



«Ανάλυση κύκλου ζωής σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης και σύγκριση αυτών με κριτήριο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί η κατασκευή τους»

Σχολή: Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Τζιβανίδης Χρήστος , Καθηγητής ΕΜΠ

Σολδάτος Γεώργιος

Αθήνα, Μάιος 2022

Ευχαριστίες!

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στους ανθρώπους που βοήθησαν άμεσα αλλά και έμμεσα για την διεκπεραίωσή της. Η άμεση βοήθεια του επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Τζιβανίδη Χρήστου αλλά και η άρτια συνεννόηση που είχα μαζί του, ήταν καθοριστικοί παράγοντες για να φέρω εις πέρας το δύσκολο αυτό έργο, επομένως τον ευχαριστώ θερμά. Την μεγαλύτερη όμως βοήθεια, την δέχτηκα από την οικογένειά μου, η οποία με την οικονομική αλλά κυρίως με την ψυχολογική της στήριξη, με βοήθησε όλα αυτά τα χρόνια να καταφέρω να ολοκληρώσω τις σπουδές μου ως Μηχανολόγος Μηχανικός στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ακόμα και τις στιγμές εκείνες που έχανα το κίνητρό μου, η οικογένειά μου ήταν εκεί για να μου δείξει τον δρόμο και τελικά να καταφέρω να αντιμετωπίσω οποιοδήποτε εμπόδιο. Είμαι επίσης ευγνώμον για τους φίλους που έχω στην ζωή μου, μιας και η αγάπη αλλά και η συμπαράστασή τους, αποτελούν για μένα αναπόσπαστα κίνητρα για να πετύχω τους στόχους μου. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ χρωστάω στους ανθρώπους που έτυχε να γνωρίσω στην ζωή μου, και ενώ δεν είχαν καμία υποχρέωση να με στηρίξουν, εκείνοι το έκαναν με ανιδιοτέλεια!

Σολδάτος Γεώργιος

Αθήνα, Μάιος 2022

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.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σολδάτος Γεώργιος



Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	8
Abstract	9
1. Εισαγωγή	12
1.1 Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις	12
1.2 Η αξία της ενέργειας	13
1.3 Η ηλεκτρική ενέργεια	14
1.4 Ο κτιριακός τομέας.....	15
1.5 Σύγκριση συστημάτων θέρμανσης	16
1.6 Η ιδέα γύρω από την ανάλυση κύκλου ζωής.....	17
1.7 Το κλίμα ως κριτήριο για την επιλογή συστήματος θέρμανσης.....	18
1.7.1 Ταξινόμηση κλίματος των Köppen-Geiger	18
1.7.2 Συμπεράσματα που προέκυψαν από μελέτες σε διαφορετικά κλίματα	20
1.8 Η λειτουργική (operational) και η ενσωματωμένη (embodied) ενέργεια.....	21
1.8.1 Περιγραφή τύπων ενέργειας και αποτελέσματα ενδεικτικών ερευνών	21
1.8.2 Τα ενεργειακά δεδομένα των κτιρίων στην Ευρώπη.....	21
1.8.3 Η αξία της μελέτης της ενσωματωμένης ενέργειας	22
2. Συστήματα θέρμανσης.....	24
2.1 Ιστορική αναδρομή των συστημάτων θέρμανσης.....	24
2.1.1 Το σύστημα υποδαπέδιας θέρμανσης.....	24
2.1.2 Μετάβαση από τις Μεσαιωνικές τεχνικές στη σύγχρονη θέρμανση	26
2.1.3 Χρονοδιάγραμμα Συστημάτων Θέρμανσης σε κατοικίες.....	26
2.2 Περιγραφή λειτουργίας σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης.....	28
2.2.1 Αντλία Θερμότητας με πηγή αέρα	28
2.2.2 Άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας	34
2.2.3 Λέβητες (Καυστήρες) – Boilers.....	48
2.2.4 Τηλεθέρμανση – District Heating.....	60
2.2.5 Άλλα συστήματα θέρμανσης	73
2.3 Εκμπομπές συστημάτων θέρμανσης	77
2.3.1 Στερεά Καύσιμα.....	77
2.3.2 Πετρέλαιο	79
2.3.3 Φυσικό Αέριο	79
2.3.4 Αντλία Θερμότητας με πηγή Αέρα	80
2.3.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	81
2.3.6 Τηλεθέρμανση.....	82
3. Ανάλυση κύκλου ζωής.....	84
3.1 Εισαγωγή στην ανάλυση κύκλου ζωής	84
3.2 Μορφές ανάλυσης κύκλου ζωής.....	85
3.3 Επίπεδα διαχωρισμού των αναλύσεων κύκλου ζωής	86
3.4 Στάδια ανάλυσης κύκλου ζωής	87
3.5 Εισροές και εκροές της ανάλυσης κύκλου ζωής μιας διαδικασίας	89
3.6 Τελικές επιπτώσεις μιας ανάλυσης κύκλου ζωής.....	91

3.7	Οφέλη από την εκτέλεση αναλύσεων κύκλου ζωής.....	92
3.8	Λογισμικά εκτέλεσης αναλύσεων κύκλου ζωής	93
4.	Παρουσίαση του λογισμικού Simapro	94
4.1	The LCA explorer.....	95
4.1.1	Περιγραφή του στόχου και του πεδίου εφαρμογής (Goal and Scope)	96
4.1.2	Κατάλογος (Inventory)	97
4.1.3	Εκτίμηση επιπτώσεων (Impact assessment).....	97
4.1.4	Ερμηνεία (Interpretation).....	98
4.1.5	Γενικά δεδομένα (General data)	98
4.2	Εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων	99
4.3	Περιεχόμενο Διαδικασιών (Processes)	101
4.4	Product Stages.....	103
4.5	Μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων.....	108
4.5.1	Χαρακτηρισμός (Characterization).....	108
4.5.2	Εκτίμηση ζημιών (Damage assessment)	108
4.5.3	Κανονικοποίηση (Normalization).....	109
4.5.4	Στάθμιση (Weighting).....	109
4.5.5	Ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity Analysis).....	110
4.5.6	Ανάλυση συνεισφοράς (Contribution analysis)	110
4.5.7	Ανάλυση καταλόγου (Inventory analysis).....	110
4.5.8	Monte Carlo μέθοδος σύγκρισης προϊόντων.....	111
5.	Ανάλυση κύκλου ζωής συστημάτων θέρμανσης(Case study)	112
5.1	Ανάλυση κύκλου ζωής λέβητα φυσικού αερίου.....	114
5.1.1	Υλικά κατασκευής λέβητα φυσικού αερίου.....	116
5.1.2	Σωληνώσεις για σύνδεση του λέβητα με τα θερμαντικά σώματα	116
5.1.3	Υλικό κατασκευής θερμαντικών σωμάτων	117
5.1.4	Συσκευασία του συστήματος θέρμανσης φυσικού αερίου	118
5.1.5	Στάδιο κατασκευής συστήματος θέρμανσης.....	119
5.1.6	Μεταφορά συστήματος από το εργοστάσιο μέχρι τον υπό μελέτη χώρο.....	119
5.1.7	Εγκατάσταση του θερμικού συστήματος στον υπό μελέτη χώρο.....	120
5.1.8	Τέλος κύκλου ζωής συστήματος λέβητα φυσικού αερίου	120
5.2	Ανάλυση κύκλου ζωής λέβητα πέλλετ	123
5.2.1	Υλικά κατασκευής λέβητα πέλλετ.....	124
5.2.2	Σωληνώσεις για σύνδεση του λέβητα πέλλετ με τα θερμαντικά σώματα.....	127
5.2.3	Υλικό κατασκευής θερμαντικών σωμάτων	127
5.2.4	Συσκευασία του συστήματος θέρμανσης πέλλετ.....	127
5.2.5	Στάδιο κατασκευής συστήματος θέρμανσης.....	128
5.2.6	Μεταφορά συστήματος από το εργοστάσιο μέχρι τον υπό μελέτη χώρο.....	128
5.2.7	Εγκατάσταση του θερμικού συστήματος στον υπό μελέτη χώρο.....	130
5.2.8	Τέλος κύκλου ζωής συστήματος λέβητα πέλλετ.....	131
5.3	Ανάλυση κύκλου ζωής αντλίας θερμότητας αέρα-νερού ενιαίου τύπου	134
5.3.1	Κατασκευή αντλίας θερμότητας	136
5.3.2	Σωληνώσεις για σύνδεση με σώματα	138

5.3.3	Υλικό κατασκευής θερμαντικών σωμάτων	138
5.3.4	Συσκευασία μεταφοράς του συστήματος της αντλίας θερμότητας.....	138
5.3.5	Στάδιο κατασκευής συστήματος θέρμανσης.....	139
5.3.6	Μεταφορά συστήματος από το εργοστάσιο μέχρι τον υπό μελέτη χώρο.139	
5.3.7	Εγκατάσταση του θερμικού συστήματος στον υπό μελέτη χώρο.....	141
5.3.8	Τέλος κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας	142
6.	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα	146
6.1	Παρουσίαση αποτελεσμάτων από την αξιολόγηση του λέβητα αερίου	147
6.1.1	Ανάλυση του λέβητα φυσικού αερίου ως Assembly	147
6.1.2	Το Disposal scenario του λέβητα φυσικού αερίου	154
6.1.3	Ανάλυση κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	156
6.1.4	Embodied energy του λέβητα φυσικού αερίου	159
6.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων από την αξιολόγηση του λέβητα πέλλετ.....	161
6.2.1	Ανάλυση του λέβητα πέλλετ ως Assembly	161
6.2.2	Το Disposal scenario του λέβητα πέλλετ.....	166
6.2.3	Ανάλυση κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ	168
6.2.4	Embodied energy του λέβητα πέλλετ	171
6.3	Παρουσίαση αποτελεσμάτων από την αξιολόγηση της αντλίας θερμότητας .	172
6.3.1	Ανάλυση της αντλίας θερμότητας ως Assembly.....	172
6.3.2	Το Disposal scenario της αντλίας θερμότητας	177
6.3.3	Ανάλυση κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας.....	179
6.3.4	Embodied energy της αντλίας θερμότητας.....	181
6.4	Σύγκριση των κύκλων ζωής των συστημάτων θέρμανσης	183
6.4.1	Μονάδες Pt που απελευθερώνει κάθε σύστημα θέρμανσης κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής του.....	183
6.4.2	Μάζα διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνει κάθε σύστημα κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής του.	185
6.4.3	Συνολική καταναλισκόμενη ενσωματωμένη ενέργεια των συστημάτων θέρμανσης κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής τους.....	186
6.5	Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω μελέτη	188
6.5.1	Συμπεράσματα αξιολόγησης	188
6.5.2	Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη	189
7.	Κατάλογος Πινάκων	191
8.	Κατάλογος Σχημάτων	192
9.	Κατάλογος Αναφορών	197
10.	Βιβλιογραφία σχημάτων	201

Περίληψη

Η βιωσιμότητα του πλανήτη εξαρτάται άμεσα από το επίπεδο ρύπανσης το οποίο προκαλεί ο ανθρώπινος παράγοντας. Εδώ και εκατομμύρια χρόνια, ο άνθρωπος εξελίσσεται και βελτιώνει το επίπεδο ζωής του, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αναλογιστεί τις παράπλευρες απώλειες που προκαλεί ο ασταμάτητος αγώνας του για ανάπτυξη. Το εύλογο ερώτημα που δημιουργείται, είναι πότε άρχισε αυτή η φθορά του περιβάλλοντος και σε τι επίπεδο βρίσκεται. Η απάντηση είναι ότι ο πλανήτης από την δημιουργία του έως και σήμερα διαθέτει ορισμένους μηχανισμούς άμυνας στην συνεχή του ρύπανση, όμως αυτοί δεν αρκούν για να αντιμετωπίσουν τους ταχύτατους ρυθμούς εξέλιξης του σύγχρονου ανθρώπου. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αρχή του τέλους των μη ανανεώσιμων πόρων, έχει εντάξει στην καθημερινότητα των πολιτών μια ιδεολογία προστασίας του πλανήτη, η οποία αν και είναι ένα καλό ξεκίνημα δεν είναι επαρκής. Την ανεπάρκεια αυτήν, έρχεται να καλύψει η τεχνολογία και η επιστήμη, μέσω των συνεχών αξιολογήσεων που λαμβάνουν χώρα, μιας και η ποσοτικοποίηση ενός προβλήματος οδηγεί σε εμπειριστατωμένη γνώση αυτού, και τελικά η γνώση είναι που οδηγεί την ανθρωπότητα ένα βήμα πιο κοντά στην επίλυσή του. Οι μελέτες λοιπόν που άρχισαν να γίνονται τα τελευταία χρόνια, με σκοπό την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται από τον ανθρώπινο παράγοντα, δεν μπορούν να είναι αυθαίρετες. Οφείλουν να στοχεύουν στην καρδιά του προβλήματος, με σκοπό την άμεση εξομάλυνσή του. Η καρδιά λοιπόν του περιβαλλοντικού ζητήματος είναι ο κτιριακός τομέας, ο οποίος είναι υπεύθυνος και για την ενεργειακή κρίση που μασιτίζει τον πλανήτη. Αυτό συμβαίνει διότι εκτός από τα σύγχρονα κτίρια που κατασκευάζονται, η ανάγκη του ανθρώπου σε θέρμανση και ψύξη, φέρνει τους επιστήμονες αντιμέτωπους με την ανάγκη δημιουργίας σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων. Αυτά, οφείλουν να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων, χωρίς όμως να είναι εχθροί του περιβάλλοντος. Είναι λογικό, ότι κατά την αγορά ενός συστήματος θέρμανσης, τα οικονομικά κριτήρια προηγούνται των περιβαλλοντικών. Για τον λόγο αυτό, οι κατασκευαστές των σύγχρονων συστημάτων πρέπει να διεξάγουν αξιολογήσεις κύκλου ζωής των προϊόντων, οι οποίες θα τους βοηθούν να παράγουν ενεργειακά συστήματα που σέβονται το περιβάλλον, αλλά ταυτόχρονα πρέπει και η αγοραστική τους αξία να μην είναι απαγορευτική. Μια τέτοια μελέτη διεξάγεται και στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπου θα συγκριθούν τρία σύγχρονα συστήματα θέρμανσης, με κριτήριο την περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλεί η δημιουργία τους. Τα συστήματα αυτά είναι ένας λέβητας αερίου, ένας λέβητας πέλλετ και μια αντλία θερμότητας. Αφού παρατεθεί μια αναλυτική βιβλιογραφία που θα περιέχει την δομή, τον τρόπο λειτουργίας και τις μέσες επιπτώσεις κάθε σύγχρονου συστήματος θέρμανσης που κυκλοφορεί στην αγορά, θα ακολουθήσει μια εκτεταμένη αξιολόγηση κύκλου ζωής, με στόχο τον υποκειμενικό προσδιορισμό του πιο φιλικού προς το περιβάλλον συστήματος θέρμανσης από εκείνα που θα συγκριθούν. Βασικός επίσης σκοπός της ανάλυσης που θα ακολουθήσει, είναι να υποδείξει, το περιβαλλοντικό αντίκτυπο που δημιουργούν όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός συστήματος, εκτός από εκείνο της λειτουργίας του. Με απλά λόγια, κατά την προσπάθεια βελτίωσης των αποδόσεων των συστημάτων στην φάση χρήσης τους, δαπανώνται τεράστια ποσά ενέργειας και απελευθερώνονται πολλές βλαβερές ουσίες, αφού χρησιμοποιούνται εξειδικευμένες τεχνικές παραγωγής. Γίνεται σαφές ότι κάτι τέτοιο δεν πρέπει να συμβαίνει, και προκύπτει το συμπέρασμα ότι πρέπει να μετριάζονται οι δαπάνες παραγωγής, αλλά και οι δαπάνες λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης με απώτερο στόχο την προστασία του πλανήτη.

Abstract

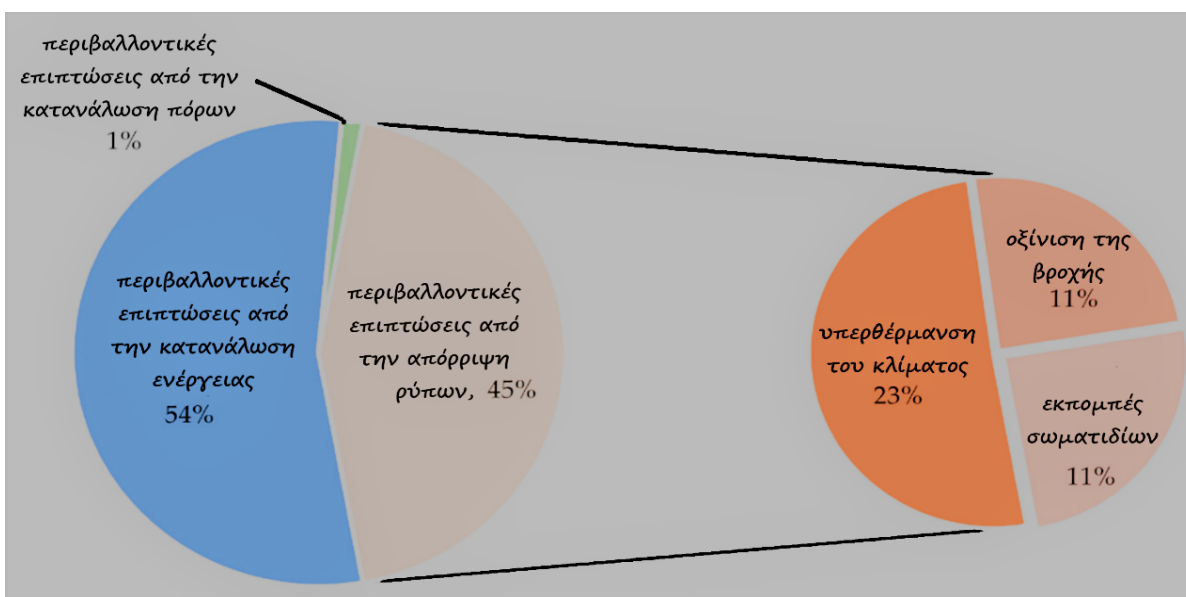
The sustainability of the planet depends directly on the level of pollution caused by human activity. For millions of years, man has been evolving and improving his standard of living, and as a result he has been unable to consider the collateral damage caused by his unstoppable struggle for development. The legitimate question that arises is when this environmental degradation began and what level it has reached. The answer is that the planet, from its creation to the present day, has had certain defense mechanisms against constant pollution, but these are not sufficient to cope with the rapid pace of modern human development. This, combined with the principle of the end of non-renewable resources, has introduced into the daily lives of citizens an ideology of protecting the planet, which, although a good start, is not sufficient. This inadequacy is covered by technology and science, through the constant evaluations that take place, since the quantification of a problem leads to a thorough knowledge of it, and it is ultimately knowledge that leads humanity one step closer to its solution. The studies that have begun to be carried out in recent years with the aim of reducing the environmental impact caused by the human factor cannot therefore be arbitrary. They must be aimed at the heart of the problem, with a view to tackling it immediately. The heart of the environmental issue is therefore the building sector, which is also responsible for the energy crisis plaguing the planet. This is because, in addition to the modern buildings that are being constructed, the human need for heating and cooling is confronting scientists with the creation of modern energy systems. These have to meet the energy needs of people without being enemies of the environment. It is logical that when purchasing a heating system, economic criteria take precedence over environmental criteria. For this reason, manufacturers of modern systems must carry out life-cycle assessments of products, which will help them to produce energy systems that respect the environment, but at the same time their market value must not be prohibitive. Such a study is carried out in this thesis, where three modern heating systems will be compared in terms of the environmental burden caused by their creation. These systems are a gas boiler, a pellet boiler and a heat pump. After a detailed bibliography containing the structure, mode of operation and average impact of each modern heating system on the market has been quoted, an extensive life cycle assessment will follow, with the aim of subjectively determining the most environmentally friendly heating system of those compared. The main purpose of the analysis that will follow is also to indicate the environmental impact of all stages of the life cycle of a system, apart from the operation of the system. In simple terms, in trying to improve the performance of systems in their use phase, huge amounts of energy are expended and many harmful substances are released, since specialized production techniques are being used. It is clear that this should not be the case, and the conclusion is that the production costs and the operating costs of heating systems must be moderated in order for the planet to be protected

1. Εισαγωγή

1.1 Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Το ποιοτικό επίπεδο του περιβάλλοντος μειώνεται κατά το πέρασμα των χρόνων. Όπως είναι λογικό, τα πάντα έχουν φθορά, ακόμα και το περιβάλλον. Εκτός όμως από την φυσική φθορά, όπως μια έκρηξη ενός ηφαιστείου, το μεγαλύτερο μέρος της προέρχεται από την ύπαρξη του ανθρώπινου στοιχείου στον πλανήτη. Οι επιπτώσεις που αποδεικνύουν άμεσα την ποιοτική παρακμή είναι η κλιματική αλλαγή, η οξίνιση της βροχής και των υδάτων καθώς και οι εκπομπές βλαβερών σωματιδίων. Από που προέρχονται όμως αυτές οι επιπτώσεις καθώς και όσες τις διαδέχονται; Με ποιον τρόπο ο άνθρωπος επηρεάζει το επίπεδο του πλανήτη και μειώνει τον χρόνο ζωής του; Η απάντηση στα ερωτήματα αυτά, είναι η υπέρμετρη κατανάλωση ενέργειας, και η απόρριψη στο περιβάλλον των αμέτρητων ρύπων που παράγονται με οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία.

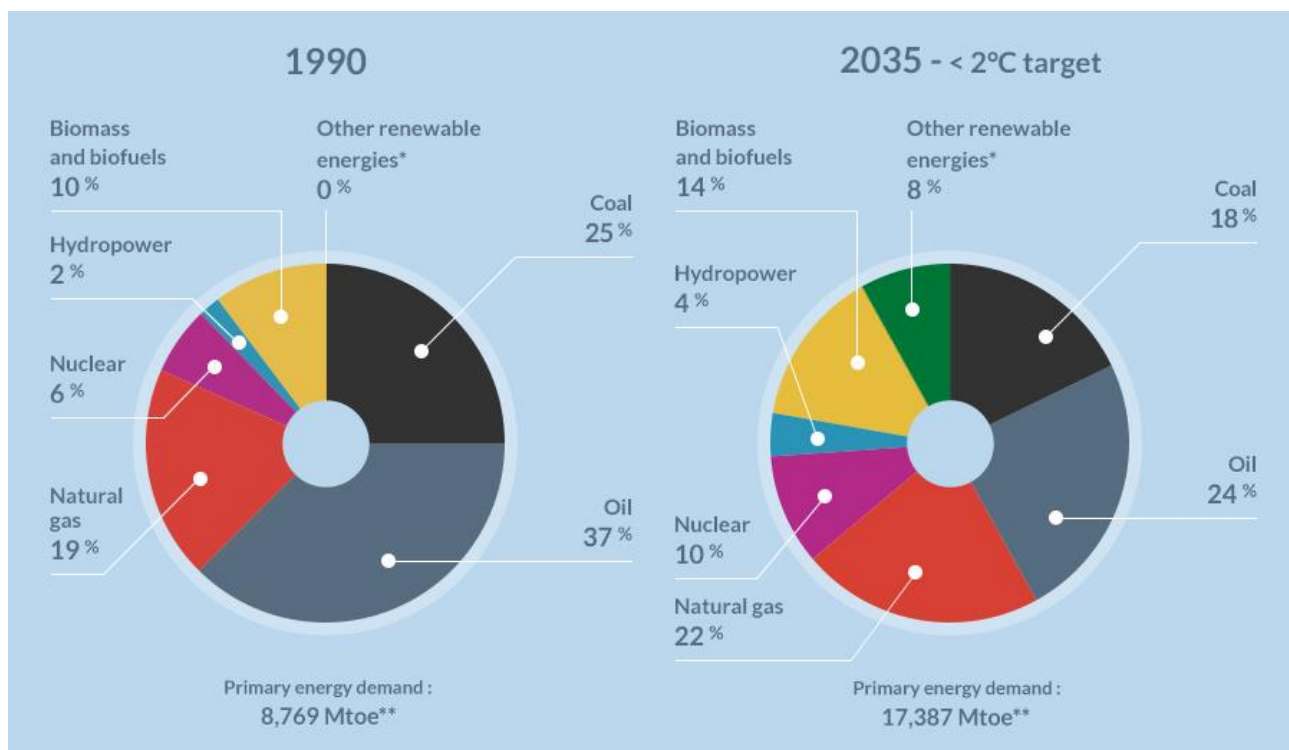
Κάποιος θα έλεγε, ότι η εξοικονόμηση ενέργειας, συνεπάγεται την μείωση της παραγωγής των ρύπων καθώς και το αντίστροφο. Αν και αυτό δεν είναι κανόνας, οι δύο αυτές μεγάλες κατηγορίες συνδέονται στενά στους περισσότερους τομείς της καθημερινότητας. Το γεγονός αυτό είναι μια πρώτη επαφή με την ιδέα του πόσο σημαντικό θα ήταν ο σύγχρονος άνθρωπος να αρχίσει να υιοθετεί την λογική του μέτρου, ώστε να συμβάλει ο καθένας με τον τρόπο του στην μείωση του ρυθμού καταστροφής του περιβάλλοντος. Τέλος, ένα πολύ μικρό ποσοστό επιπτώσεων προέρχεται από την κατανάλωση των πόρων του πλανήτη, με την διαφορά όμως ότι η κατηγορία αυτή είναι αρκετά δύσκολο να επηρεαστεί από την λογική της εξοικονόμησης, καθώς σε ρεαλιστικό επίπεδο οι ανάγκες του ανθρώπινου είδους είναι σχεδόν αδύνατο να μειωθούν. Στο Σχήμα 1 αποτυπώνονται ποσοστιαία με γράφημα, όσα προαναφέρθηκαν.



Σχήμα 1. Ποσοστιαία κατανομή περιβαλλοντικών επιπτώσεων [1].

1.2 Η αξία της ενέργειας

Η ενέργεια αποτελεί ένα θεμελιώδες στοιχείο για την εξέλιξη και την ευημερία του ανθρώπινου είδους. Σε έναν ψηφιοποιημένο και βιομηχανοποιημένο κόσμο όπως αυτός, είναι αδιανόητο να μην υπάρχει ηλεκτρισμός, καύσιμα, θέρμανση και πολλές ακόμα πτυχές της ενέργειας. Αρκεί να σκεφτεί κανείς ότι οι βασικές ανάγκες και δραστηριότητες, οφείλονται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό στην ύπαρξη της ενέργειας. Η οικειότητα, όμως που έχει αποκτήσει ο άνθρωπος με την εν λόγω μορφή ενέργειας, τον οδήγησε τελικά να σταματήσει να σκέφτεται την προέλευσή της, με αποτέλεσμα να αγνοεί τα αδιανόητα οφέλη που θα είχε η ανθρωπότητα από την χρήση αυτής με μέτρο. Με δεδομένο ότι η υπερκατανάλωση ενέργειας αποτελεί ίσως την πιο ρυπογόνο διαδικασία στον πλανήτη όπως γίνεται αντιληπτό και από το Σχήμα 2, η εξοικονόμηση αυτής και συνάμα των μη ανανεώσιμων πόρων της γης πρέπει να είναι υψίστης σημασίας για τον σύγχρονο άνθρωπο.



