SOP	Surplus Ore Potential Πλεονασματικό Δυναμικό Μεταλλευμάτων	[kg Cu]
YLD	Years of Life Disabled Έτη ζωής με αναπηρία	[έτη]
YLL	Years of Life Lost Έτη ζωής που χάθηκαν	[έτη]
-	Marine eutrophication Ευτροφισμός της θάλασσας	[kg N-eq]
-	Terrestrial ecotoxicity Οικοτοξικότητα εδάφους	[kg <sub>1,4</sub> DCB]
-	Freshwater ecotoxicity Οικοτοξικότητα γλυκού νερού	[kg <sub>1,4</sub> DCB]
-	Marine ecotoxicity Οικοτοξικότητα της θάλασσας	[kg <sub>1,4</sub> DCB]
-	Human carcinogenic toxicity Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	[kg <sub>1,4</sub> DCB]
-	Human non-carcinogenic toxicity Μη-Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	[kg <sub>1,4</sub> DCB]
-	Land use Χρήση γης	[m <sup>2</sup> ·yr]
-	Mineral resource scarcity Έλλειψη μεταλλικών πόρων	[kg Cu-eq]
-	Fossil resource scarcity Έλλειψη ορυκτών καυσίμων	[kg Oil-eq]

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή – Περιγραφή του Συστήματος

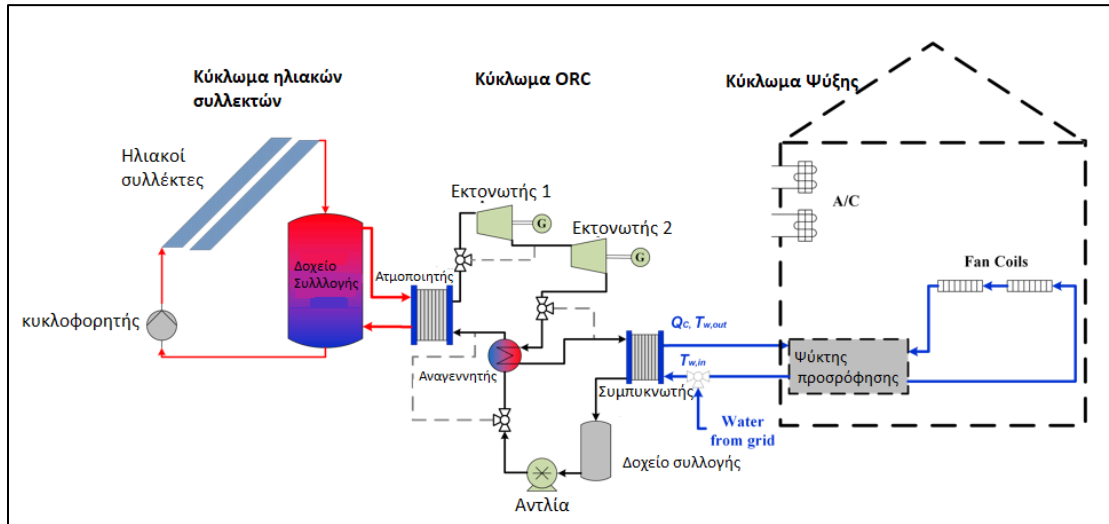
Η παγκόσμια αύξηση της ζήτησης ενέργειας, η κατανάλωση των φυσικών πόρων και το έντονο οικολογικό αποτύπωμα της ανθρώπινης δραστηριοποίησης αποτελούν ένα σύγχρονο πρόβλημα για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Οι ενεργειακές απαιτήσεις ολοένα και πληθαίνουν λόγω της πληθυσμιακής αύξησης του πλανήτη και της έντονης δραστηριότητας του ανθρώπου σε αυτόν. Η κατανάλωση της πρωτογενούς ενέργειας το έτος 2021 ισούται με 595,15 EJ και έχει σχεδόν τετραπλασιαστεί σε σχέση με το έτος 1965 [1]. Η κατανάλωση της πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται ότι αυξάνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό 2,1%, στο διάστημα 1965-2021 [2]. Οι ρυθμοί αύξησης καθιστούν κρίσιμη την πορεία της ανθρώπινης ανάπτυξης και επισημαίνουν τον κίνδυνο για την εξάντληση των φυσικών πόρων. Μέχρι και σήμερα πρωταγωνιστεί το πετρέλαιο ως το κύριο καύσιμο και ακολουθούν το φυσικό αέριο και ο άνθρακας [2]. Με βάση την ανάλυση στατιστικών δεδομένων ενέργειας της εταιρείας British Petroleum Company Limited (BP), που σύλλεξε από διάφορους κυβερνητικούς φορείς και βάσεις δεδομένων, προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα [3]:



**Γράφημα 1: Παγκόσμια ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατά τη χρονική περίοδο 1965-2021. [3]**

Η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας ωθεί την τεχνολογική κοινότητα να αναπτύξει καινοτόμα συστήματα, που στοχεύουν στη καλύτερη ενεργειακή απόδοση και στην αξιοποίηση πιο «πράσινων» τεχνολογιών. Η ενέργεια που καταναλώνεται στη ψύξη και τη θέρμανση των χώρων αποτελεί το 40% της καταναλισκόμενης ενέργειας παγκοσμίως [4].

Παρακάτω απεικονίζεται ένα σύστημα τριπαραγωγής:



Εικόνα 1.1: Γραμμική απεικόνιση του συστήματος τριπαραγωγής.

Το σύστημα αποτελείται από τα εξής μέρη:

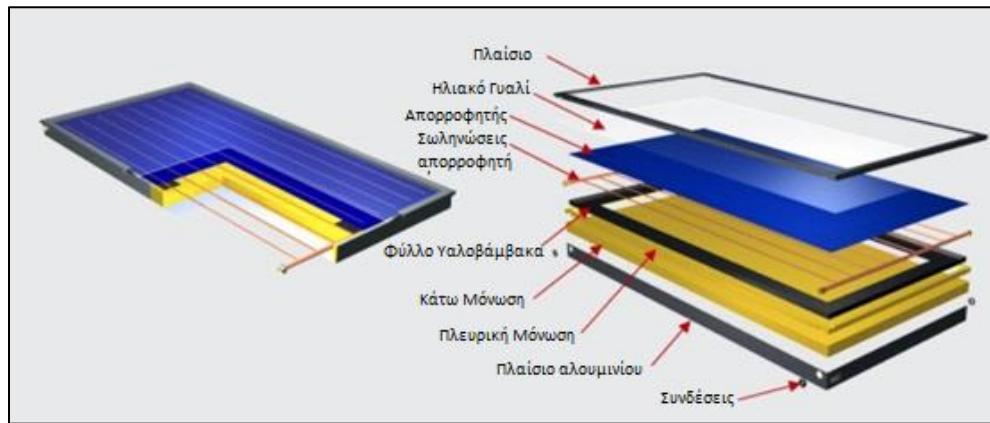
- Κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών.
- Κύκλωμα Organic Rankine Cycle: Παράγει ηλεκτρική ενέργεια με την αξιοποίηση της θερμότητας από το κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών.
- Κύκλωμα θέρμανσης/ ψύξης: Προσφέρει θερμότητα ή ψύξη στο χώρο.

## 1.1 Ηλιακοί συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία και χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

### 1.1.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Είναι οι πιο συνηθισμένοι στο εμπόριο. Τα βασικά λειτουργικά μέρη του είναι το κάλυμμα, το οποίο προστατεύει την απορροφητική πλάκα, η απορροφητική πλάκα που είναι υπεύθυνη για την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας, οι σωλήνες στους οποίους κυκλοφορεί και θερμαίνεται το εργαζόμενο μέσο. Επιπλέον, υπάρχουν επικουρικά τα στηρίγματα του συλλέκτη, η παροχή εισόδου και εξόδου του εργαζόμενου μέσου, τα θερμομονωτικά υλικά που εξασφαλίζουν την μειωμένη μεταφορά θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον και το πλαίσιο που συγκρατεί τα ανωτέρω τμήματα. Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται συνήθως από την κάτω πλευρά του συλλέκτη και μεταφέρεται μέσω των σωληνώσεων προς το άνω μέρος. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται από το κάλυμμα και απορροφείται από την απορροφητική πλάκα. Η θερμότητα που περικλείεται εντός του ηλιακού συλλέκτη θερμαίνει το εργαζόμενο μέσο που ρέει εντός των σωληνώσεων.



Εικόνα 1.2: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. [5]

### 1.1.2. Ηλιακοί συλλέκτες κενού

Οι αρχές λειτουργίας είναι ίδιες με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Αποτελούνται από επιμέρους κυλινδρικούς συλλέκτες. Η δομή τους είναι ως εξής: ένα ή δύο υάλινα καλύμματα, μια απορροφητική επιφάνεια μαύρου χρώματος και οι σωληνώσεις του εργαζόμενου μέσου. Ονομάζονται συλλέκτες κενού διότι εντός του κυλίνδρου επικρατούν συνθήκες χαμηλής πίεσης της τάξεως των  $10^{-3}$  mbar. Σε συλλέκτες μονού καλύμματος, οι συνθήκες μηδενικής πίεσης είναι σε όλο το εσωτερικό του κυλίνδρου, ενώ σε αυτούς με διπλό κάλυμμα οι συνθήκες κενού είναι μεταξύ των δύο καλυμμάτων. Οι συνθήκες κενού συμβάλλουν στη θερμική μόνωση του κυλίνδρου.



### Εικόνα 1.3: Ηλιακός συλλέκτης κενού. [6]

Οι ηλιακοί συλλέκτες κενού χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την μέθοδο απαγωγής της θερμότητας από τον απορροφητήρα:

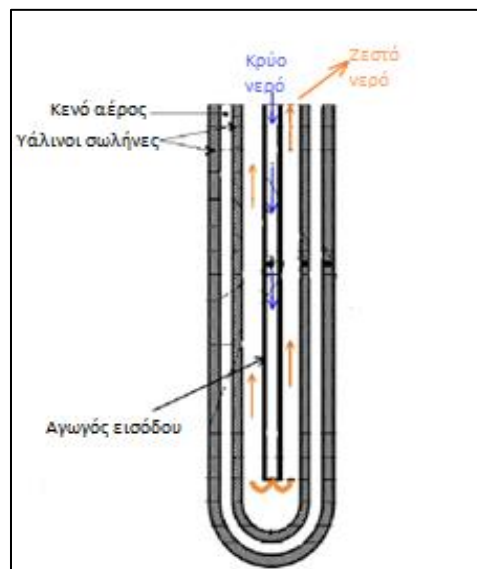
1. Άμεσης ροής
2. Θερμικού σωλήνα

Ειδικότερα, αναλύονται ξεχωριστά οι κατηγορίες παρακάτω:

1. Άμεσης ροής:

Το εργαζόμενο μέσον ρέει εντός των σωληνώσεων, εντός του απορροφητήρα και είναι αυτό που θερμαίνεται και μεταφέρει την θερμότητα, είτε:

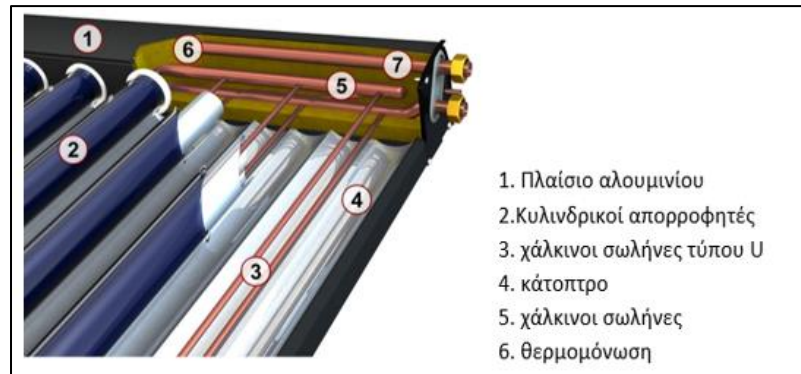
- Εντός δυο ομοαξονικών σωλήνων διαφορετικής διαμέτρου, όπου επικρατούν οι συνθήκες κενού. Το κρύο νερό εισέρχεται και κινείται προς τα κάτω και θερμαίνεται και κινείται προς τα επάνω.



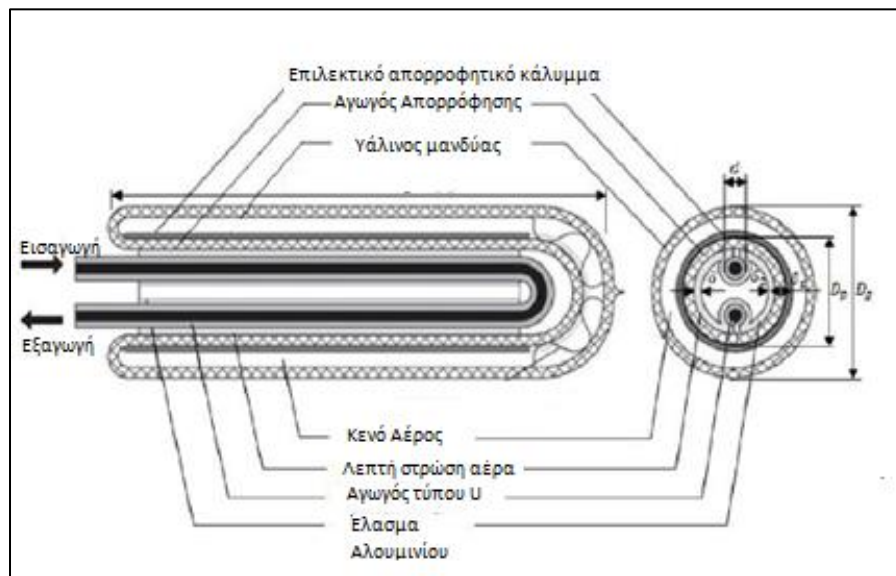
### Εικόνα 1.4: Σχηματική αναπαράσταση του απορροφητήρα άμεσης ροής. [7]

- Σε μορφή U:

Η δομή των απορροφητών είναι η εξής: διπλό κάλυμμα με κενό αέρος ενδιάμεσα και χάλκινοι σωλήνες τύπου U, όπου το ρευστό εισέρχεται κρύο στην μία άκρη και κινείται προς τα κάτω και εξέρχεται θερμό από την άλλη.



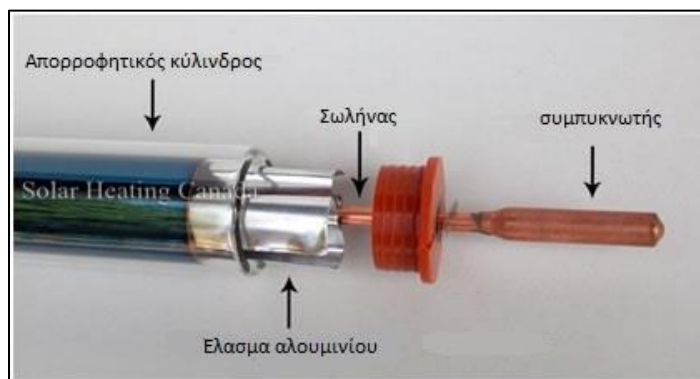
Εικόνα 1.5: Απορροφητήρας τύπου U και τα δομικά του μέρη. [6]



Εικόνα 1.6: Σχηματική αναπαράσταση και τομή ενός κυλινδρικού απορροφητήρα κενού τύπου U. [8]



## 2. Συλλέκτες θερμικού σωλήνα:



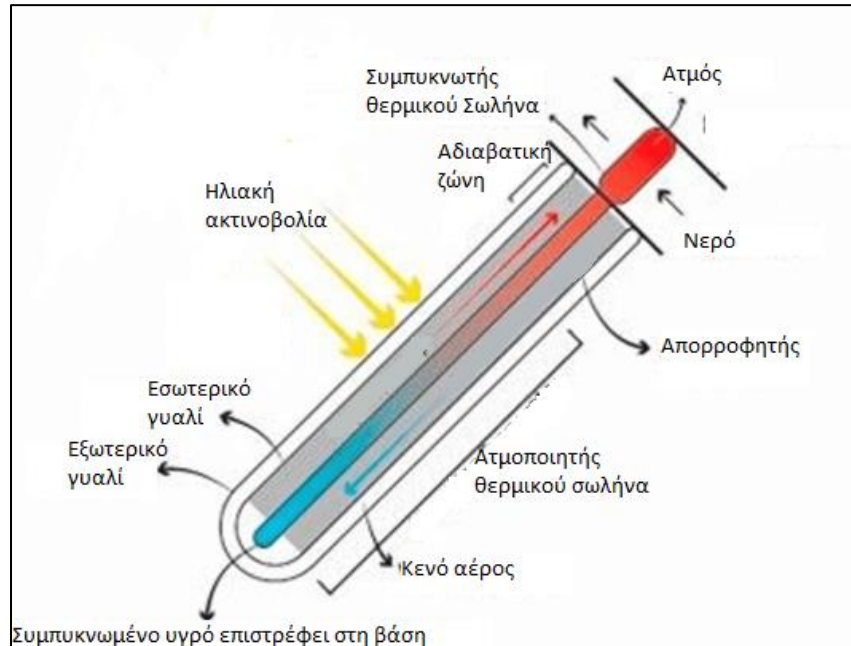
**Εικόνα 1.7: Θερμικός σωλήνας. [9]**

Δομή:

Αποτελείται από δύο υάλινα καλύμματα που εξασφαλίζουν συνθήκες κενού και ως αποτέλεσμα επιτυγχάνεται καλή θερμική μόνωση. Εσωτερικά των καλυμμάτων υπάρχει ένας μανδύας, υψηλής απορροφητικότητας και χαμηλής ανακλαστικότητας. Εσωτερικά αυτού υπάρχει ένα έλασμα αλουμινίου, που επιτυγχάνει την αγωγή θερμότητας από την απορροφητική επιφάνεια προς τον κλειστό θερμικό σωλήνα. Ο θερμικός σωλήνας εμπεριέχει ένα ρευστό με χαμηλό σημείο βρασμού, έτσι ώστε το ρευστό να μπορεί να απορροφά την λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης και να αεριοποιείται στις κανονικές συνθήκες της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας [10]. Στο τέλος του θερμικού σωλήνα βρίσκεται ο συμπυκνωτής, ο οποίος έρχεται σε επαφή εξωτερικά και θερμαίνει το ρευστό που έρχεται από το δοχείο συλλογής.

Λειτουργία:

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τα υάλινα καλύμματα και απορροφείται από την απορροφητική μεμβράνη. Η θερμότητα άγεται μέσω του ελάσματος αλουμινίου στο κλειστό θερμικό σωλήνα. Το ρευστό με χαμηλό σημείο βρασμού θερμαίνεται, ατμοποιείται και κινείται ανοδικά, συνοδευόμενο από μεγάλα ποσά ενέργειας. Στο συμπυκνωτή ο ατμός εσωτερικά του θερμικού σωλήνα συμπυκνώνεται και προσφέρει την θερμότητα του στο ρευστό, το οποίο είναι σε επαφή με τον συμπυκνωτή εξωτερικά. Ο συμπυκνωτής λειτουργεί σαν εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ των δύο κυκλωμάτων. Το ρευστό εσωτερικά, έχοντας συμπυκνωθεί επιστρέφει στην κάτω θέση και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Η διαδικασία παρουσιάζεται σχηματικά παρακάτω.



Εικόνα 1.8: Απεικόνιση της λειτουργίας ενός θερμικού σωλήνα. [11]

### 1.1.3 Συλλέκτες παραβολικού κατόπτρου

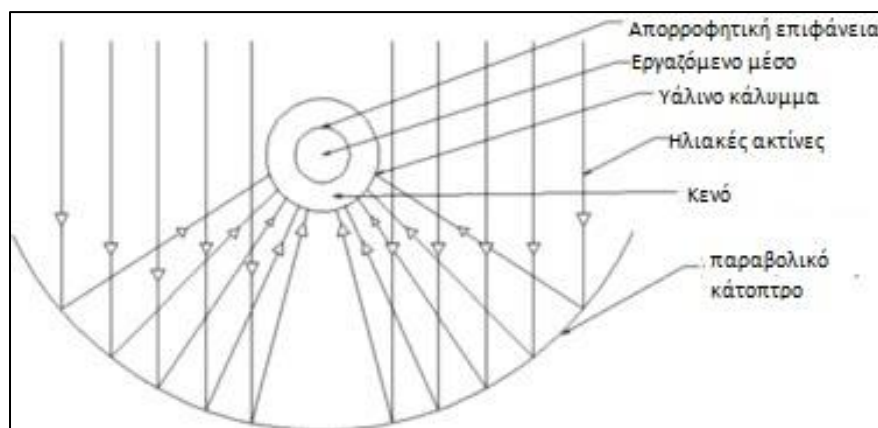
Αποτελούνται από ένα μεταλλικό κάτοπτρο παραβολικής μορφής και ένα απορροφητικό σωλήνα στο κέντρο αυτού. Είναι κλειστό κύκλωμα εργαζόμενου μέσου, το οποίο εισέρχεται από την μία άκρη του σωλήνα και εξέρχεται από την άλλη και μέσω εναλλάκτη προσφέρει τη θερμότητα του σε άλλο ρευστό, συνήθως νερό για χρήση. Ακόμη, απαιτείται στήριξη των παραπάνω και ένα σύστημα παρακολούθησης του ηλίου. Αναλυτικότερα, παρουσιάζονται τμηματικά παρακάτω.



Εικόνα 1.9: Συλλέκτης παραβολικού κατόπτρου. [12]

Κάτοπτρο:

Το κάτοπτρο είναι παραβολικού προφίλ με σκοπό την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας στο σημείο στόχευσης. Το σημείο αυτό σε ένα ιδανικό παραβολικό προφίλ βρίσκεται στο κέντρο του, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



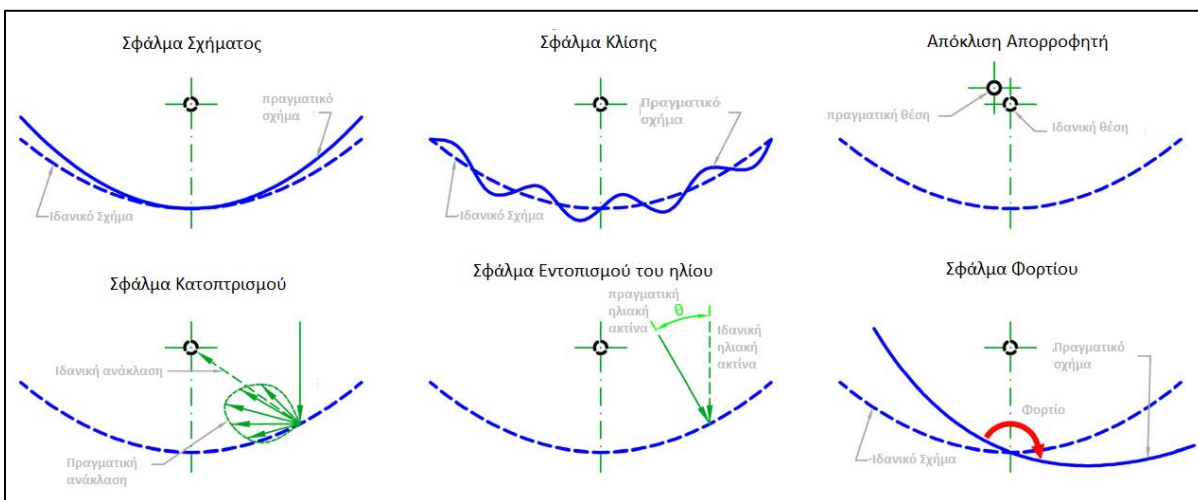
**Εικόνα 1.10: Σχηματική απεικόνιση των μερών του ηλιακού παραβολικού κατόπτρου και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. [13]**

Οι συλλέκτες παραβολικού κατόπτρου δύνανται να εκμεταλλευτούν μόνο την προσπίπτουσα ακτινοβολία, αλλά όχι την διάχυτη καθώς δεν μπορούν να την στοχεύσουν προς τον απορροφητή, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοσή τους σε σκιερές ημέρες ή ώρες που ο ήλιος δεν είναι σε ιδανική θέση για ευθυγράμμιση [14].

Το κάτοπτρο κατασκευάζεται από γυαλισμένο αλουμίνιο ή καθρέπτες και συνηθίζεται βαφή ή επάλειψη με ανακλαστικά υλικά, όπως ανακλαστικό ασήμι [15]. Ακόμη, γίνεται επίστρωση στο αλουμίνιο ή το ασήμι με επιστρώματα που προστατεύουν την ανακλαστική επιφάνεια από την διάβρωση και τη φθορά [14]. Τα συνηθέστερα υλικά είναι υάλινοι καθρέπτες με επικάλυψη από ασήμι, ανοδιωμένα φύλλα αλουμινίου (ίσως με επίστρωση μια μεμβράνης από πολυμερές), ανοδιωμένα πολυμερή και πολυμερείς μεμβράνες με επίστρωση από ασήμι [14]. Ο προσανατολισμός του κατόπτρου γίνεται παράλληλα στον άξονα βορράς - νότος και στρέφεται γύρω από τον άξονα, ακολουθώντας τον ηλίου στη πορεία του από την ανατολή στη δύση ή παράλληλα στον άξονα ανατολή - δύση και ακολουθεί την πορεία του ήλιου καθώς ανεβαίνει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η περιστροφή του κατόπτρου είναι σημαντική για την αύξηση του βαθμού απόδοσης του συστήματος, καθώς επιτυγχάνεται όλες τις ώρες της ημέρας η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Κατά την κατασκευή των κατόπτρων ενδέχεται να προκύψουν ατέλειες και αστοχίες, που να διαφοροποιούν το σημείο στόχευσης και να μειώνουν την απόδοσή του. Τέτοια κατασκευαστικά σφάλματα είναι αυτό του σχήματος, της κλίσης, της απόκλιση θέσης του

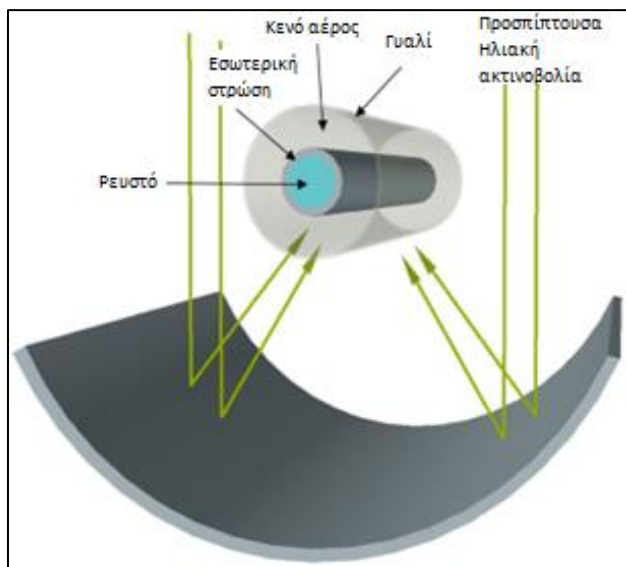
κυλινδρικού απορροφητήρα, του κατοπτρισμού, του εντοπισμού του ηλίου, του φορτίου (αποκτά μια ανεπιθύμητη κλίση) [15].



**Εικόνα 1.11: Αναπαράσταση κατασκευαστικών σφαλμάτων σε ένα παραβολικό κάτοπτρο. [15]**

#### Απορροφητής:

Είναι κυλινδρικός αγωγός που βρίσκεται στο κέντρο του κατόπτρου και αποτελείται από ένα υάλινο κάλυμμα εξωτερικά, ένα μαύρο απορροφητικό μεταλλικό αγωγό εσωτερικά και εσωτερικά αυτού ρέει το εργαζόμενο μέσο [15]. Ένας απορροφητικός μανδύας περιβάλλει τον μεταλλικό αγωγό, ώστε να αυξήσει την απορρόφηση της θερμότητας. Ο μανδύας έχει συντελεστή απορρόφησης της τάξεως του 95% [14]. Το εργαζόμενο μέσο απορροφά τη θερμότητα. Μεταξύ του υάλινου καλύμματος και του απορροφητικού αγωγού επικρατούν συνθήκες μηδενικής πίεσης, προσφέροντας θερμική μόνωση. Το εργαζόμενο μέσο είναι ένα μείγμα νερού και άλλων προσθέτων ή θερμικό έλαιο και έχοντας απορροφήσει την θερμότητα, φτάνει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 200 °C. Οδηγείται σε εναλλάκτη θερμότητας, όπου θερμαίνει το νερό σε δοχείο συλλογής ζεστού νερού χρήσης [15].



Εικόνα 1.12: Απεικόνιση των τμημάτων του παραβολικού συλλέκτη με τη πρόσπτωση της ακτινοβολίας. [16]

#### 1.1.4 Παραβολικός δίσκος



Εικόνα 1.13: Ηλιακός συλλέκτης παραβολικού δίσκου. [17]

Ο παραβολικός δίσκος βασίζεται στην ανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας σε μία συσκευή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο δίσκος στρέφεται με σύστημα εντοπισμού της θέσης του ηλίου σε δύο άξονες, ανακλά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο κέντρο του. Η συσκευή - αποδέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι :

- Είτε μία μονάδα μετατροπής της ενέργειας από θερμική σε ηλεκτρική με την χρήση κινητήρα Stirling. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει τη θερμότητα που προσδίδεται στην κάτω επιφάνεια της μηχανής Stirling για να επιτευχθεί η κίνηση του εμβόλου και η περιστροφή του άξονα προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεννήτριας.
- Είτε αποδέκτης που θερμαίνει το εργαζόμενο μέσο και μέσω εναλλάκτη θερμότητας, προσδίδει τη θερμότητα του σε νερό για χρήση.

Ο δίσκος ηγείται σε ποσοστά εστίασης και απόδοσης έναντι των άλλων τεχνολογιών που βασίζονται στον κατοπτρισμό της ηλιακής ακτινοβολίας, ειδικά εάν πρόκειται για χρήση θερμότητας και όχι παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, δύναται να εγκατασταθεί σε ανώμαλα εδάφη ή σε σημεία χωρίς μεγάλη επίπεδη επιφάνεια, όπως στην κολώνα της οροφής ενός κτιρίου, σε αντίθεση με τους παραβολικούς συλλέκτες [18]. Ακόμη, επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες έως και 350 °C [19].

Η δυσκολία τους έγκειται στην παρακολούθηση του ηλίου καθώς γίνεται πιο σύνθετη , λόγω της περιστροφής του δίσκου σε δύο άξονες [18]. Επιπλέον, η κύρια αιτία απωλειών είναι η ατέλεια στην κατασκευή του κατοπτρικού δίσκου.

### 1.1.5 Ηλιακός Πύργος



Εικόνα 1.14: Ηλιακός πύργος. [20]

Η λειτουργία του ηλιακού πύργου στηρίζεται στην ανάκλαση και στόχευση της ηλιακής ακτινοβολίας, από το πλήθος των επίπεδων καθρεφτών, που είναι εγκατεστημένοι στο έδαφος, προς τον αποδέκτη που βρίσκεται στον πύργο. Στον αποδέκτη θερμαίνεται ένα κλειστό κύκλωμα ρευστού και μέσω εναλλάκτη προσδίδει τη θερμότητα του σε κύκλωμα νερού, το οποίο μπορεί ως ατμός να εκτονωθεί σε ένα εκτονωτή συνδεδεμένο με γεννήτρια προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παραδείγματος χάρη ατμοστρόβιλο, είτε να αξιοποιηθεί σαν ζεστό νερό χρήσης. Παλαιότερα, το κλειστό κύκλωμα ήταν νερού-ατμού. Οι νεότεροι σχεδιασμοί χρησιμοποιούν τετηγμένα άλατα, λόγω της αυξημένης ικανότητας μετάδοσης θερμότητας και ενεργειακής αποθήκευσης [21].

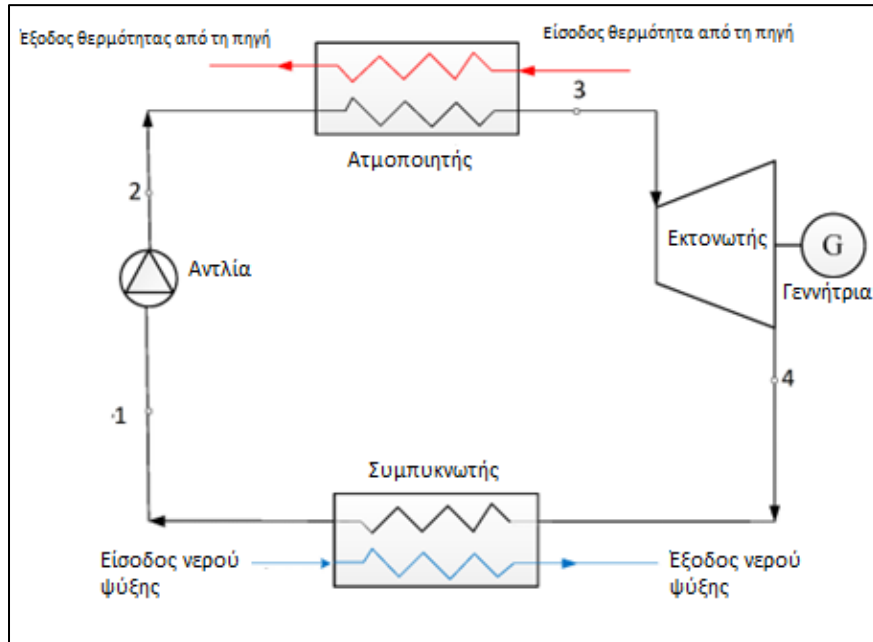
Η ψύξη τους απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού και χρήζει βελτίωσης. Εξίσου ανησυχητικό είναι η θανάτωση των πτηνών που εισέρχονται στην ανακλώμενη ακτινοβολία από τους καθρέπτες προς τον πύργο. Στατιστικά αναφέρεται θανάτωση ενός πτηνού κάθε δύο λεπτά [21].

## 1.2 Οργανικός κύκλος Rankine

---

Ο οργανικός κύκλος Rankine χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Βασίζεται σε κλειστό θερμοδυναμικό κύκλο για τη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Απαιτείται μια πηγή θερμότητας (βιομάζα, γεωθερμία, ήλιος, απορριπτόμενη θερμότητα από άλλες διαδικασίες, κ.α.) [22]. Ο κύκλος Rankine με νερό βρίσκει μεγάλη απήχηση καθώς το 85% της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται με βάση αυτόν.

Ο οργανικός κύκλος χρησιμοποιεί ένα οργανικό ρευστό με σημείο βρασμού μικρότερο του νερού. Η επιλογή του εργαζόμενου μέσου γίνεται βασισμένη στην απόδοση του, το σημείο βρασμού του ανάλογα με την εγκατάσταση και την θερμοκρασία της πηγής θερμότητας, καθώς και με διάφορους περιβαλλοντικούς δείκτες. Η πιο απλοποιημένη μορφή του ORC είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 1.15: Σχηματική αναπαράσταση της απλοποιημένης μορφής ενός κυκλώματος ORC. [23]

Αποτελείται από ένα συμπυκνωτή, μία αντλία, έναν ατμοποιητή και έναν εκτονωτή συνδεδεμένο με μία γεννήτρια. Ο εκτονωτής μπορεί να είναι στρόβιλος, εκτονωτής τύπου screw, scroll, vane, κ.α. ανάλογα με την εφαρμογή.

Περιγραφή ιδανικού κύκλου [24]:

- 1-2: Το εργαζόμενο μέσο σε μορφή κορεσμένου υγρού εισέρχεται στην αντλία και αυξάνεται η πίεση του. (Ισεντροπική συμπίεση)
- 2-3: Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται με αυξημένη πίεση στον ατμοποιητή, ο οποίος ως εναλλάκτης θερμότητας, επιτρέπει την πρόσδοση θερμότητας από την πηγή στο εργαζόμενο μέσο. Αυτό αεριοποιείται σε σταθερή πίεση και μετατρέπεται σε κορεσμένο ατμό. (Ισοβαρής θέρμανση)
- 3-4: Ο ξηρός κορεσμένος ατμός υψηλής ενθαλπίας εκτονώνεται στον εκτονωτή και τον θέτει σε περιστροφική κίνηση. Η γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη με τον εκτονωτή στρέφεται και μετατρέπει την κινητική περιστροφική σε ηλεκτρική ενέργεια. Το εργαζόμενο μέσο εξέρχεται με μειωμένη πίεση και θερμοκρασία και ενδέχεται να έχει προκύψει διφασικό μείγμα. (Ισεντροπική εκτόνωση)



- 4-1: Ο υγρός ατμός εισέρχεται στον συμπυκνωτή και συμπυκνώνεται υπό σταθερή πίεση, ώστε να γίνει κορεσμένο υγρό και να επαναλάβει τη διαδικασία. (Ισεντροπική ψύξη)

Στον πραγματικό κύκλο οι διαδικασίες δεν είναι ισεντροπικές.

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ορίζεται :

$$\eta_e = \frac{\text{Ηλεκτρική ισχύς}}{\text{προσδιδόμενη θερμική ισχύς}}$$

Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε βιομηχανική εφαρμογή ως ο δευτερεύοντας κύκλος, όπου τα αέρια εξέρχονται σε θερμοκρασίες 200-400 °C. Η απόδοση είναι της τάξεως του 20-24% για 400 °C και 8-12% για 150-200 °C. Σε χαμηλότερες των 100 °C ο βαθμός απόδοσης είναι μειωμένος [23]. Το σύστημα παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα [25] [26]:

Πλεονεκτήματα:

- Εκμεταλλεύεται μεγάλα ποσά απορριπτόμενης ενέργειας που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από τον κύκλο με νερό.
- Λειτουργεί και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.
- Μειωμένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Μειωμένο κόστος κατασκευής του συστήματος σε απλές εφαρμογές καθώς τα επιμέρους τμήματα είναι πιο απλά κατασκευαστικά, όπως στρόβιλος με λιγότερες βαθμίδες, απουσία απαεριωτή.
- Αποφεύγεται διάβρωση καθώς το εργαζόμενο μέσο μένει ξηρό, σε αντίθεση με το κύκλο νερού.

Μειονεκτήματα:

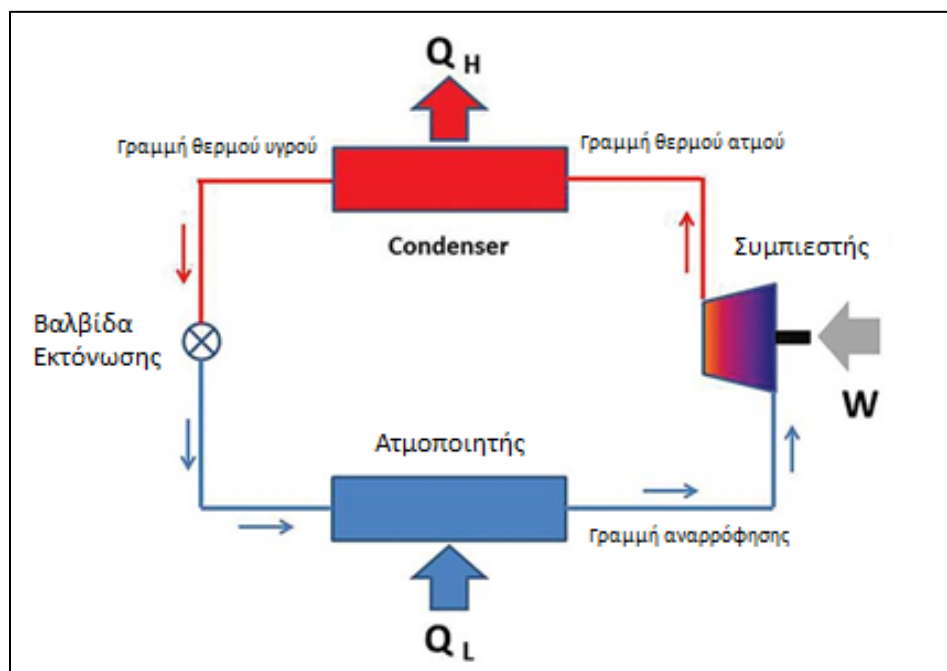
- Παράγει λιγότερη ενέργεια από τον κύκλο Rankine με νερό και το κόστος μπορεί να είναι υψηλό για ειδικές εφαρμογές.
- Το οργανικά εργαζόμενα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι εύφλεκτα και σε πιθανές διαρροές προκύπτει επιζήμιο αποτέλεσμα για το περιβάλλον.

### 1.3 Τεχνολογίες Ψύξης

Η ψύξη επιτυγχάνεται σε όλα τα συστήματα μέσω μιας βασικής αρχής/ τεχνολογίας. Εφαρμόζεται πρόσδοση θερμότητας από τον εσωτερικό ψυχόμενο χώρο προς τον εξωτερικό περιβάλλον. Ένα κύκλωμα εργαζόμενου μέσου (διαφέρει ανάλογα την τεχνολογία) απορροφά θερμότητα στον ατμοποιητή από το ψυχόμενο χώρο, ατμοποιείται και κινείται προς τον συμπυκνωτή, όπου αποβάλλει τη θερμότητα του στο εξωτερικό περιβάλλον, συμπυκνώνεται και επιστρέφει να επαναλάβει τη διαδικασία.

#### 1.3.1 Ψύξη με Μηχανική Συμπίεση

Τα κυριότερα μέρη στη ψύξη με μηχανική συμπίεση είναι ο συμπυκνωτής, ο ατμοποιητής, ο συμπιεστής και η εκτονωτική βαλβίδα. Οι πρώτοι δύο είναι εναλλάκτες θερμότητας. Το εργαζόμενο μέσο επιλέγεται, ώστε να έχει θερμοκρασία ατμοποίησης, υπό ατμοσφαιρική πίεση, μικρότερη από αυτή του περιβάλλοντος. Το εργαζόμενο μέσο κινείται εντός του κλειστού κυκλώματος και απάγει θερμότητα  $Q_L$  από τον ψυχόμενο χώρο μέσω του ατμοποιητή. Εκεί ατμοποιείται και χάρη στον συμπιεστή συμπιέζεται και αυξάνεται η θερμοκρασία του. Εισέρχεται στον συμπυκνωτή και απορρίπτει τη θερμότητα του  $Q_H$  στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να συμπυκνωθεί. Ακολούθως, διέρχεται από την εκτονωτική βαλβίδα, όπου μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία του. Επιστρέφει στον ατμοποιητή και απορροφά θερμότητα εκ νέου από τον ψυχόμενο χώρο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 1.16: Σχηματική αναπαράσταση της απλοποιημένης μορφής ενός συστήματος ψύξης με μηχανική συμπίεση [27]

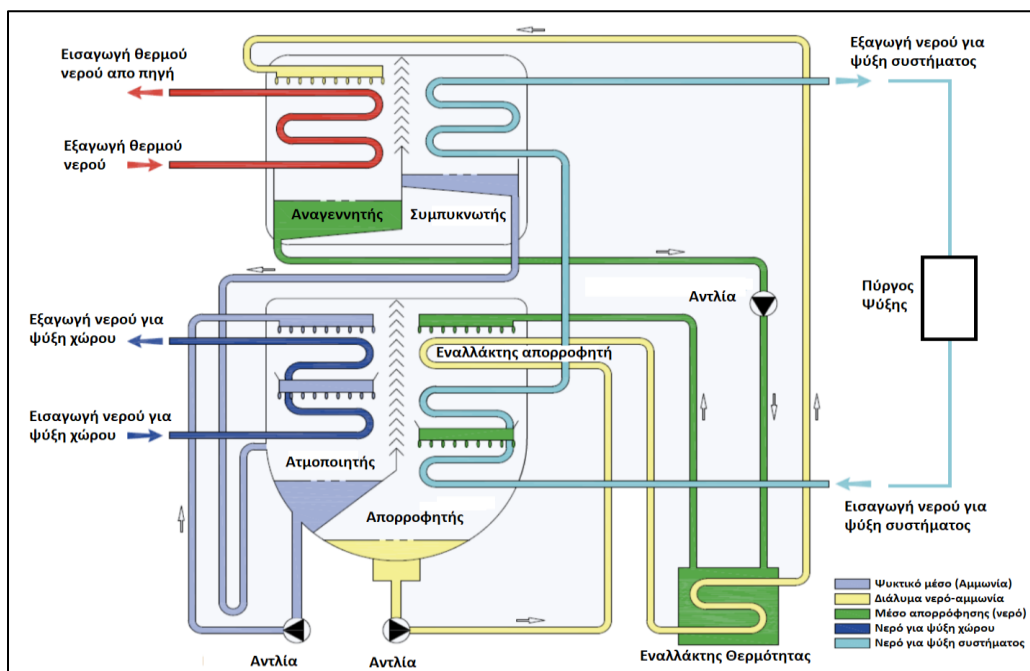
Ο συντελεστής απόδοσης-coefficient of performance COP ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος προς την ισχύ που προσδίδεται στο σύστημα. Επομένως ο συντελεστής απόδοσης για την ψύξη είναι:

$$COP = \frac{\text{ωφέλιμη ψυκτική ισχύς}}{\text{προσδιδόμενη ισχύς}} = \frac{Q_L}{W}$$

Αποτελεί μια ώριμη τεχνολογικά εγκατάσταση με αρκετά υψηλό συντελεστή απόδοσης COP. Αντίθετα, απαιτεί υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του συμπιεστή και έχει επιζήμιο ρόλο στην αποσύνθεση του όζοντος και στην υπερθέρμανση του πλανήτη [28].

### 1.3.2 Ψύξη με απορρόφηση

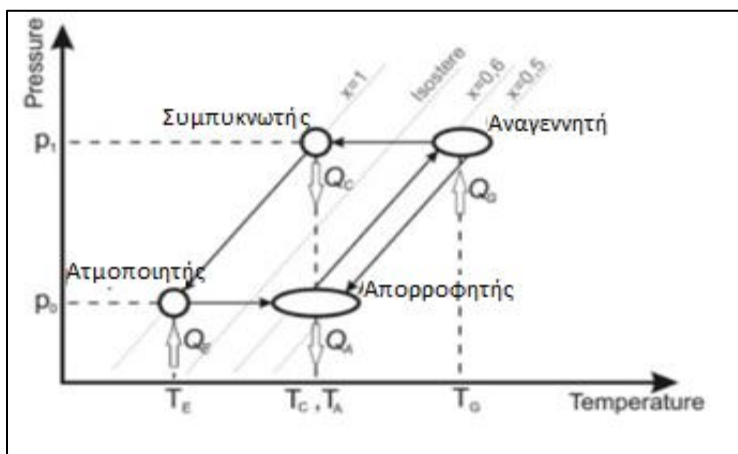
Οι αντλίες θερμότητας με απορρόφηση απαιτούν μια πηγή θερμότητας (ήλιο, απορριπτόμενη θερμότητα από άλλη διαδικασία, γεωθερμία, κ.α.) και αντικαθιστούν τον συμπιεστή με ένα κλειστό κύκλωμα που επιτυγχάνει την κίνηση του εργαζόμενου μέσου.



Εικόνα 1.17: Αντλία θερμότητας με απορρόφηση. [29]

Τα βασικά μέρη του κυκλώματος είναι ο συμπυκνωτής, η γεννήτρια-αναγεννητής, ο απορροφητής και ο ατμοποιητής, οι οποίοι είναι ουσιαστικά εναλλάκτες θερμότητας. Επίσης, υπάρχει και ένας πέμπτος εναλλάκτης θερμότητας (SHX) μεταξύ της γεννήτριας και του απορροφητή. Οι πρώτοι τέσσερις είναι συνήθως τύπου shell and tube ενώ ο πέμπτος είναι πλακοειδής εναλλάκτης [30]. Ο θερμοδυναμικός κύκλος πραγματοποιείται μεταξύ δύο

πιέσεων, στον απορροφητή και τον ατμοποιητή επικρατεί η χαμηλή πίεση ενώ στον αναγεννητή και τον συμπυκνωτή υψηλότερη πίεση.



Εικόνα 1.18: Διάγραμμα πίεσης-θερμοκρασίας του κύκλου λειτουργίας της αντλίας θερμότητας με απορρόφηση. [31]

Ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται συνήθως βρωμιούχο λίθιο σε υγρή μορφή (LiBr) με νερό ή αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) με νερό. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην απορρόφηση και την εξάτμιση του ψυκτικού μέσου. Στο συνδυασμό αμμωνία-νερό το νερό λειτουργεί ως το μέσο απορρόφησης και η αμμωνία ως ψυκτικό ενώ στο LiBr-νερό, το LiBr ως μέσο απορρόφησης και το νερό ως ψυκτικό [32].

Η θερμότητα από την πηγή προσδίδεται σε ένα κλειστό κύκλωμα νερού. Το θερμό νερό εισέρχεται στον αναγεννητή, δίχως να αναμειγνύεται, προσδίδει τη θερμότητα του και το διάλυμα νερού και LiBr διαχωρίζεται. Οι υδρατμοί κινούνται προς τον συμπυκνωτή. Το υγρό LiBr, που έχει αναγεννηθεί και διερχόμενο από τον εναλλάκτη SHX, καταλήγει στον απορροφητή, όπου ψεκάζεται, ενώνεται με υδρατμούς και ως διάλυμα επιστρέφει μέσω του SHX στον αναγεννητή.

Το νερό από τον ψυχόμενο χώρο (chilled water) εισέρχεται στον ατμοποιητή με τη μέγιστη θερμοκρασία του, όπου οι σωλήνες του διαβρέχονται από το νερό που εξέρχεται από το συμπυκνωτή και εξέρχεται με την ελάχιστη θερμοκρασία του. Συνεπώς, το πρώτο ψύχεται και επιστρέφει στον ψυχόμενο χώρο ικανό να απάγει θερμότητα από το χώρο και το δεύτερο ατμοποιείται και ενώνεται στον απορροφητή με το LiBr.

Επικουρικά υπάρχουν και άλλα δύο κυκλώματα. Το πρώτο αποτελεί κλειστό κύκλωμα νερού, διέρχεται από το συμπυκνωτή και τον απορροφητή, ψύχει και υγροποιεί τους υδρατμούς και τους υδρατμούς με LiBr, αντίστοιχα. Έπειτα ψύχεται σε πύργο ψύξης. Το δεύτερο συλλέγει το νερό από τον ατμοποιητή και το ψεκάζει εκ νέου μέσα στον ατμοποιητή, έως ότου ατμοποιηθεί.

Η προσδιδόμενη θερμότητα στο σύστημα είναι αυτή του θερμού νερού που φτάνει στον αναγεννητή και συμβολίζεται με  $Q_g$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι στον απορροφητή και τον συμπυκνωτή αποβάλλεται θερμότητα  $Q_a$  και  $Q_c$ , ενώ στον ατμοποιητή απορροφείται ενέργεια  $Q_e$ . Επομένως, η ψυκτική ισχύς της αντλίας θερμότητας απορρόφησης εξαρτάται από τη θερμότητα που απάγεται από το ψυχόμενο χώρο, η οποία ισούται με τη θερμότητα που αποβάλλεται από το νερό ψύξης chilled water στον ατμοποιητή (αν αγνοήσουμε τις απώλειες θερμότητας στη διαδρομή). Το παρόν σύστημα δύναται να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση του χώρου, εάν η θερμότητα από τον απορροφητή και το συμπυκνωτή διοχετευτεί σε αυτόν. Η θερμότητα στο χώρο ισούται με το άθροισμα  $Q_a+Q_c$ . Ο συντελεστής απόδοσης COP (coefficient of performance) υπολογίζεται [30] :

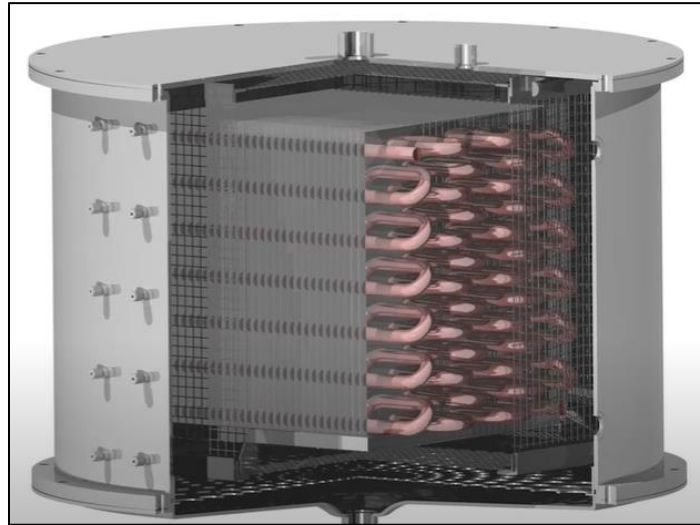
$$\text{COP}_{\text{cooling}} = \frac{Q_e}{Q_g}$$
$$\text{COP}_{\text{heating}} = \frac{Q_c + Q_a}{Q_g}$$

Τέλος, χρησιμοποιούνται βοηθητικές αντλίες για την κυκλοφορία των ρευστών στα επιμέρους κυκλώματα, οι οποίες είναι χαμηλής κατανάλωσης. Η διαφορά με τα μηχανικά συστήματα ψύξης είναι ότι δεν υπάρχει η ανάγκη συμπίεσης του εργαζόμενου μέσου από τον συμπιεστή, που είναι ενεργοβόρος, καθώς το LiBr (ή η αμμωνία) ενώνεται με το νερό και κυκλοφορεί χάρη σε πιο μικρές αντλίες έως τον αναγεννητή, όπου διαχωρίζονται εκ νέου με την πρόσδοση θερμότητας από το θερμό νερό.

### 1.3.3 Ψύξη με προσρόφηση

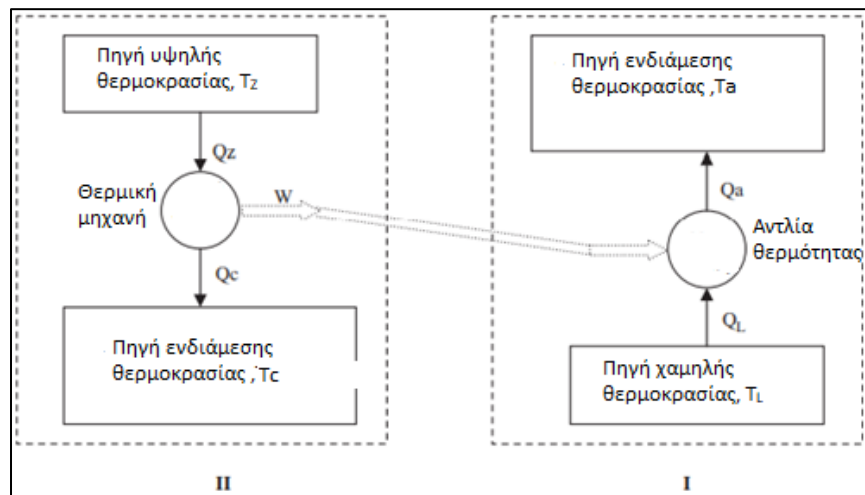
Η αντλία θερμότητας με προσρόφηση αξιοποιεί τη θερμική ενέργεια από μία πηγή (γεωθερμία, ήλιος, απορριπτόμενη θερμότητα, κ.α.). Τα βασικά μέρη είναι ένας προσροφητής (adsorber), που αποτελεί δοχείο πλήρες με προσροφητικό υλικό (ζεόλιθο, ενεργό άνθρακα, gel πυριτίου), ένας συμπυκνωτής, ένας ατμοποιητής και μια εκτονωτική βαλβίδα (expansion valve) [28]. Οι πρώτοι τρεις είναι εναλλάκτες θερμότητας. Απαραίτητο για τη βέλτιστη λειτουργία είναι να επιτευχθούν πολύ χαμηλές πιέσεις που να μπορούν να θεωρηθούν κενό.

Ο προσροφητής παρουσιάζεται παρακάτω. Ενδιάμεσα στους χάλκινους αγωγούς εμπεριέχεται το προσροφητικό υλικό το οποίο απορροφά ή αποβάλλει υγρασία ανάλογα με την απόδοση ή πρόσδοση θερμότητας σε αυτό, αντίστοιχα. Αυτό αποτελεί φυσική ιδιότητα του προσροφητικού υλικού.



Εικόνα 1.19: Προσροφητής. [33]

Για την κατανόηση της λειτουργίας αναλύεται η διαδικασία σε δύο μέρη, όπως φαίνεται παρακάτω:



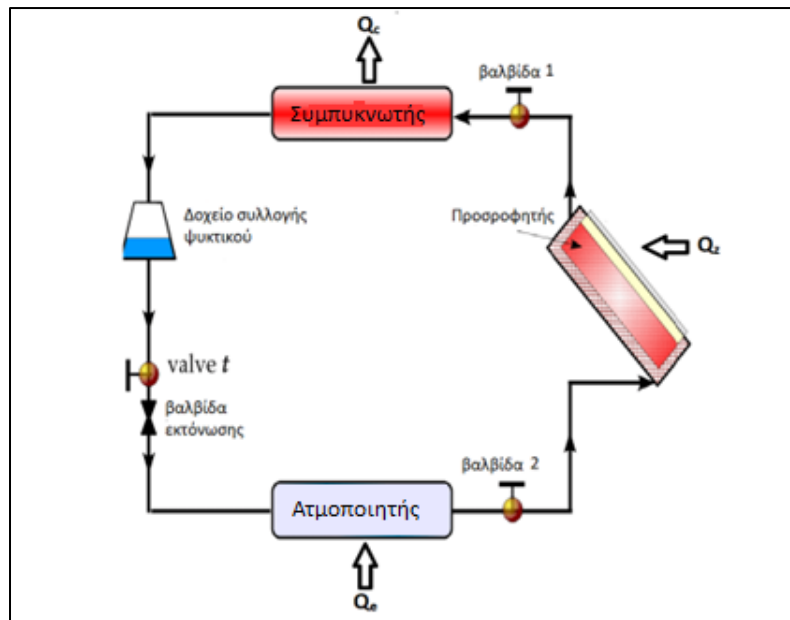
Εικόνα 1.20: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του ψύκτη προσρόφησης. [28]

Ο πρώτος (I) κύκλος απεικονίζει την αντλία θερμότητας, στην οποία το εργαζόμενο μέσο εξατμίζεται στον ατμοποιητή λαμβάνοντας θερμότητα  $Q_L$  από την πηγή χαμηλής θερμοκρασίας  $T_L$  (τον ψυχόμενο χώρο) και απελευθερώνει θερμότητα  $Q_a$  σε πηγή μέσης θερμοκρασίας  $T_a$ . Αυτός ο κύκλος αναπαριστά τη διαδικασία της προσρόφησης [28].

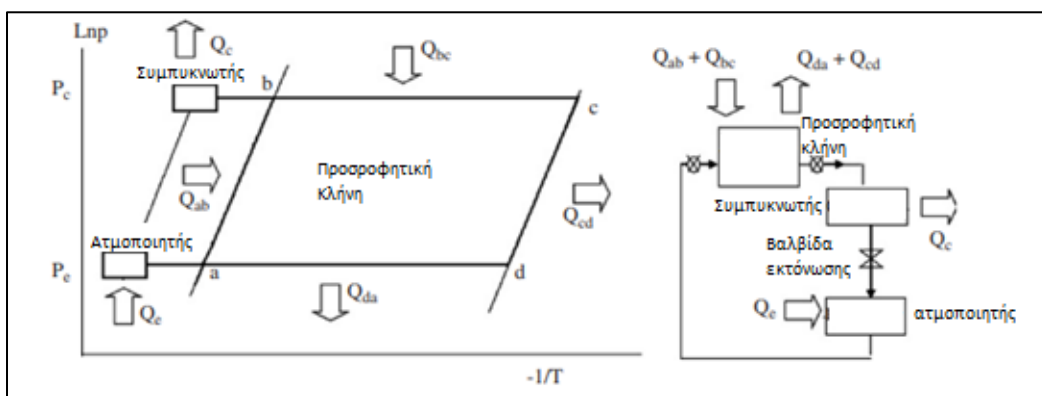
Ο δεύτερος κύκλος (II) αποτελεί τη θερμική μηχανή ή θερμικό συμπιεστή, η οποία λαμβάνει θερμότητα  $Q_z$  από πηγή υψηλής θερμοκρασίας  $T_z$  και αποβάλλει θερμότητα  $Q_c$  σε πηγή μέσης

θερμοκρασίας  $T_c$ . Αυτός ο κύκλος αναπαριστά τη διαδικασία της εκρόφησης, που είναι η αντίστροφη από την προσρόφηση [28]. Οι μέσες θερμοκρασίες  $T_c$  και  $T_a$  είναι περίπου ίσες. Το θεωρητικό έργο  $W$  που προσφέρεται από τον πρώτο στο δεύτερο κύκλο είναι αυτό που συμβάλει στη λειτουργία της αντλίας θερμότητας [28].

Το κύκλωμα παρουσιάζεται σχηματικά παρακάτω:



Εικόνα 1.21: Σχηματική αναπαράσταση της απλοποιημένης μορφής ενός κυκλώματος του ψύκτη προσρόφησης. [34]



Εικόνα 1.22: Διάγραμμα πίεσης θερμοκρασίας του κύκλου λειτουργίας και σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος του ψύκτη προσρόφησης. [28]

Η θερμότητα που εισάγεται στο σύστημα είναι από τη πηγή θερμότητας. Η διαδικασία χωρίζεται σε τέσσερις φάσεις [28]:

- ab: με κλειστές τις βαλβίδες του συστήματος γίνεται θέρμανση στο προσροφητή, χωρίς να αλλοιώνονται οι περιεκτικότητες του προσροφητικού υλικού και του νερού. (ισοστερική θέρμανση-isosteric heating).
- bc: ανοίγει η βαλβίδα 1 μεταξύ του προσροφητή και του συμπυκνωτή, συνεχίζεται η θέρμανση, ξεκινάει η εκρόφηση, δηλαδή η αποβολή υδρατμών από το προσροφητικό μέσο με την προσφορά θερμότητας και οι υδρατμοί συμπυκνώνονται στον συμπυκνωτή. Η πίεση παραμένει σταθερή. (ισοβαρής εκρόφηση-isobaric desorption)
- cd: με κλειστές τις βαλβίδες, γίνεται ψύξη από τη μέγιστη  $T_c$  προς  $T_d$ . Επίσης μειώνεται και η πίεση, χωρίς να αλλοιώνονται οι περιεκτικότητες του προσροφητικού υλικού και του νερού (ισοστερική ψύξη-isosteric cooling).
- da: Η βαλβίδα 2 μεταξύ του προσροφητή και του ατμοποιητή ανοίγει και πραγματοποιείται η διαδικασία της προσρόφησης υδρατμών και εκπομπή θερμότητας. Υπό σταθερή πίεση η θερμοκρασία μειώνεται (ισοβαρής προσρόφηση-isobaric adsorption).

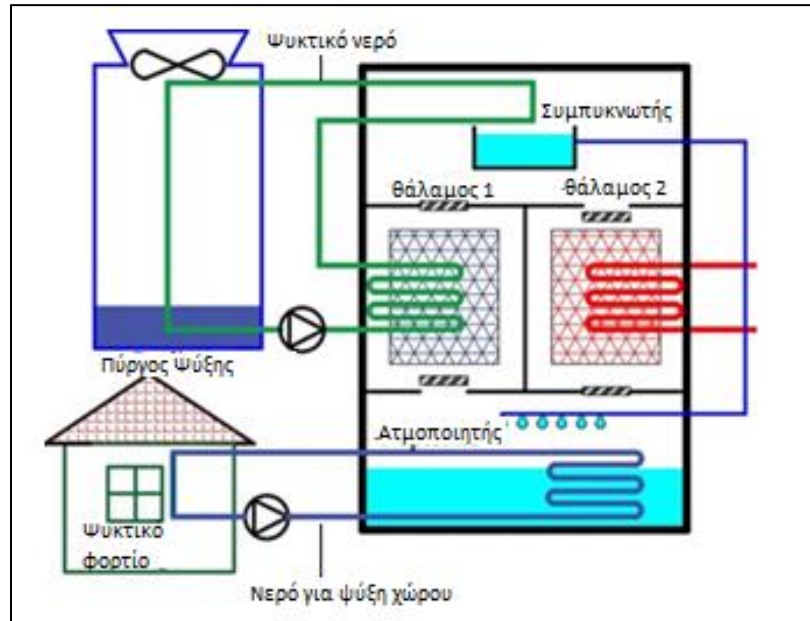
Η θέρμανση στα στάδια ab και bc γίνεται με τη θερμότητα από την πηγή. Επομένως,  $Q_{ab} + Q_{bc} = Q_z$ . Η ψύξη επιτυγχάνεται με την απαγωγή της θερμότητας  $Q_e$  από τον ψυχόμενο χώρο. Η θερμική ισχύς είναι το άθροισμα  $Q_{da} + Q_{cd} + Q_c$ .

Έτσι προκύπτουν :

$$\text{COP}_{\text{cooling}} = \frac{Q_e}{Q_z} = \frac{Q_e}{Q_{ab} + Q_{bc}}$$
$$\text{COP}_{\text{heating}} = \frac{Q_c + Q_{cd} + Q_{da}}{Q_z} = \frac{Q_c + Q_{cd} + Q_{da}}{Q_{ab} + Q_{bc}}$$

Ο κύκλος είναι διακοπτόμενος και δεν υπάρχει συνεχής ροή. Για να επιτευχθεί συνεχής ροή απαιτούνται δύο προσροφητές, ώστε όταν ο ένας βρίσκεται στην φάση της προσρόφησης, ο άλλος να βρίσκεται στην φάση της εκρόφησης και να αναγεννιέται το προσροφητικό μέσο για να είναι έτοιμο για την προσρόφηση. Όπως παρουσιάζεται και παρακάτω ο θάλαμος 2 απορροφά θερμότητα και αποβάλλει υδρατμούς στον συμπυκνωτή με ανοιχτή τη μεταξύ τους βαλβίδα. Την ίδια στιγμή ο θάλαμος 1 ψύχεται από το νερό ψύξης, από τον πύργο ψύξης και προσροφά υδρατμούς από τον ατμοποιητή, αποβάλλοντας θερμότητα. Το νερό που ψύχει το ψυχόμενο χώρο (chilled water) απορροφά θερμότητα από το χώρο και τη προσδίδει στο νερό στον ατμοποιητή. Το νερό ψύξης (cooling water) απορροφά θερμότητα από τον θάλαμο που βρίσκεται σε εκρόφηση και από τον συμπυκνωτή και την αποβάλλει στο περιβάλλον μέσω του πύργου ψύξης.