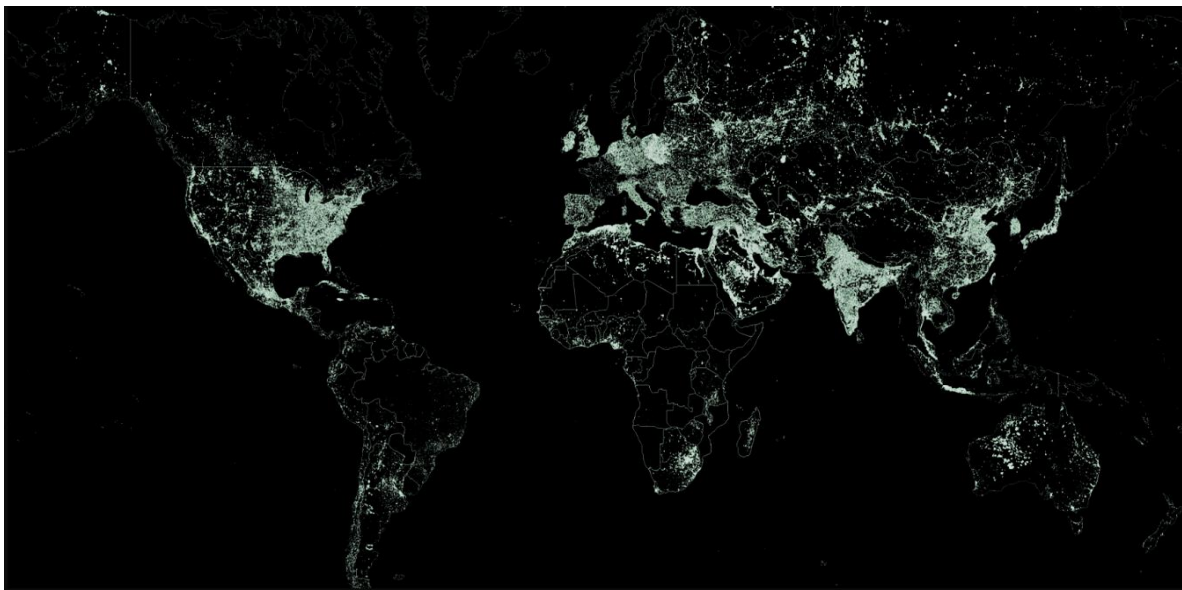
Σχήμα 2. Το παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα το 1990 και ο στόχος για το 2035, προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας μικρότερης των 2°C [2].

1.3 Η ηλεκτρική ενέργεια

Στις μέρες μας απέχουμε μόνο ένα κουμπί από την λήψη εικόνων, ήχων, φωτισμού, ζέστης ή κρύου και πολλών ακόμα αναγκαίων καθημερινών διαδικασιών. Όλες αυτές τις απαραίτητες διαδικασίες τις οφείλουμε στην ύπαρξη της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ικανούς να λαμβάνουν ενέργεια από πρωτογενείς πηγές. Αυτές οι πρωτογενείς ενέργειες μπορούν να είναι ανανεώσιμες, όπως άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία και νερό, ή μη ανανεώσιμες πηγές, όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Αν και πολλές χώρες υφίστανται ήδη ενεργειακό μετασχηματισμό προς «καθαρές» μορφές ενέργειας, το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης εξακολουθεί να προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (περίπου το 73%).

Σύμφωνα με στοιχεία της WESY (World Energy Statistical Yearbook) για το 2020, το 31% της ενέργειας προέρχεται από το πετρέλαιο, το 26% από τον άνθρακα και το 23% από το φυσικό αέριο. Υπό αυτή την έννοια, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Πρώτον, οδηγούν στην υψηλή κατανάλωση των πόρων που μπορεί κάποτε να εξαντληθούν και δεύτερον, εκπέμπουν μεγάλη ποσότητα αερίων στην ατμόσφαιρα, που οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Για το λόγο αυτό, η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί πρωταρχικό λόγο για την διατήρηση των ενεργειακών πόρων. Επιπλέον, η εξοικονόμηση ενέργειας ωφελεί τόσο την εγχώρια οικονομία όσο και την εθνική οικονομία, ιδιαίτερα σε χώρες που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το ξένο πετρέλαιο. Έτσι, μειώνοντας την κατανάλωση, μετριάζεται η ενεργειακή εξάρτηση μεταξύ των χωρών, με αποτέλεσμα την μελλοντική μείωση των οικονομικών εθνικών ανισοτήτων και κατ'επέκταση την μείωση της παγκόσμιας φτώχειας. Παρακάτω, παρατίθενται ένας παγκόσμιος χάρτης που απεικονίζει την κατανομή των ορυκτών καυσίμων σε ολόκληρο τον πλανήτη. Όπως είναι φανερό, αρκετά εκατομμύρια στρέμματα γης δεν περιέχουν καθόλου μη-ανανεώσιμους πόρους, γεγονός που αποδεικνύει την ενεργειακή εξάρτηση των κρατών που προαναφέρθηκε (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Κατανομή ορυκτών καυσίμων ανά τον κόσμο [3].

1.4 Ο κτιριακός τομέας

Όπως έγινε σαφές από τις προηγούμενες ενότητες, υπάρχουν δύο σημαντικά συμπεράσματα. Το πρώτο είναι ότι η κατανάλωση της ενέργειας αποτελεί την πιο ρυπογόνο διαδικασία στον πλανήτη, και το δεύτερο ότι η εξοικονόμηση της κρίνεται απαραίτητη για την προστασία του περιβάλλοντος και την βιωσιμότητά του μελλοντικά. Με βάσει τα δύο αυτά συμπεράσματα, κρίνεται απαραίτητο να στραφεί το ενδιαφέρον στην μελέτη του κτιριακού κλάδου, ο οποίος αποτελεί και το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας στην γη (περίπου το 40%).

Επιπλέον όμως, άλλος ένας λόγος για τον οποίο στρέφεται το ενδιαφέρον στην κατασκευή κτιρίων, είναι τα τεράστια περιθώρια βελτίωσης που επιδέχεται αυτός ο τομέας, με κριτήριο την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες, το 80% της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε στα νοικοκυριά αφιερώθηκε στη θέρμανση χώρων και στο Ζεστό Νερό οικιακής χρήσης.

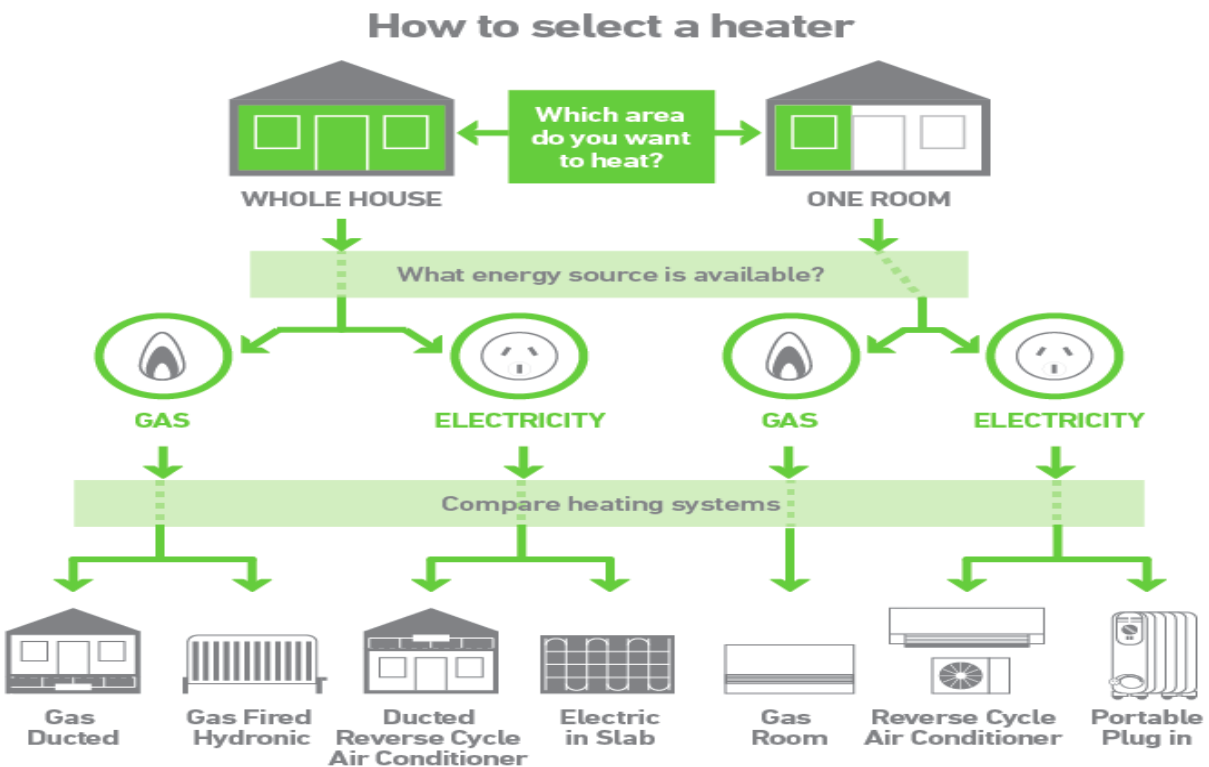
Έτσι, για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των περιβαλλοντικών εκπομπών, η στρατηγική μετριασμού θα επικεντρωθεί σε αυτές τις δύο βασικές ανάγκες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το μεγαλύτερο μέρος των ευρωπαϊκών κατασκευών αντιπροσωπεύεται από κτίρια που δημιουργήθηκαν πριν από το 1990, απαιτείται εστίαση στα υπάρχοντα κτίρια για την επίτευξη αυτών των στόχων, μιας και αυτά, επιδέχονται μεγάλες αλλαγές στην δυνατότητα εξοικονόμησης με διαθέσιμες και αποδεδειγμένες τεχνολογίες, με τη χρήση μέτρων ανακαίνισης τόσο στην δομή των κτιρίων όσο και στα συστήματα θέρμανσης. Η βελτίωση βέβαια του ενεργειακού συστήματος, μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ταχύτερη επιλογή για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε σύγκριση με μέτρα που επικεντρώνονται στο κέλυφος του κτιρίου, διότι οι μεταρρυθμίσεις στα κατελημμένα κτίρια, έχουν πολύ χαμηλότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο εάν αφορούν το σύστημα θέρμανσης και όχι ολόκληρο το κέλυφος τους.

1.5 Σύγκριση συστημάτων θέρμανσης

Με κριτήριο τα όσα αναφέρθηκαν, η μελέτη αρχίζει και συγκλίνει προς τα συστήματα θέρμανσης, στην σύγκριση και την βελτίωσή τους. Συνήθως, τα συστήματα θέρμανσης συγκρίνονται με βάση την απόδοσή τους, την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ή το κόστος λειτουργίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή(Σχήμα 4).

Ωστόσο, η μεγάλη θερμική απόδοση και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, επιτυγχάνεται με πολύπλοκα συστήματα, τα οποία έχουν υψηλότερο κόστος και υψηλότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο κατά το στάδιο κατασκευής και εγκατάστασής τους. Επιπλέον, κατά τη σύγκριση συστημάτων που χρησιμοποιούν διαφορετικούς φορείς ενέργειας (π.χ. φυσικό αέριο και ηλεκτρική ενέργεια), μια ακριβής εικόνα των επιπτώσεών τους απαιτεί να λαμβάνονται υπόψη και άλλες πτυχές εκτός από τις εκπομπές βλαβερών αερίων.

Προκειμένου να έχουν λοιπόν οι συγκρίσεις συστημάτων κάποιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα, κρίνεται σημαντικό να λαμβάνονται υπόψιν όλα τα στάδια που τα απαρτίζουν όπως η κατασκευή, η μεταφορά, η εγκατάσταση, η λειτουργία, η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν, ο χρόνος ζωής τους, η απεγκατάστασή τους καθώς και η απόρριψή τους στο περιβάλλον. Τι θα γινόταν όμως, αν γινόταν μια εκτεταμένη μελέτη για την σύγκριση μεταξύ πολλαπλών συστημάτων στην οποία θα λαμβάνονταν υπόψιν όλα όσα αναφέρθηκαν; Θα ήταν μια χρήσιμη μελέτη που θα ευνοούσε την αναβάθμιση των κτιρίων και την εξοικονόμηση της ενέργειας, ή απλώς μια εκτεταμένη ανάλυση γεμάτη με αριθμούς οι οποίοι δεν θα έδιναν καμία απάντηση για το ποιο είναι το πιο συμφέρον ενεργειακό σύστημα για έναν χώρο;

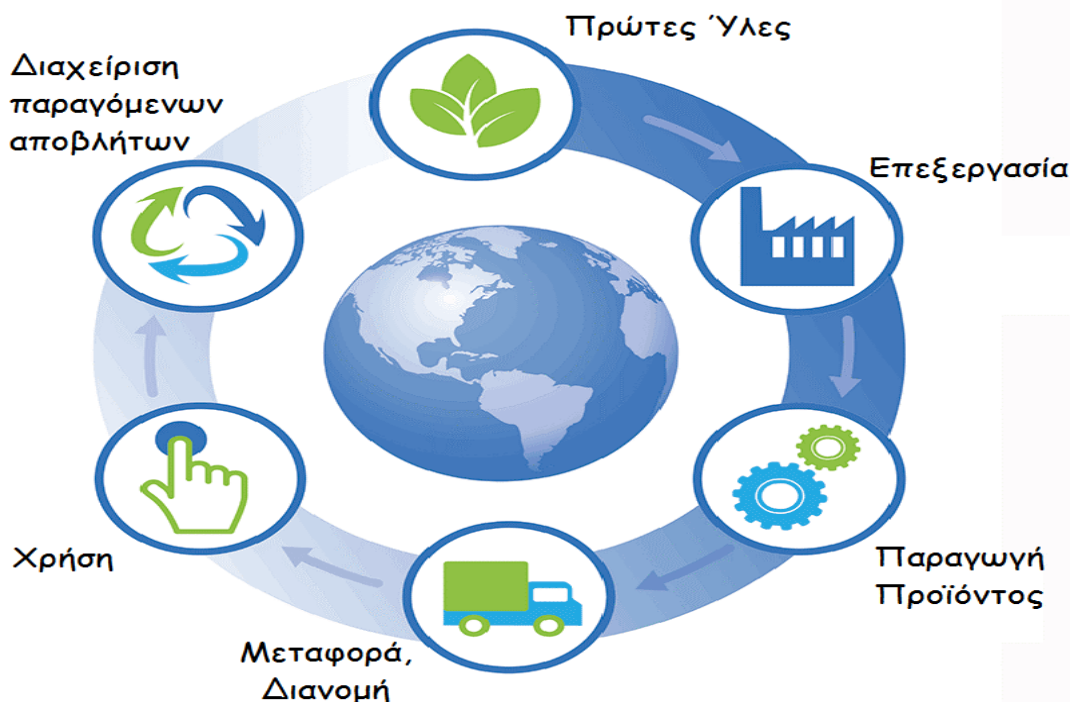


Σχήμα 4. Προτεινόμενα συστήματα θέρμανσης μαζί με την πηγή ενέργειάς τους [4].

1.6 Η ιδέα γύρω από την ανάλυση κύκλου ζωής

Από τα πρώτα κίολας χρόνια που ξεκίνησαν οι συγκριτικές μελέτες γύρω από τα συστήματα θέρμανσης, έγινε αντιληπτό ότι η παράλληλη ανάλυση πολλών συστημάτων και χωρίς προκαθορισμένο κριτήριο, δεν κατέληγε σε κάποιο βοηθητικό συμπέρασμα σχετικά με το ποίο είναι το ιδανικότερο σύστημα για έναν υπό μελέτη κτίριο. Αρχικά, περιορίστηκε ο αριθμός των συστημάτων τα οποία συγκρίνονταν, σε 2 ή 3. Η μεταρρύθμιση αυτή, αν και έκανε το τοπίο λίγο πιο ξεκάθαρο, και πάλι υπήρχαν αναπάντητα ερωτήματα σε σχέση με τον προβληματισμό που προαναφέρθηκε. Τα αναπάντητα αυτά ερωτήματα, ήταν απόλυτα φυσιολογικό να υπάρχουν, αφού δεν είχε οριστεί συγκεκριμένο κριτήριο γύρω από το οποίο θα εκτελεστεί η σύγκριση των συστημάτων.

Για παράδειγμα μπορεί ένα σύστημα να είχε μικρότερες επιπτώσεις για το περιβάλλον αλλά υψηλότερο κόστος ή το αντίστροφο. Όσο περνούσαν όμως τα χρόνια και η κρίση ενέργειας σε συνδυασμό με την καταστροφή του περιβάλλοντος γινόταν προβλήματα υψίστης σημασίας για την βιωσιμότητα του πλανήτη, στις μελέτες σχετικά με τα συστήματα θέρμανσης εδραιώθηκε αναπόσπαστα το κριτήριο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για τους παραπάνω λόγους, δημιουργήθηκε η ανάλυση κύκλου ζωής, μια μελέτη που θα αναλυθεί εκτεταμένα σε παρακάτω ενότητα, και η οποία μελετά ολόκληρο τον χρόνο ζωής ενός προϊόντος, από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μέχρι και το τελικό στάδιο που είναι ο τρόπος απόρριψής του στο περιβάλλον (Σχήμα 5). Όπως είναι φανερό, μοναδικός στόχος της παραπάνω ανάλυσης αποτελεί η προστασία του περιβάλλοντος, με την λογική του μετριασμού της χρήσης πρώτων υλών και ενέργειας, αλλά και των βλαβερών ουσιών που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 5. Τα στάδια της ανάλυσης κύκλου ζωής [5].

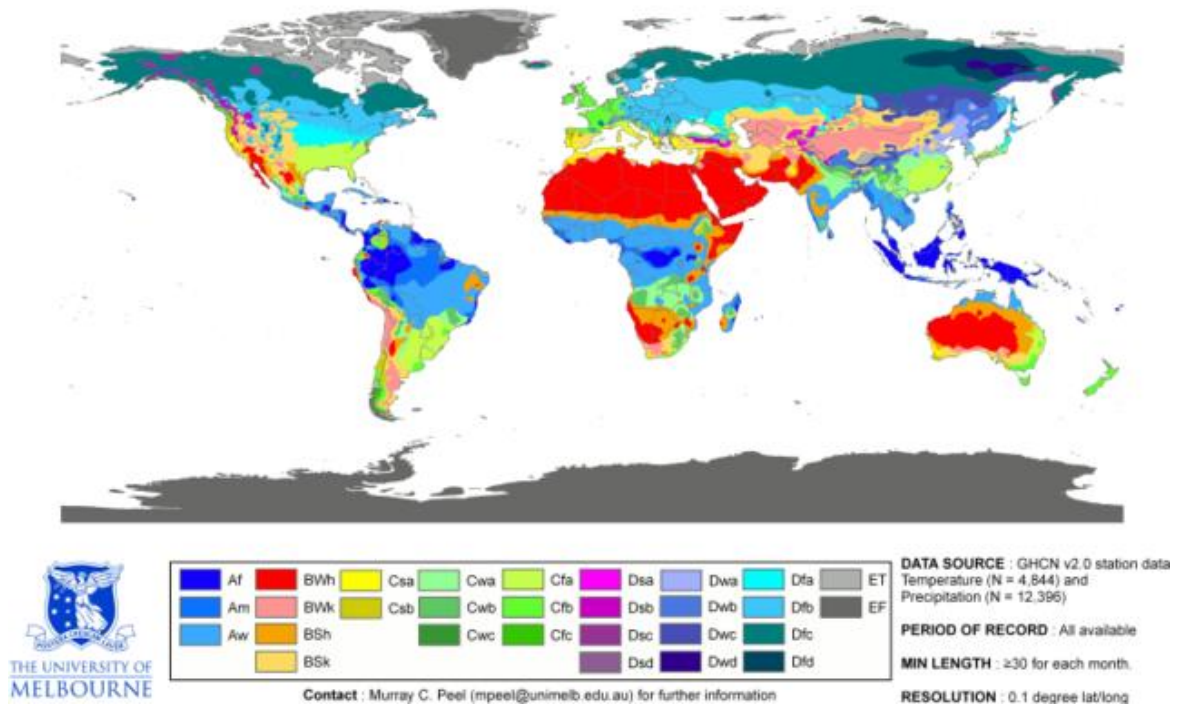
1.7 Το κλίμα ως κριτήριο για την επιλογή συστήματος θέρμανσης

Κατά την επιλογή κατάλληλων συστημάτων θέρμανσης, είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη το κλίμα που επικρατεί στο σημείο εγκατάστασης τους. Πρέπει να γίνεται μια προμελέτη, ώστε το εκάστοτε σύστημα που θα τοποθετείται να συνδυάζει υψηλές αποδόσεις και χαμηλές εκπομπές στο περιβάλλον. Επομένως, η τελική επιλογή θα πρέπει να γίνεται βασισμένη στην κλιματική κατάσταση της θέσης των κτιρίων, όχι μόνο ως προς το μέσο όρο των ιστορικών δεδομένων καιρού, αλλά και λαμβάνοντας υπόψη τις μελλοντικές κλιματικές προβλέψεις που δημιουργούνται από σενάρια κλιματικής αλλαγής. Εάν ληφθεί υπόψη η διάρκεια ζωής των κτιρίων και των συστημάτων θέρμανσης, είναι σαφές ότι η κλιματική αλλαγή σε συνδυασμό με την φυσική φθορά τους, θα επηρεάσουν αδιαμφισβήτητα τις αποδόσεις τους. Στην πραγματικότητα, η κλιματική αλλαγή και η αύξηση της θερμοκρασίας καθορίζουν νέα ενεργειακά σενάρια, επαναπροσδιορίζοντας την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και των πόλεων γεγονός που ενισχύει την αναγκαιότητα της προμελέτης που αναφέρθηκε. Επιπλέον, αυτά τα νέα σενάρια χαρακτηρίζονται από αύξηση των κυμάτων καύσιμα, τόσο από άποψη συχνότητας όσο και διάρκειας, και ως εκ τούτου, θα πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση τους καθώς και των σχετικών τεχνικών μετριάσμου στην κατανάλωση ενέργειας. Ένα πολύ δημοφιλές εργαλείο για την αξιολόγηση των καιρικών συνθηκών είναι η 'ταξινόμηση κλίματος', ένας χάρτης στον οποίο απεικονίζονται όλες οι περιοχές του πλανήτη ταξινομημένες ανάλογα με το κλίμα τους.

1.7.1 Ταξινόμηση κλίματος των Köppen-Geiger

Η πρωτοπόρα ταξινόμηση κλίματος, είναι εκείνη των Köppen-Geiger. Αυτή η εμπειρική και βασισμένη στη βλάστηση, ταξινόμηση, αναπτύχθηκε από τον Köppen στις αρχές του 1900 και στη συνέχεια ενημερώθηκε από τον κλιματολόγο Geiger κάποια χρόνια αργότερα. Παρά την ανάπτυξη νέων ταξινομήσεων από αρκετούς αναλυτές, η αρχική ταξινόμηση Köppen-Geiger εξακολουθεί να αποτελεί ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα ταξινόμησης κλίματος. Το κλιματικό αυτό εργαλείο, χωρίζει τα κλίματα σε πέντε κύριες κλιματικές ομάδες, με κάθε ομάδα να χωρίζεται με βάση την εποχιακή βροχόπτωση και τα πρότυπα θερμοκρασίας. Οι πέντε κύριες ομάδες είναι η Α (τροπική), η Β (ξηρή), η C (εύκρατη), η D (ηπειρωτική) και η E (πολική). Κάθε ομάδα και υποομάδα αντιπροσωπεύεται από ένα γράμμα. Σε όλα τα κλίματα εκχωρείται μια κύρια ομάδα (το πρώτο γράμμα). Στην συνέχεια σε κάθε ομάδα, εκτός από εκείνα της ομάδας E, εκχωρείται μια υποομάδα εποχικών βροχοπτώσεων (το δεύτερο γράμμα). Για παράδειγμα, το Af υποδηλώνει ένα κλίμα τροπικού δάσους. Τα κλίματα ταξινομούνται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια μοναδικά για κάθε τύπο κλίματος, όμως η περαιτέρω ανάλυση των συμβολισμών των κλιματικών μονάδων ξεφεύγει από τα όρια της παρούσας εργασίας. Παρακάτω δίνεται και ο εν λόγω χάρτης (Σχήμα 6) για μεγαλύτερη κατανόηση όσων αναφέρθηκαν.

World map of Köppen-Geiger climate classification



Σχήμα 6. Ταξινόμηση κλίματος των Köppen-Geiger [6].

Είναι γεγονός ότι οι κλιματικές ταξινομήσεις, δεν είναι αρκετές για την ορθή επιλογή συστημάτων θέρμανσης ανάλογα με το κλίμα του κάθε τόπου. Πρέπει να γίνεται μια πιο λεπτομερείς έρευνα προσαρμοσμένη στα συγκεκριμένα κλιματολογικά δεδομένα κάθε περιοχής, και να συμπεριλαμβάνεται η πιθανότητα αλλαγής κλίματος σε σχέση με τον χρόνο ζωής των ενεργειακών συστημάτων. Αδιαμφισβήτητα όμως, μέσω των εν λόγω ταξινομήσεων οι μελέτες ξεκινούν από ένα καλό σημείο, καθώς υπάρχει μια γενικευμένη εικόνα των κλιμάτων στον κόσμο. Για παράδειγμα μπορεί να μην μπορεί να προβλεφθεί μια ξαφνική ραγδαία πτώση θερμοκρασίας για μια εβδομάδα στην Ελλάδα, όμως σίγουρα δεν θα χρειαστεί ο μελετητής να εξετάσει το ενδεχόμενο να πέσουν οι θερμοκρασίες στους -20 C° τον χειμώνα. Με την λογική αυτήν, αποκλείονται από την έρευνα εξ αρχής ορισμένα μη ρεαλιστικά σενάρια, όπως είναι η εγκατάσταση μιας αντλίας θερμότητας κάπου στην Ελλάδα, η οποία θα έχει εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας -30 C° με -20 C° .