Εικόνα 1.23: Γραμμική απεικόνιση του κυκλώματος ψύξης με προσρόφηση. [35]

Πλεονεκτήματα [28]:

- λειτουργεί με θερμική ενέργεια (ηλιακή, γεωθερμία, απορριπτόμενη θερμότητα από άλλη διαδικασία)
- λειτουργεί και με πηγές θερμότητας με χαμηλότερη θερμοκρασία
- φιλική προς το περιβάλλον, χωρίς βλαβερά υλικά
- δεν απαιτούνται κινητά μέρη
- μεγάλη διάρκεια ζωής
- αθόρυβη λειτουργία
- δεν απαιτείται συχνή συντήρηση
- μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συσκευή αποθήκευσης θερμικής ενέργειας

Μειονεκτήματα [28]:

- χαμηλό συντελεστή απόδοσης COP
- διακοπτόμενη λειτουργία
- υψηλή τεχνολογία και σχεδιασμός για να επιτευχθεί το κενό αέρος
- μεγάλος όγκος και μάζα

### 1.3.4: Σύγκριση των τεχνολογιών ψύξης

Συγκρίνοντας τις ανωτέρω τεχνολογίες ψύξης προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Ο συντελεστής απόδοσης COP είναι με διαφορά μεγαλύτερος στη μηχανική συμπίεση όπως παρουσιάζεται παρακάτω [28]:

**Πίνακας 1.1: Σύγκριση των συντελεστών απόδοσης COP για τις τεχνολογίες ψύξης**

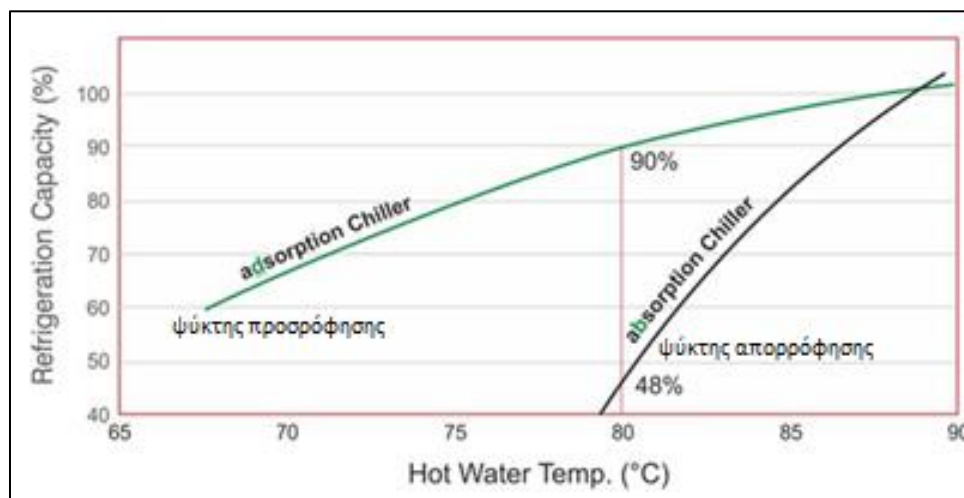
Τύπος	Εργαζόμενο μέσο	Συντελεστής απόδοσης COP
Μηχανική Ψύξη		3 - 4
Απορρόφηση	Μεθανόλη νερό	0.7 - 1.1
	Βρωμιούχο λίθιο -νερό	0.7 - 1.1
Προσρόφηση	Ενεργός Άνθρακας -μεθανόλη	0.12 – 1.06
	Ζεόλιθος - νερό	0.28 – 1.4
	gel Πυριτίου - νερό	0.25 – 0.65

- Η αντλία θερμότητας με προσρόφηση είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον από τις άλλες δύο και ιδιαίτερα από την αντλία μηχανικής συμπίεσης, καθώς η τελευταία καταναλώνει αρκετά μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλει αρνητικά στην τρύπα του όζοντος και στην υπερθέρμανση του πλανήτη.
- Οι θερμικά κινούμενες αντλίες θερμότητας απορρόφησης και προσρόφησης δύνανται να αξιοποιήσουν απορριπτόμενη θερμότητα από άλλες διαδικασίες ή θερμότητα από γεωθερμία ή θερμική ενέργεια από τον ήλιο, σε αντίθεση με τη τελευταία που απαιτεί κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η αντλία προσρόφησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν αποθήκη ενέργειας.
- Η αντλία μηχανικής συμπίεσης είναι πιο ώριμη και διαδεδομένη τεχνολογία.
- Σύγκριση του ψύκτη προσρόφησης με τον ψύκτη απορρόφησης [36]:

**Πίνακας 1.2: Σύγκριση του ψύκτη προσρόφησης και του ψύκτη απορρόφησης**

Κατηγορία	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης
Διάρκεια ζωής [έτη]	>25	7-9
Συντήρηση	Ελάχιστη	Υψηλή
Θερμοκρασία αναγέννησης [°C]	50	80
Εργαζόμενο μέσο	Gel πυριτίου (αδρανές)	Βρωμιούχο λίθιο (διαβρωτικό)
Επιμέρους αντικαταστάσεις	Καμία	εναλλάκτες θερμότητας, απορροφητικό μέσο

- Υψηλή ψυκτική απόδοση ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες . Παρακάτω γίνεται σύγκριση με την αντλία απορρόφησης.



**Εικόνα 1.24: Διάγραμμα της ψυκτικής ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του ζεστού νερού εισόδου.[36]**

- Σύγκριση του ψύκτη προσρόφησης με το ψύκτη μηχανικής συμπίεσης [36]:

**Πίνακας 1.3: Σύγκριση του ψύκτη προσρόφησης και του ψύκτη μηχανικής συμπίεσης**

Κατηγορία	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης Μηχανικής Συμπίεσης
Θόρυβος [dB]	Πολύ χαμηλός <50	Υψηλός >80
Λειτουργικά Κόστη	Ελάχιστα	Υψηλά
Συντήρηση	Καμία	Απαιτείται συντήρηση, έλεγχος και αλλαγή ελαίων , αντικατάσταση οδοντωτών τροχών κάθε 15 έτη
Χημεία	Χρήση νερού και ειδικού gel πυριτίου	HFC και HCFC ψυκτικά με συνθετικό έλαιο
Ενεργειακές απαιτήσεις	Θερμό νερό 50 °C έως 93 °C	Ηλεκτρική ενέργεια: 230/415-3Φ-50Hz 460-60Hz 240-3Φ-60Hz

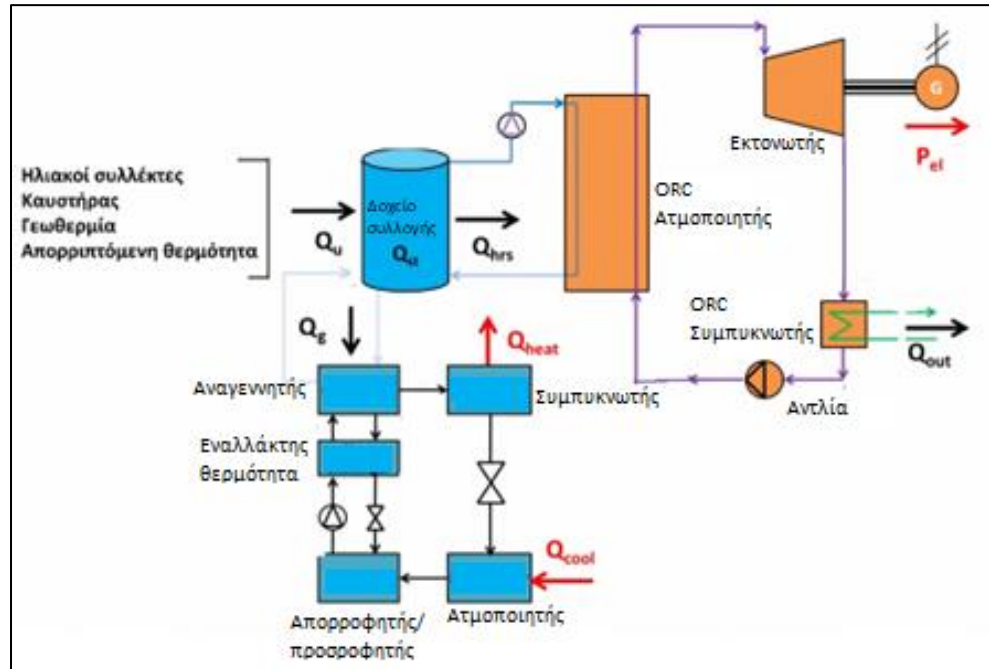
## 1.4 Συστήματα Τριπαραγωγής

Το σύστημα τριπαραγωγής αξιοποιεί τη θερμότητα από μία πηγή και παρέχει ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη. Η θερμότητα που εισάγεται στο σύστημα μπορεί να είναι από τον ήλιο, τη γεωθερμία, την καύση βιομάζας, φυσικού αερίου ή άλλων καυσίμων και την απόρριψη θερμότητας από άλλη διαδικασία. Η απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να είναι από οποιαδήποτε βιομηχανική διεργασία, από θερμά νερά από την ψύξη των μηχανών ή καυσαέρια από ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας.

Το σύστημα έχει ως αρχή τον συνδυασμό επιμέρους υποσυστημάτων για την μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα ή ψύξη. Η ηλεκτρική ενέργεια προκύπτει από ένα κλειστό κύκλωμα με έναν εκτονωτή συνδεδεμένο σε μια γεννήτρια, όπως ένα κύκλωμα ORC. Η ψύξη και η θέρμανση προκύπτει από υποσυστήματα, όπως αντλίες θερμότητας με προσρόφηση ή απορρόφηση. Αυτές μπορούν να αξιοποιήσουν τη θερμότητα από θερμό νερό, ατμό ή απευθείας από τον θάλαμο καύσης, εάν γίνεται καύση. Ακόμη, μπορεί να γίνει ψύξη με μηχανική συμπίεση είτε άμεσου τύπου είτε με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνήθως, από την πηγή θερμότητας θερμαίνεται αρχικά κλειστό κύκλωμα με σκοπό την εκτόνωση του αερίου εργαζόμενου μέσω στον εκτονωτή προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα, το εργαζόμενο μέσο προσδίδει τη θερμότητα του σε ένα δεύτερο κύκλωμα μέσω εναλλάκτη θερμότητας. Το πρώτο ψύχεται, το δεύτερο θερμαίνεται και μέσω αντλίας θερμότητας ψύχει ή θερμαίνει το χώρο ανάλογα τις ανάγκες.

Μια απλουστευμένη διάταξη τριπαραγωγής παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 1.25: Γραμμική απεικόνιση ενός συστήματος τριπαραγωγής. [37]

Από την εισαγόμενη θερμότητα  $Q_u$  προκύπτει ηλεκτρική ισχύς  $P_{el}$ , ψύξη  $Q_{cool}$  και θέρμανση  $Q_{heat}$ . Παρακάτω παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του συστήματος τριπαραγωγής.

Πλεονεκτήματα [38]:

- Μειωμένα ενεργειακά κόστη και ενεργειακή κατανάλωση, όταν πηγή θερμότητας είναι η απορριπτόμενη θερμότητα μιας άλλης διαδικασίας.
- Μειωμένο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Αποτελεί αποδοτική μέθοδο που μειώνει κατά 30% τις εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες.
- Ιδανικό για απομονωμένες περιοχές, ειδικά αν υπάρχουν ακραία καιρικά φαινόμενα, μειώνοντας το ρίσκο της διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Αυτόνομο. Δεν εξαρτάται από την ζήτηση των καταναλωτών του δικτύου.
- Μειωμένα οικονομικά κόστη, καθώς δεν υπόκειται σε αλλαγή της τιμολόγησης-ταρίφας του δικτύου.

Μειονεκτήματα [39]:

- Απαιτείται εξειδικευμένη συντήρηση για να λειτουργήσει με αξιοπιστία

## Κεφάλαιο 2: Ανάλυση Κύκλου Ζωής

### 2.1 Ορισμός

Η ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment or Life Cycle Analysis) είναι μια συστηματική και αναλυτική μέθοδος που βοηθάει στην αναγνώριση, εκτίμηση και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Ως προϊόν ορίζεται κάθε υλικό ή άυλο αγαθό ή υπηρεσία [40]. Οι κατηγορίες επιπτώσεων που εξετάζονται είναι η χρήση ενέργειας και πρώτων υλών, η ρύπανση της ατμόσφαιρας, του εδάφους, του νερού, κ.α. Το αντικείμενο μελέτης μπορεί να είναι ένα προϊόν, ένα σύστημα προϊόντων, ή μια υπηρεσία. Ο στόχος της ΑΚΖ είναι ο ακριβής προσδιορισμός και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων που επιφέρει το αντικείμενο μελέτης στο περιβάλλον. Αποτελεί εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που καταγράφει, ποσοτικοποιεί και συγκρίνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με το αντικείμενο μελέτης. Συμβάλλει στην βιώσιμη ανάπτυξη, στη πρόληψη της ρύπανσης και την εξοικονόμηση φυσικών πόρων [41].

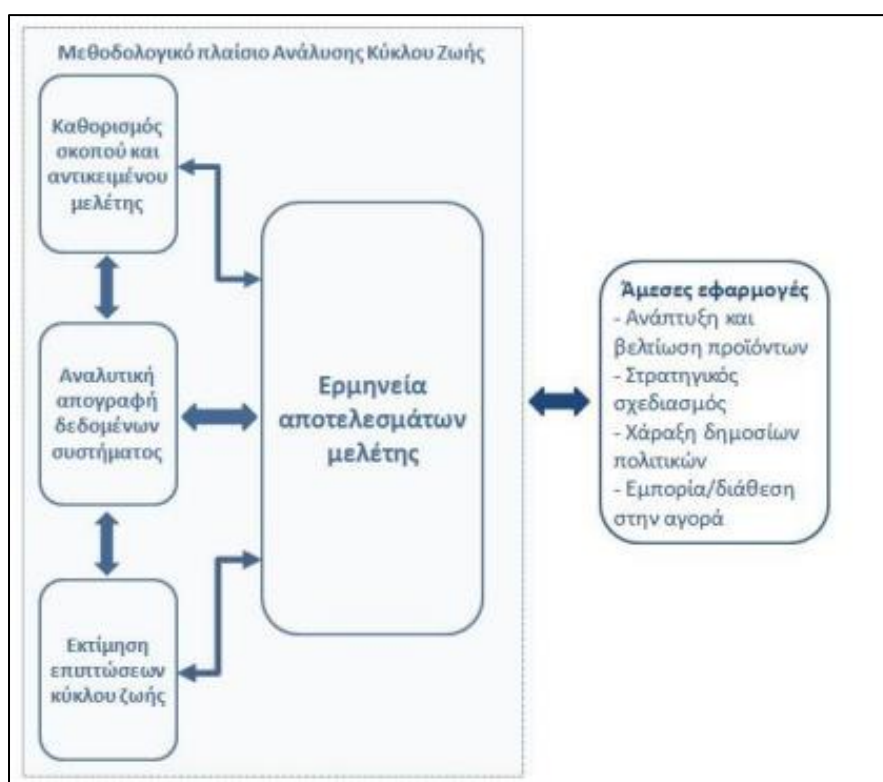


Εικόνα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση ΑΚΖ. [42]

## 2.2 Μεθοδολογία ΑΚΖ

Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι μια συστηματική, τυποποιημένη διαδικασία. Η πραγματοποίηση της γίνεται με συγκεκριμένα πρωτόκολλα τυποποίησης ISO (International Organization for Standardization). Η μεθοδολογία σε αντιστοιχία με το ISO 14040 και ISO 14044 είναι η εξής [43]:

1. Καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου μελέτης (goal and scope definition)
2. Αναλυτική απογραφή των δεδομένων του συστήματος (life cycle inventory analysis)
3. Εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (life cycle impact assessment)
4. Ερμηνεία αποτελεσμάτων της μελέτης (life cycle interpretation)



Εικόνα 2.2: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας της ΑΚΖ. [43]

Στην ανωτέρω εικόνα είναι σημαντικό να παρατηρηθεί είναι η σύνδεση των βημάτων μεταξύ τους, η αναγκαιότητα ύπαρξης καθενός από αυτά και η τήρηση αυτής της αυστηρής δομής ώστε να διαμορφωθεί το τελικό αποτέλεσμα.

### 2.2.1 Καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου μελέτης

Είναι το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας, κατά το οποίο διατυπώνεται με σαφήνεια και ακρίβεια ο σκοπός και το αντικείμενο μελέτης της ΑΚΖ. Προσδιορίζονται όλα τα σημεία που προσδίδουν σαφήνεια, όπως οι λόγοι για τους οποίους διεκπεραιώνεται, οι παραδοχές που γίνονται, η εφαρμογή της μελέτης καθώς και η χρήση των αποτελεσμάτων. Ειδικότερα παρουσιάζονται τα σημαντικότερα σημεία:

- Σύστημα μελέτης και τα όρια του

Ο προσδιορισμός του συστήματος μελέτης και των ορίων του καθορίζουν τις διεργασίες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην μελέτη.

- Λειτουργική Μονάδα

Είναι το μέτρο λειτουργίας του συστήματος, μια κοινή μονάδα αναφοράς η οποία επιτρέπει την σύγκριση διαφορετικών συστημάτων ή σεναρίων. Είναι μια βάση σύγκρισης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

- Διάγραμμα ροής

Διαμορφώνει μια ποιοτική γραφική απεικόνιση των σχετικών διεργασιών. Πρέπει να περιλαμβάνει μόνο τις διεργασίες και τα στάδια που υπάγονται των ορίων του συστήματος.

- Εγκυρότητα των αποτελεσμάτων

Βασική προϋπόθεση είναι η εγκυρότητα των δεδομένων εισαγωγής.

### 2.2.2 Αναλυτική απογραφή των δεδομένων του συστήματος

Στο επόμενο στάδιο γίνεται η ποσοτική καταγραφή των δεδομένων που αφορούν το σύστημα. Το σύστημα μπορεί να απεικονιστεί ως ένα «μαύρο κουτί» γύρω από το οποίο να γίνει μια ποσοτική περιγραφή της συνολικής ροής μάζας και ενέργειας [43]. Τα δεδομένα είναι οι είσοδοι και οι έξοδοι του συστήματος. Είσοδοι ενός συστήματος είναι τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, η μάζα του καθενός από αυτά, τα χαρακτηριστικά τους, η ενέργεια που προσδόθηκε στο σύστημα, η ενέργεια κατασκευής των υλικών. Ενώ στις εξόδους συγκαταλέγονται οι ρύποι (ατμοσφαιρικοί, υδάτινοι, εδάφους). Οι πηγές των δεδομένων μπορεί να είναι πρωτογενείς (από δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών ή μετρήσεις), ή από βιβλιογραφία, δημοσιεύσεις, βάσεις δεδομένων.



### 2.2.3 Εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής

Σε αυτό το στάδιο γίνεται η συνολική εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής του συστήματος. Οι επιπτώσεις καταγράφονται με γνώμονα την περιβαλλοντική επιβάρυνση κάθε μορφής, σε καθένα από τα στάδια του κύκλου ζωής. Οι επιπτώσεις είναι οι έξοδοι του συστήματος και έχουν περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Οι σημαντικότερες είναι οι ατμοσφαιρικοί, οι υδάτινοι και οι εδαφικοί ρύποι.

Σύμφωνα με το ISO 14040 και ISO 14044 η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών μπορεί να αφορά επιπτώσεις ενδιάμεσου (midpoint) και τελικού σημείου (endpoint). Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την κλιματική αλλαγή, την εξασθένηση και αποσύνθεση του όζοντος στη στρατόσφαιρα, τη ύπαρξη όζοντος στην ατμόσφαιρα, τις τοξικολογικές επιπτώσεις στον άνθρωπο και στα οικοσυστήματα, τη μείωση των μη ανανεώσιμων ορυκτών πόρων, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την οξίνιση των ωκεανών (μείωση του pH του θαλασσινού νερού). Επικεντρώνονται σε μεμονωμένες επιπτώσεις, προβλήματα, καταστροφές. Την γενικότερη ζημιογόνο δράση την εξετάζουν οι επιπτώσεις τελικού σημείου, οι οποίες επικεντρώνονται στις εξής κατηγορίες [44]:

- Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία
- Επίδραση στα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα.  
Αλλοιώνουν την τροφική αλυσίδα, αποδομούν τα οικοσυστήματα, προκαλούν μείωση ή/και εξαφάνιση πληθυσμών πανίδας και χλωρίδας.
- Εξάντληση των φυσικών πόρων.  
Χωρίζονται σε ανανεώσιμους (ήλιος, βιομάζα, άνεμος), μη ανανεώσιμους (πεπερασμένος όγκος) και σε βιοτικούς (πόρους χλωρίδας και πανίδας)

Τα κυριότερα στάδια εκτίμησης των επιπτώσεων είναι τα παρακάτω:

- Ταξινόμηση (classification)

Τα στοιχεία-αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων ταξινομούνται στις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων.

- Χαρακτηρισμός (characterization)

Αναλύονται, ποσοτικοποιούνται και αθροίζονται τα περιβαλλοντικά φορτία. Έπειτα εκφράζονται με τους όρους-δείκτες ισοδύναμης μονάδας, η οποία είναι μοναδική για κάθε κατηγορία. Ο μετασχηματισμός για τον υπολογισμό του όρου - δείκτη γίνεται με τη χρήση επιστημονικά ορισμένων παραγόντων χαρακτηρισμού (characterization factors), οι οποίοι είναι γνωστοί με την ονομασία «παραγόντες ισοδυναμίας» (“equivalency factors”) [45].

- Κανονικοποίηση (normalization)

Είναι προαιρετικό στάδιο κατά ISO. Κανονικοποίηση είναι η μορφοποίηση και η σύγκριση των υπολογισθέντων δεικτών με τιμές που είναι χρήσιμες για εξαγωγή ενός συμπεράσματος. Οι τιμές αυτές λειτουργούν ως σημείο αναφοράς. Ειδικότερα, οι τιμές που λαμβάνονται από τον στάδιο του χαρακτηρισμού, συγκρίνονται με τις τιμές αναφοράς που έχει ορίσει ο αναλυτής, με σκοπό την κατανόηση του μεγέθους των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η σύγκριση αυτή των τιμών, πραγματοποιείται αυστηρά μόνο για κάθε κατηγορία επιπτώσεων ξεχωριστά.

- Στάθμιση (Weighting)

Είναι προαιρετικό στάδιο. Ο δείκτης κάθε κατηγορίας πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή, διαφορετικό για κάθε κατηγορία, με σκοπό να προκύψει μια ενιαία δυνατή σύγκριση της κάθε κατηγορίας με τον νέο δείκτη. Επιπλέον, γίνεται εφικτή η άθροιση των επιμέρους, νέων δεικτών σε ένα συνολικό αποτέλεσμα που θα αξιολογεί τις συνολικές επιπτώσεις του εξεταζόμενου συστήματος στο περιβάλλον.

## 2.2.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων της μελέτης

Στο τελευταίο στάδιο εξετάζονται, αξιολογούνται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα. Ερμηνεύονται, ακόμη, περιορισμοί, παραδοχές, εκτιμήσεις και δυσκολίες. Για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων, προβαίνει ο αναλυτής στις παρακάτω κινήσεις:

- Ελέγχει την πληρότητα και το πόσο απαραίτητα είναι όλα τα δεδομένα
- Αναλύει τα αποτελέσματα
- Αξιολογεί τα αποτελέσματα
- Εξάγει τα τελικά συμπεράσματα, διατυπώνει προτάσεις και βελτιωτικές κινήσεις

Χρήσιμη καθίσταται και η ανάλυση ευαισθησίας. Προστίθενται, δηλαδή, διαφορετικά σενάρια ή δεδομένα, με σκοπό τη κατανόηση της επίδρασης ορισμένων δεδομένων στο αποτέλεσμα.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων γίνεται σε συνδυασμό με τα άλλα στάδια της ΑΚΖ σε μια επαναληπτική διαδικασία, έως ότου τα στάδια της απογραφής των δεδομένων και της εκτίμησης των επιπτώσεων να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του πρώτου σταδίου της μελέτης, δηλαδή τον καθορισμό του σκοπού και του αντικειμένου μελέτης.

## 2.3 Λογισμικό

---

Η ανάλυση κύκλου ζωής αποτελεί απαιτητική και ενδελεχή μελέτη με πληθώρα στοιχείων και πληροφοριών. Ακόμη, στόχος είναι η εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων, που να είναι ακριβή και ξεκάθαρα. Οι απαιτήσεις αυτές οδήγησαν στην διαμόρφωση λογισμικών για την καταχώρηση του πλήθους των πληροφοριών, τη διαβάθμιση της σημασίας τους και την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Μερικά από τα πιο γνωστά λογισμικά είναι:

- SimaPro
- Ecochain
- openLCA
- Mobius
- GaBi
- Umberto

Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SimaPro, έκδοση 9.1.1.1, σε συνδυασμό με τη βάση δεδομένων ecoinvent. Είναι ώριμο περιβάλλον με περισσότερα από τριάντα χρόνια ύπαρξης και είναι πιθανώς το πιο διαδεδομένο. Είναι σύνθετο με πολλές εφαρμογές με πολλά πρόσθετα, κάτι το οποίο το κάνει ευέλικτο και πολυχρηστικό και επιτρέπει στους χρήστες του να αναδιφήσουν στην ανάλυση κύκλου ζωής [46]. Βασίζεται σε βάσεις δεδομένων που επιλέγονται από το χρήστη, όπως η ecoinvent. Είναι ευέλικτο και άνετο στη χρήση, εμπεριέχει μεγάλο όγκο πληροφοριών, εξάγει ακριβή αποτελέσματα και συνδέεται με άλλα εργαλεία ή βάσεις δεδομένων. Η βάση δεδομένων ecoinvent είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη βάση δεδομένων. Περιέχει διεθνή καταγραφή δεδομένων στην ενεργειακή παροχή, στην εξαγωγή φυσικών πόρων, παροχή υλικών, χημικών, μετάλλων, γεωργίας, διαχείριση αποβλήτων και στη μεταφορά [47].

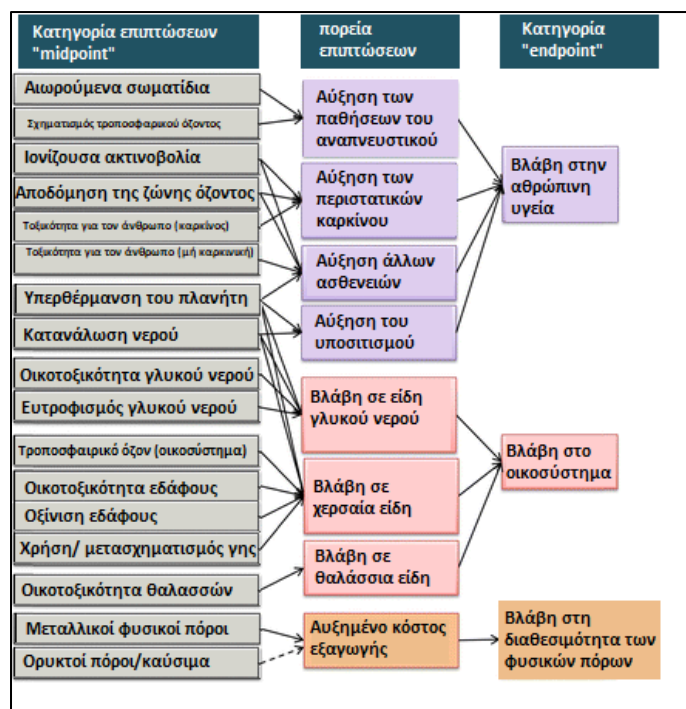
## 2.4 Η μέθοδος ReCiPe 2016

---

Το ReCiPe 2016 αποτελεί ενημερωμένη έκδοση του ReCiPe2008, το οποίο είναι μια μέθοδος για μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής και των δεικτών του αποτυπώματος της υπό μελέτη διαδικασίας. Το ακρωνύμιο του αντιπροσωπεύει τα αρχικά γράμματα των Ινστιτούτων που ήταν οι κύριοι χορηγοί και δημιουργοί του: RIVM (ολλανδικό εθνικό ινστιτούτο για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον), Radboud University, CML (ινστιτούτο θετικών επιστημών του πανεπιστημίου του Leiden) και PRé Sustainability [48]. Οι δείκτες, που χαρακτηρίζουν μια διαδικασία στην μελέτη της ανάλυσης κύκλου ζωής, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: την κατηγορία επιπτώσεων “midpoint” και την “endpoint” [49]. Ο δείκτης “midpoint” προσδιορίζεται ως μια παράμετρος στη διαδρομή αιτίας - αποτελέσματος για μια συγκεκριμένη κατηγορία που βρίσκεται μεταξύ της καταγραφής δεδομένων και την κατηγορία

“endpoint” [50]. Αφορά, δηλαδή, επιπτώσεις σε ενδιάμεσο στάδιο της έρευνας. Οι δείκτες “midpoint” αναφέρονται σε ένα σημείο της πορείας της διαδικασίας από τη στιγμή που η εξεταζόμενη διαδικασία ξεκινά να μην είναι ιδανική για το φυσικό περιβάλλον [49]. Επιπλέον, η κατηγορία “midpoint” έχει ισχυρότερη σχέση με τις περιβαλλοντικές εισροές και έχει μικρότερη αβεβαιότητα λόγω παραμέτρων, σε αντίθεση με τη κατηγορία “endpoint” που έχει περισσότερη αβεβαιότητα αλλά ερμηνεύεται ευκολότερα η σχέση των περιβαλλοντικών παροχών με την κατηγορία του αντίκτυπου που εξετάζεται [49].

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα που απεικονίζει τη μέθοδο ReCiPe2016:



Εικόνα 2.3: Γραμμική απεικόνιση της μεθόδου ReCiPe2016. [44]

### 2.4.1 Οι δείκτες ενδιάμεσου σημείου “midpoint”

Οι δείκτες ενδιάμεσου σημείου παρουσιάζονται παρακάτω ανάλογα με την υποκατηγορία στην οποία ανήκουν [49]:

- Κλιματική αλλαγή

Ο δείκτης GWP (global warming potential) ερμηνεύει το ποσοστό της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας και ποσοτικοποιεί την εκπομπή ενός αερίου του θερμοκηπίου, εκφρασμένη σε kg CO<sub>2</sub>-eq. Με άλλα λόγια, ποσοτικοποιεί τη θερμότητα που απορροφιάται από ένα αέριο του θερμοκηπίου από την ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με το CO<sub>2</sub>. Το CO<sub>2</sub> έχει GWP=1.

- Αποδόμηση του στρατοσφαιρικού όζοντος

Ο δείκτης ODP (ozone depleting potential), εκφρασμένος σε kg CFC-11, αναφέρεται στη μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος στην στρατοσφαιρική ζώνη μετά από ένα άπειρο χρονικό ορίζοντα.

- Ιονίζουσα ακτινοβολία

Ο δείκτης IRP (ionizing radiation potential) έχει μονάδα αναφοράς kBq κοβαλτίου 60 στον αέρα.

- Σχηματισμός αιωρούμενων σωματιδίων

Ο δείκτης PMFP (particulate matter formation potentials) εκφράζεται σε kg PM<sub>2.5</sub> (particulate matter με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm). Ο δείκτης δημιουργήθηκε καθώς ανησυχεί η πληθυσμιακή πρόσληψη τέτοιων σωματιδίων μέσω αναπνευστικού συστήματος.

- Σχηματισμός φωτοχημικού νέφους

Ο δείκτης HOFP (health ozone formation potential) εκφράζεται σε kg NO<sub>x</sub>. Δημιουργήθηκε καθώς εξετάστηκε η πρόσληψη όζοντος από τον ανθρώπινο πληθυσμό. Τα οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub> είναι υπεύθυνα για το φωτοχημικό νέφος. Επίσης, ο δείκτης EOFP (ecosystem ozone formation potential) εκφρασμένος σε kg NO<sub>x</sub>, σχετίζει τις διαφορές μεταξύ της μέσης ωριαίας συγκέντρωσης όζοντος και 40ppb κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας κατά τη σχετική περίοδο σε ppm·h.

- Οξίνιση εδάφους

Ο δείκτης AP (acidification potentials) εκφράζονται σε kg SO<sub>2</sub>. Ποσοτικοποιούν την οξίνιση του εδάφους, η οποία οφείλεται σε εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub>, σε αμμωνία NH<sub>3</sub> και διοξείδιο του θείου SO<sub>2</sub>.