1.7.2 Συμπεράσματα που προέκυψαν από μελέτες σε διαφορετικά κλίματα

Έπειτα από μελέτες που έχουν γίνει μέχρι και σήμερα, έχουν δοθεί ορισμένες προτεινόμενες επιλογές συστημάτων θέρμανσης για δεδομένα κλίματα. Σε μια από αυτές που έλαβε χώρα το 2020, αναλύεται η ευαισθησία της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος θέρμανσης ενός κτιρίου που βρίσκεται στην Ιταλία, σε σχέση με διαφορετικές κλιματικές ζώνες. Η ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου κατά την περίοδο θέρμανσης αναλύεται μέσω ενός βαθμονομημένου μοντέλου προσομοίωσης, που ονομάζεται EnergyPlus.

Εξετάστηκαν πέντε διαφορετικές επιλογές συστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της μονάδας διαχείρισης αέρα, του λέβητα αερίου συμπύκνωσης, της αντλίας θερμότητας αέρα-νερού και του συνδυασμού τους.

Τα κύρια ευρήματα της εργασίας έδειξαν ότι:

- Οι πόλεις που χαρακτηρίζονται από ψυχρότερο κλίμα με υψηλότερη εξωτερική θερμική πίεση έχουν μερική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από τις καλές ιδιότητες του κελύφους του κτιρίου. Επομένως πρέπει να επιλέγεται ένα μέτριας προς χαμηλής ισχύος σύστημα θέρμανσης, το οποίο όμως να είναι συμβατό με τις εξωτερικές θερμοκρασίες ώστε να μπορεί να λειτουργήσει.
- Η μονάδα διαχείρισης αέρα αποφέρει σημαντικά ενεργειακά οφέλη ειδικά για πόλεις που χαρακτηρίζονται από ηπιότερο κλίμα.
- Η εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας αέρα-νερού έχει δείξει σημαντική εξάρτηση από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Επομένως στην περίπτωση ψυχρού ή πολύ θερμού κλίματος, πρέπει να γίνεται σχολαστική έρευνα με πολλαπλά κριτήρια πριν τοποθετηθεί το συγκεκριμένο σύστημα.
- Ο συνδυασμός μιας αντλίας θερμότητας αέρα-νερού και μιας μονάδας διαχείρισης αέρα, έδωσε μειωμένες τιμές κατανάλωσης και αξιοπρεπείς αποδόσεις για σχετικά ήπιο κλίμα.
- Τέλος, ακόμη και αν ληφθούν υπόψη οι μελλοντικές κλιματικές προβλέψεις, η καλύτερη λύση βρέθηκε να είναι ο συνδυασμός λέβητα αερίου συμπύκνωσης και μονάδας διαχείρισης αέρα, για μέτριες και ήπιες κλιματικές συνθήκες.

Στόχος της παραπάνω μελέτης, ήταν η αξιολόγηση πιθανών επιλογών θέρμανσης, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές καιρικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν τη θέση ενός κτιρίου, καθώς και τον αντίκτυπό τους κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος, που ενδέχεται να επηρεαστεί από την κλιματική αλλαγή. Παρ' όλα αυτά όμως, πρέπει να υπενθυμίζεται πως μια έρευνα δεν αποτελεί κανόνα αλλά παράδειγμα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα παραπάνω αποτελέσματα έχουν στόχο να δώσουν μια πρώτη εικόνα για την σχέση σύστημα θέρμανσης – κλίμα, και όχι να καθιερωθούν ως τα μονά αποδεκτά. Απαιτούνται πολλές μαζικές μελέτες από διαφορετικούς μελετητές για διαφορετικές περιπτώσεις προκειμένου μια διαπίστωση, να γίνει κανόνας.

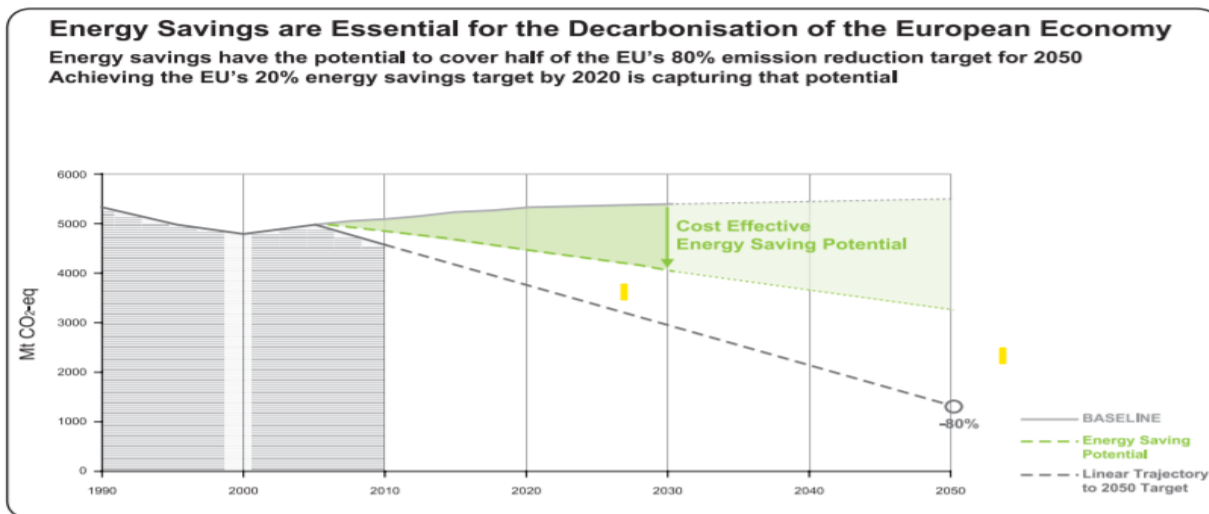
1.8 Η λειτουργική (operational) και η ενσωματωμένη (embodied) ενέργεια

1.8.1 Περιγραφή τύπων ενέργειας και αποτελέσματα ενδεικτικών ερευνών

Η λειτουργική ενέργεια των κτιρίων, δηλαδή η ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση και ψύξη αυτών, καλύπτει περίπου το 33% της συνολικής τελικής ενεργειακής ζήτησης παγκοσμίως, και οδηγεί στο 30% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με τη χρήση ενέργειας. Επομένως, για να επιτευχθεί ο στόχος να περιοριστεί η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας αρκετά κάτω από τους 2 °C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, οι εκπομπές βλαβερών αερίων θα πρέπει να μειωθούν, ειδικά από την στιγμή που έχει εντοπιστεί ότι έχουν την μεγαλύτερη ευθύνη για την περιβαλλοντική καταστροφή. Στην προσπάθεια όμως να κατασκευαστούν ενεργειακά συστήματα πιο φιλικά στο περιβάλλον, παρατηρήθηκε η αύξηση της ενσωματωμένης ενέργειας, δηλαδή της κατανάλωσης ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του εκάστοτε συστήματος. Η ενσωματωμένη ενέργεια ορίζεται ως το άθροισμα της αρχικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή των ενεργειακών συστημάτων για θέρμανση και ψύξη, συν την ενέργεια μεταφοράς τους στον χώρο εγκατάστασής τους, συν την ενέργεια εγκατάστασης και απεγκατάστασής τους, συν την ενέργεια επεξεργασίας τους στο τέλος ζωής τους (Σχήμα 8). Επίσης, η ενέργεια που απαιτείται για την μεταφορά των πρώτων υλών στα εργοστάσια κατασκευής, συμπεριλαμβάνεται εξίσου στο σύνολο της ενσωματωμένης ενέργειας. Τέλος, η ενσωματωμένη ενέργεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή υλικών από τα οποία φτιάχνονται τα συστήματα, καθώς και από τις διαδικασίες κατασκευής που θα χρησιμοποιηθούν.

1.8.2 Τα ενεργειακά δεδομένα των κτιρίων στην Ευρώπη

Κατά την συλλογή των συνολικών στοιχείων που διέπουν το επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας στην Ευρώπη, με στόχο την ανανέωση και βελτίωση των κατειλημμένων αλλά και των νέων κτιρίων, τα συμπεράσματα είναι λίγο μπερδεμένα. Από την μια πλευρά, οι περισσότερες χώρες φαίνονται προηγμένες στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε σύγκριση με χώρες σε άλλες ηπείρους, με αποτέλεσμα η εξοικονόμηση ενέργειας από κτίρια και ενεργειακά συστήματα να είναι σε ανεκτά επίπεδα. Από την άλλη όμως, όταν εξεταστεί πιο προσεκτικά το υπάρχον δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχει έλλειψη αποδεδειγμένων δεδομένων σχετικά με αυτήν την προηγμένη θεωρητικά κατάσταση. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ενώ οι τεχνολογίες της Ευρώπης στον κτηριακό τομέα φαίνεται να είναι σε αρκετά καλό επίπεδο με κριτήριο την εξοικονόμηση ενέργειας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις όταν γίνονται μεμονωμένες μελέτες, τα ολικά δεδομένα σχετικά με το Ευρωπαϊκό δυναμικό ενέργειας φανερώνουν ανησυχητικά αποτελέσματα που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Ενεργειακά δεδομένα της Ευρώπης από το 1990 έως το 2050 [7].

1.8.3 Η αξία της μελέτης της ενσωματωμένης ενέργειας

Η αξιολόγηση της αντιστάθμισης μεταξύ της λειτουργικής ενέργειας και της ενσωματωμένης ενέργειας θα επιτρέψει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να κάνουν ένα βήμα προς τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων. Όσο βελτιώνονται οι αποδόσεις των συστημάτων θέρμανσης και μειώνονται οι εκπομπές τους, η λειτουργική ενέργεια μειώνεται όπως και προαναφέρθηκε. Αντίθετα, παρατηρείται η αύξηση της ενσωματωμένης ενέργειας λόγω αναβαθμίσεων που γίνονται στην κατασκευή των εν λόγω συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ των ετών 2015 και 2050, η ενσωματωμένη ενέργεια αυξάνεται κατά 26% - 35%, ενώ η λειτουργική χρήση ενέργειας μειώνεται κατά 19% - 46%. Το μερίδιο της ενσωματωμένης ενέργειας στη συνολική χρήση ενέργειας αυξάνεται από 12% το 2015 σε 17% - 24% το 2050. Αυτό σημαίνει ότι η ενσωματωμένη ενέργεια θα διαδραματίσει αυξανόμενο ρόλο στο μέλλον. Ειδικά όταν αυξάνονται τα ποσοστά αναβάθμισης προηγμένων κτιρίων και κατασκευής νέων - ένα σενάριο πολύ ρεαλιστικό αν σκεφτεί κανείς τον υπερπληθυσμό της γης - το μερίδιο της ενσωματωμένης στην ολική ενέργεια, θα αυξάνεται ραγδαία. Τέλος, αν αναλογιστούμε τους υψηλούς στόχους της πολιτείας για βαθιά μείωση των εκπομπών βλαβερών ουσιών στην ατμόσφαιρα, κατά την λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, η άνοδος της ενσωματωμένης ενέργειας από τις υπερσύγχρονες παραγωγικές διαδικασίες, είναι αναπόφευκτη. Αν λοιπόν αποδειχτεί αδύνατο να υποστούν μείωση και οι δύο κατηγορίες καταναλισκόμενης ενέργειας, ας γίνει τουλάχιστον ένας μετριασμός και στην παραγωγή αλλά και στην αποδοτικότητα των συστημάτων, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ολικής τους ενέργειας μελλοντικά.



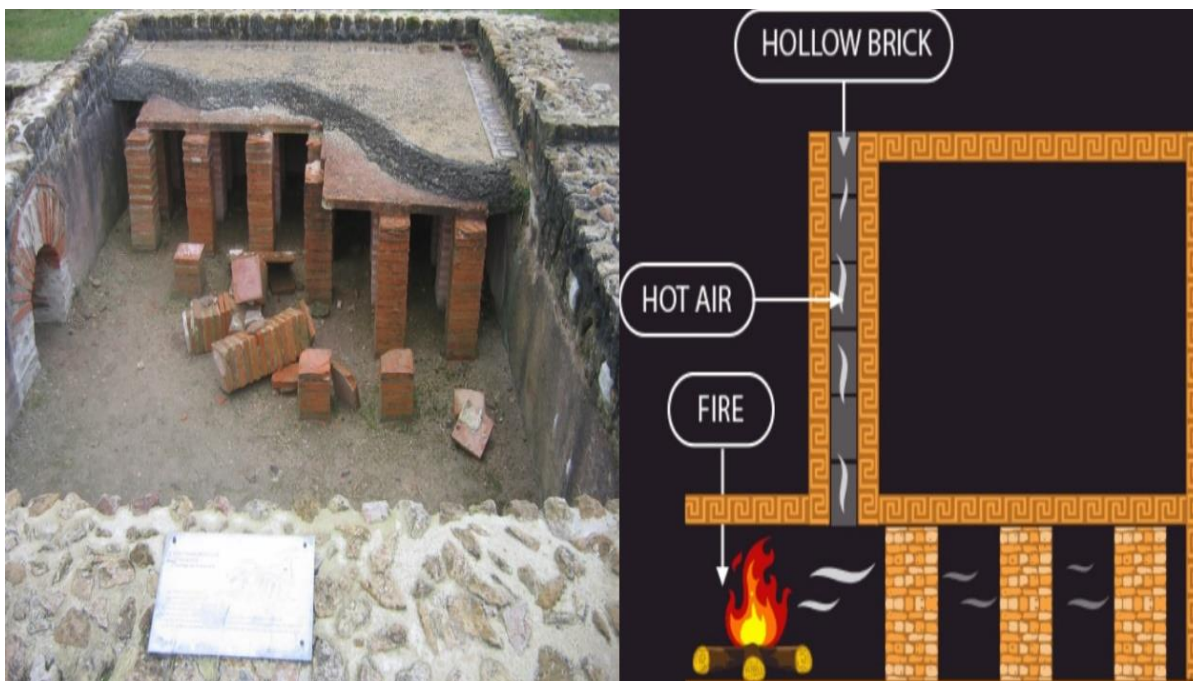
Σχήμα 8. Απεικόνιση του ενεργειακού κύκλου της ενσωματωμένης ενέργειας [8].

2. Συστήματα θέρμανσης

2.1 Ιστορική αναδρομή των συστημάτων θέρμανσης

2.1.1 Το σύστημα υποδαπέδιας θέρμανσης

Πριν από περίπου 500.000 χρόνια ο άνθρωπος ανακάλυψε τη φωτιά και στην συνέχεια, κατάφερε να την χρησιμοποιήσει ως σύμμαχο για να εξασφαλίσει την επιβίωση και την άνεσή του. Έκτοτε, η φωτιά, που προέρχεται από ξύλο και βιομάζα, αποτελεί ζωτική πηγή ενέργειας για τον άνθρωπο και εξακολουθεί να είναι η κύρια πηγή θερμότητας στον κόσμο. Με την πάροδο των αιώνων, η ανθρώπινη εφευρετικότητα, οι νόμοι της φύσης και οι τεχνολογικές εξελίξεις μας επέτρεψαν προφανώς να δημιουργήσουμε όλο και περισσότερους τρόπους χρήσης της φωτιάς για μεγαλύτερη θερμική άνεση. Αργότερα δημιουργήθηκε η ιδέα της κεντρικής θέρμανσης η οποία φαίνεται να επινοήθηκε στην αρχαία Ελλάδα από τους Ρωμαίους. Οι Ρωμαίοι μηχανικοί ήταν υπεύθυνοι για την θέρμανση του αρχαίου κόσμου οι οποίοι δημιούργησαν το σύστημα υποδαπέδιας θέρμανσης (υποκαυστικό). Σε πολλά ρωμαϊκά κτίρια, τα δάπεδα από ψηφιδωτά πλακάκια στηρίζονταν από κίονες, οι οποίοι διέθεταν αεραγωγούς μέσω των οποίων διαχέονταν η θερμότητα στους εσωτερικούς χώρους. Σε μια τοποθεσία κεντρική σε όλα τα γύρω δωμάτια, καίγονταν κάρβουνο, ξυλεία και άνθρακας, και τα καυτά αέρια ταξίδευαν κάτω από τα δάπεδα, θερμαίνοντάς τα. Το σύστημα υποδαπέδιας θέρμανσης (Σχήμα 9) εξαφανίστηκε με την παρακμή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, ωστόσο, η ιδέα της κεντρικής θέρμανσης επανεισήχθη 1.500 χρόνια αργότερα όπου και εδραιώθηκε.



Σχήμα 9. Σύστημα υποδαπέδιας θέρμανσης κατά την Ρωμαϊκή αυτοκρατορία [9].

Τα πρώτα τζάκια και οι μεταλλικές σόμπες

Κατά τον Μεσαίωνα, το τζάκι ως τρόπος θέρμανσης ήταν αρχικά ένας αυτοσχέδιος καυστήρας ξύλου με ένα απλό άνοιγμα στο κέντρο της οροφής. Με την πάροδο των αιώνων όμως εξελίχθηκε σε ένα πολύ μεγάλο άνοιγμα το οποίο συνδέονταν με την πηγή φωτιάς με μια πυραμιδοειδή κουκούλα την οποία οι αρχιτέκτονες βελτίωναν σταδιακά προκειμένου να αποφευχθεί η διαφυγή μεγάλου μέρους της θερμότητας μέσω αυτής. Στην συνέχεια το μέγεθος του τζακιού μειώθηκε και τοποθετήθηκαν μεταλλικές πλάκες στην κουκούλα για να μην διαφεύγει πολύ εύκολα ο ζεστός αέρας ώστε να αυξήσουν την απόδοση του τζακιού.

Ταυτόχρονα εμφανίζεται και η θέρμανση μέσω αυτοσχέδιων σομπών. Περίπου στα τέλη του δέκατου τρίτου αιώνα, εμφανίζονται οι πρώτες σόμπες τοιχοποιίας καλυμμένες με κεραμίδια. Στην πορεία όμως, οι καμινάδες εγκαταλείπονται και αντικαθίστανται από μεταλλικές σόμπες (Σχήμα 10) για λόγους βελτίωσης της θερμικής απόδοσης και για λόγους ευκολίας εγκατάστασης και συντήρησης.



Σχήμα 10. Μια σύγχρονη σόμπα τοιχοποιίας εμπνευσμένη από τον Μεσαίωνα [10].

2.1.2 Μετάβαση από τις Μεσαιωνικές τεχνικές στη σύγχρονη θέρμανση

Καθώς περνούσαν τα χρόνια τα τζάκια και οι σόμπες είχαν πλέον γίνει τα κυριότερα και πιο αποτελεσματικά συστήματα θέρμανσης. Αν και αποδοτικά, είχαν ένα σημαντικό πρόβλημα. Μπορούσαν να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες ενός ή το πολύ δύο δωματίων ενός σπιτιού. Την λύση στο παραπάνω μειονέκτημα ήρθε να δώσει η κεντρική θέρμανση που εμφανίζεται μόλις τον δέκατο όγδοο αιώνα. Τα πρώτα χρόνια ως κεντρική θέρμανση χρησιμοποιούνταν σανίδες ζεστού αέρα με σωλήνες τοποθετημένους στον τοίχο, όπου διένειμαν ζεστό αέρα από μια κεντρική σόμπα. Αλλά αυτός ο τύπος θέρμανσης ήταν δύσκολο να ελεγχθεί και δημιουργούσε πολλή σκόνη, η οποία προκαλούσε δυσφορία στους κατοίκους.

Λίγο αργότερα λοιπόν, Ο James Watt (1736-1819), εφευρέτης της ατμομηχανής, ανανεώνει την ιδέα αυτήν και δημιουργεί το καλοριφέρ ατμού μια συσκευή που έχει σχεδιαστεί για να δέχεται θερμότητα και να τη διαχέει.

Σταδιακά, το ζεστό νερό αρχίζει να ανταγωνίζεται τον ατμό και η γενίκευση του συστήματος κεντρικής θέρμανσης ζεστού νερού εδραιώνεται μετά το 1930. Το καλοριφέρ σαν τρόπος μετάδοσης της θερμότητας στους εσωτερικούς χώρους, αποκτά μεγάλη δημοτικότητα επειδή εκτός από την παροχή υψηλού επιπέδου θερμικής άνεσης, παρέχει και ζεστό νερό οικιακής χρήσης στα νοικοκυριά.

Λίγα χρόνια αργότερα η ανθρωπότητα χτυπήθηκε από τον Β παγκόσμιο πόλεμο με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εξελιχθεί ταχύρρυθμα. Όπως είναι φυσικό λοιπόν, στο τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου τα περισσότερα σπίτια δεν έχουν θέρμανση σε κάθε δωμάτιο, και ορισμένα δεν διαθέτουν και καθόλου. Αφού η πολεμική περίοδος πέρασε, και αφού η τεχνολογία μπορούσε ξανά να αναπτυχθεί, η κεντρική θέρμανση κατέλαβε τα ηνία της θέρμανσης, και η θερμότητα πλέον παράγονταν σε λέβητες πετρελαίου ή φυσικού αερίου, ενώ οι χώροι θερμαίνονταν με καλοριφέρ.

Ταυτόχρονα αναπτύχθηκε και η ηλεκτρική θέρμανση, κυρίως στις περιοχές εκείνες οι οποίες είχαν γνωρίσει μεγάλη εξέλιξη στην διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως συμβαίνει με τις ηλεκτρικές συσκευές κάθε είδους, έτσι και τα ηλεκτρικά συστήματα θέρμανσης κάνουν την εμφάνισή τους στα μεταπολεμικά σπίτια. Από την περίοδο αυτή και μετά, γίνεται πλέον λόγος για την σύγχρονη ανθρωπότητα, η οποία αρχίζει να υιοθετεί οικολογικές αξίες και συμπεριφορές.

Έτσι, ο σεβασμός στο περιβάλλον εισέρχεται ως κριτήριο κατά την επιλογή συστήματος θέρμανσης, και μιας και τα ηλεκτρικά συστήματα θέρμανσης είχαν αρκετά καλή απόδοση με σχετικά μειωμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση, μετατράπηκαν σε μια από τις καλύτερες επιλογές θέρμανσης της εποχής.

2.1.3 Χρονοδιάγραμμα Συστημάτων Θέρμανσης σε κατοικίες

- 1.900.000 π.Χ.: Οι άνθρωποι αρχίζουν να χρησιμοποιούν τη φωτιά για να μαγειρεύουν φαγητό.
- 42000 π.Χ.: Οι Νεάντερταλ στη σύγχρονη Ουκρανία κατασκευάζουν εστίες χρησιμοποιώντας οστά μαμούθ.
- 7500 έως 5700 π.Χ.: Οι νεολιθικοί οικισμοί Catalhöyük στην Τουρκία χρησιμοποιούν ανοιχτές εστίες σε σπίτια και κτίρια.

- 3000 π.Χ.: Ρουμάνοι άποικοι χρησιμοποιούν μαγκάλια για να θερμάνουν τα σπίτια.
- 2500 π.Χ.: Στην αρχαία Ρώμη αναπτύσσεται η κεντρική θέρμανση μέσω της υποδαπέδιας θέρμανσης. Διαφορετικοί πολιτισμοί ανέπτυξαν επίσης παρόμοιους φούρνους, οι οποίοι έγιναν πιο αποτελεσματικοί με τον καιρό.
- 400 μ.Χ.: Μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, οι μέθοδοι θέρμανσης επανήλθαν σε πιο πρωτόγονου τύπου τζάκια.
- 800 μ.Χ.: Οι σόμπες από πηλό κάνουν την πρώτη τους εμφάνιση.
- 1200 μ.Χ.: Κιστερκιανοί μοναχοί στη χριστιανική Ευρώπη αναβιώνουν την κεντρική θέρμανση χρησιμοποιώντας εκτροπή ποταμών και ξυλόφουρνους.
- 1400 μ.Χ.: Οι σόμπες από τοιχοποιία εμφανίζονται και εδραιώνονται από το 1500, οπότε και οι καμινάδες γίνονται πιο εκλεπτυσμένες.
- 1624 μ.Χ.: Ο Louis Savot της Γαλλίας εφευρίσκει το τζάκι που κυκλοφορεί με τη δημιουργία μιας υπερυψωμένης σχάρας που προάγει τη ροή του αέρα.
- Αρχές του 1700: Στην Αγγλία αρχίζει η χρήση αέρα καύσης από έναν εξωτερικό αγωγό. Την ίδια εποχή, ο Μέγας Πέτρος της Ρωσίας κατείχε τα πρώτα συστήματα ζεστού νερού και θέρμανσης αέρα στο Θερινό του Ανάκτορο.
- 1741 μ.Χ.: Ο Benjamin Franklin εφευρίσκει τη σόμπα Franklin, η οποία ήταν πιο αποτελεσματική από άλλες σόμπες που χρησιμοποιήθηκαν εκείνη την εποχή.
- Τέλη του 1700: Ο James Watt από τη Σκωτία αναπτύσσει το πρώτο λειτουργικό σύστημα θέρμανσης με ατμό για το σπίτι του χρησιμοποιώντας έναν κεντρικό λέβητα και ένα σύστημα σωλήνων σε σύνδεση με καλοριφέρ.
- 1805 μ.Χ.: Ο Άγγλος William Strutt εφευρίσκει έναν φούρνο θερμού αέρα που θερμαίνει τον κρύο αέρα. Ο θερμαινόμενος αέρας ταξίδευε μέσω μιας σειράς αγωγών και μέσα στα δωμάτια.
- 1883 μ.Χ.: Ο Thomas Edison εφευρίσκει την ηλεκτρική θερμάστρα.
- 1855 μ.Χ.: Ο Ρώσος Franz San Galli εφευρίσκει το καλοριφέρ, το πρώτο σημαντικό βήμα προς τα σύγχρονα συστήματα κεντρικής θέρμανσης σπιτιού.
- 1885 μ.Χ.: Ο Warren Johnson δημιουργεί τον πρώτο αυτοσχέδιο θερμοστάτη.
- Αρχές του 1900: Ο Albert March ανακαλύπτει το 'Nichrome', το συρμάτινο νήμα για να φρυγανίζεται το ψωμί, και γίνεται «ο πατέρας της βιομηχανίας ηλεκτρικής θέρμανσης».
- 1919 μ.Χ.: Η Alice Parker φτιάχνει το πρώτο ανανεωμένο σύστημα κεντρικής θέρμανσης.
- 1935 μ.Χ.: Οι επιστήμονες εφευρίσκουν θερμοσίφωνες τοίχου με που χρησιμοποιούν φούρνο άνθρακα, ηλεκτρικό ανεμιστήρα και αγωγούς σε όλο το σπίτι.
- Τέλη της δεκαετίας του 1940: Ο Robert C. Webber δημιουργεί την πρώτη γεωθερμική αντλία θερμότητας
- 1990 μ.Χ.: Η SolarWall δκάνει τα πρώτα βήματα για θέρμανση μέσω ηλιακής ενέργειας.
- 2000 μ.Χ.: Η πρόοδος των «έξυπνων» τεχνολογιών επιτρέπει στους ιδιοκτήτες σπιτιού να ρυθμίζουν τη θερμότητα στα σπίτια τους εξ αποστάσεως χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικές συσκευές.

2.2 Περιγραφή λειτουργίας σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης

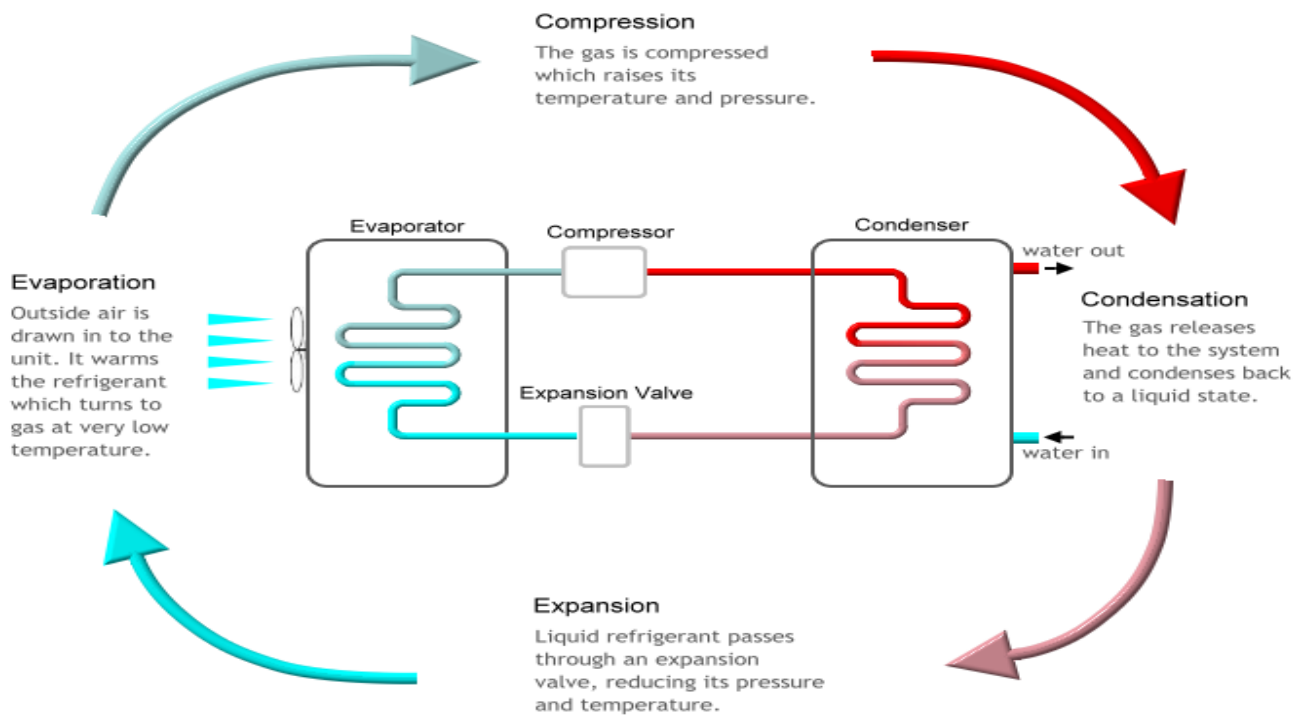
2.2.1 Αντλία Θερμότητας με πηγή αέρα

Η αντλία θερμότητας με πηγή αέρα (ASHP) είναι ένας τύπος αντλίας θερμότητας που μπορεί να απορροφήσει θερμότητα από το εξωτερικό μιας δομής και να την απελευθερώσει στο εσωτερικό ενός χώρου, ενώ ταυτόχρονα είναι ικανή και για ψύξη, χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία με την συμπίεση ατμού και σχεδόν τον ίδιο εξοπλισμό με τα κλιματιστικά, αλλά λειτουργεί προς την αντίθετη κατεύθυνση (Σχήμα 11). Τέλος, σε αντίθεση με μια μονάδα κλιματισμού, τα περισσότερα ASHP σε ορισμένες περιπτώσεις παρέχουν και ζεστό νερό χρήσης.

Σε μια τυπική ρύθμιση, ένα ASHP μπορεί να αποκτήσει θερμική ενέργεια 4 kWh από ηλεκτρική ενέργεια 1 kWh. Είναι βελτιστοποιημένα για θερμοκρασίες ροής μεταξύ 30 και 40°C (86-104°F) κατάλληλα για καλά μονωμένα κτίρια. Με απώλειες στην απόδοση, ένα ASHP μπορεί ακόμη και να προσφέρει μια πλήρη λύση κεντρικής θέρμανσης με θερμοκρασία ροής έως 80 °C (176 °F).

Οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού χρησιμοποιούν καλοριφέρ ή ενδοδαπέδια θέρμανση για τη θέρμανση, και Fan coil για την ψύξη ολόκληρου του σπιτιού.

Οι αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα είναι απλούστερες και ελαφρώς πιο αποδοτικές συσκευές που παρέχουν ζεστό ή κρύο αέρα απευθείας στους εσωτερικούς χώρους, αλλά συνήθως δεν παρέχουν ζεστό νερό χρήσης.



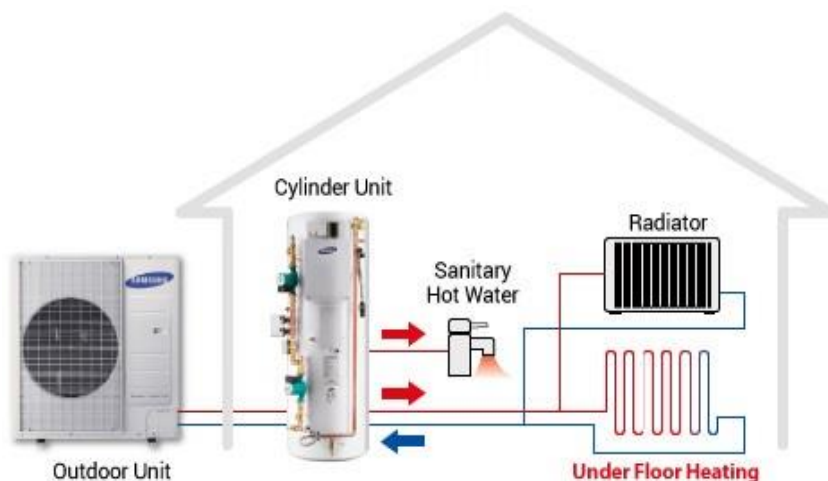
Σχήμα 11. Σχηματική περιγραφή λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας με Πηγή Αέρα [11].

Ο αέρας σε οποιαδήποτε θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν περιέχει κάποια ενέργεια. Μια αντλία θερμότητας με πηγή αέρα μεταφέρει μέρος αυτής της ενέργειας ως θερμότητα από το ένα μέρος στο άλλο, για παράδειγμα μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού ενός κτιρίου. Αυτό μπορεί να προσφέρει θέρμανση χώρου και ζεστό νερό. Ένα ενιαίο σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί για να μεταφέρει θερμότητα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, να θερμαίνει ή να ψύχει το εσωτερικό του κτιρίου το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα. Για απλότητα, η παρακάτω περιγραφή εστιάζει στη χρήση για θέρμανση ενός εσωτερικού χώρου.

Η τεχνολογία είναι παρόμοια με ένα ψυγείο ή έναν καταψύκτη ή μια μονάδα κλιματισμού. Το διαφορετικό αποτέλεσμα οφείλεται στη φυσική θέση των διαφορετικών εξαρτημάτων του συστήματος. Ακριβώς όπως οι σωλήνες στο πίσω μέρος ενός ψυγείου ζεσταίνονται καθώς το εσωτερικό ψύχεται, έτσι και ένα ASHP θερμαίνει το εσωτερικό ενός κτιρίου ενώ ψύχει τον εξωτερικό αέρα.

Τα κύρια εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας με πηγή αέρα είναι:

- Ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στο εξωτερικό του κτιρίου (ατμοποιητής), το οποίο εξαγεί θερμότητα από τον ατμοσφαιρικό αέρα.
- Ένας ή περισσότεροι εναλλάκτες θερμότητας που βρίσκονται στο εσωτερικό του σπιτιού (συμπυκνωτής), τα οποία μεταφέρουν τη θερμότητα στον εσωτερικό αέρα ή σε ένα σύστημα θέρμανσης εσωτερικού χώρου, όπως καλοριφέρ γεμάτο νερό ή κυκλώματα δαπέδου και μια δεξαμενή ζεστού νερού οικιακής χρήσης (Σχήμα 12).
- Το ψυκτικό μέσο.
- Ο συμπιεστής, που αυξάνει την πίεση του ψυκτικού μέσου και το μετακινεί σε όλο το σύστημα.
- Η βαλβίδα αναστροφής, που αποτελεί το τμήμα του συστήματος αντλίας θερμότητας που αντιστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου, επιτρέποντας στο σύστημα να λειτουργεί προς την αντίθετη κατεύθυνση και να εναλλάσσεται μεταξύ θέρμανσης και ψύξης.
- Η εκτονωτική βαλβίδα, που λειτουργεί ως συσκευή μέτρησης, ρυθμίζοντας τη ροή του ψυκτικού καθώς διέρχεται από το σύστημα, επιτρέποντας μείωση της πίεσης και τελικά της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου.



Σχήμα 12. Βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας με πηγή αέρα [12].

Τα στάδια ενός κύκλου λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας με πηγή αέρα, σε **λειτουργία ψύξης** είναι τα παρακάτω:

➤ Στάδιο 1^ο

Το υγρό ψυκτικό αντλείται μέσω μιας συσκευής διαστολής στον εσωτερικό εναλλάκτη, το οποίο λειτουργεί ως ατμοποιητής. Ο αέρας από το εσωτερικό του σπιτιού διοχετεύεται στον εναλλάκτη, όπου η θερμική ενέργεια απορροφάται από το ψυκτικό μέσο. Ο δροσερός αέρας που προκύπτει διοχετεύεται στους αγωγούς του σπιτιού. Η διαδικασία απορρόφησης της θερμικής ενέργειας έχει προκαλέσει το υγρό ψυκτικό να θερμανθεί και να εξατμιστεί σε μορφή αερίου.

➤ Στάδιο 2^ο

Το αέριο ψυκτικό μέσο περνά τώρα από έναν συμπιεστή, ο οποίος συμπιέζει το αέριο. Η διαδικασία συμπίεσης του αερίου προκαλεί τη θέρμανση του (φυσική ιδιότητα των συμπιεσμένων αερίων). Το ζεστό, υπό πίεση ψυκτικό μέσο κινείται μέσω του συστήματος στον εναλλάκτη της εξωτερικής μονάδας, ο οποίος λειτουργεί ως συμπυκνωτής.

➤ Στάδιο 3^ο

Ένας ανεμιστήρας στην εξωτερική μονάδα μετακινεί τον εξωτερικό αέρα στον εναλλάκτη, ο οποίος χρησιμεύει ως συμπυκνωτής στη λειτουργία ψύξης. Επειδή ο αέρας έξω από το σπίτι είναι πιο δροσερός από το ζεστό συμπιεσμένο ψυκτικό αέριο στο πηνίο, η θερμότητα μεταφέρεται από το ψυκτικό στον εξωτερικό αέρα. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το ψυκτικό μέσο συμπυκνώνεται και πάλι σε υγρή κατάσταση καθώς ψύχεται. Το ζεστό υγρό ψυκτικό διοχετεύεται μέσω του συστήματος στη βαλβίδα εκτόνωσης στις εσωτερικές μονάδες.

➤ Στάδιο 4^ο

Η εκτονωτική βαλβίδα μειώνει την πίεση του θερμού υγρού ψυκτικού μέσου, το οποίο το ψύχει σημαντικά. Σε αυτό το σημείο, το ψυκτικό είναι σε ψυχρή, υγρή κατάσταση και έτοιμο να αντληθεί πίσω στο πηνίο του εξατμιστή στην εσωτερική μονάδα για να ξεκινήσει ξανά ο κύκλος.

Μια αντλία θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης λειτουργεί ακριβώς όπως η λειτουργία ψύξης, με τη διαφορά ότι η ροή του ψυκτικού αντιστρέφεται από την εύστοχα ονομαζόμενη βαλβίδα αναστροφής. Η αντιστροφή της ροής σημαίνει ότι η πηγή θέρμανσης γίνεται ο εξωτερικός αέρας (ακόμη και όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι χαμηλές) και η θερμική ενέργεια απελευθερώνεται μέσα στο σπίτι. Ο εξωτερικός εναλλάκτης έχει πλέον τη λειτουργία του ατμοποιητή και ο εσωτερικός εναλλάκτης έχει πλέον το ρόλο του συμπυκνωτή.

Η φυσική της διαδικασίας είναι η ίδια. Η θερμική ενέργεια απορροφάται στην εξωτερική μονάδα από ψυχρό υγρό ψυκτικό μέσο, μετατρέποντάς το σε κρύο αέριο. Στη συνέχεια εφαρμόζεται πίεση στο κρύο αέριο, μετατρέποντάς το σε ζεστό αέριο. Το ζεστό αέριο ψύχεται στην εσωτερική μονάδα με διέλευση αέρα, θέρμανση του αέρα και συμπύκνωση του αερίου σε ζεστό υγρό. Το ζεστό υγρό εκτονώνεται από την πίεση καθώς εισέρχεται στην εξωτερική μονάδα, μετατρέποντάς το σε δροσερό υγρό και ανανεώνοντας τον κύκλο.

Οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα μπορούν να παρέχουν θέρμανση χώρου με αρκετά χαμηλό κόστος. Μια αντλία θερμότητας υψηλής απόδοσης μπορεί να παρέχει έως και τέσσερις φορές περισσότερη θερμότητα από μια ηλεκτρική θερμάστρα χρησιμοποιώντας την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος ζωής μιας αντλίας θερμότητας με πηγή αέρα θα επηρεαστεί από την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με το φυσικό αέριο (όπου υπάρχει). Η καύση αερίου ή πετρελαίου θα εκπέμψει διοξείδιο του άνθρακα και επίσης διοξείδιο του αζώτου, το οποίο μπορεί να είναι επιβλαβές για την υγεία. Μια αντλία θερμότητας με πηγή αέρα δεν εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα, οξείδιο του αζώτου ή οποιοδήποτε άλλο είδος αερίου. Χρησιμοποιεί μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας θερμότητας: η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ή μπορεί να παράγεται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας που καίνε ορυκτά καύσιμα ή πυρηνική ενέργεια.

Μια "τυποποιημένη" οικιακή αντλία θερμότητας με πηγή αέρα μπορεί να εξάγει χρήσιμη θερμότητα έως περίπου τους $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($5\text{ }^{\circ}\text{F}$) εξωτερική θερμοκρασία. Σε ψυχρότερες εξωτερικές θερμοκρασίες η αντλία θερμότητας είναι λιγότερο αποδοτική. Θα μπορούσε να απενεργοποιηθεί και οι χώροι να θερμανθούν χρησιμοποιώντας μόνο συμπληρωματική θέρμανση (ή θερμότητα έκτακτης ανάγκης) εάν το συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης είναι αρκετά μεγάλο. Υπάρχουν ειδικά σχεδιασμένες αντλίες θερμότητας που, ενώ παραδίδουν κάποια απόδοση στη λειτουργία ψύξης, θα παρέχουν χρήσιμη εξαγωγή θερμότητας σε ακόμη χαμηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες.

Σε ορισμένες καιρικές συνθήκες, μπορεί να δημιουργηθούν συμπυκνώματα τα οποία στη συνέχεια θα παγώσουν στα πηνία του ατμοποιητή, μειώνοντας έτσι τη ροή του αέρα μέσω των σωληνώσεων. Για να αποκατασταθεί αυτό, η μονάδα εκτελεί έναν κύκλο απόψυξης, μεταβαίνοντας στη λειτουργία ψύξης για λίγα λεπτά, θερμαίνοντας τους εναλλάκτες μέχρι να λιώσει ο πάγος. Οι αντλίες θερμότητας αέρα νερού χρησιμοποιούν θερμότητα από το κυκλοφορούν νερό για το σκοπό αυτό, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μια μικρή και πιθανώς μη ανιχνεύσιμη πτώση της θερμοκρασίας του νερού. Ορισμένα συστήματα αέρα-αέρα απλώς σταματούν τη λειτουργία των ανεμιστήρων και των δύο μονάδων και μεταβαίνουν στη λειτουργία ψύξης, έτσι ώστε η εξωτερική μονάδα να επιστρέψει στη θέση του συμπυκνωτή έτσι ώστε να θερμαίνεται και να ξεπαγώνει.

Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας είναι αναστρέψιμη. Στη λειτουργία θέρμανσης, το υγρό ψυκτικό στον εξωτερικό εναλλάκτη αφαιρεί τη θερμότητα από τον αέρα και εξατμίζεται σε αέριο. Ο εναλλάκτης εσωτερικού χώρου απελευθερώνει θερμότητα από το ψυκτικό καθώς συμπυκνώνεται ξανά σε υγρό. Μια βαλβίδα αναστροφής, κοντά στον συμπιεστή, μπορεί να αλλάξει την κατεύθυνση της ροής του ψυκτικού για τη λειτουργία ψύξης καθώς και για την απόψυξη του εξωτερικού εναλλάκτη το χειμώνα.

Η απόδοση των σημερινών αντλιών θερμότητας με πηγή αέρα είναι αποτέλεσμα τεχνικών προόδων όπως τα ακόλουθα:

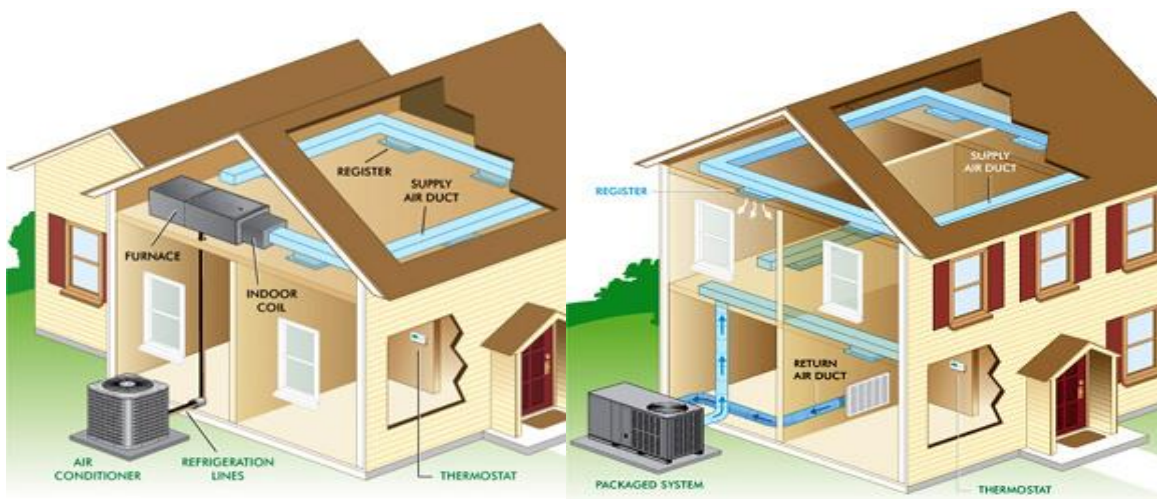
- Θερμοστατικές βαλβίδες εκτόνωσης για ακριβέστερο έλεγχο της ροής ψυκτικού στο εσωτερικό πηνίο
- Φυσητήρες μεταβλητής ταχύτητας, οι οποίοι είναι πιο αποτελεσματικοί και μπορούν να αντισταθμίσουν ορισμένες από τις αρνητικές επιπτώσεις των περιορισμένων αγωγών, των βρώμικων φίλτρων και των βρώμικων πηνίων
- Βελτιωμένος σχεδιασμός πηνίου

- Βελτιωμένος σχεδιασμός ηλεκτροκινητήρα και συμπιεστή δύο ταχυτήτων
- Χάλκινος σωλήνας, αυλακωμένος εσωτερικά για αύξηση της επιφάνειας.

Με βάση το εξωτερικό ρεύμα του εναλλάκτη θερμότητας που βρίσκεται στο εσωτερικό του κτιρίου, οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα μπορούν να καταταγούν σε δύο υποκατηγορίες. Τις **αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα**, δηλαδή όλα τα συστήματα τα οποία όπως υποδηλώνει το όνομά τους, μεταφέρουν τη θερμότητα στον αέρα, η οποία διανέμεται σε όλο το σπίτι και τις **αντλίες θερμότητας αέρα-νερού**, στις οποίες η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα συμβατικό σύστημα «υγρής» θέρμανσης (ενδοδαπέδια θέρμανση). Αυτά τα συστήματα μπορούν να προσφέρουν και ζεστό νερό χρήσης όπως προαναφέρθηκε.

Με βάση το μήκος των αγωγών μεταξύ των εναλλακτών οι αντλίες θερμότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής. Τις **εφαρμογές χωρίς αγωγούς (ductless)** οι οποίες απαιτούν ελάχιστη κατασκευή, καθώς απαιτείται μόνο μια τρύπα τριών ιντσών στον τοίχο για τη σύνδεση του συμπυκνωτή εξωτερικού χώρου και των εσωτερικών κεφαλών. Τα **συστήματα αεραγωγών (ducted)**, που χρησιμοποιούν απλούς αγωγούς και η χρήση τους προτείνεται σε μεγάλο βαθμό εάν υπάρχει ήδη εγκατεστημένο ένα σύστημα εξαερισμού ή το σπίτι είναι μια νέα κατασκευή. Ο **αγωγός βραχείας λειτουργίας (short-run ducted)** είναι παραδοσιακός μεγάλος αγωγός που διατρέχει μόνο ένα μικρό τμήμα του σπιτιού. Ο αγωγός βραχείας λειτουργίας συχνά συμπληρώνεται από άλλες μονάδες χωρίς αγωγούς για το υπόλοιπο σπίτι.

Με βάση την τοποθεσία στην οποία τοποθετούνται οι εναλλάκτες, οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα κατηγοριοποιούνται σε **split-systems**, δηλαδή συστήματα που έχουν έναν εναλλάκτη μέσα στο εσωτερικό του κτιρίου και έναν εξωτερικά (οι αγωγοί τροφοδοσίας και επιστροφής συνδέονται με τον εσωτερικό κεντρικό ανεμιστήρα) και σε **packaged-systems**, τα οποία έχουν συνήθως τόσο τους εναλλάκτες, όσο και τον ανεμιστήρα σε εξωτερικούς χώρους (Σχήμα 13). Ο θερμαινόμενος ή ψυχρός αέρας παρέχεται στο εσωτερικό από αγωγούς που διέρχονται μέσα από τον τοίχο ή τη στέγη.



Σχήμα 13. Σχηματική περιγραφή μια αντλίας θερμότητας split system (σχήμα αριστερά) και μιας packaged (σχήμα δεξιά) [13].

Τέλος, με βάση το πλήθος των εσωτερικών εναλλακτών και την παρουσία τους σε έναν ή περισσότερους χώρους ενός κτιρίου, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να διακριθούν σε **μονοζωνικές (single-zone)** και **πολυζωνικές (multi-zone)**. Τα μονοζωνικά συστήματα είναι σχεδιασμένα για ένα μονόκλινο δωμάτιο με έναν εξωτερικό εναλλάκτη που ταιριάζει με μία εσωτερική κεφαλή. Οι εγκαταστάσεις πολλαπλών ζωνών μπορούν να έχουν δύο ή περισσότερους εναλλάκτες εσωτερικού χώρου συνδεδεμένους σε έναν εξωτερικό. Οι πολυζωνικοί εναλλάκτες εσωτερικών χώρων ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος και το στυλ και το καθένα δημιουργεί τη δική του «ζώνη» άνεσης, επιτρέποντάς να θερμαίνονται ή να ψύχονται μεμονωμένα δωμάτια. Αυτή η διάκριση μπορεί επίσης να αναφέρεται ως "multi-head vs. single-head" και "multi-port vs. single-port".

Υπάρχουν διαφορετικοί δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν την αποδοτικότητα μιας αντλίας θερμότητας και χρησιμεύουν στην επιλογή τους. Ο πιο συνηθισμένος είναι ο COP (Coefficient of Performance) που ορίζεται ως εξής:

$$COP = \frac{\text{Θερμική Ισχύς Συμπυκνωτή}}{\text{Ηλεκτρική Ισχύς Συμπιεστή}}$$

Ο τύπος αυτός ισχύει για τη χειμερινή λειτουργία θέρμανσης. Για την καλοκαιρινή λειτουργία ψύξης ορίζεται ως:

$$EER = \frac{\text{Ψυκτική Ισχύς Εξατμιστή}}{\text{Ηλεκτρική Ισχύς Συμπιεστή}}$$

Όσο πιο ψηλοί είναι οι παραπάνω δείκτες, τόσο καλύτερη είναι η απόδοση της αντλίας θερμότητας, εφόσον η αναλογία της θερμικής ή ψυκτικής ισχύος που παραδίδει προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει είναι μεγαλύτερη. Τυπικοί βαθμοί COP κυμαίνονται από 2 έως 4 για αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα, ενώ για αντλίες θερμότητας με πηγή νερού ή γεωθερμικές, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω, ο βαθμός COP κυμαίνεται συνήθως από 3 έως 5.

Οι δείκτες COP, για τη λειτουργία θέρμανσης, και EER, για τη λειτουργία ψύξης, είναι στιγμιαίοι δείκτες και για αυτό υπάρχουν και δείκτες όπως ο HSPF (Heating Seasonal Performance Factor), ο οποίος εκφράζει το λόγο μεταξύ της συνολικής ωφέλιμης ενέργειας, προς τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται. Για τη χειμερινή λειτουργία θέρμανσης ο δείκτης αυτός ορίζεται ως εξής:

$$SCOP = \frac{\text{Θερμική Ενέργεια από Συμπυκνωτή}}{\text{Συνολική Καταναλισκόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια}}$$

Για την καλοκαιρινή λειτουργία ψύξης, ο ίδιος δείκτης ορίζεται ως εξής:

$$SEER = \frac{\text{Θερμική Ενέργεια που λαμβάνει ο Εξατμιστής}}{\text{Συνολική Καταναλισκόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια}}$$

2.2.2 Άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας

2.2.2.1 Αντλία Θερμότητας με πηγή νερού

Υπάρχουν διάφοροι υδάτινοι πόροι, όπως στο έδαφος, οι λίμνες, τα ποτάμια, τα λύματα και ακατέργαστο νερό. Τα συστήματα αντλιών θερμότητας με πηγή νερού (WSHP) είναι ιδανικά για ένα ευρύ φάσμα κτιρίων, όπως κτίρια γραφείων, πολυκατοικίες, ξενοδοχεία, συγκυριαρχίες, σχολεία και πολλά άλλα.