- Ευτροφισμός γλυκού νερού

Ο δείκτης FEP (freshwater eutrophication potentials) εκφράζεται σε kg P στο γλυκό νερό και στη θάλασσα. Ο φώσφορος (P) πυροδότησε τη δημιουργία του δείκτη, καθώς παρατηρήθηκε ότι προκαλεί ευτροφισμό γλυκού νερού.

- Τοξικότητα

Η τοξικότητα εκφράζεται σε kg <sub>1,4</sub>DCB (1,4-διχλωροβενζόλιο). Η τοξικότητα στον άνθρωπο, οικοτοξικότητα γλυκού νερού, θαλάσσια τοξικότητα και τοξικότητα εδάφους είναι οι κατηγορίες που εξετάζονται. Υπάρχει ο δείκτης ecotoxicological effect factor που αντιπροσωπεύει την αλλαγή των ειδών λόγω της συγκέντρωσης των χημικών στο περιβάλλον. Ακόμη, ο δείκτης human-toxicological effect που εξάγεται από τα καρκινογόνα και μη

καρκινογόνα αποτελέσματα και αντικατοπτρίζει την αλλαγή στα περιστατικά ασθενειών μακράς διάρκειας λόγω της αλλαγής στην πρόσληψη μιας ουσίας.

- Χρήση νερού

Ο δείκτης προσδιορίζει τον όγκο του νερού που καταναλώνεται σε  $m^3$  προς το νερό που εξάγεται.

- Χρήση γης

Ο δείκτης αναφέρεται σε μια σχετική απώλεια ειδών, που προκαλείται από μια ειδική χρήση γης (ετήσια ή περιοδική σοδιά, δασοκομία, βοσκή, κ.α.). εκφράζεται σε  $m^2 \cdot \text{έτος}$  ετήσιας σοδιάς.

- Χρήση μεταλλικών πόρων

Ο δείκτης SOP (surplus ore potential), εκφράζεται σε kg Cu. Ο δείκτης ποσοτικοποιεί το μέσο ποσό των μεταλλευμάτων που παράγονται στο μέλλον καθώς έχει γίνει εξαγωγή των μεταλλικών πόρων στο παρελθόν για μελλοντική κατανάλωση.

- Χρήση ορυκτών καυσίμων

Ο δείκτης FFP (fossil fuel potential), εκφράζεται σε kg oil, ορίζεται ως το ποσοστό μεταξύ της υψηλότερης θερμικής τιμής ενός ορυκτού πόρου και της ενεργειακού περιεχομένου του μαζούτ. Δηλαδή, συγκρίνεται το ενεργειακό περιεχόμενο ενός ορυκτού καυσίμου προς το ενεργειακό περιεχόμενο του μαζούτ.

#### 2.4.2 Οι δείκτες τελικού σημείου “endpoint”

Η κατηγορία τελικού σημείου περιλαμβάνει τους παρακάτω δείκτες:

- Βλάβη στην ανθρώπινη υγεία (Damage to Human Health-HH)

Η βλάβη στην ανθρώπινη υγεία εκφράζεται με τον δείκτη DALY (disability-adjusted life years), δηλαδή «έτη ζωής προσαρμοσμένα σε αναπηρία» και εκφράζεται σε έτη (yr). Ο δείκτης DALY μιας ασθένειας προέρχεται από στατιστικά της ανθρώπινης υγείας σε έτη που χάθηκαν λόγω θανάτου ή χρόνια με αναπηρία. Τα έτη με αναπηρία αναφέρονται για ασθένειες όπως καρκίνο, vector-borne (ασθένειες που μεταδίδονται μέσω ζώων ή εντόμων από ένα φορέα σε ένα υγιές άτομο, όπως μαλάρια), παθήσεις που διαβρώνουν την ικανότητα επικοινωνίας του ατόμου [51]. Ο δείκτης DALY υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο [51]:

$$DALY = YLL + YLD$$

όπου YLL= έτη ζωής που χάθηκαν (years of life lost)

YLD= έτη ζωής με αναπηρία (years of life disabled)

Επίσης ισχύει:

$$YLD = w \cdot D ,$$

w= συντελεστής και D= διάρκεια ασθένειας.

Ο συντελεστής w δέχεται τιμές μεταξύ 0 (απόλυτα υγιές άτομο) έως 1 (θάνατος) και εξαρτάται από την δυσκολία και τη σημαντικότητα της ασθένειας.

Στη μέθοδο ReCiPe2016, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους, ως αρχική παραδοχή δεν εφαρμόζεται περεταίρω προσαρμογή των συντελεστών και εξάρτηση τους από την ηλικία του ατόμου και άλλους παράγοντες, ώστε να ποσοτικοποιείται η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία με μία ασφάλεια για την μελέτη της ανάλυσης του κύκλου ζωής [51].

- Βλάβη στη ποιότητα των οικοσυστημάτων (Damage to Ecosystem Diversity-ED)

Τα οικοσυστήματα είναι ετερογενή, ποικίλουν και είναι δύσκολο να απεικονιστούν. Η ποιότητα του καθορίζεται από την ενέργεια, την ύλη και την παροχή των πληροφοριών. Η ποιότητα ακόμη φαίνεται στην ιδανική λειτουργία των οικοσυστημάτων που προκύπτει χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Ακόμη, η περιγραφή του οικοσυστήματος και της ποιότητας του μπορεί να γίνει σε επίπεδο οικοσυστήματος, ειδών, γονιδίων, υλικών, ενέργειας ως παραγωγή ελεύθερης βιομάζας [51]. Η ενδεδειγμένη μελέτη των οικοσυστημάτων καθιστά ανέφικτη την μελέτη της ανάλυσης του κύκλου ζωής. Η μέθοδος ReCiPe2016 επικεντρώνεται στο επίπεδο των ειδών και θεωρεί ότι αλλαγή στον αριθμό των ειδών εκφράζει επαρκώς την αλλαγή στο οικοσύστημα. Αυτή η παραδοχή διευκολύνει τη μελέτη [51]. Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε έτη·είδη (species · yr).

- Βλάβη στη διαθεσιμότητα πόρων (Damage to Resource Availability – RA)

Η κατανάλωση και η μείωση των πόρων είναι ένα ζήτημα που αφορά την παγκόσμια κοινότητα. Η βλάβη στη διαθεσιμότητα των πόρων αυξάνεται με την αύξηση της ανθρώπινης δραστηριοποίησης. Η μέθοδος ReCiPe2016 βασίζεται στη γεωλογική κατανομή των μεταλλικών και ορυκτών πόρων και στην εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο η χρήση των πόρων προκαλεί οριακές αλλαγές στα μελλοντικά αποθέματα. Το μοντέλο βασίζεται στην οριακή αύξηση του κόστους λόγω της εξαγωγής των πόρων [51]. Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε δολάρια Αμερικής (\$).

### 2.4.3 Η Ανάλυση σεναρίου

Η ανάλυση σεναρίου και η επιλογή των τιμών γίνεται με βάση τριών προοπτικών. Η μέθοδος ReCiPe2016 διαθέτει τρεις κλίμακες από δείκτες αποτελεσμάτων ενδιάμεσου (midpoint) και τελικού σημείου (endpoint) [52]:

1. Η Ατομικιστική (individualistic) είναι ενδιαφέροντος βραχείας περιόδου. Επικεντρώνεται σε τύπους επιπτώσεων, που είναι αδιαμφισβήτητοι και σε τεχνολογική αισιοδοξία όσον αφορά την ανθρώπινη προσαρμογή.
2. Η Ιεραρχική (hierarchist) βασίζεται στην επιστημονική συναίνεση όσον αφορά το χρονικό πλαίσιο και την αληθοφάνεια των μηχανισμών επιπτώσεων.
3. Την Εξισωτική (egalitarian), η οποία είναι η πιο συντηρητική προοπτική, που λαμβάνει υπόψιν το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και όλες τις διόδους των επιπτώσεων για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα.



## Κεφάλαιο 3: Περιγραφή του Συστήματος

### 3.1 Εισαγωγή

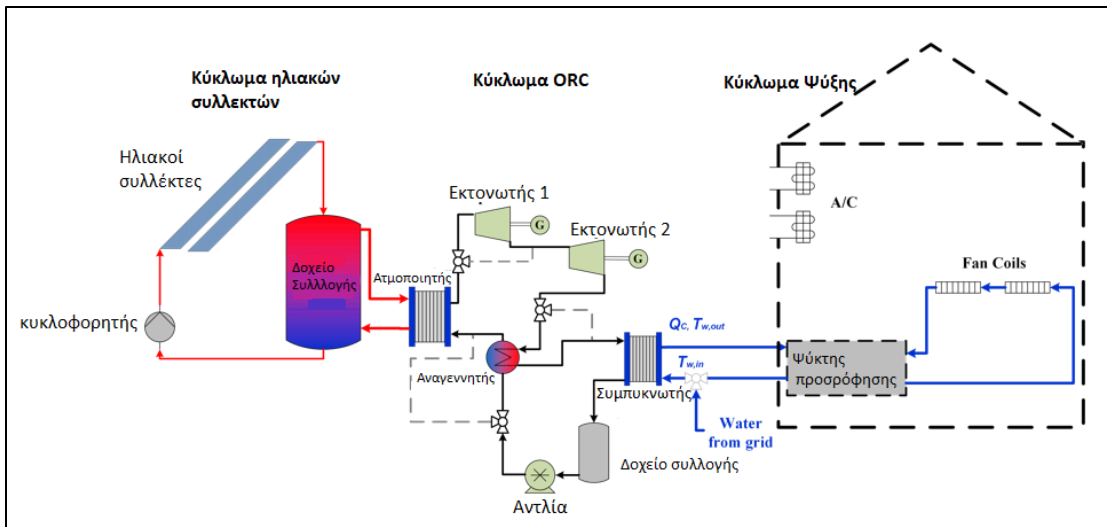
Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ένα σύστημα τριπαραγωγής, το οποίο αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπει σε ηλεκτρική και σε ωφέλιμη θερμότητα ή/και ψύξη. Τα συστήματα τριπαραγωγής δύνανται να μειώσουν τις απώλειες έναντι της συμβατικής διαδικασίας τροφοδότησης του κτιρίου από εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργίας συμβατικών μονάδων ψύξης ή θέρμανσης. Οι απώλειες, που αποφεύγονται με ένα σύστημα τριπαραγωγής, οφείλονται στη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του δικτύου καθώς και σε τεχνολογίες μικρότερης ενεργειακής απόδοσης για ψύξη και θέρμανση.

### 3.2 Ανάλυση της εγκατάστασης

Η εγκατάσταση αποτελείται από:

- Κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών
- Κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με ORC
- Σύστημα ψύξης - θέρμανσης

Παρακάτω απεικονίζεται η εγκατάσταση της μελέτης:



Εικόνα 3.1: Γραμμική απεικόνιση του συστήματος τριπαραγωγής με τα τρία επιμέρους κυκλώματα του.

### 3.2.1 Κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών

Το κύκλωμα αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα κυκλοφορητή για την κυκλοφορία του εργαζόμενου μέσου στο κύκλωμα, ένα δοχείο συλλογής, τις σωληνώσεις με τη μόνωση και τις συνδέσεις. Για τη λειτουργία του συστήματος απαιτείται συνολική επιφάνεια συλλεκτών ίση με  $27,5 \text{ m}^2$ . Το ρευστό του κυκλώματος είναι θερμικό έλαιο Therminol D12 συνολικού όγκου  $0,6 \text{ m}^3$  και το δοχείο συλλογής είναι  $0,45 \text{ m}^3$ .

Επιλέγονται επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες SUNLIT MSFC100 της εταιρείας ΓΑΒΡΙΕΛΑΤΟΣ ΕΠΕ. Κατασκευάζονται στην Ελλάδα, μειώνοντας εν μέρει τους ρύπους της μεταφοράς. Οι συλλέκτες αυτοί έχουν περάσει δοκιμές απόδοσης και αξιοπιστίας σύμφωνα με το πρότυπο **EN12975**. Η απόδοση συλλέκτη με μηδενική απώλεια είναι  $\eta_0=0,83$ . Η απόδοση του συλλέκτη είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας στο εσωτερικό του συλλέκτη με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 3.2: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. [53]

Το δοχείο συλλογής του ηλιακού κυκλώματος έχει χωρητικότητα  $0,45 \text{ m}^3$ .



**Εικόνα 3.3: Δοχείο συλλογής ηλιακού κυκλώματος. [54]**

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα μέρη του κυκλώματος :

**Πίνακας 3.1: Τα μέρη του ηλιακού κυκλώματος**

Είδος	Αριθμός	Μέγεθος	Μονάδα Μέτρησης	Παρατηρήσεις	Σύνολο
Ηλιακός συλλέκτης	10	2,72	m <sup>2</sup>	Καθαρή επιφάνεια 2,54 m <sup>2</sup>	25,4 m <sup>2</sup>
Ηλιακός συλλέκτης	1	1,82	m <sup>2</sup>	Καθαρή επιφάνεια 1,72 m <sup>2</sup>	1,72
Therminol D12	-	0,6	m <sup>3</sup>	-	0,6 m <sup>3</sup>
Δοχείο συλλογής	1	0,45	m <sup>3</sup>	-	0,45 m <sup>3</sup>

### 3.2.2 Κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με ORC

Το κύκλωμα ORC αποτελείται από

- δύο πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας CB60 της εταιρείας Alfa Laval, ο ένας λειτουργεί ως ατμοποιητής και ο άλλος ως συμπυκνωτής.
- ένα πλακοειδή εναλλάκτη CB30 της εταιρείας Alfa Laval, που λειτουργεί ως αναγεννητής.

- δύο εκτονωτές τύπου scroll συνδεδεμένους με γεννήτριες.
- μια αντλία διαφράγματος G10 Hydra Cell με κινητήρα ισχύος 0,4 kW.
- ένα δοχείο διαστολής R50 της εταιρείας Imera χωρητικότητας 50 λίτρων.

Οι εναλλάκτες CB60 είναι πλακοειδείς εναλλάκτες συγκολλημένης πλάκας με μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα ψύξης-θέρμανσης-κλιματισμού (HVAC), είναι συμπαγή, εγκαθίστανται εύκολα, με λίγες απαιτήσεις συντήρησης, χωρίς φλάντζα και δοκιμασμένα σε εφαρμογή πιέσεων και σε διαρροές [55]. Το βάρος και το μήκος τους εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τον αριθμό των πλακών. Ο ελάχιστος αριθμός πλακών είναι 4 και ο μέγιστος είναι 150. Ο εναλλάκτης CB30 έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τον CB60, σε πιο μικρές διαστάσεις.



**Εικόνα 3.4:** Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας Alpha Laval. [55]

Τα χαρακτηριστικά των τριών εναλλακτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα [55], [56]:

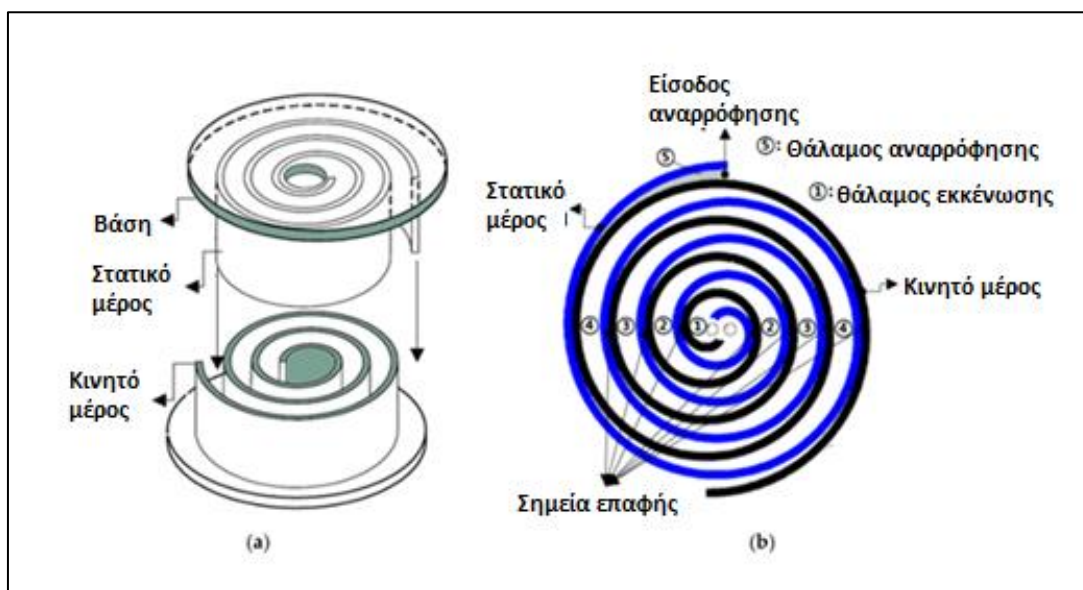
**Πίνακας 3.2: Καταγραφή των χαρακτηριστικών των εναλλακτών θερμότητας**

Εναλλάκτης	CB60	CB60	CB30
Λειτουργία	Ατμοποιητής	Συμπυκνωτής	Αναγεννητής
Αριθμός πλακών	97	123	10
Μήκος [mm]	238	298	36
Μάζα [kg]	19,56	24,24	2,3
Πλάτος [mm]	113	113	113
Ύψος [mm]	527	527	313
Μέγιστη παροχή [m <sup>3</sup> /h]	14	14	14
Όγκος ανά κανάλι [lt]	0,103	0,103	0,054

Οι δύο εκτονωτές που χρησιμοποιούνται είναι τύπου scroll. Παρακάτω, παρουσιάζεται ο εκτονωτής και η γραφική του αναπαράσταση.



**Εικόνα 3.5: Εκτονωτής τύπου scroll. [57]**



Εικόνα 3.6: α) Εκτονωτής τύπου scroll. β) κάτοψη εκτονωτή τύπου scroll σε τομή . [58]

Το ρευστό εισέρχεται στο κέντρο του εκτονωτή στη θέση 1. Το συμπιεσμένο ρευστό, κατά την εκτόνωση του θέτει το κινητό μέρος του εκτονωτή (orbiting scroll) σε περιστροφική κίνηση. Το ρευστό κινείται στους χώρους που δημιουργούνται από την σχετική κίνηση του κινητού μέρους ως προς το σταθερό (static scroll), έως τη θέση 5, όπου εξέρχεται από τον εκτονωτή. Το κινητό μέρος στρέφεται και μεταφέρει την περιστροφική κίνηση στον άξονα του εκτονωτή που είναι συνδεδεμένος με τον άξονα της γεννήτριας. Τα χαρακτηριστικά των εκτονωτών παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 3.3: Καταγραφή των χαρακτηριστικών των εκτονωτών

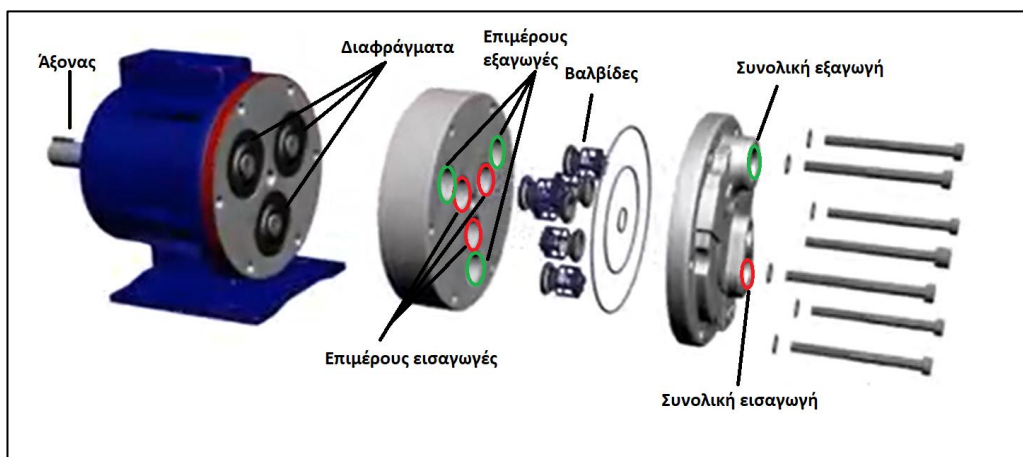
Εκτονωτές	Τύπος	Μέγεθος	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
Εκτονωτής 1	Scroll	Ισχύς	2,45	kW
		Όγκος σάρωσης	14,9	cc/rev
Εκτονωτής 2	Scroll	Ισχύς	2,8	kW
		Όγκος σάρωσης	64,5	cc/rev

Η αντλία που κινεί το εργαζόμενο μέσο είναι η Hydra Cell G10-E, με μεταλλική κεφαλή.



**Εικόνα 3.7: Αντλία Hydracell G10 με κεφαλή από ορείχαλκο . [59]**

Είναι αντλία πολλαπλού διαφράγματος. Η κίνηση από τον άξονα μεταφέρεται σε τρεις μεμβράνες-διαφράγματα από ελαστικό υλικό. Τα διαφράγματα ταλαντώνονται μεταξύ δύο ακραίων θέσεων, δημιουργούν διαφορά πίεσης εντός του θαλάμου που εισέρχεται το ρευστό και επιτυγχάνουν ρόφηση ή συμπίεση για την εισαγωγή ή την εξαγωγή του ρευστού αντίστοιχα. Αναλυτικότερα, όταν το διάφραγμα κινείται προς την μια ακραία θέση, ο όγκος του θαλάμου αυξάνεται και το ρευστό εισέρχεται από την αντίστοιχη είσοδο, όταν κινείται προς την άλλη ακραία θέση, συμπιέζει το ρευστό προς την αντίστοιχη έξοδο. Τα τρία διαφράγματα λειτουργούν συνεργατικά, με τον ίδιο τρόπο και έχουν μία είσοδο και μία έξοδο, αντίστοιχα. Η εισαγωγή και η εξαγωγή ρυθμίζεται και από τις βαλβίδες με ελατήριο. Η κεντρική εισαγωγή χωρίζεται σε επιμέρους, με αριθμό ίσο με τον αριθμό των διαφραγμάτων και στην κεντρική εξαγωγή καταλήγουν οι επιμέρους εξαγωγές. Η τεχνολογία, πλεονεκτεί σε αντοχή, απλότητα και δυνατότητες χρήσης.



**Εικόνα 3.8: Αναπαράσταση της αντλίας διαφράγματος και των δομικών της μερών. [60]**

Τα πλεονεκτήματα της αντλίας [59]:

- είναι αξιόπιστη, ευέλικτη και έχει μεγάλο εύρος εφαρμογών.
- δύναται να κινήσει ρευστά με χαμηλό έως υψηλό ιξώδες
- έχει απλό συμπαγή σχεδιασμό, που μειώνει το κόστος κατασκευής και συντήρησης
- είναι αποδοτική, μειώνοντας τα ενεργειακά κόστη
- είναι ικανή να εργάζεται στεγνή χωρίς να προκύψει βλάβη σε περίπτωση ατυχήματος ή λειτουργικού λάθους.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της:

- λειτουργεί σε ονομαστική ταχύτητα περιστροφής ίση με 1450 rpm.
- έχει μέγιστη πίεση εξόδου 69 bar (1000 psi) με παροχή 25 lt/min.
- λειτουργεί σε μέγιστη θερμοκρασία 120 °C.

Η αντλία απαιτεί για τη λειτουργία της, σύνδεση με ηλεκτρικό κινητήρα 4 πόλων, ισχύος 0,37kW, που να συμφωνεί με τις προδιαγραφές IEC (International Electrical Commission). Κατάλληλος ηλεκτροκινητήρας είναι ο SL-71M2-4 B5 της ισπανικής εταιρείας MOTORSEG, ο οποίος συμφωνεί με την IEC71 . Είναι μονοφασικός 4-πολικός κινητήρας ισχύος 0.37 kW, με ονομαστική περιστροφική ταχύτητα ίση με 1500 rpm.

Το δοχείο διαστολής R50 της εταιρείας Imera χωρητικότητας 50 λίτρων, κατάλληλο για εφαρμογές σε συστήματα θέρμανσης.



Εικόνα 3.9: Δοχείο διαστολής Imera για το κύκλωμα ORC . [61]

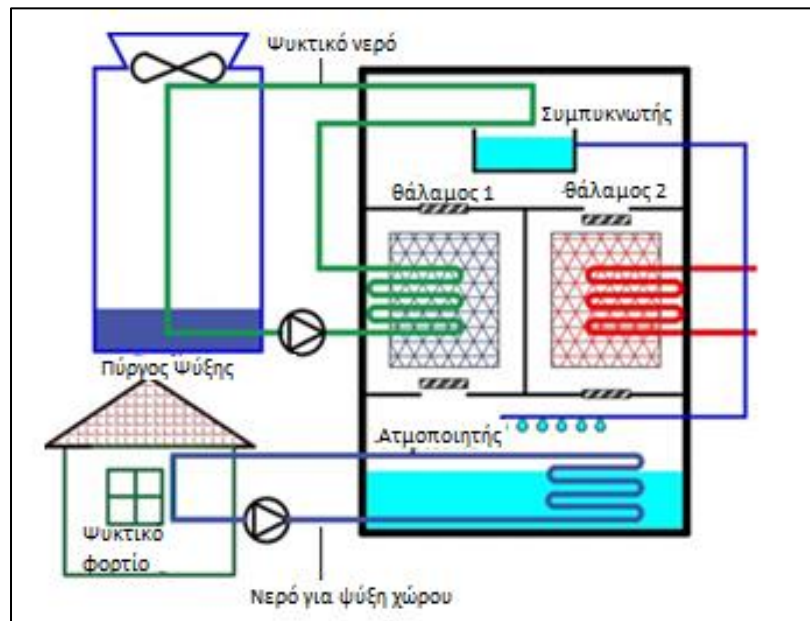


Το εργαζόμενο μέσο που χρησιμοποιείται στο κλειστό κύκλωμα ORC είναι το ισοεξάνιο.

### 3.2.3 Σύστημα ψύξης – θέρμανσης

Για την ψύξη χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας με προσρόφηση. Τα βασικά μέρη του συστήματος είναι:

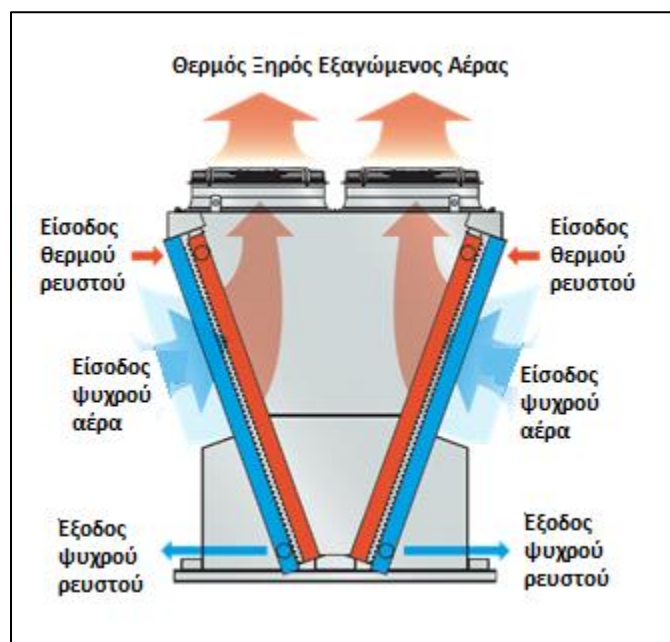
- Ψύκτης προσρόφησης διπλού θαλάμου
- Ξηρός πύργος ψύξης
- τρία fan coil τύπου Bi2 SL Smart 400
- μια βοηθητική αντλία 40W
- δοχείο διαστολής



Εικόνα 3.10: Γραμμική απεικόνιση του κυκλώματος ψύξης με ψύκτη προσρόφησης διπλού θαλάμου. [35]

Ο προσροφητής είναι διπλού θαλάμου. Το προσροφητικό υλικό είναι ζεόλιθος με τριαιθυλαμίνη και το εργαζόμενο μέσο είναι νερό. Ο προσροφητής διπλού θαλάμου επιτυγχάνει τη συνεχή ροή στο σύστημα. Όσο ο ένας θάλαμος βρίσκεται στη φάση της προσρόφησης προσδίδοντας θερμότητα, ο άλλος βρίσκεται στη φάση της εκρόφησης αναγεννώντας το προσροφητικό υλικό.

Ο ξηρός πύργος ψύξης είναι η εξωτερική μονάδα που ψύχει το νερό ψύξης. Αποβάλλει τη θερμότητα της στο περιβάλλον. Είναι «τύπου V». Το θερμό ρευστό εισέρχεται από την πάνω πλευρά του εναλλάκτη. Οι ανεμιστήρες εξάγουν τον αέρα από το άνω μέρος της συσκευής και αέρας με θερμοκρασία περιβάλλοντος εισέρχεται στη συσκευή ψύχοντας το ψυκτικό υγρό, το οποίο εξέρχεται από την κάτω πλευρά της συσκευής.



Εικόνα 3.11: Ξηρός πύργος ψύξης. [62]

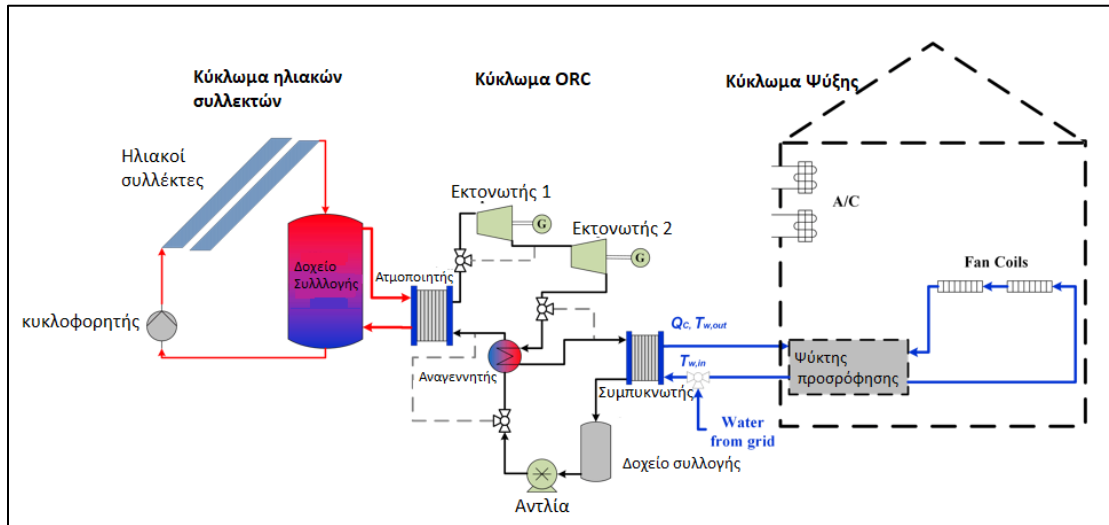
Τα τρία fan coil είναι τύπου Bi2 SL Smart 400, της εταιρείας OLIMPIA SPLENDID. Έχουν ψυκτική ισχύ 1,74 kW σε υψηλή ταχύτητα ανεμιστήρα και θερμική ισχύ 2,31 kW. Τα fan coils λειτουργούν με ένα ανεμιστήρα ισχύος 19W, ο οποίος κινεί τον αέρα και το ψυχρό νερό που εξέρχεται από τον ατμοποιητή (chilled water) του κυκλώματος απάγει θερμότητα από τον αέρα που ψύχει τον χώρο [63].

Πίνακας 3.4: Καταγραφή των χαρακτηριστικών των fan coils

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Τιμές	Μονάδες Μέτρησης
Συνολική ψυκτική ισχύς	1,74	kW
Παροχή όγκου ψυκτικού νερού	302,5	l/h
Συνολική θερμική ισχύς	2,31	kW
Ηλεκτρική Ισχύς	19	W
Παροχή όγκου αέρα	320	m <sup>3</sup> /h

Η βοηθητική αντλία 40W είναι για την κίνηση του ψυκτικού υγρού στο κύκλωμα ψύξης.

### 3.3 Περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος



Εικόνα 3.12: Γραμμική απεικόνιση του συστήματος τριπαραγωγής με τα τρία επιμέρους κυκλώματα του.