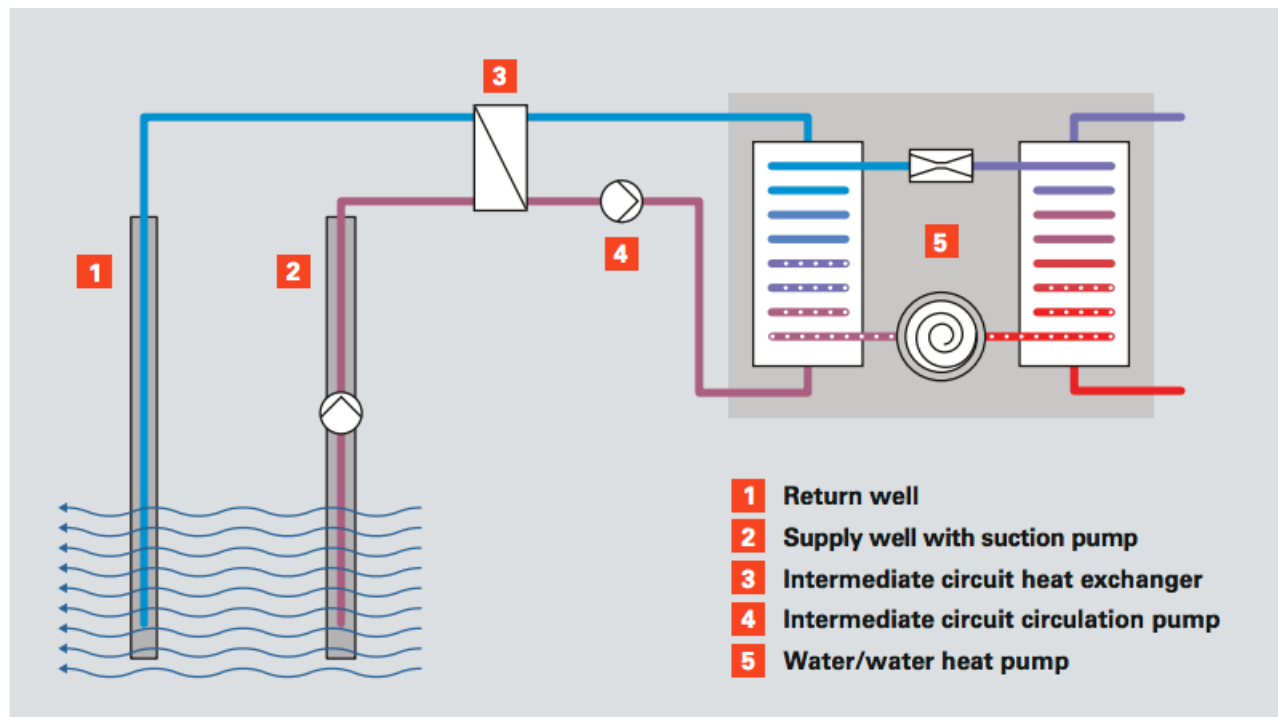
Μια αντλία θερμότητας με πηγή νερού λειτουργεί χρησιμοποιώντας ένα ψυκτικό μέσο για τη μεταφορά θερμότητας από το νερό στο εσωτερικό του κτιρίου. Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων αντλίας θερμότητας με πηγή νερού, οι αντλίες κλειστού βρόχου και ανοιχτού βρόχου. Ένα σύστημα κλειστού βρόχου διοχετεύει νερό αναμεμειγμένο με αντιψυκτικό μέσω μιας σειράς εναλλακτών ή πλαισίων ανταλλαγής θερμότητας που είναι βυθισμένα στην πηγή νερού, όπως μια λίμνη, αν και αυτό πιθανότατα θα απαιτεί περιβαλλοντική έγκριση λόγω του κινδύνου μόλυνσης του νερού. Καθώς το μείγμα ταξιδεύει μέσα από τους εναλλάκτες, απορροφά ενέργεια από το νερό και την παραδίδει κατευθείαν στην αντλία θερμότητας. Στα συστήματα ανοιχτού βρόχου, το νερό αντλείται απευθείας από τη λίμνη και στέλνεται κατευθείαν στην αντλία θερμότητας. Μόλις ληφθεί η θερμότητα από το νερό, μπορεί να αντληθεί ξανά στη λίμνη.

Το νερό είναι επίσης μια εξαιρετικά κατάλληλη πηγή θερμότητας για αντλίες θερμότητας. Ακόμη και τις κρύες μέρες του χειμώνα, τα υπόγεια νερά διατηρούν σταθερή θερμοκρασία μεταξύ 7 °C και 12 °C. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν τα υπόγεια ύδατα για μια αντλία θερμότητας, πρέπει να εξαχθούν μέσω ενός φρεατίου παροχής και να μεταφερθούν στον ατμοποιητή μιας αντλίας θερμότητας νερού/νερού. Στη συνέχεια, το κρύο νερό διοχετεύεται μέσω ενός φρεατίου επιστροφής (στοιχείο 1 στο Σχήμα 14).

Τα επιφανειακά νερά (λίμνες ή ποτάμια) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θερμότητας, αν και πρέπει να σημειωθεί ότι οι θερμοκρασίες αυξομειώνονται αρκετά ανάλογα με την εποχή.

Ανεξάρτητα από το είδος του συστήματος, η θερμότητα διοχετεύεται από το νερό σε έναν ενδιάμεσο εναλλάκτη θερμότητας πλάκας. Μέσω ενός ενδιάμεσου κυκλώματος η ενέργεια μεταφέρεται στον εναλλάκτη θερμότητας ή στον ατμοποιητή της αντλίας θερμότητας, όπου απορροφάται από ένα ψυκτικό μέσο. Καθώς το ψυκτικό μέσο θερμαίνεται, μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Το ψυκτικό είναι ένα πολύ ισχυρό απορροφητικό θερμότητας και μπορεί να απορροφήσει θερμότητα από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό είναι που κάνει τις αντλίες θερμότητας τόσο κατάλληλες σε ψυχρά κλίματα.

Το ακατέργαστο νερό είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες πηγές θερμότητας μεταξύ αυτών. Γενικά, το νερό λαμβάνεται από το περιβάλλον και παρέχεται σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας νερού μέσω σωλήνων μεγάλου μεγέθους για μετέπειτα επεξεργασία ή καθαρισμό. Το ακατέργαστο νερό που μεταφέρεται στο πολυπεριφερειακό σύστημα ύδρευσης είναι μια πολύ καλή πηγή ενέργειας λόγω των διαφορών στην θερμοκρασία του. Για παράδειγμα, το ακατέργαστο νερό μπορεί να χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας για ένα σύστημα αντλίας θερμότητας για τη θέρμανση και ψύξη του ενσωματωμένου κέντρου λειτουργίας σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας νερού. Είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν παρόμοια συστήματα που χρησιμοποιούν ακατέργαστο νερό ως πηγή θερμότητας, γι' αυτό και τα εν λόγω συστήματα είναι τόσο ξεχωριστά.



Σχήμα 14. Τυπική διάταξη αντλίας θερμότητας με πηγή νερού [14].

Μόλις το ψυκτικό μετατραπεί σε αέριο, συμπιέζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία σε ένα πιο χρήσιμο επίπεδο και περνά σε έναν εναλλάκτη θερμότητας (συμπυκνωτή). Στον συμπυκνωτή, η θερμότητα μπορεί να απελευθερωθεί για να θερμάνει το νερό και τα καλοριφέρ. Όταν το αέριο αρχίζει να κρύνει, συμπυκνώνεται και μετατρέπεται ξανά σε υγρό. Όταν συμβεί αυτό, αντλείται πίσω μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης για να ξεκινήσει ξανά η όλη διαδικασία.

Ένα πραγματικό όφελος των αντλιών θερμότητας με πηγή νερού το καλοκαίρι, είναι η επιλογή της παθητικής ψύξης. Είναι επίσης γνωστό ως «φυσική ψύξη». Αυτή η διαδικασία μεταφέρει τις ψυχρότερες θερμοκρασίες του υπόγειου νερού απευθείας στο κύκλωμα θέρμανσης του σπιτιού. Για αυτό, ο συμπιεστής της αντλίας θερμότητας είναι αδρανής. Ένας πρόσθετος εναλλάκτης θερμότητας παρέχει το διαχωρισμό του συστήματος. Η φυσική ψύξη με αντλίες θερμότητας νερού είναι ιδιαίτερα αποδοτική, καθώς απαιτεί τη λειτουργία μόνο δύο αντλιών κυκλοφορίας. Κατά τη φυσική ψύξη, η αντλία θερμότητας θα ξεκινήσει μόνο για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Η φυσική ψύξη είναι δυνατή με τα ακόλουθα συστήματα:

- σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης,
- βεντιλατέρ,
- παγωμένες οροφές,
- σκλήρυνση πυρήνα σκυροδέματος.

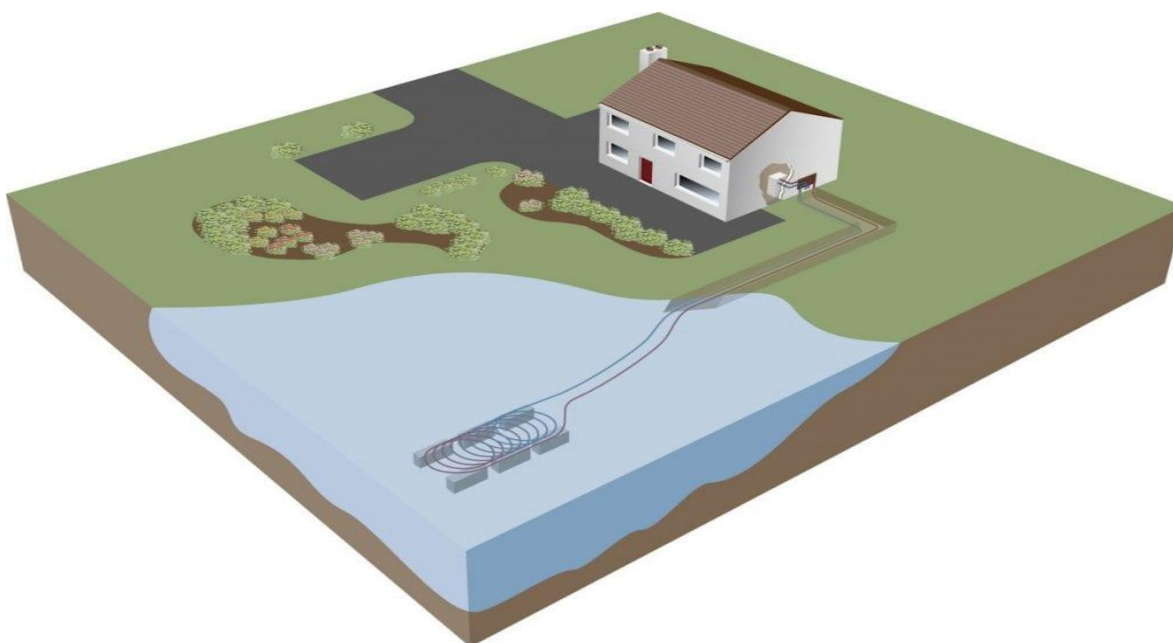
Με την ψύξη μέσω εναλλακτικών επιφανειών θέρμανσης το σύστημα ρυθμίζεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η συμπύκνωση, δηλαδή η υποβάθμιση του σημείου δρόσου στις θερμαντικές επιφάνειες.

Όσο πιο κοντά βρίσκεται η πηγή νερού στο σπίτι, τόσο πιο ωφέλιμο θα είναι το σύστημα. Διαφορετικά, η αντλία θα μπορούσε να χρησιμοποιεί υπερβολική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για να αντλήσει το νερό από την πηγή στο σπίτι. Αυτό σημαίνει ότι η πηγή νερού δεν πρέπει επίσης να βρίσκεται πολύ ψηλά.

Υπάρχουν επίσης ορισμένες περιβαλλοντικές νομοθεσίες που πρέπει να τηρούνται πριν από την εγκατάσταση του συστήματος. Ένα σύστημα ανοιχτού βρόχου θα μπορούσε να επηρεάσει τη θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων, επομένως μπορεί να απαιτείται άδεια από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος.

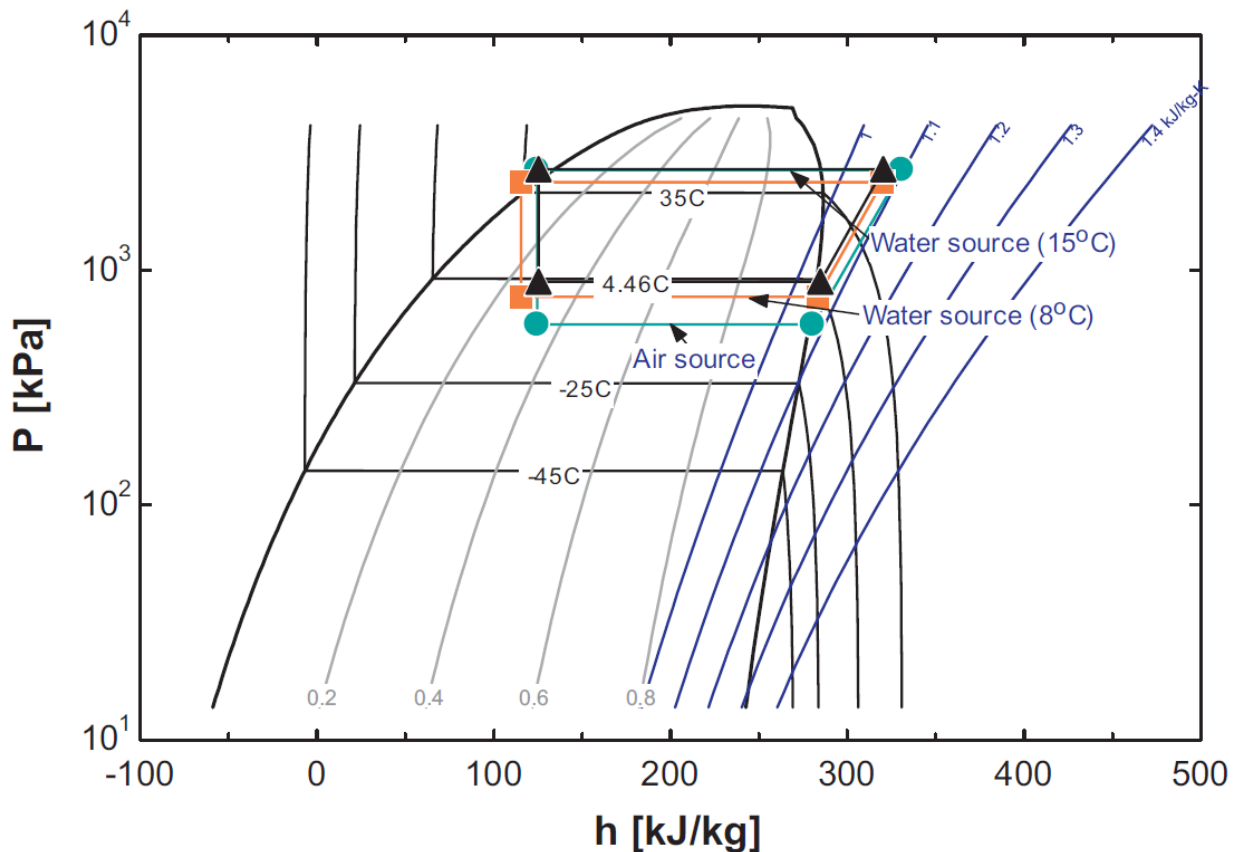
Η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας θα εξαρτηθεί από το πού παίρνει τη θερμότητά της. Μια αντλία θερμότητας με πηγή αέρα είναι λιγότερο αποδοτική, ακολουθούμενη από μια αντλία θερμότητας εδάφους. Μια αντλία θερμότητας πηγής νερού είναι συνήθως η πιο αποτελεσματική, καθώς η θερμοκρασία της πηγής το χειμώνα είναι γενικά υψηλότερη σε μια περιοχή μεταξύ 7 °C και 12 °C, ωστόσο, οι λίμνες/ποτάμια μπορούν επίσης να παγώσουν το χειμώνα ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και τις τοπικές καιρικές συνθήκες, επομένως η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας θα μπορούσε να είναι λιγότερο ωφέλιμη από ό,τι θα μπορούσε να είναι από το έδαφος.

Όταν χρησιμοποιείται κινούμενο νερό είτε από ρέμα είτε από ποτάμι, η θερμότητα που εξάγεται αντικαθίσταται συνεχώς από πιο θερμό νερό που δεν έχει υποστεί τοπική ψύξη από τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της αντλίας θερμότητας, και μπορεί επίσης να αποτρέψει το πάγωμα του νερού, ένα πρόβλημα που μπορεί να προκύψει με το στάσιμο νερό (Σχήμα 15).



Σχήμα 15. Σχηματική περιγραφή συστήματος αντλίας θερμότητας με πηγή νερού σε λίμνη [15].

Μια αντλία θερμότητας εδάφους θα λειτουργεί συνήθως με συντελεστή απόδοσης (COP) 4,8. Αυτή η μέτρηση υπολογίζει πόσο αποδοτική είναι μια αντλία θερμότητας με βάση την ποσότητα ενέργειας που εισάγεται σε σύγκριση με την ποσότητα ενέργειας που παράγεται. Για παράδειγμα, εάν μια αντλία θερμότητας με πηγή νερού χρησιμοποιεί 1 kW ηλεκτρικής ενέργειας και παράγονται 3 kW θερμότητας, το COP θα είναι 3. Μια αντλία θερμότητας με COP 4 θα είναι πιο αποτελεσματική από αυτή. Μια αντλία θερμότητας πηγής νερού έχει γενικά COP περίπου 6,0 (W/W 10/35C). Στο Σχήμα 16 παρουσιάζονται συγκριτικά δεδομένα πίεσης-ενθαλπίας του θερμοδυναμικού κύκλου για αντλία θερμότητας με πηγή αέρα, με πηγή νερού 15 °C και πηγή νερού 8 °C.



Σχήμα 16. Συγκριτικό διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας του θερμοδυναμικού κύκλου για αντλία θερμότητας με πηγή αέρα, με πηγή νερού 15 °C και πηγή νερού 8 °C [16].

2.2.2.2 Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (GHP), που μερικές φορές αναφέρονται ως αντλίες θερμότητας GeoExchange, γήινης σύνδεσης, εδάφους ή πηγής νερού, χρησιμοποιούνται από τα τέλη της δεκαετίας του 1940. Χρησιμοποιούν τη σχετικά σταθερή θερμοκρασία της γης ως μέσο ανταλλαγής αντί για τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα.

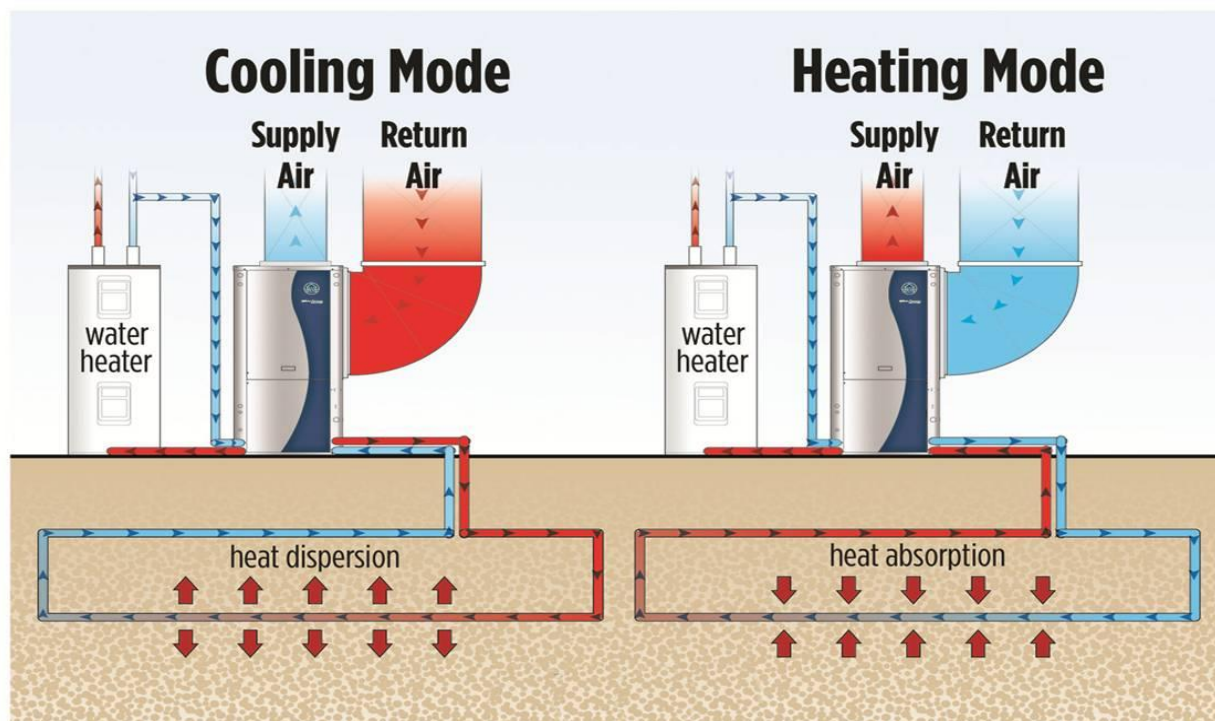
Αν και πολλά μέρη της χώρας αντιμετωπίζουν εποχιακές ακραίες θερμοκρασίες -- από καυτή ζέστη το καλοκαίρι έως κρύο κάτω από το μηδέν το χειμώνα - λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης το έδαφος παραμένει σε σχετικά σταθερή θερμοκρασία. Ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, οι θερμοκρασίες εδάφους κυμαίνονται από 45°F (7°C) έως 75°F (21°C).

Όπως σε μια σπηλιά, έτσι και η θερμοκρασία του εδάφους είναι υψηλότερη από τον αέρα πάνω από αυτό κατά τη διάρκεια του χειμώνα και πιο χαμηλή από τον αέρα το καλοκαίρι. Τα συστήματα GHP εκμεταλλεύονται αυτές τις πιο ευνοϊκές θερμοκρασίες για να αυξήσουν την απόδοσή τους ανταλλάσσοντας θερμότητα με τη γη μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας εδάφους.

Όπως συμβαίνει με κάθε αντλία θερμότητας, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και οι αντλίες θερμότητας με πηγή νερού μπορούν να θερμαίνουν, να ψύχουν και, να παρέχουν ζεστό νερό στο σπίτι (Σχήμα 17). Ορισμένα μοντέλα γεωθερμικών συστημάτων είναι διαθέσιμα με συμπιεστές δύο ταχυτήτων και μεταβλητούς ανεμιστήρες για μεγαλύτερη άνεση και εξοικονόμηση ενέργειας. Σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα, είναι πιο αθόρυβες, διαρκούν περισσότερο, χρειάζονται λίγη συντήρηση και δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα.

Μια αντλία θερμότητας διπλής πηγής συνδυάζει μια αντλία θερμότητας πηγής αέρα με μια γεωθερμική αντλία θερμότητας. Οι αντλίες θερμότητας διπλής πηγής έχουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης από τις μονάδες πηγών αέρα, αλλά δεν είναι τόσο αποδοτικές όσο οι γεωθερμικές μονάδες. Το κύριο πλεονέκτημα των συστημάτων διπλής πηγής είναι ότι κοστίζει πολύ λιγότερο η εγκατάστασή τους από μια ενιαία γεωθερμική μονάδα και λειτουργούν σχεδόν εξίσου καλά.

Παρόλο που η τιμή εγκατάστασης ενός γεωθερμικού συστήματος μπορεί να είναι πολλαπλάσια από εκείνη ενός συστήματος πηγών αέρα ίδιας δυναμικότητας θέρμανσης και ψύξης, το πρόσθετο κόστος μπορεί να επιστραφεί σε εξοικονόμηση ενέργειας σε 5 έως 10 χρόνια, ανάλογα με το κόστος ενέργειας και τα διαθέσιμα κίνητρα στην περιοχή κατασκευής. Η διάρκεια ζωής του συστήματος εκτιμάται έως και 24 χρόνια για τα εσωτερικά εξαρτήματα και 50+ χρόνια για τον βρόχο γείωσης.



Σχήμα 17. Σχηματική περιγραφή γεωθερμικής αντλίας θερμότητας σε λειτουργία ψύξης και θέρμανσης [17].

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι συστημάτων γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Τρία από αυτά (οριζόντια, κάθετα και λίμνης) είναι συστήματα κλειστού βρόχου. Ο τέταρτος τύπος συστήματος είναι η επιλογή ανοικτού βρόχου. Διάφοροι παράγοντες όπως το κλίμα, οι συνθήκες του εδάφους, η διαθέσιμη γη και το τοπικό κόστος εγκατάστασης καθορίζουν ποιο είναι καλύτερο για την εκάστοτε τοποθεσία. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές κατοικιών και εμπορικών κτιρίων.

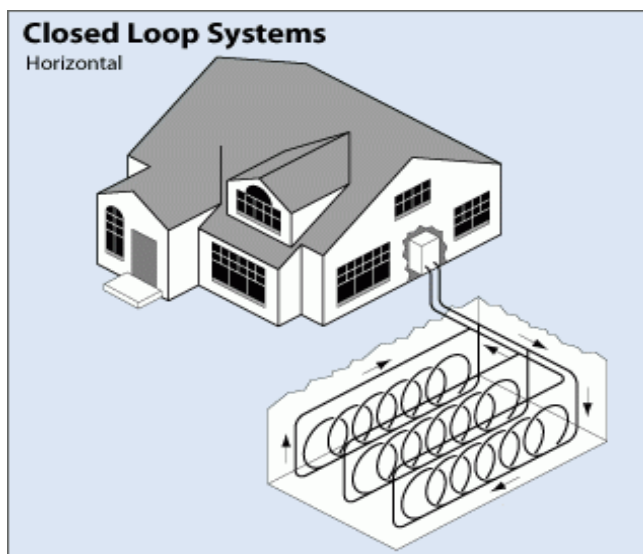
- **Συστήματα κλειστού βρόχου (Closed loop systems)**

Οι περισσότερες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας κλειστού βρόχου κυκλοφορούν ένα αντιψυκτικό διάλυμα μέσω ενός κλειστού βρόχου, συνήθως κατασκευασμένου από πλαστικό σωλήνα υψηλής πυκνότητας, που είναι θαμμένος στο έδαφος ή βυθισμένος στο νερό. Ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταφέρει θερμότητα μεταξύ του ψυκτικού στην αντλία θερμότητας και του αντιψυκτικού διαλύματος στον κλειστό βρόχο.

Ένας τύπος συστήματος κλειστού βρόχου, που ονομάζεται άμεσης ανταλλαγής, δεν χρησιμοποιεί εναλλάκτη θερμότητας και αντ' αυτού αντλεί το ψυκτικό μέσω χάλκινων σωλήνων που είναι θαμμένοι στο έδαφος σε οριζόντια ή κατακόρυφη διαμόρφωση. Τα συστήματα άμεσης ανταλλαγής απαιτούν μεγαλύτερο συμπιεστή και λειτουργούν καλύτερα σε υγρά εδάφη (μερικές φορές απαιτούν επιπλέον άρδευση για να διατηρηθεί το έδαφος υγρό), αλλά θα πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση σε εδάφη διαβρωτικά για τους χάλκινους σωλήνες. Επειδή αυτά τα συστήματα κυκλοφορούν ψυκτικό μέσω του εδάφους, οι τοπικοί περιβαλλοντικοί κανονισμοί ενδέχεται να απαγορεύουν τη χρήση τους σε ορισμένες τοποθεσίες.

1. Οριζόντιος τύπος εγκατάστασης (Horizontal)

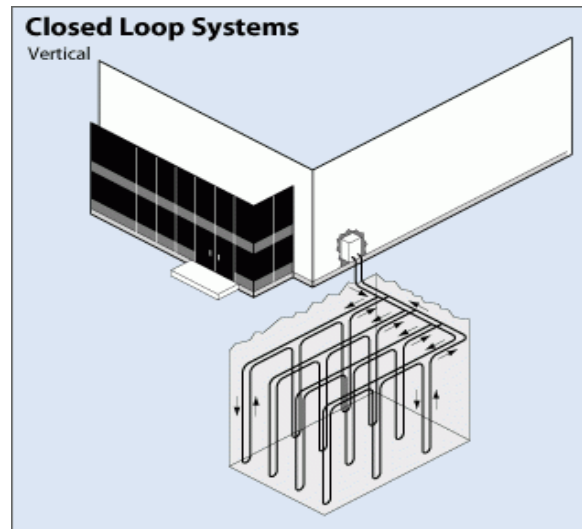
Αυτός ο τύπος εγκατάστασης είναι γενικά πιο οικονομικός για οικιακές εγκαταστάσεις, ιδιαίτερα για νέες κατασκευές όπου υπάρχει επαρκής διαθέσιμη γη. Απαιτεί χαρακώματα βάθους τουλάχιστον 1.5 m. Οι πιο συνηθισμένες διατάξεις χρησιμοποιούν είτε δύο σωλήνες, ο ένας θαμμένος στα 2 m και ο άλλος στα 1.5 m, είτε δύο σωλήνες που τοποθετούνται δίπλα-δίπλα στα 2 m στο έδαφος σε μια τάφρο πλάτους 1 m. Η μέθοδος κύλισης του σωλήνα επιτρέπει περισσότερους σωλήνες σε μικρότερη τάφρο, γεγονός που μειώνει το κόστος εγκατάστασης και καθιστά δυνατή την οριζόντια εγκατάσταση σε περιοχές που δεν θα ήταν με συμβατικές οριζόντιες εφαρμογές (Σχήμα 18).



Σχήμα 18. Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού βρόγχου και οριζόντιου προσανατολισμού [18].

2. Κατακόρυφος τύπος εγκατάστασης (Vertical)

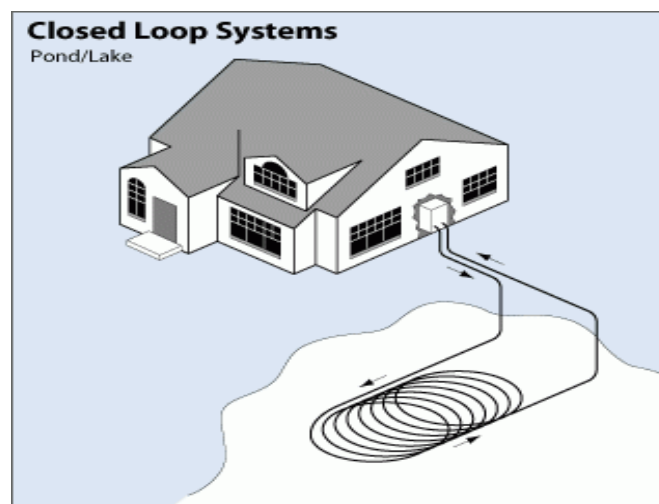
Τα μεγάλα εμπορικά κτίρια και τα σχολεία χρησιμοποιούν συχνά κατακόρυφα συστήματα επειδή η έκταση γης που απαιτείται για οριζόντιους βρόχους θα ήταν απαγορευτική. Οι κάθετοι βρόχοι χρησιμοποιούνται επίσης όπου το έδαφος είναι πολύ ρηχό για χάραξη τάφρων και ελαχιστοποιούν την ενόχληση στον υπάρχοντα ιστό. Για ένα κατακόρυφο σύστημα, ανοίγονται τρύπες (περίπου 10 cm σε διάμετρο) σε απόσταση περίπου 6 m μεταξύ τους και 30 έως 120 m βάθος. Δύο σωλήνες, συνδεδεμένοι στο κάτω μέρος με μια κάμψη U για να σχηματίσουν έναν βρόχο, εισάγονται στην οπή και αρμολογούνται για βελτίωση της απόδοσης. Οι κάθετοι βρόχοι συνδέονται με οριζόντιο σωλήνα (δηλαδή πολλαπλή), τοποθετούνται σε χαρακώματα και συνδέονται με την αντλία θερμότητας του κτιρίου (Σχήμα 19).



Σχήμα 19. Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού βρόγχου και κάθετου προσανατολισμού [18].

3. Εγκατάσταση σε Λίμνη (Pond/Lake)

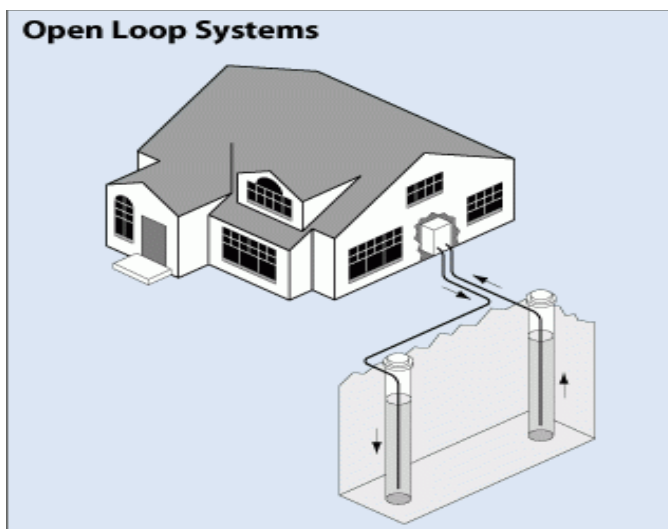
Εάν η τοποθεσία έχει επαρκή όγκο νερού, αυτή μπορεί να είναι η επιλογή με το χαμηλότερο κόστος. Ένας σωλήνας γραμμής τροφοδοσίας τρέχει υπόγεια από το κτίριο στο νερό και τυλίγεται σε κύκλους τουλάχιστον 2.5 m κάτω από την επιφάνεια για να αποφευχθεί το πάγωμα του νερού. Τα πηνία πρέπει να τοποθετούνται μόνο σε πηγή νερού που πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις όγκου, βάθους και ποιότητας (Σχήμα 20).



Σχήμα 20. Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού βρόγχου σε λίμνη [18].

- **Σύστημα ανοιχτού βρόχου (Open loop systems)**

Αυτός ο τύπος συστήματος χρησιμοποιεί πηγάδι ή επιφανειακό νερό του σώματος ως υγρό ανταλλαγής θερμότητας που κυκλοφορεί απευθείας μέσω του συστήματος GHP. Μόλις κυκλοφορήσει μέσω του συστήματος, το νερό επιστρέφει στο έδαφος μέσω του φρεατίου, ενός φρεατίου επαναφόρτισης ή επιφανειακής εκροής. Αυτή η επιλογή είναι προφανώς πρακτική μόνο όταν υπάρχει επαρκής παροχή σχετικά καθαρού νερού και πληρούνται όλοι οι τοπικοί κώδικες και κανονισμοί σχετικά με την απόρριψη υπόγειων υδάτων (Σχήμα 21).



Σχήμα 21. Γεωθερμική αντλία θερμότητας ανοιχτού βρόχου [18].

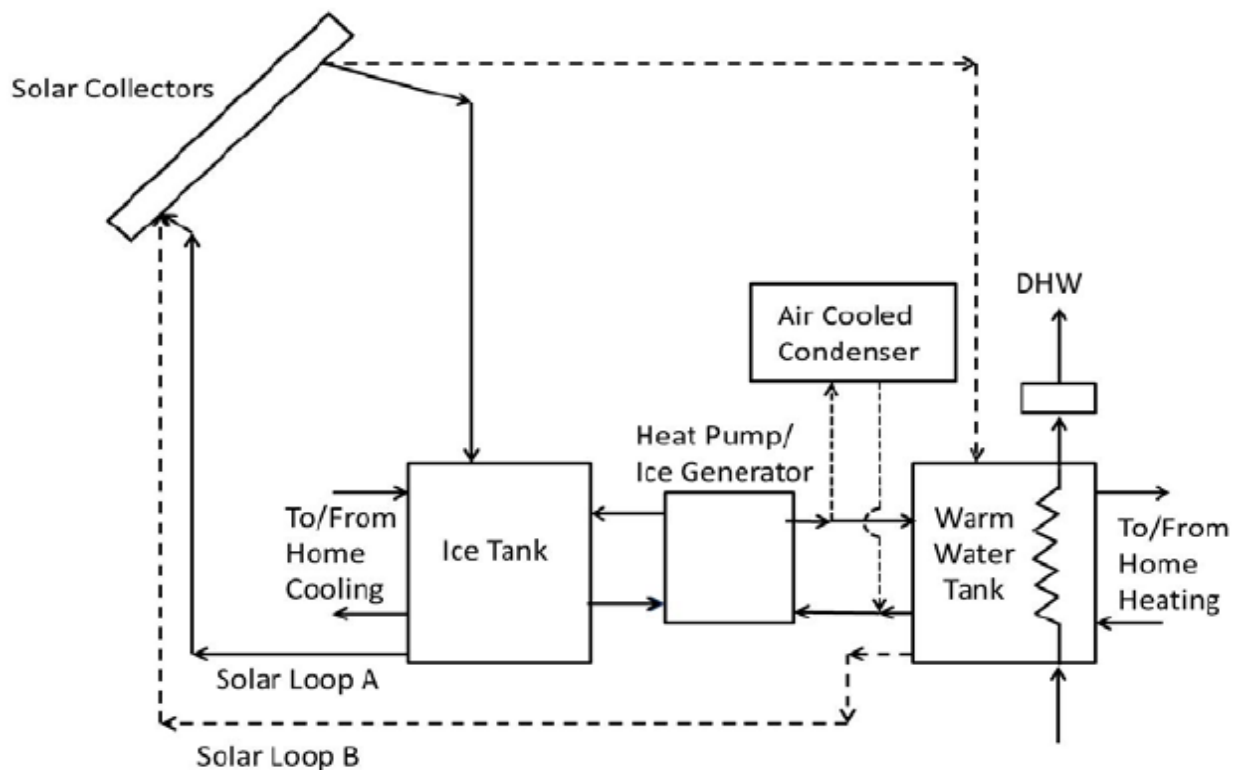
- **Υβριδικά Συστήματα**

Τα υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν πολλούς διαφορετικούς γεωθερμικούς πόρους ή συνδυασμό γεωθερμικού πόρου με εξωτερικό αέρα (δηλ. έναν πύργο ψύξης), είναι μια άλλη τεχνολογική επιλογή. Οι υβριδικές προσεγγίσεις είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές όπου οι ανάγκες ψύξης είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις ανάγκες θέρμανσης. Όπου το επιτρέπει η τοπική γεωλογία, το "πηγάδι όρθιας στήλης" είναι μια άλλη επιλογή. Σε αυτή την παραλλαγή ενός συστήματος ανοιχτού βρόχου, ανοίγονται ένα ή περισσότερα βαθιά κατακόρυφα φρεάτια. Το νερό αντλείται από το κάτω μέρος μιας στήλης που στέκεται και επιστρέφει στην κορυφή. Κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής, το σύστημα μπορεί να εξαerώσει ένα μέρος του νερού που επιστρέφει αντί να το επανεισάγει όλο, προκαλώντας εισροή νερού στη στήλη από τον περιβάλλοντα υδροφόρο ορίζοντα. Ο κύκλος εξαέρωσης ψύχει τη στήλη κατά την απόρριψη θερμότητας, τη θερμαίνει κατά την εξαγωγή θερμότητας και μειώνει το απαιτούμενο βάθος διάτρησης.

2.2.2.3 Ηλιακές Αντλίες Θερμότητας

Η ηλιακή αντλία θερμότητας (solar-assisted heat pump - SAHP) (Σχήμα 22) είναι μια μηχανή που αντιπροσωπεύει την ενοποίηση μιας αντλίας θερμότητας και των θερμικών ηλιακών συλλεκτών σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο σύστημα. Συνήθως αυτές οι δύο τεχνολογίες χρησιμοποιούνται χωριστά (ή τοποθετώντας τις μόνο παράλληλα) για την παραγωγή ζεστού νερού. Σε αυτό το σύστημα το ηλιακό θερμικό πάνελ εκτελεί τη λειτουργία της πηγής θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας και η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του εξατμιστή της αντλίας θερμότητας. Ο στόχος αυτού του συστήματος είναι να αποκτήσει υψηλό COP και στη συνέχεια να παράγει ενέργεια με πιο αποδοτικό και λιγότερο δαπανηρό τρόπο.

Είναι δυνατή η χρήση οποιουδήποτε τύπου ηλιακού θερμικού πάνελ ή υβριδικού (μονό/πολυκρυσταλλικό, λεπτό φιλμ) σε συνδυασμό με την αντλία θερμότητας. Η χρήση υβριδικού πάνελ είναι προτιμότερη γιατί επιτρέπει την κάλυψη μέρους της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της αντλίας θερμότητας και τη μείωση της κατανάλωσης ισχύος και κατά συνέπεια του μεταβλητού κόστους του συστήματος.



Σχήμα 22. Σχηματική αναπαράσταση συστήματος ηλιακής αντλίας θερμότητας [19].

Η βελτιστοποίηση των συνθηκών λειτουργίας αυτού του συστήματος είναι το κύριο πρόβλημα, επειδή υπάρχουν δύο αντίθετες τάσεις στην απόδοση των δύο υποσυστημάτων: για παράδειγμα, μια μείωση της θερμοκρασίας εξάτμισης του ρευστού εργασίας προκαλεί αύξηση της θερμικής απόδοσης του ηλιακού πάνελ αλλά μείωση της απόδοσης της αντλίας θερμότητας, με μείωση του COP.

Ο στόχος για τη βελτιστοποίηση είναι συνήθως η ελαχιστοποίηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης της αντλίας θερμότητας ή της πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται από έναν βοηθητικό λέβητα που τροφοδοτεί το φορτίο που δεν καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές.

Υπάρχουν δύο πιθανές διαμορφώσεις αυτού του συστήματος, οι οποίες διακρίνονται από την παρουσία ή όχι ενός ενδιάμεσου ρευστού που μεταφέρει τη θερμότητα από τον πίνακα στην αντλία θερμότητας. Οι μηχανές που ονομάζονται έμμεσης διαστολής χρησιμοποιούν κυρίως νερό ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας, αναμεμιγμένο με ένα αντιψυκτικό υγρό (συνήθως γλυκόλη) για την αποφυγή φαινομένων σχηματισμού πάγου κατά τη χειμερινή περίοδο. Τα μηχανήματα που ονομάζονται άμεσης διαστολής τοποθετούν το ψυκτικό υγρό απευθείας μέσα στο υδραυλικό κύκλωμα του θερμικού πίνακα, όπου λαμβάνει χώρα η μετάβαση φάσης. Αυτή η δεύτερη διαμόρφωση, παρόλο που είναι πιο περίπλοκη από τεχνική άποψη, έχει πολλά πλεονεκτήματα. Αυτά είναι:

- Η καλύτερη μεταφορά της θερμότητας που παράγεται από το θερμικό πάνελ στο ρευστό εργασίας που συνεπάγεται μεγαλύτερη θερμική απόδοση του ατμοποιητή, που συνδέεται με την απουσία ενός ενδιάμεσου ρευστού.
- Η παρουσία εξατμιζόμενου ρευστού επιτρέπει ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στο θερμικό πάνελ με επακόλουθη αύξηση της θερμικής απόδοσης (σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας του ηλιακού πάνελ, η τοπική θερμική απόδοση μειώνεται από την είσοδο στην έξοδο του ρευστού επειδή αυξάνεται η θερμοκρασία του ρευστού).
- Η χρήση υβριδικού ηλιακού πάνελ, εκτός από το πλεονέκτημα που αναφέρθηκε στο προηγούμενο σημείο, αυξάνει και την ηλεκτρική απόδοση του πάνελ.



Σχήμα 23. Εγκατάσταση ηλιακής αντλίας θερμότητας [20].

Σε γενικές γραμμές, η χρήση αυτού του ολοκληρωμένου συστήματος (Σχήμα 23) είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να χρησιμοποιηθεί η θερμότητα που παράγεται από τα θερμικά πάνελ τη χειμερινή περίοδο, κάτι που κανονικά δεν θα μπορούσε να αξιοποιηθεί επειδή η θερμοκρασία του είναι πολύ χαμηλή.

Σε σύγκριση με τη χρήση μόνο αντλίας θερμότητας, είναι δυνατό να μειωθεί η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από το μηχάνημα κατά την εξέλιξη του καιρού από τη χειμερινή περίοδο έως την άνοιξη και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν μόνο θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες για την παραγωγή όλης της απαιτούμενης θερμότητας (μόνο σε περίπτωση μηχανής έμμεσης διαστολής), εξοικονομώντας έτσι κόστος.

Σε σύγκριση με ένα σύστημα με μόνο θερμικά πάνελ, είναι δυνατό να παρέχεται μεγαλύτερο μέρος της απαιτούμενης χειμερινής θέρμανσης με χρήση μη ορυκτών πηγών ενέργειας.

Σε σύγκριση με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι δεν απαιτείται η εγκατάσταση πεδίου σωληνώσεων στο έδαφος, γεγονός που οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος επένδυσης (η γεώτρηση αντιπροσωπεύει περίπου το 50% του κόστους ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας) και σε μεγαλύτερη ευελιξία εγκατάστασης του μηχανήματος, ακόμη και σε χώρους στους οποίους υπάρχει περιορισμένος διαθέσιμος χώρος. Επιπλέον, δεν υπάρχουν κίνδυνοι που να σχετίζονται με πιθανή θερμική εξαθλίωση του εδάφους.

Ομοίως με τις αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα, η απόδοση της αντλίας θερμότητας με ηλιακή βοήθεια επηρεάζεται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, αν και αυτή η επίδραση είναι λιγότερο σημαντική. Η απόδοση της αντλίας θερμότητας με τη βοήθεια ηλιακής ενέργειας γενικά επηρεάζεται από τη μεταβαλλόμενη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και όχι από την ταλάντωση της θερμοκρασίας του αέρα. Αυτό παράγει μεγαλύτερο SCOP (Seasonal COP). Επιπλέον, η θερμοκρασία εξάτμισης του ρευστού εργασίας είναι υψηλότερη από ό,τι στις αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα, επομένως γενικά ο συντελεστής απόδοσης είναι σημαντικά υψηλότερος.

Γενικά, η εξάτμιση σε μια αντλία θερμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασίες κάτω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε αυτή την κατάσταση, οι θερμικές απώλειες των πάνελ προς το περιβάλλον γίνονται πρόσθετη διαθέσιμη ενέργεια στην αντλία θερμότητας. Σε αυτή την περίπτωση είναι πιθανό η θερμική απόδοση των ηλιακών συλλεκτών να είναι μεγαλύτερη από 100%.

Μια άλλη ελεύθερη συνεισφορά σε αυτές τις συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας σχετίζεται με την πιθανότητα συμπύκνωσης υδρατμών στην επιφάνεια των πάνελ, η οποία παρέχει πρόσθετη θερμότητα στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας (κανονικά είναι ένα μικρό μέρος της συνολικής θερμότητας που συλλέγεται από τα πάνελ), δηλαδή ίση με τη λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης.

Η απλή διαμόρφωση της ηλιακής αντλίας θερμότητας φέρει μόνο ηλιακά πάνελ ως πηγή θερμότητας για τον εξατμιστή. Μπορεί επίσης να υπάρχει διαμόρφωση με πρόσθετη πηγή θερμότητας. Στόχος είναι να έχουμε περαιτέρω πλεονεκτήματα στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά, από την άλλη πλευρά, η διαχείριση και η βελτιστοποίηση του συστήματος γίνονται πιο περίπλοκες.

Η γεωθερμική-ηλιακή διαμόρφωση επιτρέπει τη μείωση του μεγέθους του πεδίου σωληνώσεων (και τη μείωση της επένδυσης) και την αναγέννηση του εδάφους κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μέσω της θερμότητας που συλλέγεται από τα θερμικά πάνελ.

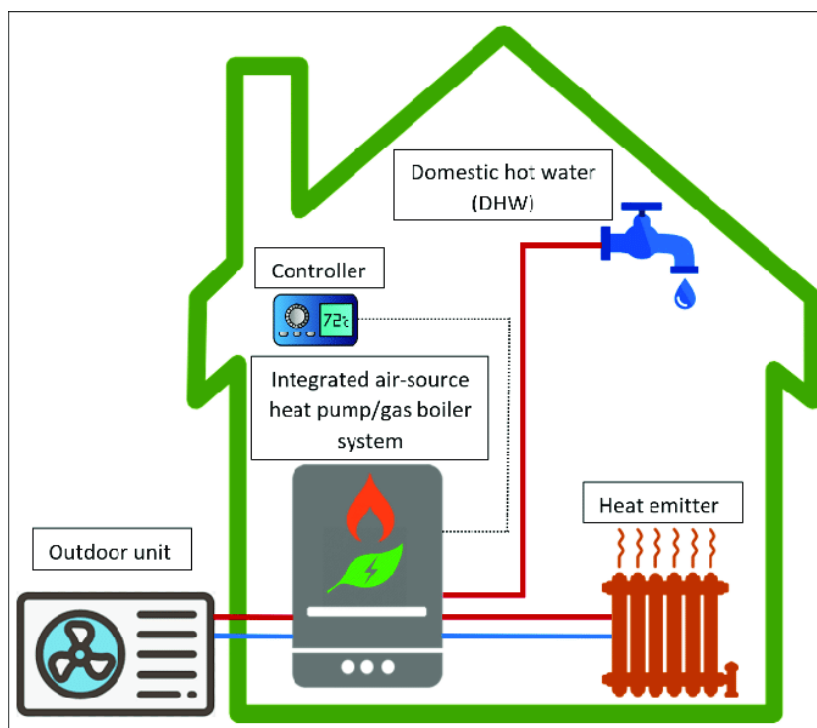
Η δομή αέρα – ήλιου επιτρέπει μια αποδεκτή εισροή θερμότητας και κατά τις συννεφιασμένες μέρες, διατηρώντας τη συμπαγή λειτουργία του συστήματος και την ευκολία εγκατάστασης του. Όπως και στα κανονικά κλιματιστικά, ένα από τα ζητήματα είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας εξάτμισης σε υψηλά επίπεδα, ειδικά όταν το φως του ήλιου έχει χαμηλή ισχύ και η ροή αέρα του περιβάλλοντος είναι εξίσου χαμηλή.

2.2.2.4 Υβριδικές Αντλίες Θερμότητας

Ο όρος «υβριδική αντλία θερμότητας» αναφέρεται σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί μια αντλία θερμότητας παράλληλα με μια άλλη πηγή θερμότητας. Συνήθως, περιγράφει την τοποθέτηση μιας αντλίας θερμότητας μαζί με έναν λέβητα ορυκτών καυσίμων (αέριο, πετρέλαιο ή LPG).

Μια υβριδική αντλία θερμότητας είναι ένα σύστημα θέρμανσης που συνδυάζει μια αντλία θερμότητας πηγής αέρα με έναν λέβητα αερίου ή πετρελαίου (Σχήμα 24). Ο λέβητας πετρελαίου ή αερίου χρησιμοποιείται για να «συμπληρώσει» μια αντλία θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας, δηλαδή για να καλύψει τις απαιτήσεις θέρμανσης του ακινήτου, όπου η αντλία θερμότητας δεν μπορεί να το κάνει μόνη της. Τα ειδικά σχεδιασμένα υβριδικά συστήματα μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να ελέγχουν ποια πηγή θερμότητας ενεργοποιείται και τότε, ανάλογα με τους στόχους απόδοσης ή ενεργειακού κόστους.

Οι περισσότερες αντλίες θερμότητας πηγών αέρα λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα συστήματα θέρμανσης με αέριο ή πετρέλαιο. συνήθως 40-45 °C σε σύγκριση με 65-75 °C από συστήματα ορυκτών καυσίμων.



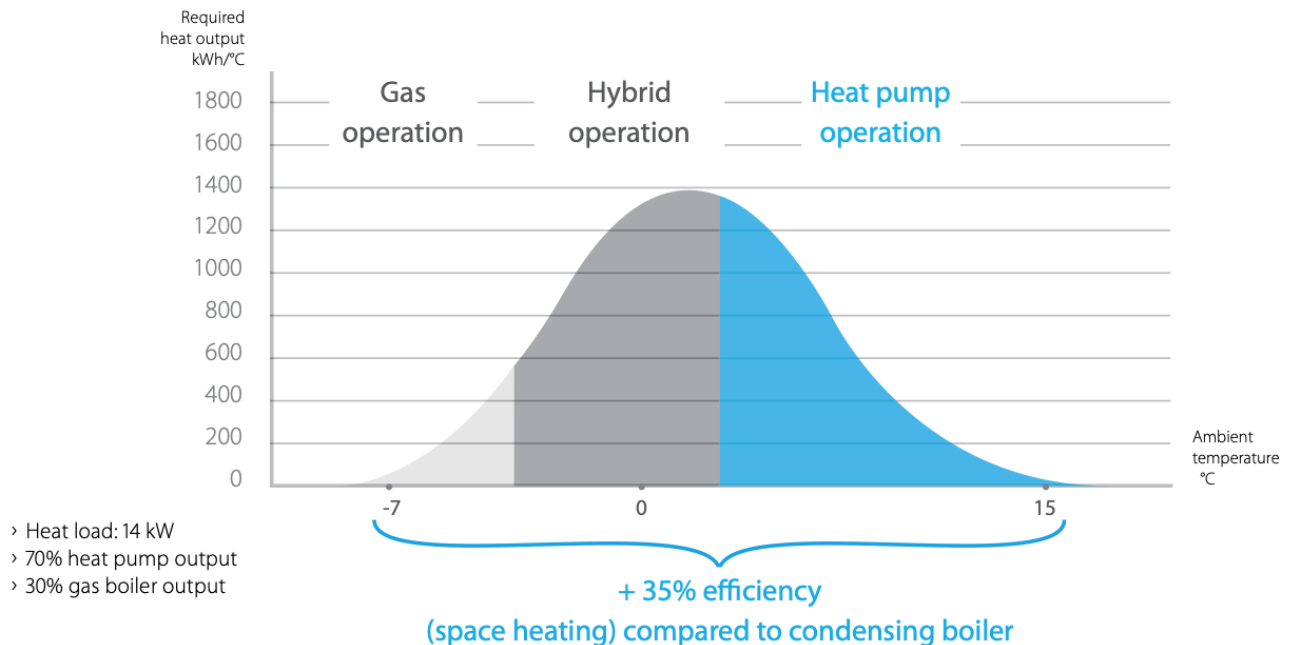
Σχήμα 24. Σχηματική αναπαράσταση συστήματος υβριδικής αντλίας θερμότητας [21].