Το κύκλωμα των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε θερμική. Το θερμό θερμικό έλαιο καταλήγει στον δοχείο συλλογής. Από εκεί εισέρχεται ατμοποιητή του συστήματος ORC. Ο ατμοποιητής είναι εναλλάκτης, που επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας από το θερμικό έλαιο στο οργανικό εργαζόμενο μέσο του ORC, που είναι το ισοεξάνιο. Το τελευταίο θερμαίνεται και ατμοποιείται και με αυξημένη πίεση, θερμοκρασία και ενθαλπία εισέρχεται διαδοχικά στους δύο εκτονωτές. Οι εκτονωτές είναι συνδεδεμένοι με μια γεννήτρια έκαστος. Η περιστροφική κίνηση του άξονα του εκτονωτή συνεπάγεται και την αντίστοιχη στην γεννήτρια, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Έπειτα, το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται στον συμπυκνωτή του ORC, προσδίδει θερμότητα στο νερό του κυκλώματος ψύξης. Το ισοεξάνιο ψύχεται και επιστρέφει στην αντλία για να συμπιεστεί. Το νερό του κυκλώματος ψύξης θερμαίνεται και εισέρχεται στον ένα θάλαμο του προσροφητή, προσδίδει τη θερμότητα του για την εκρόφηση και την αναγέννηση του προσροφητικού υλικού, ενώ ταυτόχρονα ο άλλος θάλαμος βρίσκεται στην φάση της προσρόφησης. Το νερό που είναι υπεύθυνο για την ψύξη του χώρου (chilled water) εξέρχεται από τον ατμοποιητή του ψύκτη προσρόφησης και καταλήγει στα τρία fan coil. Εκεί με ένα ανεμιστήρα επιτυγχάνεται η μεταφορά του ψυχόμενου αέρα στο χώρο και το νερό επιστρέφει έχοντας προσλάβει θερμότητα. Στη διαδικασία της ψύξης γίνεται αποβολή θερμότητας από το χώρο μέσω του chilled water, ενώ στη διαδικασία της θέρμανσης γίνεται πρόσδοση θερμότητας από το cooling water, που έχει απορροφήσει θερμότητα από την προσρόφηση και τον συμπυκνωτή. Συνεπώς, με το παραπάνω σύστημα επιτυγχάνεται παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ψύξη ή/και θέρμανση του χώρου, ανάλογα με τις ανάγκες, με την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Το σύστημα τριπαραγωγής παράγει ετησίως 2836,8 kWh καθαρής (net) ηλεκτρικής ενέργειας, 5864,7 kWh θέρμανση και 2216,2 ψύξη.

## Κεφάλαιο 4: Ανάλυση του κύκλου ζωής του συστήματος

Στην ανάλυση κύκλου ζωής εφαρμόζεται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.

### 4.1 Καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου μελέτης (goal and scope definition)

Σκοπός της μελέτης είναι η αξιολόγηση του συστήματος τριπαραγωγής ως προς τις περιβαλλοντικές του επιπτώσεις.

- Σύστημα μελέτης:

Το σύστημα τριπαραγωγής χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ψύξης ή/και θέρμανσης ανάλογα με τις καιρικές απαιτήσεις. Αποτελείται από ένα κύκλωμα επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, ένα κλειστό κύκλωμα οργανικού κύκλου Rankine (ORC) και ένα κύκλωμα ψύξης-θέρμανσης με ψύκτη προσρόφησης. Τα δομικά μέρη του συστήματος περιγράφονται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 3.

Τα όρια της ανάλυσης αρχίζουν από την εξόρυξη των υλικών που χρησιμοποιούνται και καταλήγουν στην απόρριψή τους. Εμπεριέχεται η μεταφορά, η επεξεργασία των υλικών προς δημιουργία των δομικών μονάδων του συστήματος, η μεταφορά, η εγκατάστασή τους, η λειτουργία και η συντήρηση του συστήματος. Η διαχείριση των αποβλήτων επιλέγεται να γίνει με ανακύκλωση όλων των ανακυκλώσιμων υλικών, ταφή και καύση, όπου η ανακύκλωση δεν είναι εφικτή. Η λειτουργία του συστήματος ορίζεται 20 έτη και τα επιμέρους τμήματα του συστήματος που έχουν διάρκεια ζωής μικρότερη των 20 ετών αντικαθίστανται όταν περάσει η διάρκεια ζωής τους. Το σύστημα λειτουργεί όλο το έτος.

Τα δομικά μέρη του συστήματος κατασκευάζονται σε διαφορετικές χώρες, μεταφέρονται και συνδέονται στην Ελλάδα. Η τροποποίηση και επεξεργασία των πρώτων υλών είναι άγνωστη, επομένως έχουν πραγματοποιηθεί κάποιες ασφαλείς εκτιμήσεις, όπου είναι δυνατό. Οι υπολογισμοί των αποστάσεων έχουν γίνει με ακρίβεια από την πόλη παραγωγής έως την πόλη εγκατάστασης, την Αθήνα, εκτός ορισμένων περιπτώσεων που έχει υπολογιστεί από τη κατασκευάστρια χώρα έως την Αθήνα, καθώς δεν αναφέρεται η πόλη. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με την μεταφορά των επιμέρους στοιχείων του συστήματος:

**Πίνακας 4.1: Μεταφορές των δομικών στοιχείων του συστήματος**

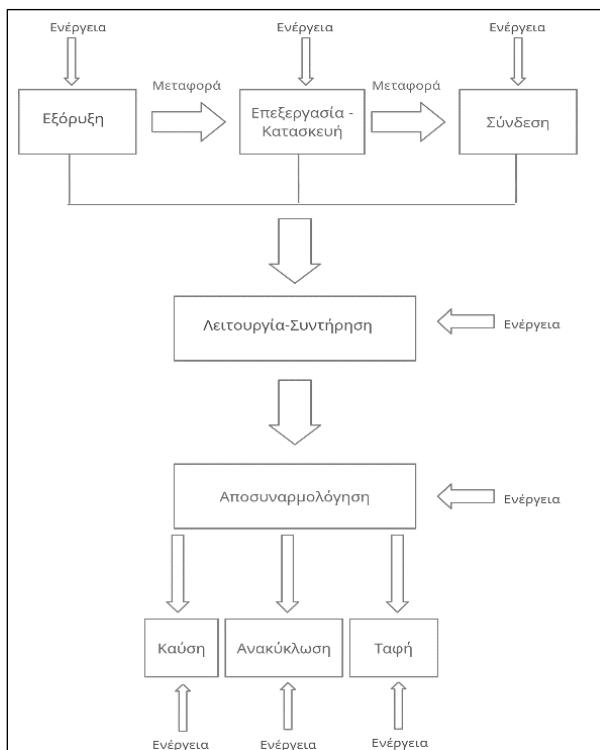
Δομικό Μέρος	Πόλη	Χώρα κατασκευής	Προορισμός
Δοχείο Συλλογής Ηλιακού κυκλώματος	Vincenza	Ιταλία	Αθήνα
Δοχείο Συλλογής ORC	Vincenza	Ιταλία	Αθήνα
Fan coils	Cellatica	Ιταλία	Αθήνα
Ηλεκτροκινητήρας της αντλίας	Madrid	Ισπανία	Αθήνα
Ψύκτης προσρόφησης και βοηθητική αντλία	-	Γερμανία	Αθήνα
Ισοεξάνιο	-	Γερμανία	Αθήνα
Δοχείο συλλογής συστήματος ψύξης	-	Γερμανία	Αθήνα
Κυκλοφορητής	Bjerigbro	Δανία	Αθήνα
Αντλία Hydra Cell G10	Hampshire	Αγγλία	Αθήνα
Ξηρός πύργος ψύξης	Coventry	Αγγλία	Αθήνα
Ατμοποιητής	-	Σουηδία	Αθήνα
Συμπυκνωτής	-	Σουηδία	Αθήνα
Αναγεννητής	-	Σουηδία	Αθήνα
Ηλιακοί συλλέκτες	-	Ελλάδα	Αθήνα
Χαλκοσωλήνες	-	Ελλάδα	Αθήνα
Εκτονωτές Scroll	Dalian	Κίνα	Αθήνα
Therminol D12	Kingsport	ΗΠΑ	Αθήνα

- Λειτουργική Μονάδα

Ο ορισμός της λειτουργικής μονάδας είναι βασικός για τη δυνατότητα σύγκρισης του συστήματος με άλλα συστήματα. Ως λειτουργική μονάδα στην παρούσα διάταξη, ορίζεται όλη η λειτουργία του συστήματος σε βάθος εικοσαετίας.

- Διάγραμμα Ροής

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας:



**Εικόνα 4.1: Διάγραμμα ροής.**

- Εγκυρότητα αποτελεσμάτων

Η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την ακρίβεια και την εγκυρότητα των δεδομένων που εισάγονται. Τα δεδομένα που εισήχθησαν προέρχονται από τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών εταιρειών για τα προϊόντα τους, καθώς και από τη βιβλιογραφία, όπου οι πληροφορίες των εταιρειών θεωρήθηκαν ελλιπείς ή δυσπρόσιτες.

Η προσέγγιση των δεδομένων του συστήματος γίνεται με την “cut-off”. Οι κανόνες αυτής της προσέγγισης επιτρέπουν στον αναλυτή να εξάγει συμπεράσματα χωρίς να έχει το 100% των πληροφοριών του συστήματος. Σύμφωνα με τα εγχειρίδια ILCD τα κριτήρια αναφέρονται στην παράλειψη μη σχετικών σταδίων του κύκλου ζωής, δραστηριοτήτων, διαδικασιών ή προϊόντων και βασικών ροών στο σύστημα [64]. Η καταχώρηση των δεδομένων βασίζεται στη λογική ότι την παραγωγή οποιοδήποτε υλικού επιβαρύνει περιβαλλοντικά τον πρώτο χρήστη εξολοκλήρου και δεν μεταβιβάζεται στον επόμενο χρήστη ή στην επόμενη διαδικασία. Ένα παράδειγμα αποτελεί ο κύκλος χρήσης γυαλιού. Ο αρχικός χρήστης αξιοποιεί το γυαλί για

παραγωγή μπουκαλιών και το ανακυκλώνει, όπου ο δεύτερος χρήστης το χρησιμοποιεί στην παραγωγή βάζων. Ο πρώτος χρήστης επωμίζεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που προκύπτει από την συλλογή της πρώτης ύλης της παραγωγής γυαλιού και της μορφοποίησης του σε μπουκάλια. Ο δεύτερος επωμίζεται μόνο τη διαδικασία της ανακύκλωσης και μορφοποίησης τους, χωρίς να μεταβιβάζεται μέρος των επιπτώσεων από την αρχική παραγωγή. Αποκόπτονται, δηλαδή, οι επιπτώσεις από τη μετάβαση σε άλλη χρήση (cut off). Καρπώνεται, λοιπόν, τα οφέλη της ανακύκλωσης (δεν χρησιμοποιεί νέο υλικό) και έχει μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ως βάση δεδομένων έχει χρησιμοποιηθεί η Ecoinvent v.3.4. Η ανάλυση των δεδομένων και των επιπτώσεων γίνεται με την μέθοδο ReCiPe 2016 Midpoint v.1.02 και endpoint v.1.02 με προοπτική ιεραρχική (hierarchist).

Στη συλλογή δεδομένων προέκυψαν περιορισμοί, οι οποίοι αντιμετωπίστηκαν με ασφαλείς εκτιμήσεις ή προσεγγίσεις. Τέτοιοι περιορισμοί είναι:

- i) Δεν υπήρχαν λεπτομερείς πληροφορίες για διαδικασίες παραγωγής των υλικών και χρησιμοποιήθηκε η πιο συναφής στο Ecoinvent.
- ii) Διάρκεια ζωής των επιμέρους δομικών μονάδων μικρότερη των 20 ετών. Αντιμετώπιστηκε με αντικατάσταση τους όσες φορές απαιτείται στα 20 έτη.
- iii) Οι πληροφορίες για την συντήρηση ή αντικατάσταση μελών του συστήματος δεν ήταν επαρκείς, οπότε έγινε εκτίμηση όπου ήταν εφικτό.
- iv) Οι μεταφορές των υλικών προς τα εργοστάσια επεξεργασίας, δεν λήφθηκαν υπόψιν.
- v) Δεν λήφθηκαν υπόψιν επικουρικά συστήματα, όπως συστήματα αυτομάτου ελέγχου, ηλεκτρονικά μέρη, σύνδεσμοι σε σωληνώσεις ή τροποποιήσεις των σωληνώσεων λόγω χώρου του κτιρίου.
- vi) Οι ώρες λειτουργίας των συσκευών και των κυκλωμάτων υπολογίζεται προσεγγιστικά ανάλογα με τους περιορισμούς και τις απαιτήσεις του κάθε συστήματος. Το κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, η οποία ποικίλει ανάλογα με την εποχή του έτους. Το κύκλωμα ψύξης θέρμανσης λειτουργεί άλλοτε για ψύξη και άλλοτε για θέρμανση του χώρου, ανάλογα με την εποχή και τις απαιτήσεις για άνετη διαβίωση εντός του κτηρίου. Η προσέγγιση των ωρών έγινε ελαφρώς αυξημένη σε ασφαλές πλαίσιο για να είναι πιο ρεαλιστική. Το σύστημα ORC λειτουργεί όσο και το σύστημα ηλιακών συλλεκτών.

## 4.2 Συλλογή δεδομένων συστήματος (life cycle inventory)

---

Η αναλυτική απογραφή θα υλοποιηθεί στις εξής παραγράφους:

- Εξόρυξη υλικών και κατασκευή των επιμέρους δομικών μονάδων
- Μεταφορά
- Σύνδεση, λειτουργία και συντήρηση
- Τέλος ζωής

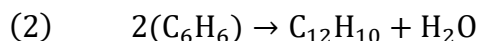
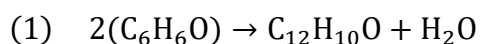
### 4.2.1 Εξόρυξη υλικών και κατασκευή των επιμέρους δομικών μονάδων

Η κατασκευή των δομικών μονάδων του συστήματος έγινε από πλήθος υλικών. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και η ακριβής καταχώρηση τους στο πρόγραμμα SimaPro:

- Ο ανοξείδωτος χάλυβας Stainless steel μοντελοποιείται ως «Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Ο χάλυβας μοντελοποιήθηκε ως «Steel, unalloyed {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Ο μαλακός χάλυβας με πυκνότητα (3,034 kg/m) είναι μέταλλο από σίδηρο και μικρή ποσότητα άνθρακα. Μοντελοποιείται ως «Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Ο ανοξείδωτος χάλυβας 17-7 είναι κράμα σιδήρου με νικέλιο και χρώμιο και μοντελοποιείται ως «Iron-nickel-chromium alloy {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Ο ορείχαλκος brass μοντελοποιείται ως «Brass {CH}| market for brass | Cut-off, U».
- Ο χαλκός μοντελοποιείται ως «Copper {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Ο χυτοσίδηρος μοντελοποιείται ως «Cast iron {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Το αλουμίνιο μοντελοποιείται ως «Aluminium, wrought alloy {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Ο εποξειδικός πολυεστέρας (epoxy polyester) που περιβάλλει τα δοχεία διαστολής και τα προστατεύει από τη διάβρωση των μετάλλων τοποθετείται ως μανδύας σκόνης εποξειδικού πολυεστέρα (epoxy polyester coating powder). Η μοντελοποίηση του γίνεται ως «Coating powder {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Το υλικό που χρησιμοποιείται για το διάφραγμα της αντλίας Hydracell G10 και στα δαχτυλίδια O-ring είναι το FKM. Είναι ελαστομερές φθορίου με περιεκτικότητες άνθρακα και κύριο μονομερές του είναι το 1,1 διφθοροαιθυλένιο. Η καταλληλότερη καταχώρηση στο SimaPro γίνεται ως «Polyvinylfluoride {GLO}| market for | Cut-off, U».



- Το λιπαντικό έλαιο 10W40 μοντελοποιείται ως «Lubricating oil {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Το πολυβινυλοχλωρίδιο PVC μοντελοποιείται ως «Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO}| market for | Cut-off, U»
- Ο πετροβάμβακας που χρησιμοποιείται ως μόνωση στους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες μοντελοποιείται ως «Stone wool {GLO}| market for stone wool | Cut-off, U».
- Το γυαλί του ηλιακού συλλέκτη είναι γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και μοντελοποιείται ως «Solar glass, low-iron {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Το απορροφητικό κάλυμμα του ηλιακού συλλέκτη είναι έλασμα αλουμινίου με επίστρωση νικελωμένου οξειδίου του αλουμινίου και μοντελοποιείται ως «Selective coat, aluminium sheet, nickel pigmented aluminium oxide {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Η πτερωτή του κυκλοφορητή κατασκευάζεται από θειούχο πολυφαινυλένιο PPS, το οποίο μοντελοποιείται ως «Polyphenylene sulfide {GLO}| market for | Cut-off, U»
- Το θερμικό έλαιο του κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών είναι το Therminol D12, για το οποίο τα στοιχεία είναι ελλιπή. Μοντελοποιείται ως Therminol VP-1: κύρια μονομερή είναι το biphenyl oxide και το diphenyl [65]. Για την καταχώρηση τους στο λογισμικό SimaPro, πραγματοποιείται ανάλυση τους. Το Diphenyl oxide παράγεται από τη φαινόλη (Phenol) με τη χημική εξίσωση 1 και το biphenyl παράγεται από το βενζόλιο (benzene) με τη χημική εξίσωση 2 [66]:



Έτσι, το Therminol D12 μοντελοποιείται ως φαινόλη και βενζόλιο με τις καταχωρήσεις: «Phenol {RoW}| market for phenol | Cut-off, U» και «Benzene {GLO}| market for | Cut-off, U» , αντίστοιχα.

- Στο ψύκτη προσρόφησης χρησιμοποιείται ως προσροφητικό μέσο το μείγμα ζεόλιθου και τριαιθυλαμίνης, που μοντελοποιούνται ως «Zeolite, powder {RER}| production | Cut-off, U» και «Triethyl amine {RER}| production | Cut-off, U» αντίστοιχα. Επίσης, χρησιμοποιούνται και στεγανωτικό EPDM και μονωτικό υλικό FEF, τα οποία μοντελοποιούνται ως «Synthetic rubber {GLO}| market for | Cut-off, U» και «Tube insulation, elastomere {GLO}| market for | Cut-off, U», αντίστοιχα.
- Ως μόνωση στους αγωγούς χρησιμοποιείται πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας και μοντελοποιείται ως «Polyethylene, high density, granulate {GLO}| market for | Cut-off, U».

Για τη κατασκευή των δομικών μονάδων του συστήματος πραγματοποιούνται συγκεκριμένες διαδικασίες και καταναλώνεται ενέργεια. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά:

- Τα δοχεία διαστολής κατασκευάζονται με τη διαδικασία deep drawing ή αλλιώς Hydroforming που ερμηνεύεται ως βαθιά κοίλανση ή υδροστατική κοίλανση, αντίστοιχα. Είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα μέταλλο ή μεταλλικό έλασμα συμπιέζεται από έμβολο μέσα σε μήτρα-καλούπι και παίρνει την αντίστοιχη μορφή. Η διαδικασία μοντελοποιείται ως «Deep drawing, steel, 3500 kN press, automode {GLO}| market for | Cut-off, U»
- Η χύτευση ορείχαλκου καταγράφεται ως «Casting, brass {GLO}| market for | Cut-off, U»
- Η θερμή έλαση του χάλυβα καταγράφεται ως «Hot rolling, steel {GLO}| market for | Cut-off, U»
- Τα μέταλλα χάλυβας, χαλκός και αλουμίνιο επιδέχονται διαμόρφωση σε ορισμένες εφαρμογές με την μέση επεξεργασία και οι διαδικασίες καταγράφονται ως «Metal working, average for steel product manufacturing {GLO}| market for | Cut-off, U», «Metal working, average for copper product manufacturing {GLO}| market for | Cut-off, U», «Metal working, average for aluminium product manufacturing {GLO}| market for | Cut-off, U», αντίστοιχα.
- Η διέλαση του αλουμινίου επιλέγεται ως «Impact extrusion of aluminium, 1 stroke {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Για την παραγωγή χάλκινων αγωγών απαιτείται η διαδικασία συρματοποίησης (wire drawing) και καταγράφεται ως «Wire drawing, copper {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Η έλαση του χαλκού μοντελοποιείται ως «Sheet rolling, copper {GLO}| market for | Cut-off, U».
- Η συγκόλληση σε αλουμίνιο που έγινε στους ηλιακούς συλλέκτες μοντελοποιήθηκε ως «Welding, arc, aluminium {GLO}| market for | Cut-off, U»
- Για την παραγωγή των δομικών μονάδων απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια μέσης τάσης και μοντελοποιείται ανάλογα με τη χώρα παραγωγής του αντικειμένου.

#### 4.2.2 Μεταφορά

Η μεταφορά παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν έχει πραγματοποιηθεί ποσοτική προσέγγιση της μεταφοράς των υλικών στα εργοστάσια παραγωγής των εξαρτημάτων και των συσκευών του συστήματος. Η μεταφορά των τελευταίων προς την Ελλάδα, όπου και εγκαθίσταται το σύστημα έχει υπολογιστεί και μοντελοποιηθεί ως εξής:

- Η μεταφορά από γνωστές τοποθεσίες των βιομηχανιών έγινε με ακρίβεια έως την Αθήνα.
- Η μεταφορά από βιομηχανίες που γνωστοποιούσαν μόνο τη χώρα παραγωγής έγιναν σε μέσο όρο της απόστασης από τη χώρα παραγωγής στην Αθήνα, παραδείγματος χάρη από τη Γερμανία.
- Ο υπολογισμός των αποστάσεων έχει γίνει με τη χρήση χαρτών της Google [67] και της ιστοσελίδας RoutsScanner [68].
- Η μεταφορά υπολογίζεται σε τονοχιλιόμετρα (tkm) κάτι που καθιστά μικρότερης σημασίας το βέλτιστο σχεδιασμό για ελαχιστοποίηση των δρομολογίων και των μεταφορών.
- Οι μεγάλες αποστάσεις καλύπτονται με φορτηγά μεγαλύτερα των 32 τόνων Euro 5 και καταγράφονται ως «Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 | Cut-off, U».
- Οι μεταφορές εκτός Ευρώπης επιλέγονται να γίνουν με φορτηγό πλοίο και καταγράφονται ως «Transport, freight, sea, container ship {GLO}| market for transport, freight, sea, container ship | Cut-off, U».
- Οι μεταφορές των απορριμμάτων γίνονται με τα δημοτικά απορριμματοφόρα από την πόλη Αθήνα προς το χώρο απόρριψης και μοντελοποιούνται ως «Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry {RoW}| processing | Cut-off, U».

#### 4.2.3 Σύνδεση, λειτουργία και συντήρηση

Οι επιμέρους συσκευές και εξαρτήματα συνδέονται και λειτουργούν στην Αθήνα. Η ανάλυση γίνεται με διάρκεια ζωής 20 έτη, που αποτελεί μία τυπική τιμή για συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας. Η λειτουργία της εγκατάστασης εφαρμόζεται όλο το χρόνο, καθώς ανάλογα την εποχή υπάρχουν θερμικές ή ψυκτικές απαιτήσεις και κατά τη διάρκεια του έτους υπάρχει ανάγκη ηλεκτρικού ρεύματος.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τις ιδιοκαταναλώσεις καλύπτεται από την παραγόμενη ενέργεια του συστήματος. Συσκευές που απαιτούν ηλεκτρικό ρεύμα είναι οι αντλίες, ο κυκλοφορητής, οι ανεμιστήρες fan coil, ο ξηρός πύργος ψύξης και ο

ηλεκτροκινητήρας της αντλίας. Επίσης, στη συντήρηση λαμβάνεται υπόψη η αντικατάσταση ορισμένων συσκευών και εξαρτημάτων με διάρκεια ζωής μικρότερη των είκοσι ετών. Το σύστημα τριπαραγωγής παράγει ετησίως 2836,8 kWh καθαρής (net) ηλεκτρικής ενέργειας, 5864,7 kWh θέρμανση και 2216,2 ψύξη. Οι παραπάνω υπολογισμοί προέκυψαν από σχετική μελέτη [69].

#### 4.2.4 Τέλος ζωής

Με το πέρας των είκοσι ετών έρχεται το τέλος ζωής της εγκατάστασης. Η διαχείριση των αποβλήτων είναι σημαντικό τμήμα της μελέτης. Πραγματοποιείται αποσυναρμολόγηση της διάταξης και διαχωρισμός σε επιμέρους υλικά. Επιλέγεται η ανακύκλωση όλων των ανακυκλώσιμων υλικών, όπως μέταλλα και η απόρριψη για ταφή ή καύση όσων δεν ανακυκλώνονται. Η ανακύκλωση δεν λαμβάνεται υπόψη υπολογιστικά, λόγω της μεθόδου cut-off που εφαρμόστηκε. Οι μεταφορές των απορριμμάτων, όπως αναφέρθηκε, πραγματοποιούνται με δημοτικό απορριμματοφόρο. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρόποι απόρριψης των αποβλήτων ανάλογα με το υλικό:

- Ο ζεόλιθος δέχεται ταφή και μοντελοποιείται ως «Waste zeolite (waste treatment) {CH}| treatment of, inert material landfill | cut-off, U».
- Η τριαιθυλαμίνη, το ισοεξάνιο και το θερμικό έλαιο του κυκλώματος των ηλιακών Therminol D12 απορρίπτονται για καύση ως επικίνδυνες ουσίες και μοντελοποιούνται ως «Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland}| treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration | Cut-off, U».
- Το πολυβινυλοχλωρίδιο PVC οδηγείται σε καύση και μοντελοποιείται ως «Waste polyvinylchloride {Europe without Switzerland}| treatment of waste polyvinylchloride, municipal incineration | Cut-off, U».
- Το ελαστομερές της μόνωσης FEF απορρίπτεται ως «Waste plastic, mixture {CH}| treatment of, sanitary landfill | Cut-off, U».
- Το νερό που δεν έχει ρυπανθεί μοντελοποιείται ως «Wastewater, unpolluted, from residence {CH}| treatment of, capacity 1.1E10l/year | Cut-off, U».
- Το EPDM απορρίπτεται ως «Waste rubber, unspecified (waste treatment) {CH}| treatment of waste rubber, unspecified, municipal incineration | Cut-off, U».
- Το πολυαιθυλένιο απορρίπτεται ως «Waste polyethylene {CH}| treatment of, sanitary landfill | Cut-off, U».
- Ο εποξειδικός πολυεστέρας των δοχείων συλλογής απορρίπτεται ως «Fibre and fabric waste, polyester {GLO}| fibre and fabric waste, polyester, Recycled Content cut-off | Cut-off, U».

- Η πολυουρεθάνη επιδέχεται καύση και καταγράφεται ως «Waste polyurethane {Europe without Switzerland}| treatment of waste polyurethane, municipal incineration | Cut-off, U».
- Το λιπαντικό έλαιο 10W40 της αντλίας απορρίπτεται προς καύση και καταγράφεται ως «Waste mineral oil {Europe without Switzerland}| treatment of waste mineral oil, hazardous waste incineration | Cut-off, U».
- Ο πετροβάμβακας που χρησιμοποιείται ως μόνωση στον ηλιακό συλλέκτη απορρίπτεται προς ταφή ως «Waste mineral wool, for final disposal {Europe without Switzerland}| treatment of waste mineral wool, inert material landfill | Cut-off, U».

### 4.3 Σενάρια Σύγκρισης

---

Δημιουργείται μια ανάλυση, κατά την οποία πραγματοποιείται ταφή σε όλα τα υλικά, εκτός τις βλαβερές ουσίες οι οποίες επιδέχονται καύση με τον όρο «Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland}| treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration | Cut-off, U».

Επιπλέον, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από ένα λέβητα φυσικού αερίου, θερμαντικά σώματα, ένα κυκλοφορητή, ένα δοχείο συλλογής και τις σωληνώσεις. Η ψύξη του κτιρίου επιτυγχάνεται με μονάδες κλιματισμού διαιρούμενου τύπου (single split a/c units). Η επιλογή των συσκευών και εξαρτημάτων γίνεται με βάση τις ανάγκες ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου. Τα χαρακτηριστικά των μονάδων που επιλέχθηκαν για το συμβατικό σύστημα παρουσιάζονται στους πίνακες A13, A14 και A15, του παραρτήματος Α. Το σύστημα καταναλώνει ετησίως 2836,8 kWh ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, 569,5 m<sup>3</sup> φυσικό αέριο και 944,4 kWh ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο για ψύξη [69].

Τέλος, ερευνάται η χρήση ψύκτη απορρόφησης αντί ψύκτη προσρόφησης στο σύστημα και συγκρίνεται με το σύστημα τριπαραγωγής με ψύκτη προσρόφησης.

Τα σενάρια αναλύονται και τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5.

## Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

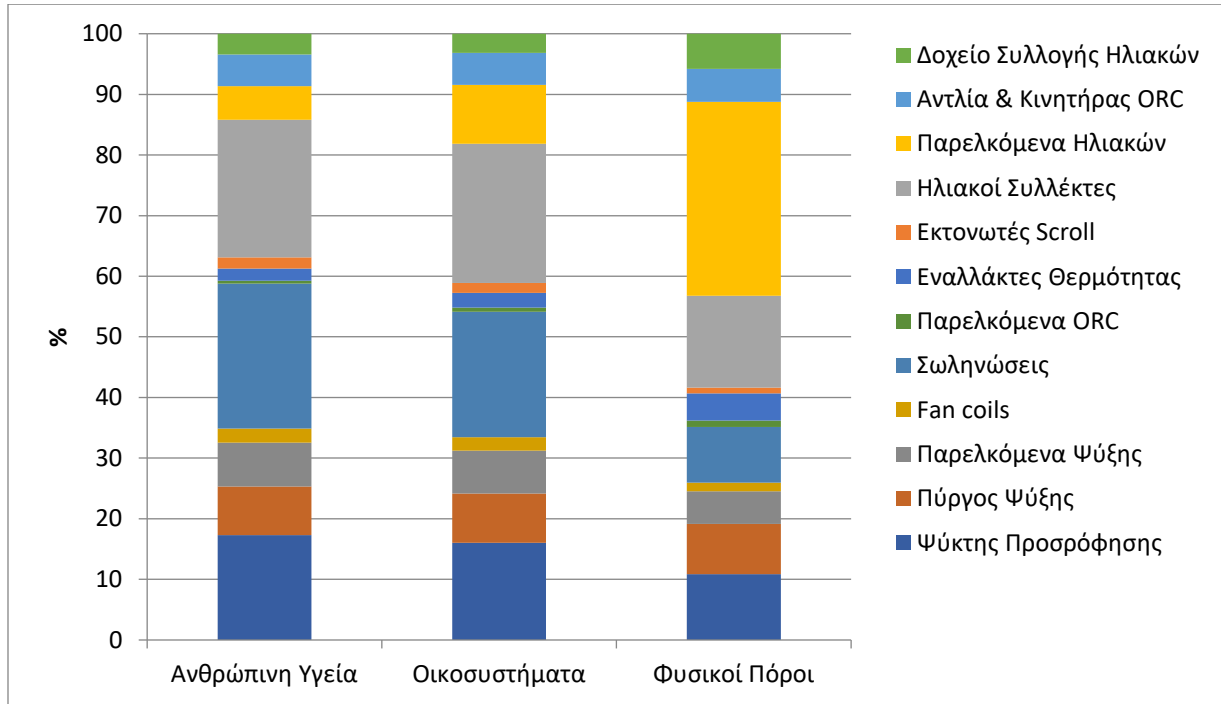
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης με τη χρήση του προγράμματος SimaPro. Πραγματοποιείται η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής της εξεταζόμενης εγκατάστασης και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μελέτης. Όπως αναφέρθηκε στη μεθοδολογία της ανάλυσης κύκλου ζωής στο κεφάλαιο 2, τα κυριότερα στάδια εκτίμησης των επιπτώσεων είναι η ταξινόμηση, ο χαρακτηρισμός, η κανονικοποίηση και η στάθμιση. Επίσης, οι δείκτες τελικού σημείου “endpoint” αφορούν την ανθρώπινη υγεία, τα οικοσυστήματα και τους φυσικούς πόρους, ενώ οι επιμέρους κατηγορίες των επιπτώσεων ανήκουν στο ενδιάμεσο σημείο “midpoint”.