Με απουσία κατάλληλης μόνωσης των υπάρχουσων κατοικιών ή την αναβάθμιση των καλοριφέρ για να λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα χαμηλής θερμοκρασίας είναι ακατάλληλες για τις υπάρχουσες ιδιοκτησίες. Ορισμένοι κατασκευαστές παράγουν αντλίες θερμότητας που μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες 65 °C, αλλά η απόδοση πέφτει. Κοινό χαρακτηριστικό των αντλιών θερμότητας που τοποθετήθηκαν λανθασμένα σε παλαιότερα σπίτια, είναι το ότι δεν μπορούν να θερμάνουν επαρκώς τον εκάστοτε χώρο, με ταυτόχρονο μειονέκτημά τους την αύξηση των λογαριασμών του ρεύματος.

Οι υβριδικές αντλίες θερμότητας αφήνουν την αντλία θερμότητας να λειτουργεί στην ιδανική και αποδοτική θερμοκρασία των 40 °C, η οποία θα παρέχει επαρκή θερμότητα για μεγάλο μέρος του έτους. Καθώς οι εξωτερικές θερμοκρασίες πέφτουν και όταν χρησιμοποιείται ζεστό νερό, ο λέβητας αερίου ή λαδιού μπορεί να παρέμβει για να ανεβάσει την εύκρατη θερμοκρασία του νερού.

Ένας αριθμός δοκιμών υβριδικών αντλιών θερμότητας έχουν πραγματοποιηθεί σε υπάρχοντα σπίτια για να κατανοηθεί καλύτερα η συμβολή μιας αντλίας θερμότητας σε ένα σύστημα θέρμανσης (Σχήμα 25). Τα αποτελέσματα διέφεραν πολύ, αφού οι αντλίες θερμότητας παρείχαν μεταξύ 50% και 80% των παροχών θέρμανσης και του ζεστού νερού σε ένα ικανοποιητικό δείγμα σπιτιών.

Illustration of an average European climate



Σχήμα 25. Λειτουργία μόνο του λέβητα, υβριδική λειτουργία και λειτουργία της αντλίας θερμότητας, σε ένα εύρος θερμοκρασιών, για ένα μέσο ευρωπαϊκό κλίμα [22].

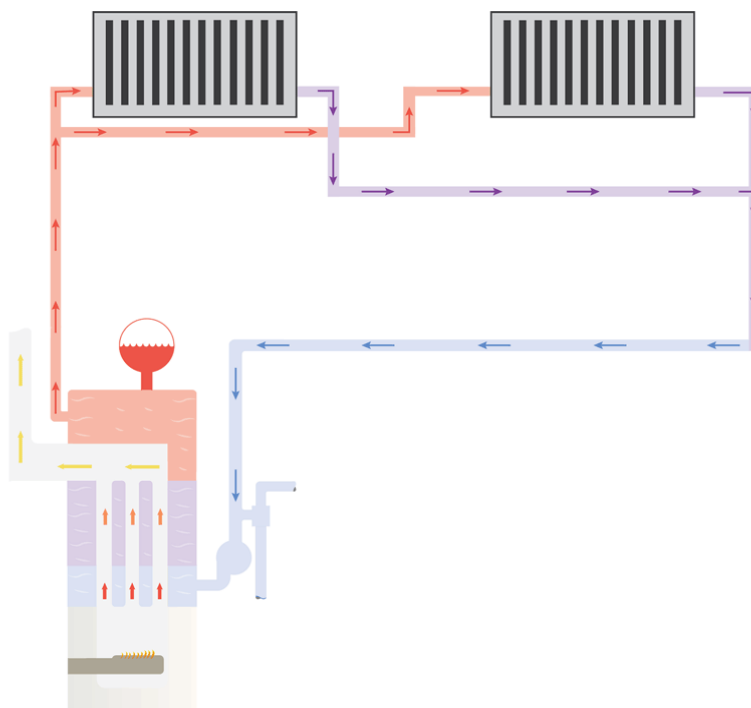
Ένα υβριδικό σύστημα είναι μια ειδικά κατασκευασμένη συνδυασμένη αντλία θερμότητας με λέβητα πετρελαίου ή αερίου από τον ίδιο κατασκευαστή. Σε αυτήν τη ρύθμιση, η αντλία θερμότητας μπορεί να λειτουργεί όλο ή τον περισσότερο χρόνο και ο λέβητας αερίου ή πετρελαίου την συμπληρώνει.

Ένα δισθενές σύστημα (bivalent system) είναι όταν οποιαδήποτε αντλία θερμότητας συνδυάζεται με οποιονδήποτε λέβητα αερίου ή λαδιού και συνδυάζεται μέσω μιας δεξαμενής αποθήκευσης. Αυτό σημαίνει ότι μπορείτε ενδεχομένως να εργαστείτε με τον υπάρχοντα λέβητα φυσικού αερίου ή πετρελαίου, εάν εξακολουθεί να είναι σε καλή κατάσταση. Σε αυτήν τη ρύθμιση, η αντλία θερμότητας θα λειτουργεί όσο το δυνατόν περισσότερο όταν μπορεί να καλύψει τη ζήτηση των καταναλωτών. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία πέσει κάτω από ένα ορισμένο σημείο, η αντλία θερμότητας θα σβήσει και ο λέβητας θα ανάψει. Σε αυτή την περίπτωση δηλαδή τα δύο συστήματα δεν λειτουργούν ταυτόχρονα.

2.2.3 Λέβητες (Καυστήρες) – Boilers

2.2.3.1 Γενικά για τους Λέβητες

Οι λέβητες είναι υδρονικά συστήματα θέρμανσης, δηλαδή χρησιμοποιούν νερό για τη μεταφορά θερμότητας (Σχήμα 26). Αυτός ο τύπος συστήματος έχει πολλά πλεονεκτήματα, ένα από τα οποία είναι η διατήρηση σταθερών θερμοκρασιών. Οι λέβητες είναι επίσης συνήθως πιο αποδοτικοί από τα συστήματα εξαναγκασμένου αέρα και δεν απαιτούν αγωγούς. Αυτό με τη σειρά του εμποδίζει τη μετάδοση της σκόνης, των αλλεργιογόνων και της μούχλας στον αέρα του σπιτιού μέσω του αγωγού.



Σχήμα 26. Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας Boiler [23].

Το boiler του λεβητοστασίου ουσιαστικά είναι ένας λέβητας για θέρμανση νερού από τη θέρμανση του καλοριφέρ. Το ζεστό νερό του καλοριφέρ περνάει μέσα από σωληνώσεις που βρίσκονται εσωτερικά του boiler και θερμαίνουν το νερό που βρίσκεται εκεί. Οι σωληνώσεις αυτές δηλαδή, είναι βουτηγμένες μέσα στο νερό του boiler και το ζεσταίνουν. Πρόκειται δηλαδή για ένα εναλλάκτη θερμότητας. Υπάρχει περίπτωση σε ένα boiler να θερμαίνεται το νερό με περισσότερους από έναν τρόπους εναλλακτικά. Αν το νερό του boiler θερμαίνεται από το λέβητα του καλοριφέρ και το ηλεκτρικό ρεύμα, τότε λέγεται boiler διπλής ενέργειας. Αν χρησιμοποιείται επίσης και η ηλιακή ενέργεια μέσω των ηλιακών συλλεκτών τότε ονομάζεται boiler τριπλής ενέργειας.

Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη της τοποθέτησης boiler στο σπίτι ή σε έναν επαγγελματικό χώρο, είναι το γεγονός ότι μπορεί να παρέχει ζεστό νερό ανά πάσα στιγμή, εξοικονομώντας ενέργεια καθώς αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια (εάν είναι τριπλής ενεργείας) αλλά και το ζεστό νερό από τη λειτουργία του λέβητα. Με αυτό τον τρόπο καλύπτονται οι θερμικές ανάγκες πολύ οικονομικότερα καθώς εξοικονομούνται πολλά χρήματα σε σχέση με την λειτουργία του απλού θερμοσίφωνα για να θέρμανσή του νερού.

Με απλά λόγια χρησιμοποιείται το νερό του λέβητα που έχει ζεσταθεί με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Το πετρέλαιο αλλά και το φυσικό αέριο είναι πολύ πιο φθηνά από το ηλεκτρικό ρεύμα. Εκεί έγκειται και η επιτυχία της χρήσης του boiler.

2.2.3.2 Είδη λεβήτων

- **Heat Only Λέβητες /συμβατικοί λέβητες**

Οι Heat Only λέβητες είναι η παραδοσιακή μορφή οικιακής θέρμανσης. Λειτουργούν με μια πρόσθετη δεξαμενή κρύου νερού και έναν κύλινδρο ζεστού νερού για αποθήκευση του.

Αυτά τα συστήματα είναι κατασκευασμένα με δεξαμενή τροφοδοσίας και διαστολής, η οποία φέρνει κρύο νερό για τη ρύθμιση της στάθμης του νερού. Αυτή η δεξαμενή βοηθά στην αντιμετώπιση της διαστολής που συμβαίνει όταν το νερό θερμαίνεται και επίσης αντικαθιστά οποιοδήποτε νερό που χάνεται λόγω εξάτμισης ή διαρροής.

Η δεξαμενή κρύου νερού γεμίζει με νερό. Μόλις ανάψει ο λέβητας, θα στείλει ζεστό νερό είτε στον κύλινδρο ζεστού νερού είτε στα καλοριφέρ.

Αυτοί οι συμβατικοί λέβητες μπορούν επίσης να εξοπλιστούν με εφεδρικό θερμοαντήρα εμβάπτισης για να παρέχεται πρόσβαση σε ζεστό νερό σε περίπτωση βλάβης του λέβητα.

Οι λέβητες αυτού του είδους, παράγουν μόνο θερμότητα, όπως υποδηλώνει το όνομα. Αυτό σημαίνει ότι δεν παρέχουν ζεστό νερό, αλλά είναι πολύ πιο αποτελεσματικοί στο να διατηρούν ένα δωμάτιο ζεστό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ενώ δεν διαθέτουν τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος θέρμανσης νερού, μερικές φορές αποκαλούνται "κανονικός λέβητας" καθώς είναι γενικά απλούστεροι από άλλους τύπους.

Αυτοί οι λέβητες ονομάζονται μερικές φορές σχέδια "συμβατικού λέβητα" ή "κανονικού λέβητα".

- **Λέβητες Combi**

Οι λέβητες Combi παρέχουν τόσο θέρμανση όσο και ζεστό νερό χωρίς πρόσθετες δεξαμενές ή κύλινδρους. Έχουν δύο ανεξάρτητους εναλλάκτες θερμότητας – έναν που συνδέεται με τα καλοριφέρ και έναν που συνδέεται με την παροχή ζεστού νερού.

Καθώς δεν απαιτούνται δεξαμενές ή κύλινδροι νερού, οι λέβητες combi βρίσκονται συνεχώς σε κατάσταση αναμονής για παροχή ζεστού νερού κατά παραγγελία. Μόλις γίνει αίτημα για ζεστό νερό ή θέρμανση, αυτοί οι λέβητες θα καίνε καύσιμο το οποίο στη συνέχεια αναγκάζει τον εναλλάκτη θερμότητας να θερμάνει το νερό.

Τα συστήματα λέβητα Combi είναι κατασκευασμένα με βαλβίδες ελέγχου που λειτουργούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις ανάλογα με το εάν απαιτείται ζεστό νερό ή θέρμανση – επομένως δεν μπορούν να παρέχουν και τα δύο ταυτόχρονα.

- **Λέβητες συστήματος**

Οι λέβητες συστήματος παρέχουν θέρμανση και ζεστό νερό χρησιμοποιώντας έναν πρόσθετο κύλινδρο ζεστού νερού. Τα περισσότερα από τα κύρια εξαρτήματα θέρμανσης είναι ήδη ενσωματωμένα, επομένως δεν απαιτούν δεξαμενές αποθήκευσης. Λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο όπως οι λέβητες μόνο θερμότητας, ωστόσο απαιτούν λιγότερα πρόσθετα εξαρτήματα.

Οι λέβητες συστήματος είναι στεγανοποιημένα συστήματα υπό πίεση. Το κρύο νερό προέρχεται απευθείας από την παροχή νερού χρησιμοποιώντας μηχανισμό πλήρωσης. Αυτό το νερό θερμαίνεται και αποστέλλεται είτε στον κύλινδρο ζεστού νερού όπου αποθηκεύεται είτε στα καλοριφέρ. Όταν απαιτείται ζεστό νερό, το σύστημα θα το στείλει στις βρύσες του κτιρίου.

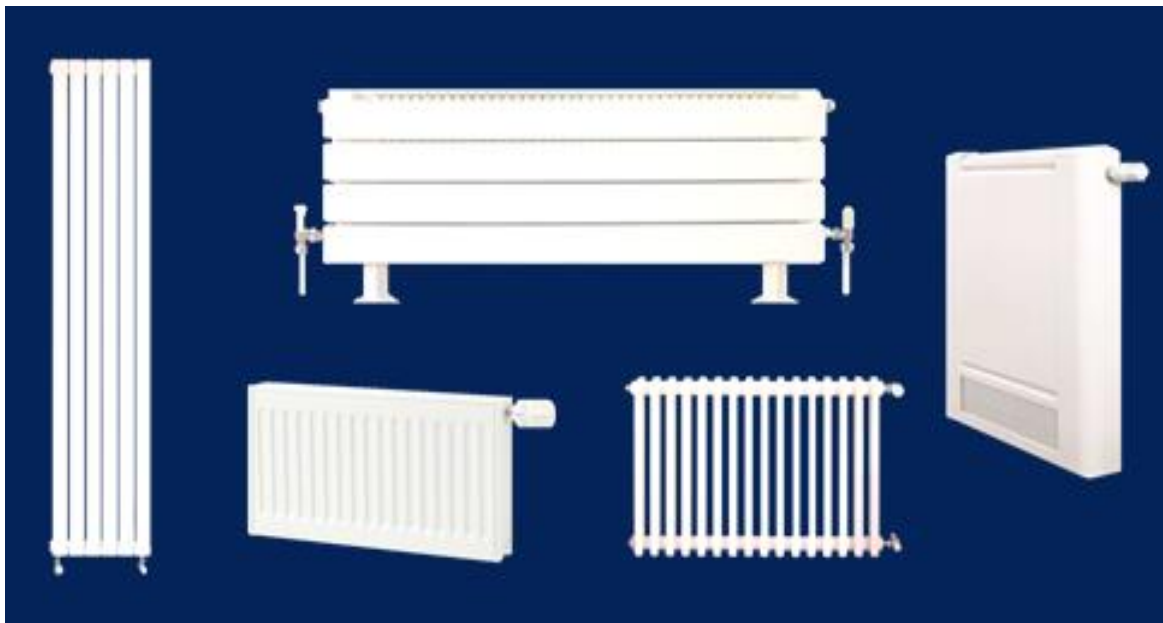
2.2.3.3 Καλοριφέρ

Το ζεστό νερό ή ο ατμός, που θερμαίνεται στον λέβητα, οδηγείται μέσω σωληνώσεων στα καλοριφέρ, τα οποία αποτελούν το μέσο θέρμανσης του περιβάλλοντα χώρου, και τα οποία κυκλοφορούν στο εμπόριο σε διάφορους τύπους όπως φαίνεται και στο Σχήμα 27.

Τα καλοριφέρ λειτουργούν αντλώντας θερμότητα από νερό ή ατμό και χρησιμοποιούν αυτή τη θερμότητα για να ζεστάνουν τον περιβάλλοντα αέρα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τη θέρμανση ενός δωματίου.

Είναι κατασκευασμένα από μέταλλο γιατί είναι εξαιρετικός αγωγός της θερμότητας. Ζεστό νερό ή ατμός ταξιδεύει μέσα από το ψυγείο και τα εξωτερικά πτερύγια θερμαίνονται φυσικά με την πάροδο του χρόνου. Καθώς αυτά τα πτερύγια θερμαίνονται, θερμαίνεται και ο περιβάλλοντας αέρας.

Ο σχεδιασμός τους με τα πολλά φύλλα οφείλεται στην προσπάθεια αύξησης της επιφάνειας συναγωγής με τον αέρα του περιβάλλοντος, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή μετάδοση θερμότητας. Θα μπορούσε να αναφερθεί ότι μοιάζει πολύ με έναν πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας.



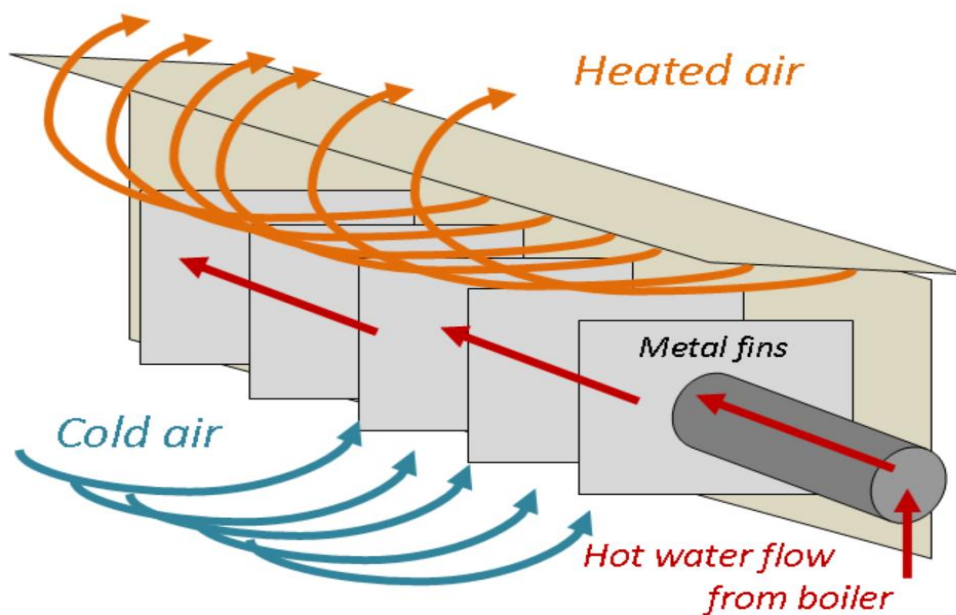
Σχήμα 27. Διάφοροι τύποι καλοριφέρ [24].

Τα καλοριφέρ είναι ένας από τους παλαιότερους και πιο αποτελεσματικούς τρόπους θέρμανσης ενός σπιτιού. Εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε κτίρια σε όλο τον κόσμο σήμερα και υπάρχουν μόνο μερικές πιο αποτελεσματικές επιλογές στις οποίες μπορεί κάποιος να βασιστεί. Εξακολουθούν να είναι επιθυμητά λόγω της απλότητάς τους και της ικανότητάς τους να θερμαίνουν έναν χώρο ομοιόμορφα και άνετα. Για να αξιοποιηθεί στο έπακρο το σύστημα θέρμανσης του καλοριφέρ ή για να αποφασιστεί εάν τα καλοριφέρ είναι η σωστή επιλογή για ένα ορισμένο χώρο, είναι σημαντικό να γνωστοποιηθεί ο τρόπος λειτουργίας τους. (Σχήμα 28).

Είναι ασυνήθιστο για ένα καλοριφέρ οικιακής θέρμανσης να έχει οποιοδήποτε είδος ανεμιστήρα επειδή απλά δεν χρειάζεται. Καθώς ο αέρας που περιβάλλει το ψυγείο θερμαίνεται, ανεβαίνει και απομακρύνεται και νέος ψυχρότερος αέρας μπαίνει για να πάρει τη θέση του. Ένα περιστροφικό ρεύμα αέρα σχηματίζεται γύρω από το ψυγείο προκαλώντας σιγά σιγά τη θέρμανση του αέρα του δωματίου.

Τα θερμαντικά σώματα ατμού συνδέονται με ένα λέβητα με σκοπό τη θέρμανση του νερού. Ο λέβητας ζεσταίνει το νερό μέχρι να γίνει ατμός. Στη συνέχεια, ο ατμός ταξιδεύει προς τα πάνω μέσω του κατακόρυφου σωλήνα στο ψυγείο όπου η θερμική ενέργεια εκπέμπεται μέσω των πτερυγίων. Καθώς η θερμότητα χάνεται από τον ατμό, αρχίζει σιγά-σιγά να μετατρέπεται ξανά σε νερό. Τελικά ο ατμός γίνεται νερό και ρέει πίσω στο λέβητα για θέρμανση ξανά.

Ο κύκλος θέρμανσης και ψύξης επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά για να διαχέεται θερμότητα στο υπόλοιπο σπίτι.



Σχήμα 28. Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας καλοριφέρ [25].

Τα θερμαντικά σώματα ζεστού νερού λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τα θερμαντικά σώματα ατμού, με την διαφορά ότι δεν έχουν την ιδιότητα της πίεσης που δημιουργείται από τον ατμό. Κάθε καλοριφέρ σε ένα σύστημα ζεστού νερού έχει είσοδο και έξοδο. Η είσοδος είναι για να μπαίνει ζεστό νερό και η έξοδος είναι για να αφήνει το νερό να βγει πίσω. Κατά τη λειτουργία του συστήματος, το νερό θερμαίνεται κάπου σε ένα θερμοσίφωνα. Γίνεται πολύ ζεστό, αλλά δεν φτάνει ποτέ να βράσει.

Αφού το νερό φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία, αντλείται από τη θερμάστρα και μέσω όλων των καλοριφέρ του σπιτιού. Καθώς το νερό περνά από κάθε καλοριφέρ χάνει μέρος της θερμότητάς του. Τελικά γίνεται πολύ δροσερό για να ζεστάνει αποτελεσματικά ένα καλοριφέρ και το επαναφέρει στη θερμάστρα για αναθέρμανση. Για να ζεσταθεί ένα σπίτι, ο κύκλος συμβαίνει κάθε φορά που χρειάζεται να αυξηθούν οι θερμοκρασίες. Ο θερμαντήρας και η αντλία συνδέονται συνήθως με έναν θερμοστάτη, ώστε να ξέρουν πότε να ξεκινήσουν. Αυτό διασφαλίζει ότι λειτουργούν μόνο όταν χρειάζεται να παρέχεται θερμότητα στο υπόλοιπο σπίτι.

Σε αντίθεση με άλλα συστήματα θέρμανσης, όπως τα συστήματα θέρμανσης εξαναγκασμένου αέρα, όπου η ισορροπία είναι ενσωματωμένη στον αρχικό σχεδιασμό της μονάδας, τα θερμαντικά σώματα πρέπει να είναι εξισορροπημένα για να έχουν ένα καλό επίπεδο απόδοσης θερμότητας από όλες τις μονάδες. Αυτή η ισορροπία επιτυγχάνεται ελέγχοντας πόσο γρήγορα μπορεί να ρέει ζεστό νερό μέσα από κάθε καλοριφέρ. Όσο πιο αργά το νερό ρέει μέσα από το ψυγείο, τόσο περισσότερη θερμότητα εκπέμπεται. Εάν ρέει μέσω του συστήματος γρηγορότερα, τότε λιγότερη θερμότητα εκπέμπεται από το νερό.

Τα καλοριφέρ που λειτουργούν σωστά θα εκπέμπουν περίπου 10 °C από το ένα άκρο στο άλλο. Η εξισορρόπηση του συστήματος είναι ζωτικής σημασίας στην προσπάθεια να επιτευχθεί ένας άνετος χώρος διαβίωσης.

2.2.3.4 Λέβητες Αερίου

Οι λέβητες αερίου όπως αυτός που απεικονίζεται στο Σχήμα 29, μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο φυσικού αερίου και να έχουν συνεχή παροχή καυσίμου ή μπορούν να έχουν φιάλες υγραερίου (LPG) που πρέπει να ξαναγεμίζονται περιοδικά. Κατά τη λειτουργία, μια βαλβίδα που είναι συνδεδεμένη με τον λέβητά σας ανοίγει και το αέριο εισέρχεται σε έναν σφραγισμένο θάλαμο καύσης, ένα σύστημα ηλεκτρικής ανάφλεξης ή σε μόνιμο πιλότο που στη συνέχεια αναφλέγεται για να κάψει αυτό το καύσιμο.

Οι θερμοί πίδακες που συνδέονται με έναν εναλλάκτη θερμότητας εντός του λέβητα μεταφέρουν θερμότητα στο νερό που ρέει πάνω από τον εναλλάκτη. Στη συνέχεια, μια ηλεκτρική αντλία σπρώχνει το ζεστό νερό στα καλοριφέρ αλλά και στις βρύσες.

Όλοι οι σύγχρονοι λέβητες φυσικού αερίου είναι λέβητες συμπύκνωσης. Είναι κατασκευασμένοι με διάταξη εναλλάκτη θερμότητας που αφαιρεί όσο το δυνατόν περισσότερη θερμότητα από τα καυσαέρια. Οι λέβητες συμπύκνωσης ανακυκλώνουν τη λανθάνουσα θερμότητα από τους υδρατμούς που παράγονται ως υποπροϊόν της διαδικασίας θέρμανσης. Αυτή η θερμότητα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη θέρμανση του νερού που επιστρέφει από το σύστημα κεντρικής θέρμανσης. Αυτά τα συστήματα συμβάλλουν έτσι στη μείωση της σπατάλης ενέργειας καθώς απαιτείται λιγότερη θερμική ενέργεια.



Σχήμα 29. Παράδειγμα λέβητα αερίου οικιακής χρήσης [26].