### 5.1 Αποτελέσματα της ανάλυσης του συστήματος Τριπαραγωγής

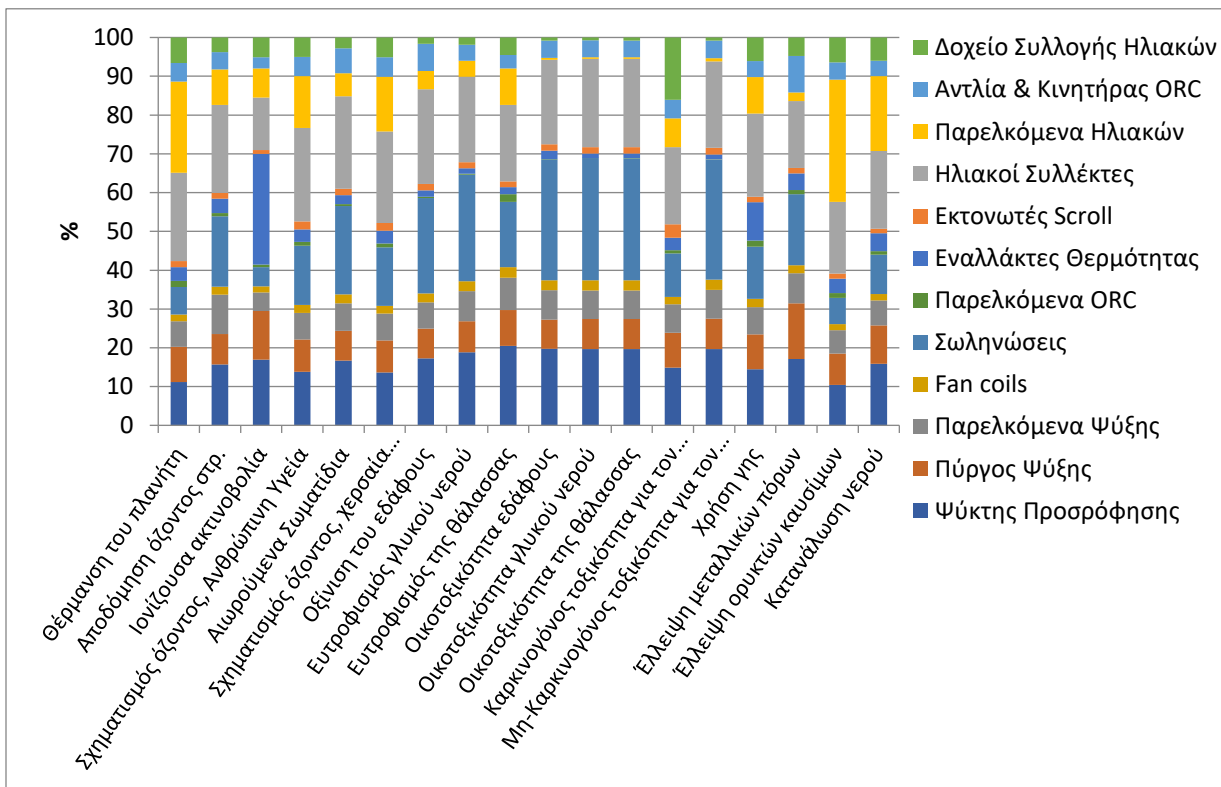
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συστήματος τριπαραγωγής και των επιμέρους συνιστωσών του. Οι κυριότερες από αυτές αναφέρονται ευκρινώς, ενώ επικουρικά εξαρτήματα ομαδοποιούνται για κάθε υποσύστημα με τον χαρακτηρισμό «παρελκόμενα». Τα εξαρτήματα αυτά για το σύστημα ηλιακών συλλεκτών είναι το δοχείο συλλογής, το θερμικό έλαιο και διάφορες συνδέσεις για σωλήνες, για το κύκλωμα ORC είναι το δοχείο συλλογής, το εργαζόμενο μέσο και οι συνδέσεις και για το κύκλωμα ψύξης - θέρμανσης είναι η βοηθητική αντλία, το δοχείο συλλογής και οι συνδέσεις. Οι χαλκοσωλήνες όλου του συστήματος αθροίζονται στην κατηγορία «Σωληνώσεις». Τα fan coils είναι οι μονάδες που εξασφαλίζουν τη ψύξη και θέρμανση του χώρου. Τα υλικά μετά το τέλος ζωής τους ανακυκλώνονται στο 100% εάν είναι ανακυκλώσιμα, αλλιώς υπόκεινται σε ταφή ή καύση.

Το σύστημα παράγει ετησίως 2836,8 kWh (καθαρή) ηλεκτρική ενέργεια, 5864,7 kWh θέρμανση και 2216,2 kWh για ψύξη, ενώ οι ιδιοκαταναλώσεις καλύπτονται από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου.

Αρχικά, παρουσιάζεται ο χαρακτηρισμός (characterization) σε τελικό σημείο “endpoint”, όπου απεικονίζεται η ποσοστιαία συνεισφορά του κάθε δομικού στοιχείου στο περιβαλλοντικό αντίκτυπο, αφού πρώτα αναλυθούν, ποσοτικοποιηθούν και αθροιστούν τα περιβαλλοντικά φορτία. Έπειτα, παρουσιάζεται ο χαρακτηρισμός σε ενδιάμεσο σημείο “midpoint”.



Γράφημα 5.1: Χαρακτηρισμός σε τελικό σημείο “endpoint” του συστήματος τριπαραγωγής .



Γράφημα 5.2: Χαρακτηρισμός σε ενδιάμεσο σημείο “midpoint” του συστήματος τριπαραγωγής.

Στο *Γράφημα 5.1* παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία την έχουν οι σωληνώσεις, οι ηλιακοί συλλέκτες και ο ψύκτης προσρόφησης. Στα οικοσυστήματα πιο επιζήμιοι είναι οι ηλιακοί συλλέκτες, έπειτα οι σωληνώσεις και ο ψύκτης προσρόφησης. Στη μείωση των φυσικών πόρων συμβάλουν κατά κύριο λόγο τα παρελκόμενα του κυκλώματος των ηλιακών, οι ηλιακοί συλλέκτες και ο ψύκτης προσρόφησης. Συνολικά, η μέγιστη συνεισφορά στη διαμόρφωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προκαλείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, έπειτα από τις σωληνώσεις και τέλος από τα παρελκόμενα των ηλιακών και το ψύκτη προσρόφησης. Τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχουν κατά σειρά τα παρελκόμενα του ORC, οι Εκτονωτές Scroll. και τα fan coils.

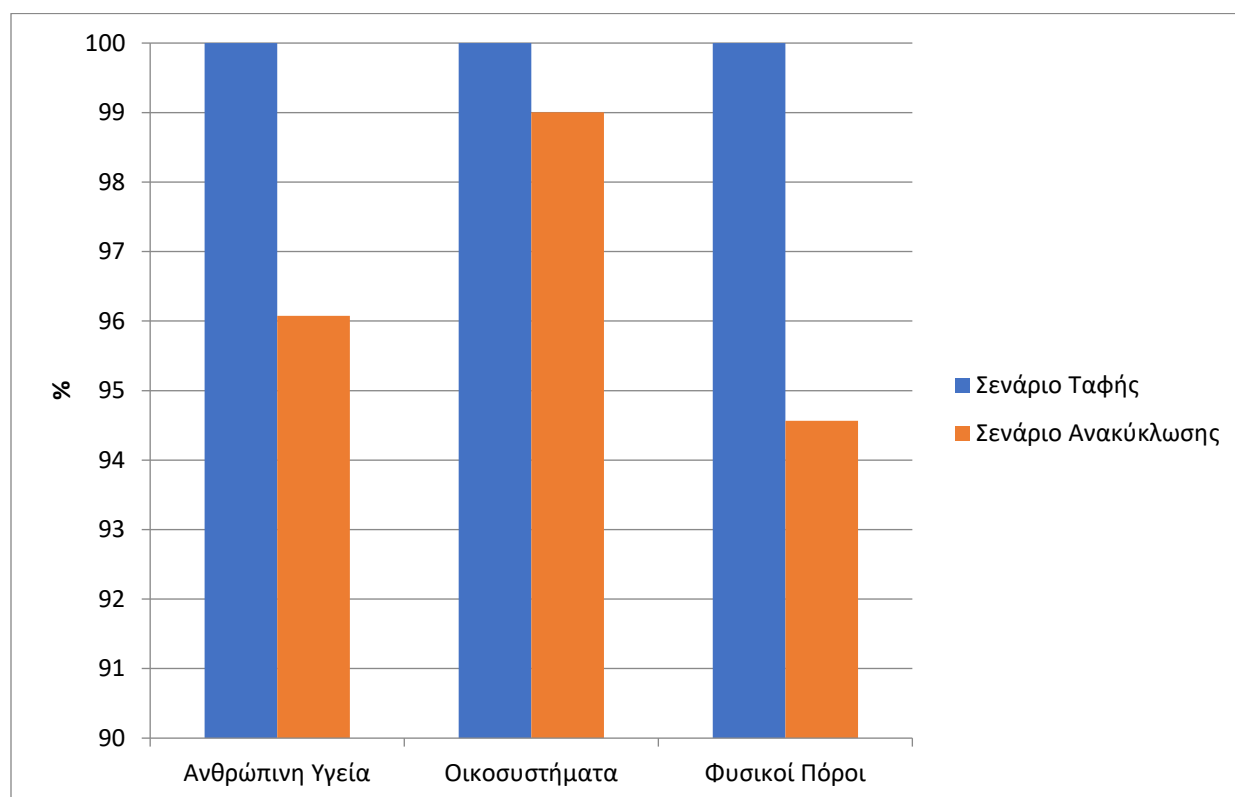
Στο *Γράφημα 5.2* παρατηρείται ότι τις περισσότερες επιπτώσεις στις κατηγορίες ενδιάμεσου σημείου “midpoint” τις έχουν κατά σειρά οι ηλιακοί συλλέκτες, οι σωληνώσεις και ο ψύκτης προσρόφησης. Το μικρότερο αποτύπωμα έχουν κατά αύξουσα σειρά τα παρελκόμενα του ORC, οι εκτονωτές scroll και τα στοιχεία fan coils. Αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι ότι οι ηλιακοί συλλέκτες και τα παρελκόμενα των ηλιακών, συντελούν στη διαμόρφωση του δείκτη GWP με ποσοστό 46% και ισοδύναμες εκπομπές 5741 kg CO<sub>2</sub> -eq. Αναλυτικά, οι ακριβείς τιμές των δεικτών ενδιάμεσου και τελικού σημείου για κάθε κατηγορία, παρουσιάζονται στους πίνακες A9 και A10 του Παραρτήματος Α, αντίστοιχα. Ομοίως, την ελάχιστη συνεισφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχουν τα παρελκόμενα του ORC, οι Εκτονωτές Scroll. και τα fan coils.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει, ακόμη, η συνεισφορά ορισμένων δομικών στοιχείων, που σε ορισμένες κατηγορίες είναι υψηλή και σε άλλες χαμηλή. Ενδεικτικά, τα παρελκόμενα των ηλιακών συλλεκτών συμβάλλουν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην υπερθέρμανση του πλανήτη με τιμή 23,57%, ενώ έχουν από τις χαμηλότερες τιμές στις κατηγορίες οικοτοξικότητας της θάλασσας 0,45%, του εδάφους 0,5%, του γλυκού νερού 0,42% και στη μη-καρκινογόνο τοξικότητα για τον άνθρωπο 0,84%. Το δοχείο συλλογής του κυκλώματος ηλιακών συλλεκτών συμβάλλει έντονα στην καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο με ποσοστό 16% και αντίθετα λίγο στην οξίνιση του εδάφους. Αυτό συμβαίνει διότι για τη κατασκευή του απαιτούνται ουσίες που βάσει μελετών είναι καρκινογόνες για τον άνθρωπο, όπως το αρσενικό, το βενζόλιο και η κατασκευή του πολυβινυλοχλωριδίου, γνωστό ως PVC [70][71][72]. Το PVC είναι πολυμερές βινυλοχλωριδίου, το οποίο είναι καρκινογόνο. Οπότε κατά την παραγωγή του και την απόρριψη και αποσύνθεση του χρησιμοποιείται και απελευθερώνεται, αντίστοιχα, το βινυλοχλωρίδιο. Ομοίως και οι εναλλάκτες θερμότητας έχουν τη μέγιστη συνεισφορά στην ιονίζουσα ακτινοβολία με ποσοστό μεγαλύτερο του 28% και ταυτόχρονα μικρή επίδραση στην διαμόρφωση αιωρούμενων σωματιδίων και στην οξίνιση του εδάφους. Συνοψίζοντας, τα πιο επιβλαβή στοιχεία είναι οι ηλιακοί συλλέκτες, οι σωληνώσεις και ο ψύκτης προσρόφησης. Να σημειωθεί ότι απαιτούν και τη μεγαλύτερη μάζα υλικών για την κατασκευή τους.

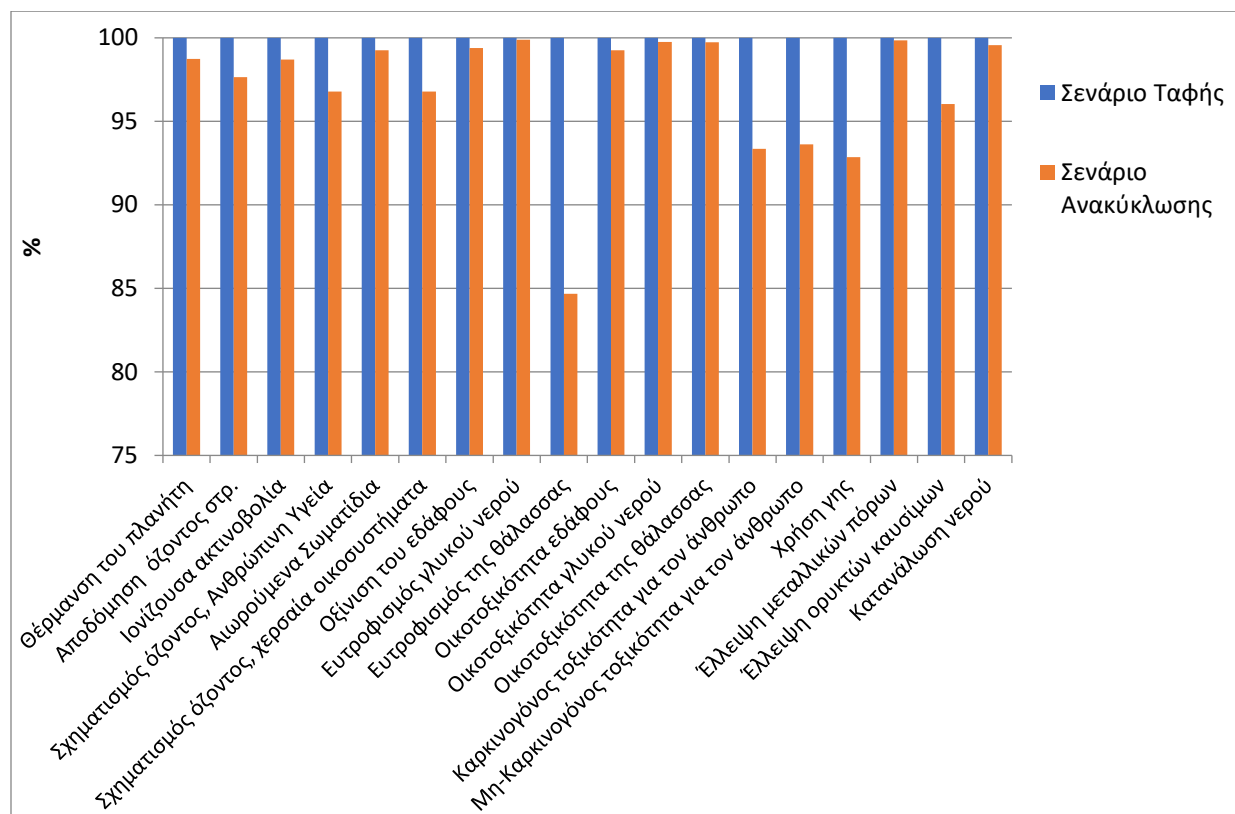


## 5.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του σεναρίου ταφής και ανακύκλωσης

Το σενάριο ανακύκλωσης είναι το αρχικό, κατά το οποίο ανακυκλώνονται στο 100% όλα τα ανακυκλώσιμα υλικά, ενώ τα λοιπά υλικά υπόκεινται σε ταφή ή καύση. Στο σενάριο ταφής, σε όλα τα υλικά γίνεται ταφή εκτός από τις βλαβερές ουσίες, οι οποίες καίγονται. Παρακάτω παρουσιάζονται κατά σειρά τα διαγράμματα χαρακτηρισμού τελικού σημείου και χαρακτηρισμού ενδιάμεσου σημείου, με τη σύγκριση των δύο σεναρίων Ταφής και Ανακύκλωσης.



Γράφημα 5.3: Χαρακτηρισμός σε τελικό σημείο των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης.



**Γράφημα 5.4: Χαρακτηρισμός σε ενδιάμεσο σημείο των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης.**

Στα ανωτέρω διαγράμματα παρατηρείται ότι η επιλογή της ανακύκλωσης είναι λιγότερο επιβλαβής για το περιβάλλον. Οι δείκτες των επιπτώσεων ενδιάμεσου σημείου είναι μεγαλύτεροι στο σενάριο της καθολικής ταφής έναντι της ανακύκλωσης. Οι σημαντικότερες διαφορές των δύο σεναρίων βρίσκονται στο ευτροφισμό της θάλασσας, τη χρήση γης, την καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο, τη μη-καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο. Η μικρότερη βελτίωση παρατηρείται στον ευτροφισμό του γλυκού νερού. Αξιοσημείωτο είναι ότι η ανακύκλωση συμβάλλει σε μια ποσοστιαία μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της τάξεως του 0,1 -15,3% , με μία μέση διαφορά 3,1%.

Στην ανάλυση τελικού σημείου η επιλογή της ταφής είναι περισσότερο επιβλαβής και στις τρεις κατηγορίες. Οι μεγαλύτερες διαφορές βρίσκονται στη καταστροφή των φυσικών πόρων και στην ανθρώπινη υγεία, ενώ στην καταστροφή των οικοσυστημάτων η διαφορά είναι αρκετά μικρή. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαφορές κυμαίνονται μεταξύ 1 - 5,5%.

Αναλυτικότερα, στους πίνακες A11 και A12 του Παραρτήματος Α παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα δύο σενάρια με τις ακριβείς τιμές των δεικτών ενδιάμεσου και τελικού σημείου, για τη λειτουργία του συστήματος σε βάθος εικοσαετίας.

Αξιοσημείωτο είναι ότι η μέθοδος μοντελοποίησης των δεδομένων “cut-off” που εφαρμόστηκε, επηρέασε τη διαφοροποίηση των δύο σεναρίων. Σύμφωνα με τη προσέγγιση αυτή, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.1, τα απόβλητα είναι ευθύνη του παραγωγού («ο ρυπαίνων πληρώνει») και υπάρχει κίνητρο για χρήση ανακυκλώσιμων προϊόντων, τα οποία είναι διαθέσιμα χωρίς περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Στη πραγματικότητα, οι διαφορές της ανακύκλωσης και της καθολικής ταφής θα ήταν αισθητά μεγαλύτερες με τη χρήση διαφορετικού μοντέλου. Παρόλα αυτά, η μέθοδος cut-off δεν προσμετρά τα περιβαλλοντικά οφέλη της ανακύκλωσης στη μελέτη, με αποτέλεσμα να μην αναδεικνύονται πλήρως τα οφέλη του σεναρίου της ανακύκλωσης για τον χρήστη του συστήματος. Η μελέτη σταματάει μετά την ανάκτηση υλικών και πριν την ανακύκλωση. Συνεπώς, τα περιβαλλοντικά οφέλη των ανακυκλωμένων υλικών τα καρπώνεται ο επόμενος χρήστης, τα οποία φέρουν μόνο το περιβαλλοντικό αντίκτυπο της διαδικασίας ανακύκλωσής τους. Ως αποτέλεσμα, τα σενάρια ταφής και ανακύκλωσης βρίσκονται τόσο κοντά.

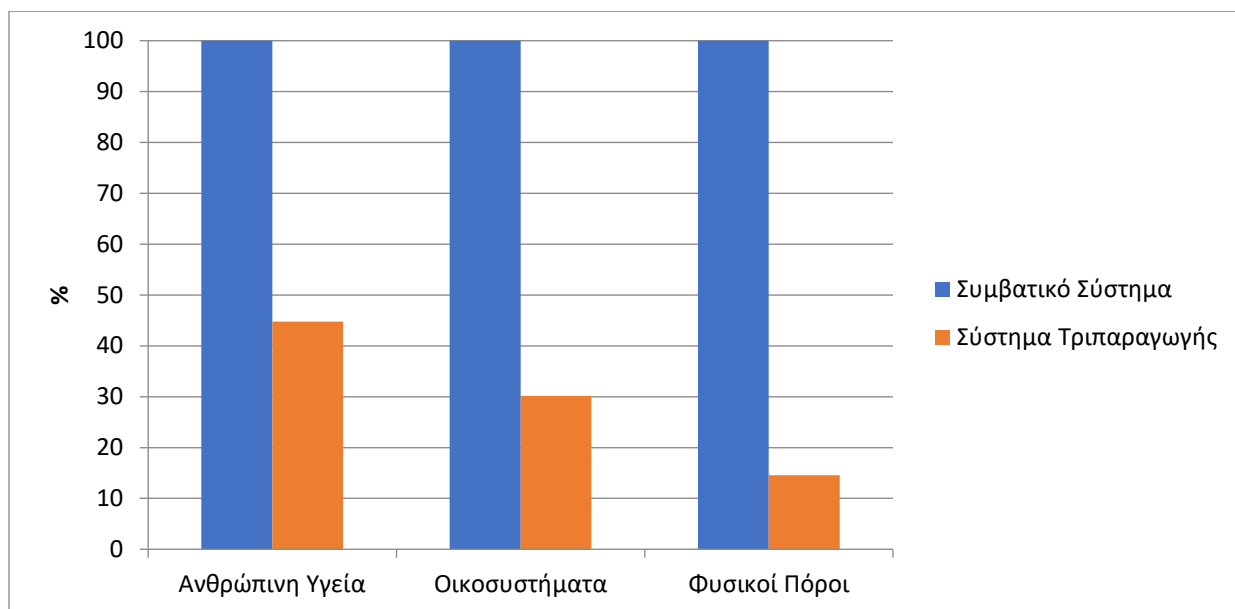
### 5.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του συμβατικού συστήματος με το σύστημα τριπαραγωγής

---

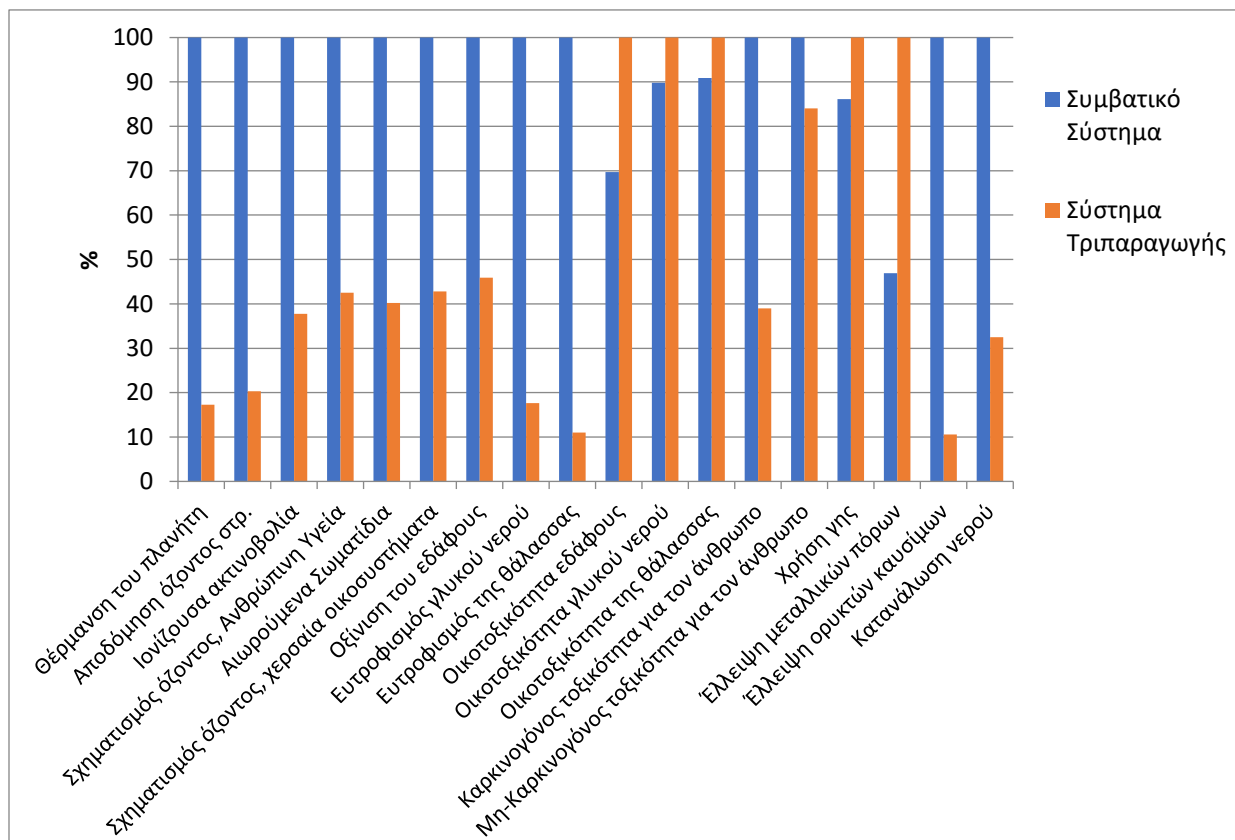
Στο συγκεκριμένο σενάριο αξιολόγησης, μελετάται η χρήση ενός συμβατικού συστήματος ψύξης και θέρμανσης σε σύγκριση με το σύστημα τριπαραγωγής. Το συμβατικό σύστημα αποτελείται από ένα λέβητα φυσικού αερίου, ένα κυκλοφορητή, ένα κλειστό κύκλωμα ζεστού νερού και σώματα θέρμανσης που προσδίδουν θερμότητα στο χώρο. Η ψύξη πραγματοποιείται με κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου (single split a/c units). Τα χαρακτηριστικά των μονάδων του συστήματος, παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες A13, A14, A15 του Παραρτήματος Α. Μετά το τέλος ζωής των υλικών, πραγματοποιείται ανακύκλωση στο 100% των ανακυκλώσιμων υλικών και καύση η ταφή, αφενός λόγω των μειωμένων περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αφετέρου για την βέλτιστη σύγκριση των δύο συστημάτων.

Το συμβατικό σύστημα καταναλώνει ετησίως 2836,8 kWh ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο, 569,5 m<sup>3</sup> φυσικό αέριο για θέρμανση και 944,4 kWh ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη.

Από την ανάλυση των δύο συστημάτων σε βάθος εικοσαετίας προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα:



**Γράφημα 5.5:** Χαρακτηρισμός σε τελικό σημείο του συμβατικού συστήματος και του συστήματος τριπαραγωγής.



**Γράφημα 5.6:** Χαρακτηρισμός σε ενδιάμεσο σημείο του συμβατικού συστήματος και του συστήματος τριπαραγωγής.

Στο *Γράφημα 5.5* παρατηρείται ότι το συμβατικό σύστημα είναι περισσότερο επιβλαβές για το περιβάλλον από το σύστημα τριπαραγωγής. Και οι τρεις κατηγορίες επιπτώσεων τελικού σημείου αναδεικνύουν το συμβατικό ως πιο επιβλαβές, με μεγάλες διαφορές. Οι διαφορές κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 55-85%. Η μεγαλύτερη διαφορά συναντάται στην καταστροφή των φυσικών πόρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το συμβατικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε το 1/3 των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα τριπαραγωγής. Παρά το γεγονός αυτό, το σύστημα τριπαραγωγής έχει καλύτερη ανταπόκριση ως προς τους περιβαλλοντικούς δείκτες. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το συμβατικό σύστημα σε βάθος εικοσαετίας, καθώς και στην κατανάλωση φυσικού αερίου.

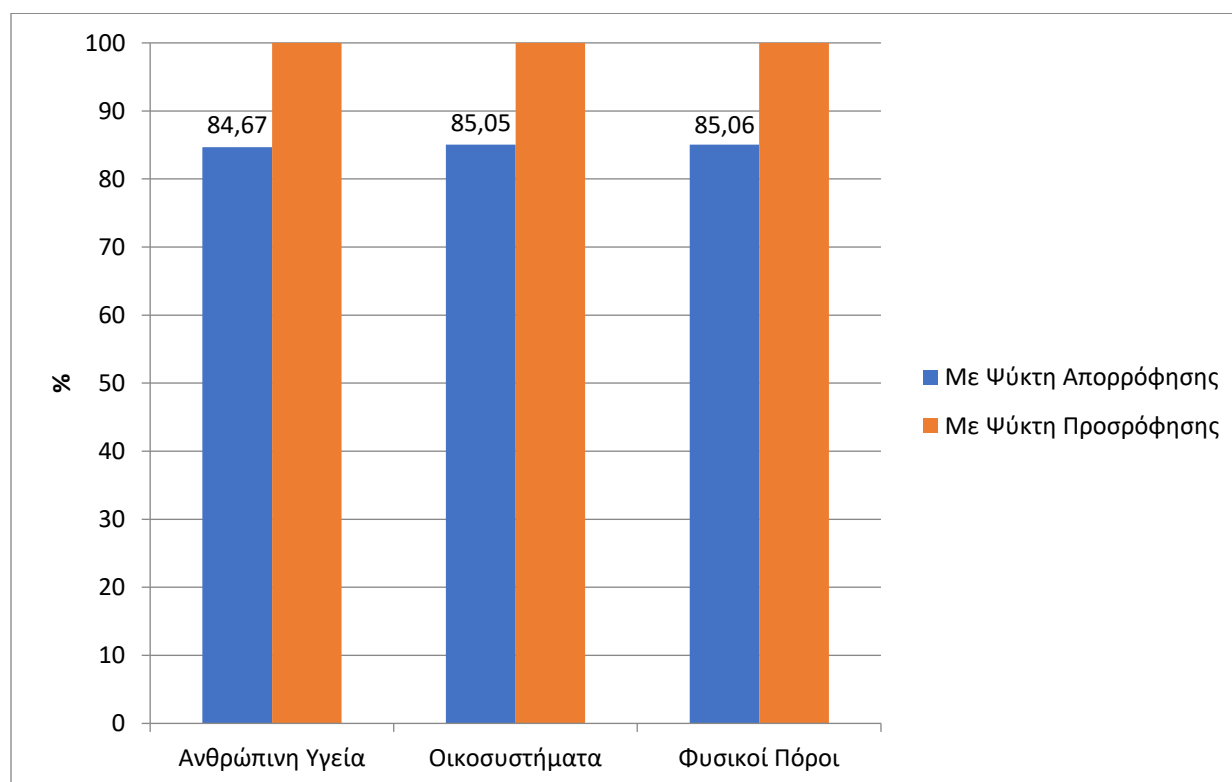
Στο *Γράφημα 5.6* απεικονίζονται οι δείκτες επιπτώσεων ενδιάμεσου σημείου. Το σύστημα τριπαραγωγής ανταποκρίνεται καλύτερα στους περισσότερους δείκτες. Οι 13 από τους 18 δείκτες, δηλώνουν ότι το συμβατικό σύστημα είναι πιο επιβλαβές για το περιβάλλον από το σύστημα τριπαραγωγής, με τις διαφορές τους να κυμαίνονται από 15-90%, με μία μέση τιμή 66%. Οι μεγαλύτερες διαφορές απεικονίζονται κατά σειρά: στην έλλειψη ορυκτών καυσίμων, στον ευτροφισμό της θάλασσας, στην θέρμανση του πλανήτη, στον ευτροφισμό του γλυκού νερού και στην αποδόμηση του στρατοσφαιρικού όζοντος. Οι κατηγορίες που το συμβατικό σύστημα συμβάλλει λιγότερο στη διαμόρφωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι η έλλειψη μεταλλικών πόρων, η οικοτοξικότητα του εδάφους, η χρήση γης, η οικοτοξικότητα του νερού και της θάλασσας. Το σύστημα τριπαραγωγής απαιτεί περισσότερα υλικά. Αυτό εξηγεί την σημαντική κατανάλωση των μεταλλικών πόρων και στη χρήση γης. Οι υπόλοιποι αυξημένοι δείκτες εξηγούνται, καθώς η οικοτοξικότητα του εδάφους προκαλείται από το θειικό οξύ και τα βαρέα μέταλλα, τα οποία βάσει του λογισμικού SimaPro είναι περισσότερα στο σύστημα τριπαραγωγής. Τέτοια μέταλλα που βρέθηκαν αυξημένα είναι το αρσενικό, το κάδμιο, το χρώμιο και υδράργυρος. Η Οικοτοξικότητα των θαλασσών και του γλυκού νερού οφείλονται στα παραπάνω καθώς και στη χρήση υλικών μη σιδηρούχων, όπως ο χαλκός, το αλουμίνιο και ο ορείχαλκος, καθώς η επεξεργασία τους εκπέμπει ρύπους που προσβάλλουν αυτή τη κατηγορία.

Είναι εμφανές ότι στη συνολική ανάλυση το σύστημα τριπαραγωγής υπερτερεί περιβαλλοντικά έναντι του συμβατικού συστήματος. Υπάρχουν μεγάλα περιθώρια περεταίρω αναβάθμισης του συστήματος τριπαραγωγής, με τη βελτίωση της απόδοσης και με χρήση λιγότερων υλικών. Αν επιτευχθεί αυτό, θα έχει ως αποτέλεσμα την ακόμα μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ του συστήματος τριπαραγωγής συγκριτικά με ένα συμβατικό σύστημα. Επιπλέον, σε ένα υπάρχον κτίριο με ένα συμβατικό σύστημα ψύξης-θέρμανσης, ίσως απαιτηθεί αντικατάσταση υλικών, πριν την ολοκλήρωση των είκοσι ετών της ανάλυσης.

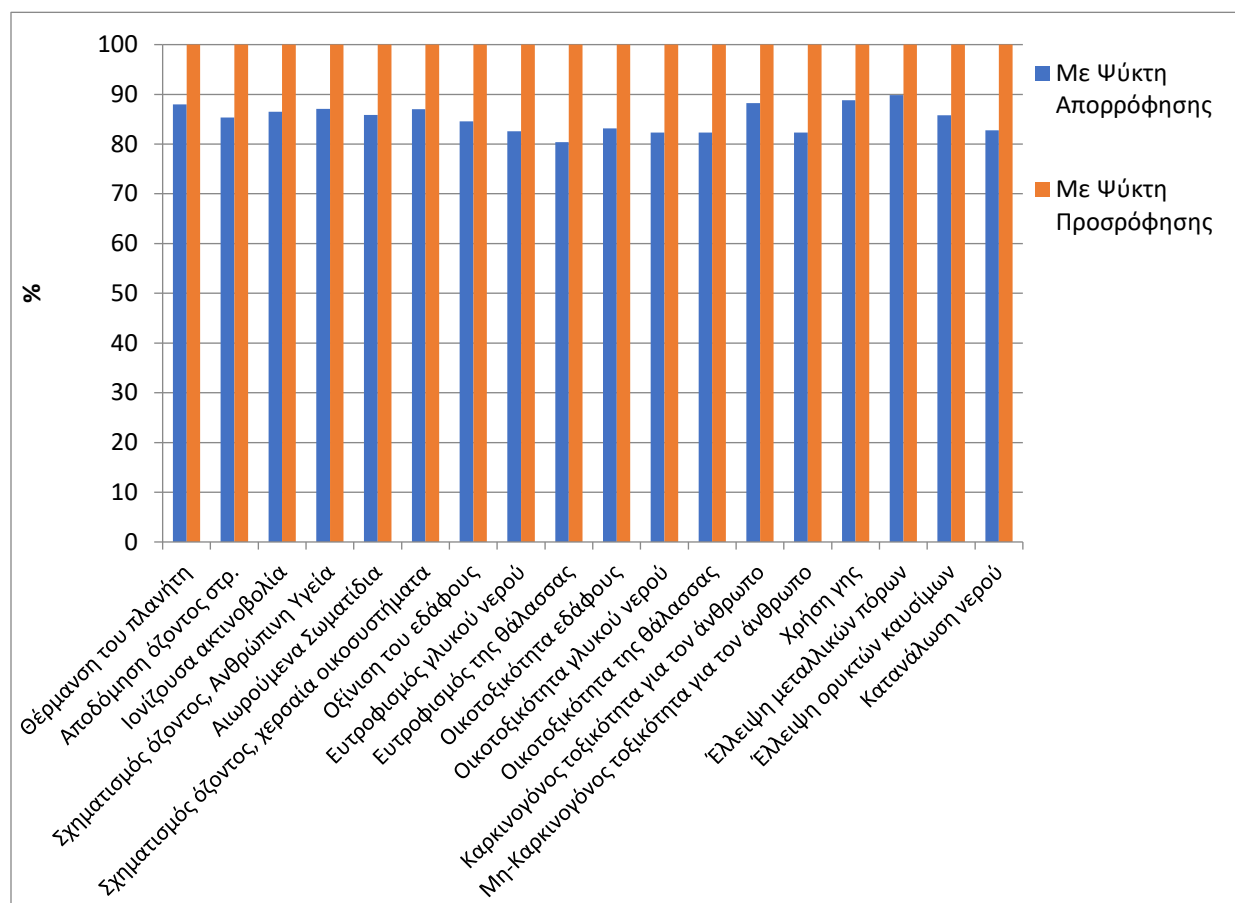
Αναλυτικότερα, παρουσιάζονται οι πίνακες A16, A17 του Παραρτήματος Α, όπου καταγράφονται οι τιμές των δύο συστημάτων για κάθε κατηγορία επιπτώσεων ενδιάμεσου και τελικού σημείου, για την εικοσαετή λειτουργία του συστήματος.

## 5.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του συστήματος τριπαραγωγής με ψύκτη απορρόφησης και με ψύκτη προσρόφησης

Ακολούθως, μελετάται το σύστημα τριπαραγωγής του βασικού σεναρίου συγκρίνεται με ένα σύστημα τριπαραγωγής με ψύκτη απορρόφησης. Το σύστημα είναι ίδιο τεχνολογικά με το αρχικό σύστημα μελέτης, με διαφορά την τεχνολογία ψύξης. Η ψύξη επιτυγχάνεται με ψύκτη απορρόφησης αμμωνίας-νερού. Για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος τροποποιείται η διαστασιολόγηση ορισμένων δομικών στοιχείων του συστήματος, όπως η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών. Τα χαρακτηριστικά του ψύκτη απορρόφησης και η διαστασιολόγηση των στοιχείων που μεταβάλλονται παρουσιάζεται στους πίνακες A18 και A19 στο Παράρτημα Α. Το σύστημα παράγει ετησίως 3158,7 kWh καθαρή (net) ηλεκτρική ενέργεια, 5948 kWh θέρμανση και 2344,6 kWh για ψύξη [69]. Οι ιδιοκαταναλώσεις του συστήματος καλύπτονται από την συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συστημάτων τριπαραγωγής με ψύκτη προσρόφησης και απορρόφησης, σε χαρακτηρισμό τελικού και ενδιάμεσου σημείου.



Γράφημα 5.7: Χαρακτηρισμός σε τελικό σημείο του συστήματος τριπαραγωγής με ψύκτη προσρόφησης και ψύκτη απορρόφησης.



**Γράφημα 5.8: Χαρακτηρισμός σε ενδιάμεσο σημείο του συστήματος τριπαραγωγής με ψύκτη προσρόφησης και ψύκτη απορρόφησης.**

Στα παραπάνω γραφήματα παρατηρείται ότι το σύστημα με ψύκτη προσρόφησης είναι πιο επιβλαβές για το περιβάλλον από εκείνο με ψύκτη απορρόφησης. Σε όλους τους δείκτες τελικού και ενδιάμεσου σημείου υπερτερεί θετικά ο ψύκτης απορρόφησης. Αυτό ερμηνεύεται καθώς αποτελεί πιο ώριμη τεχνολογία, απαιτεί λιγότερα υλικά βάσει διαστασιολόγησης και έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης. Οι διαφορές που προκύπτουν είναι της τάξεως του 10-20% στο ενδιάμεσο σημείο και 15% στο τελικό σημείο. Εκτιμάται, με τη βελτίωση του συστήματος με ψύκτη προσρόφησης ως προς την απόδοση και τη μείωση των υλικών, το σύστημα θα μπορέσει να γίνει πιο ανταγωνιστικό στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σχέση με το σύστημα με ψύκτη απορρόφησης.

Επιπλέον, το σύστημα με ψύκτη απορρόφησης παράγει περισσότερη ενέργεια για ψύξη και θέρμανση καθώς και ηλεκτρική. Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει την παραγόμενη ενέργεια των δύο συστημάτων:

**Πίνακας 5.1: Παραγόμενη ενέργεια των Συστημάτων Τριπαραγωγής**

Ενέργεια	Μονάδες	Ψύκτης Προσρόφησης	Ψύκτης Απορρόφησης	Ποσοστιαία Μεταβολή [%]
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	[kWh/έτος]	2836,8	3158,7	+11,4
Παραγόμενη θέρμανση	[kWh/έτος]	5864,7	5948,2	+1,4
Παραγόμενη ψύξη	[kWh/έτος]	2216,2	2344,6	+19,3



## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα - Προτάσεις

Αντικείμενο της μελέτης ήταν το ηλιακά τροφοδοτούμενο σύστημα τριπαραγωγής με οργανικό κύκλο Rankine και ψύκτη προσρόφησης. Ιδιαίτερης αξίας συμπέρασμα είναι η συνεισφορά των διάφορων δομικών μονάδων στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Ο χαλκός, που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό σε όλες τις δομικές μονάδες και ιδιαίτερα στις σωληνώσεις, έχει πολλαπλάσια συνεισφορά στην αύξηση των δεικτών, καθώς το υλικό που προκύπτει από την εξόρυξη υπόκειται σε πληθώρα επεξεργασιών έως ότου να είναι έτοιμο να διαμορφωθεί στο τελικό προϊόν. Ακόμη, υλικά που απαιτούν ιδιαίτερη διαμόρφωση ή διαδικασία παραγωγής αυξάνουν περιβαλλοντικούς δείκτες.

Η σύγκριση των σεναρίων καθολικής ταφής και καθολικής ανακύκλωσης των υλικών του συστήματος τριπαραγωγής ανέδειξε το δεύτερο ως λιγότερο επιβλαβή λύση. Οι διαφορές στους περιβαλλοντικούς δείκτες τελικού και ενδιάμεσου σημείου ήταν της τάξεως του 1 - 5,5% και 0,1 -15,3%, αντίστοιχα, με μία μέση τιμή 3,1% στο ενδιάμεσο σημείο. Η μικρή διαφορά των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης έγκειται στην μέθοδο προσέγγισης δεδομένων “cut-off”, η οποία αποκόπτει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την αλλαγή χρήσης του υλικού και συνεπώς δεν προσμετρά τα περιβαλλοντικά οφέλη της ανακύκλωσης στο σενάριο της ανακύκλωσης. Στην πραγματικότητα, οι διαφορές των σεναρίων είναι μεγαλύτερες.

Η ανάλυση του συμβατικού συστήματος ψύξης – θέρμανσης πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη σύγκριση του ως προς το σύστημα τριπαραγωγής του βασικού σεναρίου. Οι περισσότεροι δείκτες “midpoint” ήταν χειρότεροι για το συμβατικό σύστημα, ενώ υπήρχαν και άλλοι που ήταν μεγαλύτερο το περιβαλλοντικό αποτύπωμα για το σύστημα τριπαραγωγής. Οι πρώτοι δείκτες με τη μεγαλύτερη διαφορά ήταν: η έλλειψη ορυκτών καυσίμων με διαφορά 89,41%, ο ευτροφισμός της θάλασσας, η θέρμανση του πλανήτη, ο ευτροφισμός του γλυκού νερού με 88,98% και η αποδόμηση του στρατοσφαιρικού όζοντος. Οι κατηγορίες, που το συμβατικό σύστημα συμβάλλει λιγότερο στη διαμόρφωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, είναι η έλλειψη μεταλλικών πόρων με διαφορά 53% υπέρ του συμβατικού, η οικοτοξικότητα του εδάφους με 30%, η χρήση γης, η οικοτοξικότητα του νερού και της θάλασσας. Οι περισσότεροι περιβαλλοντικοί δείκτες ενδιάμεσου σημείου αναδεικνύουν το σύστημα τριπαραγωγής ως την λιγότερο επιβλαβή τεχνολογική λύση. Επιπροσθέτως, οι δείκτες τελικού σημείου παρουσιάζουν το σύστημα τριπαραγωγής ως καλύτερη περιβαλλοντικά λύση, με διαφορές της τάξεως 55-85%. Το συμβατικό σύστημα αποτελεί μια ώριμη τεχνολογικά λύση και απαιτεί μικρότερη μάζα υλικών, αλλά καταναλώνει σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Επομένως, σε βάθος εικοσαετούς ανάλυσης το αποτύπωμα του είναι αυξημένο σε σχέση με το σύστημα τριπαραγωγής.

Η σύγκριση των δύο συστημάτων τριπαραγωγής, με αντικατάσταση του ψύκτη προσρόφησης με αντίστοιχης ισχύος ψύκτη απορρόφησης, ανέδειξε εκείνο με το ψύκτη απορρόφησης ως λιγότερο ζημιόγono για το περιβάλλον σε σύγκριση με το ψύκτη προσρόφησης. Αυτό οφείλεται στη χρήση μικρότερης μάζας υλικών και στη μεγαλύτερη

απόδοση του πρώτου, που οδηγεί σε σημαντικότερα ενεργειακά οφέλη και συνεπώς μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Συνοψίζοντας, το σύστημα τριπαραγωγής με βάση έναν Οργανικό Κύκλο Rankine (ORC) και Ψύκτη Προσρόφησης είναι μια τεχνολογική λύση που δύναται να εισέλθει στην αγορά για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτρισμού, ψύξης και θέρμανσης ενός κτιρίου με σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, ακόμα και στην παρούσα πρώιμη σε επίπεδο γραμμής παραγωγής φάση του. Οι περιβαλλοντικοί δείκτες επιτρέπουν την εξαγωγή του συμπεράσματος, ότι είναι λιγότερο επιβλαβές από τις συμβατικές τεχνολογίες. Το σύστημα δύναται να ερευνηθεί περαιτέρω και να βελτιωθεί, ιδιαίτερα ως προς τη χρήση υλικών και την απόδοση, για να καταστεί ακόμη πιο ανταγωνιστική τεχνολογία. Παρακάτω παρουσιάζονται, ενδεικτικά, προτάσεις για περαιτέρω ανάλυση:

- Αντικατάσταση των υλικών που συμβάλλουν στην περιβαλλοντική καταπόνηση, όπως ο χαλκός, ο ορείχαλκος και το αλουμίνιο.
- Ανάλυση Κύκλου Ζωής αντικαθιστώντας τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες με συλλέκτες κενού.
- Μελέτη για μείωση των υλικών που απαιτούνται για το σύστημα τριπαραγωγής που μελετήθηκε.

## Περιεχόμενα Γραφημάτων

Γράφημα 1: Παγκόσμια ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [3].....	12
Γράφημα 5.1: Χαρακτηρισμός σε τελικό σημείο “endpoint” του συστήματος τριπαραγωγής.....	71
Γράφημα 5.2: Χαρακτηρισμός σε τελικό σημείο των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης.....	71
Γράφημα 5.3: Κανονικοποίηση σε τελικό σημείο “endpoint” του συστήματος τριπαραγωγής .....	73
Γράφημα 5.4: Χαρακτηρισμός σε ενδιάμεσο σημείο των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης.....	74
Γράφημα 5.5: Χαρακτηρισμός σε τελικό σημείο του συμβατικού συστήματος και του συστήματος τριπαραγωγής .....	75
Γράφημα 5.6: Χαρακτηρισμός σε ενδιάμεσο σημείο του συμβατικού συστήματος και του συστήματος τριπαραγωγής.....	75
Γράφημα 5.7: Χαρακτηρισμός σε τελικό σημείο του συστήματος τριπαραγωγής με ψύκτη προσρόφησης και ψύκτη απορρόφησης.....	78
Γράφημα 5.8: Χαρακτηρισμός σε ενδιάμεσο σημείο του συστήματος τριπαραγωγής με ψύκτη προσρόφησης και ψύκτη απορρόφησης.....	79

## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1.1:	Γραμμική απεικόνιση του συστήματος τριπαραγωγής.....	13
Εικόνα 1.2:	Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. [5].....	14
Εικόνα 1.3:	Ηλιακός συλλέκτης κενού. [6] .....	15
Εικόνα 1.4:	Σχηματική αναπαράσταση του απορροφητήρα άμεσης ροής. [7].....	15
Εικόνα 1.5:	Απορροφητήρας τύπου U και τα δομικά του μέρη. [6] .....	16
Εικόνα 1.6:	Σχηματική αναπαράσταση και τομή ενός κυλινδρικού απορροφητήρα τύπου U. [8].....	16
Εικόνα 1.7:	Θερμικός σωλήνας. [9] .....	17
Εικόνα 1.8:	Απεικόνιση της λειτουργίας ενός θερμικού σωλήνα. [11].....	18
Εικόνα 1.9:	Συλλέκτης παραβολικού κατόπτρου. [12] .....	18
Εικόνα 1.10:	Σχηματική απεικόνιση των μερών του ηλιακού παραβολικού κατόπτρου και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. [13] .....	19
Εικόνα 1.11:	Αναπαράσταση κατασκευαστικών σφαλμάτων σε ένα παραβολικό κάτοπτρο.[15] .....	20
Εικόνα 1.12:	Απεικόνιση των τμημάτων του παραβολικού συλλέκτη με τη πρόσπτωση της ακτινοβολίας. [16] .....	21
Εικόνα 1.13:	Ηλιακός συλλέκτης παραβολικού δίσκου. [17] .....	21
Εικόνα 1.14:	Ηλιακός πύργος. [20] .....	22
Εικόνα 1.15:	Σχηματική αναπαράσταση της απλοποιημένης μορφής ενός κυκλώματος ORC. [23] .....	24
Εικόνα 1.16:	Σχηματική αναπαράσταση της απλοποιημένης μορφής ενός συστήματος ψύξης με μηχανική συμπίεση [27] .....	26
Εικόνα 1.17:	Αντλία θερμότητας με απορρόφηση. [29] .....	27
Εικόνα 1.18:	Διάγραμμα πίεσης-θερμοκρασίας του κύκλου λειτουργίας της αντλίας θερμότητας με απορρόφηση. [31] .....	28
Εικόνα 1.19:	Προσροφητής. [33] .....	30
Εικόνα 1.20:	Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του ψύκτη προσρόφησης. [28].....	30

Εικόνα 1.21:	Σχηματική αναπαράσταση της απλοποιημένης μορφής ενός κυκλώματος του ψύκτη προσρόφησης. [34] .....	31
Εικόνα 1.22:	Διάγραμμα πίεσης θερμοκρασίας του κύκλου λειτουργίας και σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος του ψύκτη προσρόφησης. [28].....	31
Εικόνα 1.23:	Γραμμική απεικόνιση του κυκλώματος ψύξης με προσρόφηση.[35].....	33
Εικόνα 1.24:	Διάγραμμα της ψυκτικής ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του ζεστού νερού εισόδου. [36] .....	35
Εικόνα 1.25:	Γραμμική απεικόνιση ενός συστήματος τριπαραγωγής. [37].....	37
Εικόνα 2.1:	Σχηματική αναπαράσταση ΑΚΖ. [42] .....	38
Εικόνα 2.2:	Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας της ΑΚΖ. [43] .....	39
Εικόνα 2.3:	Γραμμική απεικόνιση της μεθόδου ReCiPe2016. [44] .....	44
Εικόνα 3.1:	Γραμμική απεικόνιση του συστήματος τριπαραγωγής με τα τρία επιμέρους κυκλώματα του.....	49
Εικόνα 3.2:	Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. [53] .....	50
Εικόνα 3.3:	Δοχείο συλλογής ηλιακού κυκλώματος. [54] .....	51
Εικόνα 3.4:	Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας Alpha Laval. [55] .....	52
Εικόνα 3.5:	Εκτονωτής τύπου scroll. [57] .....	53
Εικόνα 3.6:	α) Εκτονωτής τύπου scroll. β) κάτοψη εκτονωτή τύπου scroll σε τομή . [58] .....	54
Εικόνα 3.7:	Αντλία Hydracell G10 με κεφαλή από ορείχαλκο . [59] .....	55
Εικόνα 3.8:	Αναπαράσταση της αντλίας διαφράγματος και των δομικών της μερών. [60]....	55
Εικόνα 3.9:	Δοχείο διαστολής Imera για το κύκλωμα ORC. [61].....	56
Εικόνα 3.10:	Γραμμική απεικόνιση του κυκλώματος ψύξης με ψύκτη προσρόφησης διπλού θαλάμου. [35].....	57
Εικόνα 3.11:	Ξηρός πύργος ψύξης. [62] .....	58
Εικόνα 3.12:	Γραμμική απεικόνιση του συστήματος τριπαραγωγής με τα τρία επιμέρους κυκλώματα του.....	59
Εικόνα 4.1:	Διάγραμμα ροής.....	62

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1.1:	Σύγκριση των συντελεστών απόδοσης COP για τις τεχνολογίες ψύξης.....	34
Πίνακας 1.2:	Σύγκριση του ψύκτη προσρόφησης και του ψύκτη απορρόφησης.....	35
Πίνακας 1.3:	Σύγκριση του ψύκτη προσρόφησης και του ψύκτη μηχανικής συμπίεσης.....	36
Πίνακας 3.1:	Τα μέρη του ηλιακού κυκλώματος.....	51
Πίνακας 3.2:	Καταγραφή των χαρακτηριστικών των εναλλακτών θερμότητας.....	53
Πίνακας 3.3:	Καταγραφή των χαρακτηριστικών των εκτονωτών.....	54
Πίνακας 3.4:	Καταγραφή των χαρακτηριστικών των fan coils.....	58
Πίνακας 4.1:	Μεταφορές των δομικών στοιχείων του συστήματος.....	61
Πίνακας 5.1:	Παραγόμενη ενέργεια των Συστημάτων Τριπαραγωγής.....	80
Πίνακας A1:	Τεχνικά χαρακτηριστικά των εναλλακτών.....	96
Πίνακας A2:	Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείων συλλογής.....	96
Πίνακας A3:	Τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας και του κινητήρα της .....	97
Πίνακας A4:	Τεχνικά χαρακτηριστικά εκτονωτών .....	97
Πίνακας A5:	Τεχνικά χαρακτηριστικά του ενός fancoil .....	98
Πίνακας A6:	Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακών συλλεκτών .....	98
Πίνακας A7:	Τεχνικά χαρακτηριστικά κυκλοφορητή .....	99
Πίνακας A8:	Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείου συλλογής του συστήματος ηλιακών συλλεκτών.....	99
Πίνακας A9:	Αναλυτική απογραφή των τιμών των δεικτών ενδιάμεσου σημείου για το σύστημα τριπαραγωγής .....	100
Πίνακας A10:	Αναλυτική απογραφή των τιμών των δεικτών τελικού σημείου για το σύστημα τριπαραγωγής .....	100
Πίνακας A11:	Καταγραφή των τιμών των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης στις κατηγορίες ενδιάμεσου σημείου.....	101
Πίνακας A12:	Καταγραφή των τιμών των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης στις κατηγορίες τελικού σημείου.....	101
Πίνακας A13:	Καταγραφή των δομικών μονάδων του συμβατικού συστήματος [75][76].....	102

Πίνακας A14: Χαρακτηριστικά κλιματιστικών μονάδων [76].....	102
Πίνακας A15: Χαρακτηριστικά Καυστήρα φυσικού αερίου [75].....	103
Πίνακας A16: Καταγραφή των τιμών του συμβατικού συστήματος και του συστήματος τριπαραγωγής στις κατηγορίες ενδιάμεσου σημείου.....	104
Πίνακας A17: Καταγραφή των τιμών του συμβατικού συστήματος και του συστήματος τριπαραγωγής στις κατηγορίες τελικού σημείου.....	104
Πίνακας A18: Χαρακτηριστικά του ψύκτη Απορρόφησης [77].....	105
Πίνακας A19: Χαρακτηριστικά της μεταβολής των στοιχείων του συστήματος με ψύκτη απορρόφησης.....	105
Πίνακας A20: Καταγραφή των τιμών ενδιάμεσου σημείου των συστημάτων τριπαραγωγής με απορρόφηση και προσρόφηση.....	106
Πίνακας A21: Καταγραφή των τιμών τελικού σημείου των συστημάτων τριπαραγωγής με απορρόφηση και προσρόφηση.....	106

## Βιβλιογραφία

- [1] Ritchie H, Roser M, Rosado P. Energy [internet]. 2020 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption#total-energy-consumption>
- [2] Καλδέλλης Κ, Μπουλογιώργου Δ, Τριανταφύλλου Π. Η Εξέλιξη της Κατανάλωσης Ενέργειας του Πλανήτη μας (1965-2020). Πόσο μακριά βρισκόμαστε από μια καθαρή πράσινη ενεργειακή λύση; [internet]. 2021 Sept 06 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://dialogoi.uniwa.gr/articles/i-exelixa-tis-katanalosis-energeias-toy-planiti-mas-1965-2020-poso-makria-vriskomaste-apo-mia-kathari-prasini-energeiaki-lysi/>
- [3] BP. Primary energy [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy.html>
- [4] Stauffer W N. Cooling Buildings Worldwide [internet]. 2018 Jun 7 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://energy.mit.edu/news/cooling-buildings-worldwide/>
- [5] Hewalex. The structure of a solar collector [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.hewalex.eu/en/page/the-structure-of-a-solar-collector.html>
- [6] Solarbayer. Vacuum tube collectors CPC nero [images on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.solarbayer.com/Vacuum-tube-collector-CPC.html>
- [7] Tatsidjodoung P, Pierrès N Le, Luo L, Stevens P. Modelling of a Coaxial Vacuum Solar Tube Collector [image on internet]. 2014 May 27 [cited 2022 Aug 25]. p.4. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/262639252\\_Modelling\\_of\\_a\\_Coaxial\\_Vacuum\\_Solar\\_Tube\\_Collector](https://www.researchgate.net/publication/262639252_Modelling_of_a_Coaxial_Vacuum_Solar_Tube_Collector)
- [8] Ghoneim A, Shabana H M, Shaaban M S, Mohammedin A M. Performance Analysis of Evacuated Tube Collector in Hot Climate [image on internet]. 2016 [cited 2022 Aug 25]. p.4. Available from: <https://www.eijst.org.uk/images/frontImages/gallery/Vol. 5 No. 3/2. 8-20.pdf>
- [9] Solkraft. The vacuum space [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://solkraft.ca/mississauga-collectors-evacuated-tubes.php>
- [10] Abd-Elhady M S, Nasreldin M, Elsheikh M N. Improving the performance of evacuated tube heat pipe collectors using oil and foamed metals [internet]. 2018 [cited 2022 Aug 25]; 9(4). p.1. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447917301144> DOI: 10.1016/j.asej.2017.10.001



- [11] Gad J, Gryzagoridis J. The effect of different working fluids and internal geometries on the efficiency of evacuated tube heat pipe solar collectors [image on internet]. 2020 November [cited 2022 Aug 25]; 31(4). p. 2. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/347320695> The effect of different working fluids and internal geometries on the efficiency of evacuated tube heat pipe solar collectors DOI: [10.17159/2413-3051/2020/v31i4a8480](https://doi.org/10.17159/2413-3051/2020/v31i4a8480)
- [12] Dickes R, Lemort V, Quoilin S. Semi-empirical correlation to model heat losses along solar parabolic trough collectors [image on internet]. 2015 Jul [cited 2022 Aug 25]. p. 1. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/277316191> Semi-empirical correlation to model heat losses along solar parabolic trough collectors
- [13] Ray S, Tripathy A K, Sahoo S S, Bindra H. Performance analysis of receiver of parabolic trough solar collector: Effect of selective coating, vacuum and semitransparent glass cover [image on internet]. 2018 Jul 12 [cited 2022 Aug 25]. p. 2. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.4137> DOI: 10.1002/er.4137
- [14] Tagle-Salazar P, Nigam K, Rivera-Solorio C. Parabolic trough solar collectors: A general overview of technology, industrial applications, energy market, modeling, and standards. Green Processing and Synthesis [internet]. 2020 [cited 2022 Aug 25];9(1): 595-649. Available from: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/gps-2020-0059/html> DOI: 10.1515/gps-2020-0059
- [15] Alternative Energy Tutorials. Parabolic Trough Reflector for Solar Thermal System [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/parabolic-trough-reflector.html>
- [16] Olia H, Torabi M, Bahiraei M, Ahmadi M H, Goodarzi M, Safaei M R. Application of Nanofluids in Thermal Performance Enhancement of Parabolic Trough Solar Collector: State-of-the-Art [image on internet]. 2019 Jan 29 [cited 2022 Aug 25];9(3). p.4. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/3/463/html> DOI: 10.3390/app9030463
- [17] Power Technology. The Maricopa Solar Plant Project, Usa [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.power-technology.com/projects/maricopasolarplantar/>
- [18] Solarflux. The Promise of Parabolic Dish CSP Technology [internet]. 2021 Apr 19 [cited 2022 Aug 25]. p.3. Available from: <https://www.solarflux.co/blog/the-promise-of-parabolic-dish-csp-technology/>
- [19] Southwest Solar Technology LLC. Thermal Dish – Solar Energy Products [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://swsolarllc.com/thermal-dish/>

- [20] Construction Review Online. World's Tallest Concentrated Solar Power Tower installed [image on internet]. 2021 Aug 14 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://constructionreviewonline.com/news/worlds-tallest-concentrated-solar-power-tower-installed/>
- [21] Energy Education. Solar power tower [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar\\_power\\_tower](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_power_tower)
- [22] Turboden. ORC system [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.turboden.com/products/2463/orc-system>
- [23] Edibon. What are organic rankine cycle applications? [internet]. 2020 Jul 22 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.edibon.com/de/blog/wie-es-funktioniert/what-are-organic-rankine-cycle-applications>
- [24] Wikipedia. Rankine Cycle [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rankine\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle)
- [25] World Cement. WHR in the cement industry-Part 2: Organic Rankine Cycle [internet]. 2013 Aug 01 [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://www.worldcement.com/europe-cis/01082013/whr\\_cement\\_industry\\_organic\\_rankine\\_cycle\\_77/](https://www.worldcement.com/europe-cis/01082013/whr_cement_industry_organic_rankine_cycle_77/)
- [26] Darvish K, Ehyaei M A, Atabi F, Rosen M A. Selection of Optimum Working Fluid for Organic Rankine Cycles by Exergy and Exergy Economic Analyses [internet]. 2015 Nov 19 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/11/15362/htm> DOI: 10.3390/su71115362
- [27] Crall C P, Understanding Thermal Systems: Basic Cooling Systems - Insulation Outlook Magazine [image on internet]. 2015 Jun 01 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://insulation.org/io/articles/understanding-thermal-systems-basic-cooling-systems/>
- [28] Demira H, Mobedid M, Ulku S. A review on adsorption heat pump: Problems and solutions [internet]. 2008 Dec [cited 2022 Aug 25]; 12(9). Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032107000998#!> DOI: 10.1016/j.rser.2007.06.005
- [29] Golsman energy. How does an absorption chiller work? [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.goldman.com.au/energy/company-news/how-does-an-absorption-chiller-work/>
- [30] Bakhtiari B, Fradette L, Legros R, Paris J. A model for analysis and design of H<sub>2</sub>O–LiBr absorption heat pumps. Energy Conversion and Management [internet]. 2011 [cited 2022 Aug 25]; 52(2) 1439-1448. Available from:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410004504> DOI: 10.1016/j.enconman.2010.09.037.
- [31] Keil C, Plura S, Radspieler M, Schweigler C. Application of customized absorption heat pumps for utilization of low-grade heat sources. Applied Thermal Engineering [image on internet]. 2008 Nov [cited 2022 Aug 25]; 28(16) 2070-2076. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431108002056> DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2008.04.012
- [32] Industrial heat pumps. Absorption heat pump [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://industrialheatpumps.nl/english/operating\\_principle/absorption\\_heat\\_pump/](https://industrialheatpumps.nl/english/operating_principle/absorption_heat_pump/)
- [33] Fraunhofer [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.fraunhofer.de/en.html>
- [34] Dusane B M, Ghuge N C. Performance Evaluation of Solar Adsorption System with/without Wing using Methanol Charcoal [image on internet]. 2017 Jun [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/333103920\\_Performance\\_Evaluation\\_Of\\_Solar\\_Adsorption\\_System\\_WithWithout\\_Wing\\_Using\\_Methanol\\_-\\_Charcoal](https://www.researchgate.net/publication/333103920_Performance_Evaluation_Of_Solar_Adsorption_System_WithWithout_Wing_Using_Methanol_-_Charcoal) DOI: 10.13140/RG.2.2.34309.60641
- [35] Djubaedah E, Rachmat A, Aisyah N, Nasruddin., Kurniawan A. Multi-objective Optimization of a Two-bed Solar Adsorption Chiller based on Exergy and Economics. International Journal of Technology [image on internet]. 2018 [cited 2022 Aug 25]; 9(6), p. 1276-1284. Available from: <https://ijtech.eng.ui.ac.id/article/view/2578> DOI: 10.14716/ijtech.v9i6.2578
- [36] Bry-Air. Adsorption chiller comparison [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.bryair.com/news-and-events/articles/adsorption-chiller-comparison/>
- [37] Bellos E, Tzivanidis C. Parametric Investigation of a Trigeneration System with an Organic Rankine Cycle and Absorption Heat Pump Driven by Parabolic Trough Collectors for the Building Sector. Energies [image on internet]. 2020 [cited 2022 Aug 25]; 13(7) p1800. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/7/1800/htm> DOI: 10.3390/en13071800
- [38] Inoplex. What is trigeneration? [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://inoplex.com.au/information/what-is-trigeneration/>
- [39] Better Building Partnership. Cogeneration and trigeneration [internet]. 2015 Jun 04 [cited 2022 Aug 25]. Available from:

<https://www.betterbuildingspartnership.com.au/information/cogeneration-trigeneration/>

- [40] International Organization for Standardization. ISO 14040:2006-Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework [internet]. 2006 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- [41] Στέλιου Μ. Ανάλυση κύκλου ζωής ελαιολάδου στη Κύπρο [internet]. 2005 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <http://estia.hua.gr/file/lib/default/data/4137/theFile>
- [42] Irish Green Building Council. IGBC launches programs to increase measurement of embodied carbon in new construction [image on internet]. 2017 Sept [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.igbc.ie/igbc-launches-programmes-increase-measurement-embodied-carbon-new-construction/>
- [43] Κλειάσου Η Κ. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Αιολικού Πάρκου στη θέση «Πυργουλόψη - Λιάζαρι», συνολικής ισχύος 1,5 MW, Περιφερειακής Ενότητας Ευβοίας, Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας [internet]. 2016 Oct [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/81560543.pdf>
- [44] Dutch National Institute for Public Health and the Environment. LCIA: the ReCiPe model [internet]. 2011 Jun 16 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>
- [45] Κάλλης Γ. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Καινοτόμου Συστήματος Ηλιακής Ψύξης με Προσρόφηση [internet]. 2018 Oct [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/48123> DOI: 10.26240/heal.ntua.15816
- [46] Ecochain. Life Cycle Assessment Software Tools – Overview [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-software-overview-comparison/>
- [47] OpenLCA Nexus. The source for LCA data sets [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://nexus.openlca.org/database/ecoinvent>
- [48] Goedkoop M, Heijungs E, Huijbregts M, De Schryver A, Struijs J, Van Zelm R. ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level [internet]. 2008 Jan 01 [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/302559709\\_ReCiPE\\_2008\\_A\\_life\\_cycle\\_impact\\_assessment\\_method\\_which\\_comprises\\_harmonised\\_category\\_indicators\\_at\\_the\\_midpoint\\_and\\_the\\_endpoint\\_level](https://www.researchgate.net/publication/302559709_ReCiPE_2008_A_life_cycle_impact_assessment_method_which_comprises_harmonised_category_indicators_at_the_midpoint_and_the_endpoint_level)

- [49] Huijbregts M A J, Steinmann Z J N, Elshout P M F, Stam G, Verones F, Vieira M, Zijp M, Hollander A, Zelm R. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment [internet]. 2020 Jul 02 [cited 2022 Aug 25]; 22(18), p 138-147. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1246-y>
- [50] Bare J C, Hofstetter P, Pennington D W, Haes A U. Life Cycle Impact Assessment Workshop Summary. Midpoints versus Endpoints: The Sacrifices and Benefits. Internal Journal of Life Cycle Assessment [internet]. 2020 Jan [cited 2022 Aug 25]; 5(6). p319-326. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/279867802\\_Life\\_cycle\\_impact\\_assessment\\_workshop\\_summary\\_Midpoints\\_versus\\_endpoints\\_The\\_sacrifices\\_and\\_benefits](https://www.researchgate.net/publication/279867802_Life_cycle_impact_assessment_workshop_summary_Midpoints_versus_endpoints_The_sacrifices_and_benefits)
- [51] Goedkoop M, Heijungs E, Huijbregts M, De Schryver A, Struijs J, Van Zelm R. ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level [internet]. 2009 Jan 06 [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/230770853\\_Recipe\\_2008](https://www.researchgate.net/publication/230770853_Recipe_2008)
- [52] Dutch National Institute for Public Health and the Environment. ReCiPe 2016. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization [internet]. 2016 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0104.pdf>
- [53] Gavrielatos. Sunlit [image on internet]. 2016 [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.mgavrielatos.gr/Collectors-2.html#4>
- [54] Solar Panels Plus. [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <http://www.solarpanelsplus.com/products/solar-storage-tanks/>
- [55] Alfa Laval. Alfa Laval CB60/CBH60/CBP60. Technical Data Brochure [pamphlet]. 2019 Sept [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/heating-and-cooling-hub/pd-leaflets/cb60.pdf>
- [56] Alfa Laval. Alfa Laval CB30/CBH30/CBP30. Technical Datasheet [pamphlet]. 2019 Sept [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/heating-and-cooling-hub/pd-leaflets/cb30.pdf>
- [57] Pneumatictips. What is a scroll compressor?. [image on internet]. 2019 Mar [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.pneumatictips.com/what-is-a-scroll-compressor/>

- [58] Ghashop. Scroll compressor using R22 Refrigerant [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://www.ghashop.com/?product\\_id=6594678\\_31](https://www.ghashop.com/?product_id=6594678_31)
- [59] Hydra-cell. G10 Pump Datasheet [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.hydra-cell.co.uk/docs//Sales-Lit-Extranet-Datasheets/G10-Datasheet.pdf>
- [60] Michael Smith Engineers Ltd. G Series Pumps [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/products/hydra-cell/industrial-pumps/g-series-pumps>
- [61] Imeratanks. Expansion Vessel for heating systems [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: [http://www.imeratanks.com/book/expansion\\_vessels\\_for\\_heating\\_systems/r\\_5-50/](http://www.imeratanks.com/book/expansion_vessels_for_heating_systems/r_5-50/)
- [62] GHASHOP. V-CONFIGURATION INDUSTRIAL DRY COOLER [image on internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://www.ghashop.com/?product\\_id=193145105\\_89](https://www.ghashop.com/?product_id=193145105_89)
- [63] Olimpia Splendid. Product Catalogue. Bi2 SL Smart 400 [pamphlet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.olimpiasplendid.com/fan-coils-fan-radiators/bi2-slr-air-inverter>
- [64] EeBGuide Project. G-12 (Buildings) / G-11 (Products) Cut-off rules for screening, simplified, complete LCA. Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative [internet]. 2012 Oct [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.eebguide.eu/eeblog/?p=1739>
- [65] Eastman. Technical Data Sheet. Therminol VP1 Heat Transfer Fluid. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://productcatalog.eastman.com/tds/ProdDatasheet.aspx?product=71093459&pn=Therminol+VP-1+Heat+Transfer+Fluid>
- [66] Burkhardt J J, Heath G A, Turchi C S. Life Cycle Assessment of a parabolic trough concentrating Solar Power Plant and the impacts of key design alternatives. Supporting Information. 2011 Feb [cited 2022 Aug 25]. Available from: [https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es1033266/suppl\\_file/es1033266\\_si\\_001.pdf](https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es1033266/suppl_file/es1033266_si_001.pdf)  
DOI: 10.1021/es1033266
- [67] Google. Google Maps. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.google.com/maps>
- [68] Route scanner. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.routescanner.com/>
- [69] Ρουμπεδάκης, Τρύφων Χ. "Θερμοδυναμική ανάλυση και πειραματική διερεύνηση συστημάτων αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας μικρής κλίμακας για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ηλεκτρισμού." 2022 [cited 2022 Aug 25].

- [70] American Cancer Society. Arsenic and cancer risk [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.cancer.org/healthy/cancer-causes/chemicals/arsenic.html>
- [71] American Cancer Society. Benzene and cancer risk [internet]. [cited 2022 Aug 25]. Available from: <https://www.cancer.org/healthy/cancer-causes/chemicals/benzene.html>
- [72] Brandt-Rauf PW, Li Y, Long C, Monaco R, Kovvali G, Marion MJ. Plastics and carcinogenesis: The example of vinyl chloride. J Carcinog. 2012;11:5. doi: 10.4103/1477-3163.93700. Epub 2012 Mar 12. PMID: 22529741; PMCID: PMC3327051. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3327051/>
- [73] Shi J, Li T, Zhang H C, Peng S T, Zhichao L, Jiang Q. Energy consummation and environmental emissions assessment of a refrigeration compressor based on life cycle assessment methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment [internet]. 2015 May 20 [cited 2022 Aug 25]; 20(7) : 947–956. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0896-5> DOI: 10.1007/s11367-015-0896-5.
- [74] Herrando M, Elduque Daniel, Javierre C, Fueyo N. Life Cycle Assessment of solar energy systems for the provision of heating, cooling and electricity in buildings: A comparative analysis. Energy Convention and Management. 2022 April [cited 2022 Aug 25]; 257. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890422001984#t0040> DOI: 10.1016/j.enconman.2022.115402
- [75] Raluy R G, Dias A C. Life cycle assessment of a domestic gas-fired water heater: Influence of fuel used and its origin. Journal of Environmental Management [internet]. 2020 [cited 2022 Aug 25]; 254. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971931504X> DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109786
- [76] Almutairi K, Thoma G, Burek J, Algarni S, Nutter D. Life cycle assessment and economic analysis of residential air conditioning in Saudi Arabia. Energy and Buildings [internet]. 2015 [cited 2022 Aug 25]; 102. p370-379. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815300359> DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.004.
- [77] IEA|SHC . International Energy Agency | Solar Heating & Cooling Programme. Becalli M, Cellura M, Longo S, Finocchiaro P, Selke T. Finale Deliverable Report on Life cycle analysis. 2014 Sept [cited 2022 Aug 25]. Available from: <http://task48.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Task%2048%20Activity%20A2-B3%20Final%20report%20October%202014.pdf>

## Παράρτημα Α: Πίνακες

**Πίνακας Α1: Τεχνικά χαρακτηριστικά των εναλλακτών**

Τμήμα	Υλικό	Ατμοποιητής μάζα [kg]	Συμπυκνωτής μάζα [kg]	Αναγεννητής μάζα [kg]	SimaPro
Πλάκες- Καλύμματα	Ανοξείδωτος χάλυβας	0,5	1	0,5	Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}   market for   Cut-off, U
Συνδέσεις	Ανοξείδωτος χάλυβας				Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}   market for   Cut-off, U
Πλάκες	Ανοξείδωτος χάλυβας	17,46	22,14	1,1	Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}   market for   Cut-off, U
Χάλκινοι αγωγοί	Χαλκός	1	0,8	0,5	Copper {GLO}   market for   Cut- off, U
Φίλτρο	Ορείχαλκος	0,3	0,3	0,2	Brass {CH}   market for brass   Cut- off, U
TOTAL		19,56	24,24	2,3	
Διάρκεια Ζωής [έτη]		20	20	20	

**Πίνακας Α2: Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείων διαστολής**

Υλικά	Δοχείο διαστολής ORC Μάζα [kg]	Δοχείο διαστολής SOLAR Μάζα [kg]	SimaPro
Χάλυβας με βαθειά κύλανση	35,67	56,89	Steel, unalloyed { GLO}   market for   Cut-off, U
Εποξειδικός πολυεστέρας	1	1,78	Coating powder { GLO}   market for   Cut-off, U
Βαθειά Κύλανση	35,67	56,89	Deep drawing, steel, 3500 kN press, automode { GLO}   market for   Cut-off, U
Διάρκεια Ζωής	10 έτη	10 έτη	



**Πίνακας A3: Τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας και του κινητήρα της**

Συσκευή	Τμήματα	Υλικό	Μάζα [kg]	Διάρκεια ζωής [έτη]	Συνολική μάζα [kg]	SimaPro
Hydra-cell G10	Εισαγωγή	Ανοξείδωτος Χάλυβας	0,80	20	0,80	Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}   market for   Cut-off, U
	Εξαγωγή	Ανοξείδωτος Χάλυβας	1,25	20	1,25	Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}   market for   Cut-off, U
	Άξονας	Μαλακός χάλυβας	0,91	20	0,91	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}   market for   Cut-off, U
	Έδρανα Κύλισης	Ανοξείδωτος Χάλυβας	0,40	6	1,33	Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}   market for   Cut-off, U
	Διάφραγμα και O-ring	FKM	0,04	1	0,84	FKM: Polyvinylfluoride {GLO}   market for   Cut-off, U
	Λιπαντικό έλαιο	10W40	0,91	0,5	36,33	Lubricating oil {GLO}   market for   Cut-off, U
	Βαλβίδες	17-7 Ανοξείδωτος Χάλυβας	0,30	1	6,00	Iron-nickel-chromium alloy {GLO}   market for   Cut-off, U
	Μεταλλική κεφαλή	Ορείχαλκος	18,10	20	18,10	Brass {CH}   market for brass   Cut-off, U
Motor Hydra	Περίβλημα	Αλουμίνιο	3,99	4	19,95	Aluminium, wrought alloy {GLO}   market for   Cut-off, U
	Άξονας	Μαλακός χάλυβας	0,91	4	4,55	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}   market for   Cut-off, U

**Πίνακας A4: Τεχνικά χαρακτηριστικά εκτονωτών [73]**

Υλικό	Scroll Εκτονωτής 1	Scroll Εκτονωτής 2	SimaPro
	Μάζα [kg]	Μάζα [kg]	
Χυτοσίδηρος	12,87	14,70	Cast iron {GLO}   market for   Cut-off, U
Χάλυβας	8,33	9,52	Steel, unalloyed {GLO}   market for   Cut-off, U
Χαλκός	2,00	2,29	Copper {GLO}   market for   Cut-off, U
Κράμα αλουμινίου	0,33	0,38	Aluminium, wrought alloy {GLO}   market for   Cut-off, U
<b>Χαρακτηριστικά</b>			
Διάρκεια Ζωής	20	20	
Ισχύς [kW]	2,45	2,80	
Όγκος Σάρωσης [cc/rev]	14,9	64,5	

Οι εκτονωτές έχουν υπολογιστεί με αναγωγή σύμφωνα με τους συμπιεστές που μελέτησαν οι Shi et al [73].

**Πίνακας A5: Τεχνικά χαρακτηριστικά του ενός fan coil**

Υλικά	Μάζα [kg]	SimaPro
Χάλυβας	9,930	Steel, unalloyed {GLO}  market for   Cut-off, U
Χαλκός	2,262	Copper {GLO}  market for   Cut-off, U
Αλουμίνιο	0,808	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for   Cut-off, U
PVC	0,173	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO}  market for   Cut-off, U
Τεχνικά χαρακτηριστικά	Τιμές	Μονάδες
Συνολική ψυκτική ισχύς	1,74	kW
Παροχή όγκου ψυκτικού νερού	302,5	l/h
Συνολική θερμική ισχύς	2,31	kW
Ηλεκτρική Ισχύς	19	W
Παροχή όγκου ψυχόμενου αέρα	320	m <sup>3</sup> /h
Διάρκεια Ζωής	20	έτη

**Πίνακας A6: Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακών συλλεκτών**

Τμήμα	Υλικό	Τιμή	Μονάδα	SimaPro
Σωληνώσεις σύνδεσης	Χαλκός	37,12	kg	Copper {GLO}  market for   Cut-off, U
Απορροφητική επιφάνεια	αλουμίνιο	37,11	kg	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for   Cut-off, U
Υδροσκελετός	χαλκό	44,52	kg	Copper {GLO}  market for   Cut-off, U
	χαλκό	23,56	kg	Copper {GLO}  market for   Cut-off, U
Μόνωση κάτω	πετροβάμβακας	96,25	kg	Stone wool {GLO}  market for stone wool   Cut-off, U
μόνωση πλάι	πετροβάμβακας	14,72	kg	
υάλινο κάλυμμα	γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο	220,00	kg	Solar glass, low-iron {GLO}  market for   Cut-off, U
Πλαίσιο	αλουμίνιο με ειδική βαφή	71,81	kg	Selective coat, aluminium sheet, nickel pigmented aluminium oxide {GLO}  market for   Cut-off, U
	Διάρκεια Ζωής	20	Έτη	

**Πίνακας A7: Τεχνικά χαρακτηριστικά κυκλοφορητή**

Τμήμα	Υλικό	Μάζα [kg]	SimaPro
κέλυφος	Χυτοσίδηρος	1,7	Cast iron {GLO}  market for   Cut-off, U
πτερωτή	PPS	0,2	Polyphenylene sulfide {GLO}  market for   Cut-off, U
άξονας	Ανοξείδωτος Χάλυβας	0,2	Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}  market for   Cut-off, U
Χαρακτηριστικά			
Διάρκεια ζωής [έτη]		10	
Ηλεκτρική ισχύς κινητήρα [W]		45	

**Πίνακας A8: Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείου συλλογής του συστήματος ηλιακών συλλεκτών [74]**

Όγκος [lt]	450	
Υλικά	Μάζα [kg]	SimaPro
Κράματα Χάλυβα	327,63	Steel, low-alloyed {GLO}  market for   Cut-off, U
Υαλοβάμβακας	25,20	Glass wool mat {GLO}  market for   Cut-off, U
Πολυβινυλοχλωρίδιο	2,52	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO}  market for   Cut-off, U
Χρώμα Βαφής	1,26	Electrostatic paint {GLO}  market for   Cut-off, U
Άλλα	0,16	-
<b>Σύνολο</b>	<b>356,77</b>	

Τα στοιχεία για το δοχείο συλλογής ελήχθησαν με αναγωγή βάσει όγκου, με βάση τη μελέτη των Herrando et al [74].

**Πίνακας A9: Αναλυτική απογραφή των τιμών των δεικτών ενδιάμεσου σημείου για το σύστημα τριπαραγωγής**

Κατηγορία	Μονάδες	Σύνολο	Ψύκτης Προσρόφησης	Πύργος Ψύξης	Παρελκόμενα Ψύξης	Fan coils	Σωληνώσεις	Παρελκόμενα ORC	Εναλλάκτες Θερμότητας	Εκτονωτές Scroll	Ηλιακοί Συλλέκτες	Παρελκόμενα Ηλιακών	Αντλία & Κινητήρας ORC	Δοχείο Συλλογής Ηλιακών
Θέρμανση του πλανήτη	kg CO <sub>2</sub> -eq	12400	1380	1128	816	222	878	189	441	199	2818	2923	591	814,69
Αποδόμηση ατμοσφαιρικού όζοντος	kg CFC-11	0,00864	0,00136	0,00068	0,00088	0,00018	0,00157	0,00007	0,00032	0,00012	0,00196	0,00079	0,00039	0,00032
Ιονίζουσα ακτινοβολία	kBq CO-60	680	115,4	84,9	33,0	10,7	33,4	4,3	194,6	6,3	92,4	50,8	19,9	34,5
Σηματομορφές όζοντος, Ανθρώπινη Υγεία	kg NOx	46,4	6,4	3,9	3,2	0,9	7,1	0,5	1,5	0,9	11,2	6,2	2,3	2,3
Αιωρούμενα Σωματίδια	kg SO <sub>2</sub> -eq	66,2	11,05	5,08	4,69	1,52	15,07	0,34	1,51	1,12	15,77	3,97	4,26	1,82
Σηματομορφές όζοντος, χειραία οικοσυστήματα	kg NOx	48,00	6,54	3,97	3,31	0,97	7,22	0,50	1,56	0,97	11,33	6,77	2,40	2,47
Οξίνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> -eq	174	29,90	13,33	11,85	3,99	42,83	0,57	2,83	2,86	42,48	8,22	12,23	2,81
Ευτροφισμός γλυκού νερού	kg P-eq	24,80	4,67	1,97	1,94	0,62	6,81	0,08	0,33	0,40	5,46	1,02	1,03	0,46
Ευτροφισμός της θάλασσας	kg N-eq	0,89	0,1831	0,0824	0,0745	0,0242	0,1507	0,0177	0,0162	0,0132	0,1762	0,0837	0,0307	0,04
Οικοτοξικότητα εδάφους	kg <sub>1,4</sub> DCB	1020000	201000	76290	77623	26197	318041	781	21443	16753	222689	5087	45179	8180,91
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού	kg <sub>1,4</sub> DCB	18400	3620	1421	1359	478	5796	8	213	305	4188	78	793	140,33
Οικοτοξικότητα της θάλασσας	kg <sub>1,4</sub> DCB	23300	4582	1801	1722	605	7331	12	275	386	5294	104	1007	181,43
Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg <sub>1,4</sub> DCB	2970	441	267	219	55	335	24	96	101	593	220	140	478,22
Μη-Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg <sub>1,4</sub> DCB	229000	44964	18093	17005	5906	70958	223	2836	3790	51142	1915	10299	1868,43
Χρήση γης	m <sup>2</sup> ·yr	366	53	33	26	8	49	6	36	5	79	35	15	22
Έλλειψη μεταλλικών πόρων	kg Cu-eq	641	110	92	50	13	117	7	28	9	110	15	60	30,78
Έλλειψη ορυκτών καυσίμων	kg Oil-eq	3390	353	275	204	52	229	43	124	45	625	1069	151	217,88
Κατανάλωση νερού	m <sup>3</sup>	124	19,7	12,3	8,0	2,0	12,6	1,1	5,7	1,4	24,9	24,0	4,9	7,5

**Πίνακας A10: Αναλυτική απογραφή των τιμών των δεικτών τελικού σημείου για το σύστημα τριπαραγωγής**

Κατηγορία	Ανθρώπινη Υγεία	Οικοσυστήματα	Φυσικοί Πόροι
Μονάδες	DALY [έτη]	είδη · έτος	Αμερικανικό Δολάριο
Σύνολο	0,115	0,000126	1060
Ψύκτης Προσρόφησης	0,0199	2,017E-05	115
Πύργος Ψύξης	0,0092	1,029E-05	88
Παρελκόμενα Ψύξης	0,0083	8,877E-06	57
Fan coils	0,0027	2,794E-06	15
Σωληνώσεις	0,0275	2,609E-05	97
Παρελκόμενα ORC	0,0005	8,479E-07	11
Εναλλάκτες Θερμότητας	0,0023	3,042E-06	48
Εκτονωτές Scroll	0,0021	2,063E-06	10
Ηλιακοί Συλλέκτες	0,0261	2,898E-05	160
Παρελκόμενα Ηλιακών	0,0064	1,224E-05	339
Αντλία & Κινητήρας ORC	0,0060	6,61E-06	58
Δοχείο Συλλογής Ηλιακών	0,0039	3,988E-06	61

**Πίνακας A11: Καταγραφή των τιμών των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης στις κατηγορίες ενδιάμεσου σημείου**

Κατηγορία	Μονάδες	Σενάριο Ταφής	Σενάριο Ανακύκλωσης
Θέρμανση του πλανήτη	kg CO <sub>2</sub> -eq	12600	12400
Αποδόμηση στρατοσφαιρικού όζοντος	kg CFC <sub>11</sub>	0,0088	0,0086
Ιονίζουσα ακτινοβολία	kBq CO-60	689	680
Σχηματισμός όζοντος, Ανθρώπινη Υγεία	kg NO <sub>x</sub>	47,9	46,4
Αιωρούμενα Σωματίδια	kg SO -eq	66,7	66,2
Σχηματισμός όζοντος, χειρσαία οικοσυστήματα	kg NO <sub>x</sub>	49,6	48,0
Οξίνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> -eq	175	174
Ευτροφισμός γλυκού νερού	kg P-eq	24,83	24,80
Ευτροφισμός της θάλασσας	kg N-eq	1,05	0,893
Οικοτοξικότητα εδάφους	kg <sub>1,4</sub> DCB	1027711	1020000
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού	kg <sub>1,4</sub> DCB	18500	18400
Οικοτοξικότητα της θάλασσας	kg <sub>1,4</sub> DCB	23362	23300
Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg <sub>1,4</sub> DCB	3182	2970
Μη-Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg <sub>1,4</sub> DCB	245000	229000
Χρήση γης	m <sup>2</sup> · yr	395	366
Έλλειψη μεταλλικών πόρων	kg Cu-eq	642	641
Έλλειψη ορυκτών καυσίμων	kg Oil-eq	3530	3390
Κατανάλωση νερού	m <sup>3</sup>	125	124

**Πίνακας A12: Καταγραφή των τιμών των σεναρίων ταφής και ανακύκλωσης στις κατηγορίες τελικού σημείου**

Κατηγορία Καταστροφής	Μονάδες	Σενάριο Ταφής	Σενάριο Ανακύκλωσης
Ανθρώπινη Υγεία	DALY [έτη]	0,120	0,115
Οικοσυστήματα	είδη · έτος	0,000127	0,000126
Φυσικοί Πόροι	Αμερικανικό δολάριο	1120	1060

**Πίνακας A13: Καταγραφή των δομικών μονάδων του συμβατικού συστήματος [75][76]**

Μονάδα	Μάζα [kg]	Χαρακτηριστικά [Μονάδα Μέτρησης]	Τιμή
Καυστήρας	65,5	Ισχύς [kW]	24,7
Σώματα Θέρμανσης	67,6	Αριθμός	3
		Θερμική Ισχύς [kW]	2,4
Δοχείο Συλλογής	73,3	Όγκος [lt]	50
Κλιματιστικές Μονάδες	40	Αριθμός	3
		Ψυκτική Ισχύς [BTU/hr]	9000
Κυκλοφορητής	4,2	-	-
Σωληνώσεις	163,6	-	-

**Πίνακας A14: Χαρακτηριστικά κλιματιστικών μονάδων [76]**

Κλιματιστικές Μονάδες	Διάρκεια Ζωής [έτη]	20
Υλικό	Μάζα [kg]	SimaPro
Αλουμίνιο	7,452	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for   Cut-off, U
Χαλκός	20,4	Copper {GLO}  market for   Cut-off, U
Σίδηρο	8,556	Cast iron {GLO}  market for   Cut-off, U
Ανοξειδωτος Χάλυβας	1,764	Steel, chromium steel 18/8 {GLO}  market for   Cut-off, U
Χάλυβας	42,132	Steel, unalloyed {GLO}  market for   Cut-off, U
ΗΡΔΕ (Πολυαιθυλένιο υψηλής Πυκνότητας)	0,084	Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Cut-off, U
Πολυπροπυλένιο	0,984	Polypropylene, granulate {GLO}  market for   Cut-off, U
Πολυστυρένιο	7,86	Polystyrene, general purpose {GLO}  market for   Cut-off, U
Διογκωμένο Πολυστυρένιο	0,468	Polystyrene, general purpose {GLO}  market for   Cut-off, U
Πολυστυρένιο Υψηλής αντοχής	19,404	Polystyrene, high impact {GLO}  market for   Cut-off, U
Πολυβινυλοχλωρίδιο	4,848	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO}  market for   Cut-off, U
Πολυαμίδιο	1,524	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {GLO}  market for   Cut-off, U
Σύνολο	120	

**Πίνακας A15: Χαρακτηριστικά Καυστήρα φυσικού αερίου [75]**

Καυστήρας		
Υλικό	Μάζα [kg]	SimaPro
Χαρτόνι	1,919	Core board {GLO}  market for   Cut-off, U
Χρωμιούχος Χάλυβας	0,384	Steel, chromium steel 18/8 {GLO}  market for   Cut-off, U
Χάλυβας	39,344	Steel, unalloyed {GLO}  market for   Cut-off, U
Ενισχυμένος Χάλυβας	0,652	Reinforcing steel {GLO}  market for   Cut-off, U
Διογκωμένο Πολυστυρένιο	1,503	Polystyrene, expandable {GLO}  market for   Cut-off, U
Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας	0,491	Polyethylene, low density, granulate {GLO}  market for   Cut-off, U
Πολυκαρβονικό	0,461	Polycarbonate {GLO}  market for   Cut-off, U
Κατεργασμένο Κράμα αλουμινίου	0,761	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for   Cut-off, U
Κράμα Αλουμινίου Χύτευσης	3,434	Aluminium, cast alloy {GLO}  market for   Cut-off, U
Χαλκός	14,136	Copper {GLO}  market for   Cut-off, U
Ορείχαλκος	1,278	Brass {CH}  market for brass   Cut-off, U
Nylon 6-6, glass filled	0,876	Nylon 6-6, glass-filled {RoW}  market for nylon 6-6, glass-filled   Cut-off, U
<b>Σύνολο</b>	<b>65,3</b>	
<b>Χαρακτηριστικά</b>		
Διάρκεια Ζωής [έτη]	20	
Ισχύς [kW] (min-max)	7-19,2	
Παροχή όγκου [L/min]	2-11	

**Πίνακας A16: Καταγραφή των τιμών του συμβατικού συστήματος και του συστήματος τριπαραγωγής στις κατηγορίες ενδιάμεσου σημείου**

Κατηγορία	Μονάδες	Συμβατικό Σύστημα	Σύστημα Τριπαραγωγής
Θέρμανση του πλανήτη	kg CO <sub>2</sub> -eq	71654	12400
Αποδόμηση στρατοσφαιρικού όζοντος	kg CFC <sub>11</sub>	0,04256	0,0086
Ιονίζουσα ακτινοβολία	kBq CO-60	1802	680
Σχηματισμός όζοντος, Ανθρώπινη Υγεία	kg NO <sub>x</sub>	109	46
Αιωρούμενα Σωματίδια	kg SO -eq	165	66
Σχηματισμός όζοντος, χερσαία οικοσυστήματα	kg NO <sub>x</sub>	112	48
Οξίνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> -eq	379	174
Ευτροφισμός γλυκού νερού	kg P-eq	140	25
Ευτροφισμός της θάλασσας	kg N-eq	8,10145	0,893
Οικοτοξικότητα εδάφους	kg <sub>1,4</sub> DCB	710000	1020000
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού	kg <sub>1,4</sub> DCB	16500	18400
Οικοτοξικότητα της θάλασσας	kg <sub>1,4</sub> DCB	21200	23300
Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg <sub>1,4</sub> DCB	7614	2970
Μη-Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg <sub>1,4</sub> DCB	272531	229000
Χρήση γης	m <sup>2</sup> · yr	316	366
Έλλειψη μεταλλικών πόρων	kg Cu-eq	301	641
Έλλειψη ορυκτών καυσίμων	kg Oil-eq	32003	3390
Κατανάλωση νερού	m <sup>3</sup>	382	124

**Πίνακας A17: Καταγραφή των τιμών του συμβατικού συστήματος και του συστήματος τριπαραγωγής στις κατηγορίες τελικού σημείου**

Κατηγορία Καταστροφής	Συμβατικό Σύστημα	Συμβατικό Σύστημα	Σύστημα Τριπαραγωγής
Ανθρώπινη Υγεία	DALY [έτη]	0,258	0,115
Οικοσυστήματα	είδη · έτος	0,000417	0,000126
Φυσικοί Πόροι	Αμερικανικό δολάριο	7280	1060



**Πίνακας A18: Χαρακτηριστικά του ψύκτη Απορρόφησης [77]**

Ψύκτης Απορρόφησης		
Ψυκτική Ισχύς [kW]	5	
Διάρκεια Ζωής [έτη]	20	
Υλικό	Μάζα [kg]	SimaPro
Ανθρακούχος Χάλυβας	62,92	Steel, low-alloyed {GLO}  market for   Cut-off, U
Ανοξειδωτος Χάλυβας	75,42	Steel, chromium steel 18/8 {GLO}  market for   Cut-off, U
Αμμωνία 60%	6,25	Ammonia, liquid {RER}  market for   Cut-off, U
Νερό 40%	4,17	Tap water {Europe without Switzerland}  market for   Cut-off, U
Αλουμίνιο	4,17	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for   Cut-off, U
Χαλκός	2,08	Copper {GLO}  market for   Cut-off, U
Χυτοσίδηρος	0,83	Cast iron {GLO}  market for   Cut-off, U
Θερμομόνωση	1,67	Stone wool {GLO}  market for stone wool   Cut-off, U
Σύνολο	157,5	
Ηλεκτρική ενέργεια για τη παραγωγή [MJ]	10,84	

**Πίνακας 19: Χαρακτηριστικά της μεταβολής των στοιχείων του συστήματος με ψύκτη απορρόφησης**

Δομικό στοιχείο	Χαρακτηριστικά	Ψύκτης Προσρόφησης		Ψύκτης Απορρόφησης		Μεταβολή Μάζας [%]
		Τιμή	Μάζα [kg]	Τιμή	Μάζα [kg]	
Ηλιακοί Συλλέκτες	Επιφάνεια [m <sup>2</sup> ]	27,5	507,98	28,9	535,40	5,40
Δοχείο Συλλογής Ηλιακών	Όγκος [m <sup>3</sup> ]	0,45	356,77	0,3	237,85	-33,33
Θερμικό Έλαιο Therminol D12	Όγκος [m <sup>3</sup> ]	0,6	508,89	0,45	381,7	-24,99
Ατμοποιητής CB60	Αριθμός Πλακών	97	19,56	105	21	7,36
Συμπυκνωτής CB60	Αριθμός Πλακών	123	24,24	135	26,94	11,14

**Πίνακας A20: Καταγραφή των τιμών ενδιάμεσου σημείου των συστημάτων τριπαραγωγής με απορρόφηση και προσρόφηση**

Κατηγορία	Μονάδες	Ψύκτης Απορρόφησης	Ψύκτης Προσρόφησης
Θέρμανση του πλανήτη	kg CO <sub>2</sub> -eq	10906	12400
Αποδόμηση στρατοσφαιρικού όζοντος	kg CFC-11	0,00738	0,0086
Ιονίζουσα ακτινοβολία	kBq CO-60	588	680
Σχηματισμός όζοντος, Ανθρώπινη Υγεία	kg NO <sub>x</sub>	40,4	46
Αιωρούμενα Σωματίδια	kg SO -eq	56,8	66
Σχηματισμός όζοντος, χειρσαία οικοσυστήματα	kg NO <sub>x</sub>	41,8	48
Οξίνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> -eq	147	174
Ευτροφισμός γλυκού νερού	kg P-eq	20,4	25
Ευτροφισμός της θάλασσας	kg N-eq	0,717	0,893
Οικοτοξικότητα εδάφους	kg <sub>1,4</sub> DCB	847000	1020000
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού	kg <sub>1,4</sub> DCB	15200	18400
Οικοτοξικότητα της θάλασσας	kg <sub>1,4</sub> DCB	19186	23300
Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg <sub>1,4</sub> DCB	2621	2970
Μη-Καρκινογόνος τοξικότητα για τον άνθρωπο	kg <sub>1,4</sub> DCB	188524	229000
Χρήση γης	m <sup>2</sup> · yr	325	366
Έλλειψη μεταλλικών πόρων	kg Cu-eq	576	641
Έλλειψη ορυκτών καυσίμων	kg Oil-eq	2908	3390
Κατανάλωση νερού	m <sup>3</sup>	103	124

**Πίνακας A21: Καταγραφή των τιμών τελικού σημείου των συστημάτων τριπαραγωγής με απορρόφηση και προσρόφηση**

Κατηγορία Καταστροφής	Μονάδες	Ψύκτης Απορρόφησης	Ψύκτης Προσρόφησης
Ανθρώπινη Υγεία	DALY [έτη]	0,0977	0,115
Οικοσυστήματα	είδη · έτος	0,000107	0,000126
Φυσικοί Πόροι	Αμερικανικό δολάριο	900	1060