Σε έναν τυπικό λέβητα κεντρικής θέρμανσης αερίου υπάρχουν σωλήνες που εισέρχονται στον λέβητα από κάτω. Ο ένας είναι ο σωλήνας που τροφοδοτεί το αέριο από την κεντρική παροχή φυσικού αερίου στον λέβητα. Ένας άλλος σωλήνας επιτρέπει την είσοδο κρύου νερού στο λέβητα ώστε να μπορεί να θερμανθεί και ένας άλλος επιτρέπει την έξοδο ζεστού νερού από τον λέβητα ώστε να μπορεί να αντληθεί γύρω από το σπίτι.

Μέσα στο λέβητα βρίσκονται οι πίδακες καυσίμου και οι εναλλάκτες θερμότητας. Όταν ενεργοποιείται η θέρμανση, συνήθως μέσω του θερμοστάτη, ανοίγει μια βαλβίδα που επιτρέπει στο αέριο από την παροχή ρεύματος να εισέλθει στον σφραγισμένο θάλαμο καύσης μέσα στο λέβητα. Το αέριο εισέρχεται μέσω πολλών μικρών βαλβίδων και αναφλέγεται από έναν ηλεκτρικό διακόπτη ανάφλεξης δημιουργώντας μπλε φλόγες. Αυτοί οι πίδακες θερμαίνουν ένα μεταλλικό εξάρτημα στο λέβητα που ονομάζεται εναλλάκτης θερμότητας που μεταφέρει τη θερμότητα στον σωλήνα κρύου νερού. Αυτό μεταφέρει θερμότητα από τους πίδακες αερίου στο νερό και το θερμαίνει στους περίπου 60°C.

Μόλις το νερό θερμανθεί, μια ηλεκτρική αντλία που βρίσκεται είτε μέσα στο λέβητα είτε πολύ κοντά σε αυτόν θα το αντλήσει γύρω από ένα συνεχές κύκλωμα σωλήνα που τρέχει γύρω από το σπίτι και περνά μέσα από όλα τα καλοριφέρ.

Το ζεστό νερό εισέρχεται σε κάθε καλοριφέρ, ρέει γύρω από έναν κλειστό βρόχο, δηλαδή μπαίνει από τη μια πλευρά και φεύγει από την άλλη, εκπέμποντας θερμότητα στο δωμάτιο.

Όταν το νερό περάσει από όλα τα καλοριφέρ, επιστρέφει στο λέβητα. Μέχρι αυτή τη στιγμή έχει κρυώσει αρκετά, οπότε ο λέβητας θα επαναφέρει τους πίδακες αερίου για να ζεστάνει ξανά το νερό πριν το στείλει ξανά. Το ίδιο νερό θα κυκλοφορεί γύρω από το σπίτι καθημερινά μέχρι να αποστραγγιστεί το σύστημα από έναν επαγγελματία τεχνικό.

Ενώ ο λέβητας καίει αέριο παράγει απαέρια τα οποία πρέπει να απελευθερωθούν έξω από το σπίτι. Αυτό γίνεται μέσω ενός σωλήνα που ονομάζεται καπναγωγός.

2.2.3.5 Λέβητες Πετρελαίου

Ένας λέβητας πετρελαίου λειτουργεί με αρκετά παρόμοιο τρόπο με έναν λέβητα αερίου. Το καύσιμο, σε αυτήν την περίπτωση είναι το πετρέλαιο θέρμανσης, το οποίο αναφλέγεται στον θάλαμο καύσης και ένας εναλλάκτης θερμότητας θερμαίνει το κρύο νερό, είτε από το ηλεκτρικό δίκτυο σε ένα σύστημα combi είτε από μια δεξαμενή κρύου νερού σε ένα συμβατικό σύστημα. Το θερμαινόμενο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα καλοριφέρ, τις βρύσες και τα ντους για να παρέχει στο σπίτι θέρμανση και ζεστό νερό.

Ένας λέβητας πετρελαίου πρέπει να έχει την ίδια απόδοση με έναν λέβητα αερίου. Σύμφωνα με τους οικοδομικούς κανονισμούς, οι λέβητες πετρελαίου πρέπει να έχουν ενεργειακή βαθμολογία τουλάχιστον 86% ή A+. Ένας λέβητας συμπύκνωσης με καύση πετρελαίου, θα έχει συνήθως απόδοση 90% ή μεγαλύτερη. Το πετρέλαιο είναι πιο αποδοτικό καύσιμο από το αέριο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι λέβητες πετρελαίου χρησιμοποιούν σχεδόν όλη τη θερμότητα και το πρόσθετο αέριο που δημιουργείται από την καύση του καυσίμου, μετατρέποντάς το σε επιπλέον ενέργεια θέρμανσης, ώστε να υπάρχει λιγότερη σπατάλη. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει καλή απόδοση σε κάθε μονάδα ενέργειας. Φυσικά, αυτή η ελαφρά μεγαλύτερη απόδοση, ως επί το πλείστον, δεν είναι αρκετή για να υπερνικήσει το χαμηλότερο κόστος του αερίου, ενώ ταυτόχρονα το αέριο κρίνεται και πιο οικολογικό.



Σχήμα 30. Δεξαμενή πετρελαίου θέρμανσης οικιακή χρήσης [27].

Η κύρια διαφορά μεταξύ ενός λέβητα αερίου και πετρελαίου είναι ο τρόπος με τον οποίο οι συσκευές αποθηκεύουν τα καύσιμα τους. Ένας λέβητας αερίου δεν χρειάζεται να αποθηκεύει αέριο επειδή είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, πράγμα που σημαίνει ότι έχει σταθερή παροχή καυσίμου. Αντίθετα, ένας λέβητας πετρελαίου απαιτεί μια δεξαμενή για την αποθήκευση του πετρελαίου μέχρι να χρειαστεί η ανατροφοδότησή του (Σχήμα 30).

Η δεξαμενή πετρελαίου θα πρέπει να βρίσκεται στην ιδιοκτησία του σπιτιού και υπάρχουν ορισμένοι κανονισμοί εγκατάστασης που πρέπει να τηρούνται. Η βάση της δεξαμενής πρέπει να είναι αρκετά δυνατή ώστε να αντέχει το βάρος της δεξαμενής και του περιεχομένου της. Η δεξαμενή πρέπει να βρίσκεται σε συμπαγές έδαφος, είτε από σκυρόδεμα είτε σε πλάκες πεζοδρομίου πάχους τουλάχιστον 42 mm και που εκτείνονται τουλάχιστον 300 mm πέρα από την περίμετρο της δεξαμενής. Εάν η δεξαμενή βρίσκεται πολύ κοντά στο σπίτι, πρέπει να τοποθετηθεί ένας τοίχος πυροπροστασίας μεταξύ της δεξαμενής και του σπιτιού.

2.2.3.6 Λέβητες Pellet

Ο λέβητας pellet είναι ένα σύστημα θέρμανσης που καίει πέλλετ ξύλου, και μια τυποποιημένη μορφή τους παρουσιάζεται στο Σχήμα 31 και στο Σχήμα 32. Οι λέβητες αυτού του είδους χρησιμοποιούνται σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης για απαιτήσεις θερμότητας (φορτίο θέρμανσης) από 3,9 kW έως 1 MW ή περισσότερο. Τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης pellet χρησιμοποιούνται σε μονοκατοικίες και σε μεγαλύτερες οικιακές, εμπορικές ή ιδρυματικές εφαρμογές.

Τα συστήματα λέβητα pellet λειτουργούν πιο αποτελεσματικά με πλήρες φορτίο και συνήθως μπορούν να ρυθμιστούν στο 30% του πλήρους φορτίου. Δεδομένου ότι η φάση προθέρμανσης των λεβήτων pellet συνήθως διαρκεί περισσότερο από ότι για τα συστήματα καύσης πετρελαίου ή αερίου, οι φάσεις σύντομης καύσης έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση του καυσίμου. Προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση και να μειωθούν οι επιβλαβείς εκπομπές, οι λέβητες pellet συνήθως συνδυάζονται με συστήματα απομόνωσης, όπως μονωμένες δεξαμενές νερού.



Σχήμα 31. Λέβητας Pellet σε τομή [28].

Παρόμοια με τα συστήματα θέρμανσης με ροκανίδια ξύλου, το καύσιμο pellet παραδίδεται περιοδικά και αυτόματα από την αποθήκευση των pellet σε συσσωρευτή (για συστήματα κεντρικής θέρμανσης), ή τη δεξαμενή ημέρας (για μια σόμπα pellet) ανάλογα με τις ανάγκες του θαλάμου καύσης. Με τη θερμότητα που παράγεται από τα πέλλετ που καίγονται, το νερό του κυκλώματος θερμαίνεται στον λέβητα του πέλλετ. Η κατανομή θερμότητας είναι η ίδια όπως σε άλλα συστήματα, που χρησιμοποιούν νερό για τη διανομή θερμότητας. Σε αντίθεση με τα συστήματα θέρμανσης με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, τα συστήματα θέρμανσης pellet απαιτούν την ενσωμάτωση μιας δεξαμενής ζεστού νερού στο σύστημα θέρμανσης προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας.

Ο κλίβανος τροφοδοτείται αυτόματα με εύφλεκτο υλικό. Η τεχνολογία ελέγχου του συστήματος ρυθμίζει την εισαγωγή καυσίμου σταδιακά ώστε να ταιριάζει με την απαιτούμενη απόδοση θερμότητας. Ανάλογα με το συγκεκριμένο σύστημα, τα παρεχόμενα πέλλετ ξύλου αναφλέγονται αυτόματα είτε με φυσητήρες θερμού αέρα είτε από μόνιμη κλίση χόβολης στον θάλαμο καύσης. Τα συστήματα pellet είναι διαθέσιμα σε μεγάλη ποικιλία με κριτήριο την ισχύ τους, από μονούς φούρνους περίπου 3,9 kW μέχρι άλλους από 4 έως 20 KW.

Τα περισσότερα συστήματα που είναι διαθέσιμα σήμερα διαθέτουν έλεγχο ισχύος στην παροχή καυσίμου και αέρα καύσης, έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν με πλήρες φορτίο και με μερικό φορτίο.

Επί του παρόντος, οι λέβητες pellet επιτυγχάνουν απόδοση καύσης περίπου 85-95% σε πλήρες φορτίο (ονομαστική θερμική ισχύς) στη λειτουργία θερμικής ισχύος.

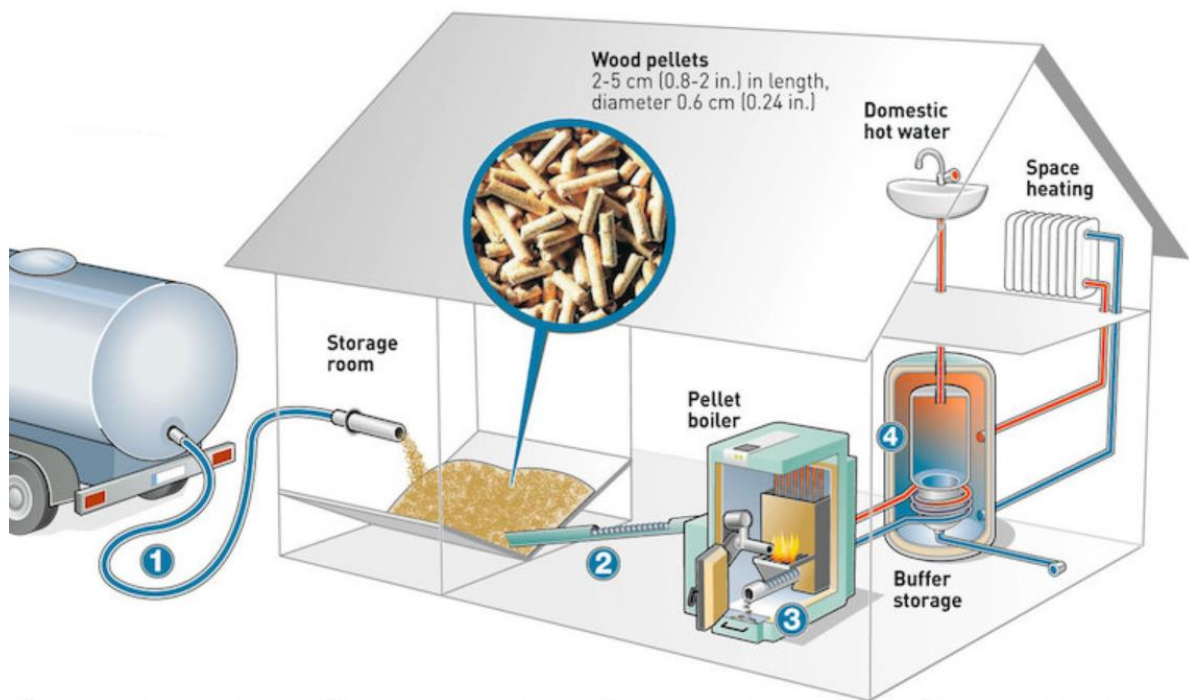
Με λίγες εξαιρέσεις, η απόδοση μειώνεται όταν ο λέβητας pellet λειτουργεί με μερικό φορτίο. Οι τεχνικές αποδόσεις θέρμανσης που περιγράφονται μπορεί να διαφέρουν πολύ από τις πραγματικές αποδόσεις της εγκατάστασης.



Σχήμα 32. Λέβητας Pellet [29].

Τα σφαιρίδια ξύλου αποθηκεύονται χύμα σε δεξαμενή ή αποθηκευτικό χώρο και παρέχονται στον καυστήρα μέσω ενός συστήματος μεταφοράς. Ο χώρος αποθήκευσης πρέπει να είναι στεγνός, καθώς τα pellets αντιδρούν υγροσκοπικά σε ασβεστώδεις τοίχους ή σε υψηλή υγρασία κατά την αποθήκευση με θρυμματισμό.

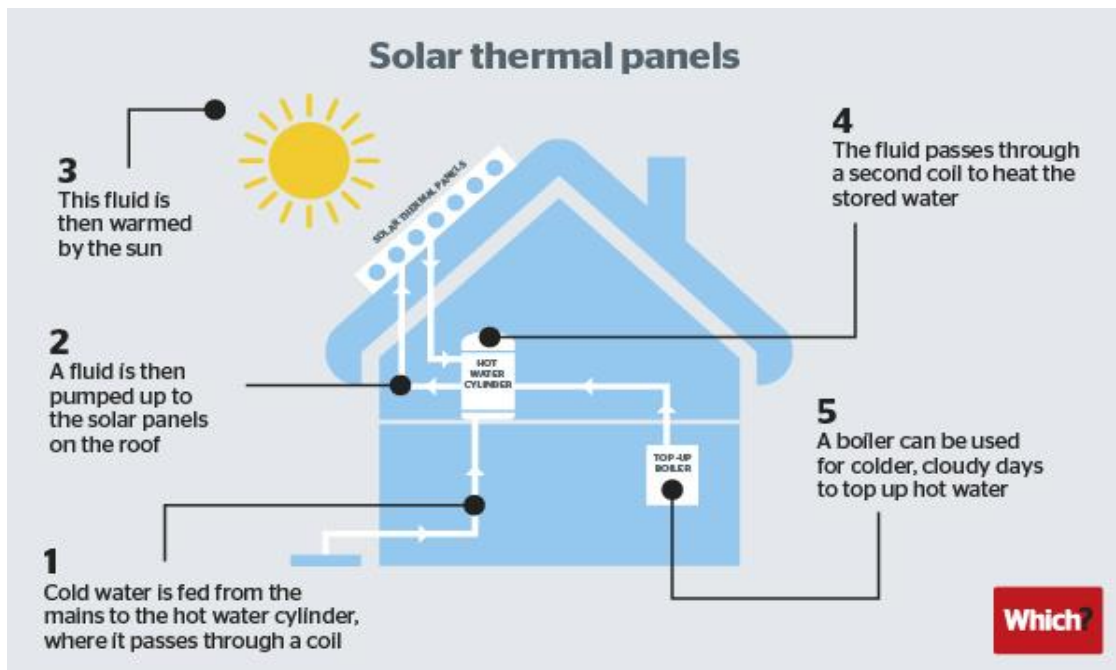
Σε σύγκριση με το πετρέλαιο, τα πέλλετ ξύλου απαιτούν περίπου τριπλάσιο όγκο αποθήκευσης, αν και με λιγότερη τεχνική προσπάθεια για το χώρο, καθώς σε αντίθεση με τα πέλλετ, τα λάδια θέρμανσης είναι ουσίες που ρυπαίνουν το νερό. Για αποθήκευση, τα pellets μπορούν να τοποθετηθούν σε έναν ενιαίο χώρο αποθήκευσης όπως φαίνεται και στο Σχήμα 33. Το δάπεδο πρέπει να έχει σχήμα χωνιού συνήθως κατασκευασμένο από ξύλο. Στο τέλος της χοάνης βρίσκεται η είσοδος για τον κοχλιωτό μεταφορέα ή τον σωλήνα εξαγωγής. Περισσότερες εξόδους στον αποθηκευτικό χώρο εξασφαλίζουν απρόσκοπτη λειτουργία ακόμα και σε περίπτωση προβλημάτων ενός από τα σημεία εξαγωγής. Εναλλακτικές λύσεις για μια αποθήκη είναι οι προκατασκευασμένες δεξαμενές από ύφασμα ή χάλυβα (συσσωρευτές). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν θαμμένες υπόγειες δεξαμενές ή ανεξάρτητα σιλό, εάν υπάρχει επαρκής χώρος στο κτίριο. Σε περιοχές με υψηλή υγρασία είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται στεγανά συστήματα δεξαμενής για να διασφαλίζεται η ποιότητα του καυσίμου pellet.



Σχήμα 33. Θέρμανση οικίας με λέβητα pellet [30].

2.2.3.7 Ηλεκτρικοί Λέβητες και Ηλιακοί Συλλέκτες

Τα ηλιακά θερμικά πάνελ χρησιμοποιούν θερμότητα από τον ήλιο για να θερμάνουν το υγρό που διέρχεται από αυτά, όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 34. Στη συνέχεια αυτό, χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού, το οποίο αποθηκεύεται σε έναν κύλινδρο ζεστού νερού. Ένας εμβαπτιζόμενος θερμαντήρας/κύλινδρος ζεστού νερού χωρίς αερισμό μπορεί να χρειαστεί ως εφεδρικός θερμαντήρας για να φτάσει το νερό στην επιθυμητή θερμοκρασία.



Σχήμα 34. Λειτουργία υδρονικού συστήματος θέρμανσης με ηλιακούς συλλέκτες [31].

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ηλιακών πάνελ θέρμανσης νερού – οι επίπεδες πλάκες και οι σωλήνες εκκένωσης (αναφερόμενος στον τρόπο αλληλεπίδρασης του νερού με το πάνελ). Οι σωλήνες εκκένωσης μοιάζουν με μια συστοιχία γυάλινων σωλήνων προσαρμοσμένων στην οροφή.

Τα συστήματα επίπεδης πλάκας μπορούν είτε να τοποθετηθούν στην οροφή είτε να ενσωματωθούν σε αυτήν (Σχήμα 35).

Τα συστήματα σωλήνων εκκένωσης είναι πιο αποτελεσματικά από τις εκδόσεις επίπεδης πλάκας, επομένως είναι συχνά μικρότερα αλλά εξακολουθούν να παράγουν την ίδια ποσότητα ζεστού νερού. Υπάρχουν επίσης συστήματα αποστράγγισης, τα οποία αποστραγγίζουν το νερό από το εσωτερικό του ηλιακού πάνελ όταν η αντλία είναι απενεργοποιημένη. Αυτό εμποδίζει το νερό να παγώσει ή να βράσει μέσα στο ηλιακό πάνελ.

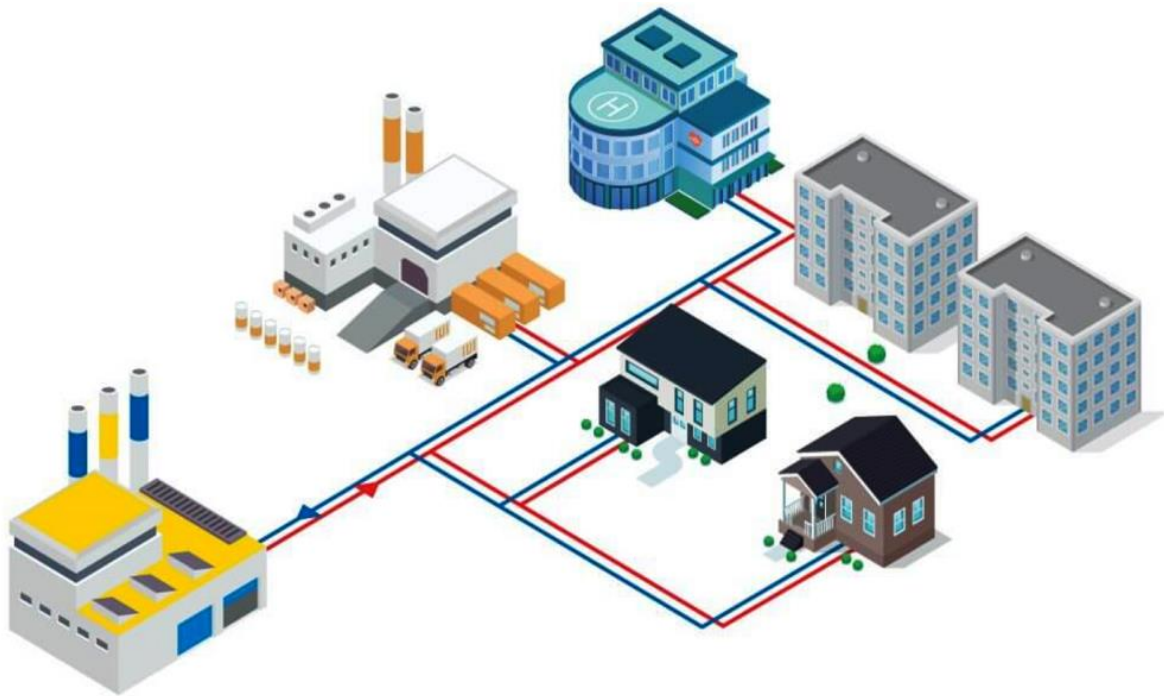


Σχήμα 35. Ηλιακός συλλέκτης για θέρμανση νερού [32].

2.2.4 Τηλεθέρμανση – District Heating

2.2.4.1 Γενικά για την Τηλεθέρμανση

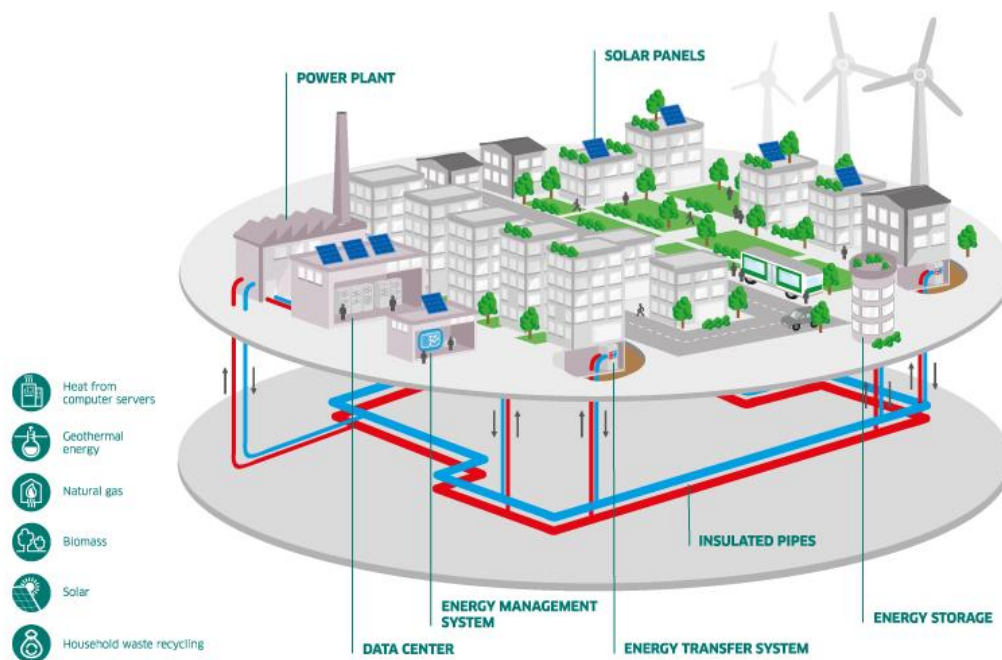
Η τηλεθέρμανση (Σχήμα 36) είναι ένα σύστημα για τη διανομή θερμότητας που παράγεται σε μια κεντρική τοποθεσία μέσω ενός συστήματος μονωμένων σωλήνων για οικιακές και εμπορικές απαιτήσεις θέρμανσης, όπως θέρμανση χώρων και θέρμανση νερού. Η θερμότητα λαμβάνεται συχνά από μια μονάδα συμπαραγωγής που καίει ορυκτά καύσιμα ή βιομάζα, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης σταθμοί λεβήτων, γεωθερμική θέρμανση, αντλίες θερμότητας και κεντρική ηλιακή θέρμανση, καθώς και απόβλητα θερμότητας από εργοστάσια και πυρηνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης μπορούν να παρέχουν υψηλότερη απόδοση και καλύτερο έλεγχο της ρύπανσης από τους τοπικούς λέβητες. Σύμφωνα με ορισμένες έρευνες, η τηλεθέρμανση με συνδυασμένη θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια (CHPDH) είναι η φθηνότερη μέθοδος μείωσης των εκπομπών άνθρακα και έχει ένα από τα χαμηλότερα αποτυπώματα άνθρακα από όλες τις μονάδες παραγωγής ορυκτών.



Σχήμα 36. Σχηματική αναπαράσταση τηλεθέρμανσης [33].

Τα δίκτυα τηλεθέρμανσης πέμπτης γενιάς (Σχήμα 37) δεν χρησιμοποιούν καύση επί τόπου και έχουν μηδενικές εκπομπές CO₂ και NO_x επί τόπου. Χρησιμοποιούν μεταφορά θερμότητας χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή από απομακρυσμένους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα. Ένας συνδυασμός ΣΗΘ (Συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας) και κεντρικών αντλιών θερμότητας χρησιμοποιείται στο πολυενεργειακό σύστημα της Στοκχόλμης. Αυτό επιτρέπει την παραγωγή θερμότητας μέσω ηλεκτρικής ενέργειας όταν υπάρχει αφθονία διακοπτόμενης παραγωγής ενέργειας και τη συμπαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεθέρμανσης όταν η διαθεσιμότητα διακοπτόμενης παραγωγής ενέργειας είναι χαμηλή.

Η τηλεθέρμανση κατατάσσεται στην 27η θέση στις 100 λύσεις του Project Drawdown για την υπερθέρμανση του πλανήτη.

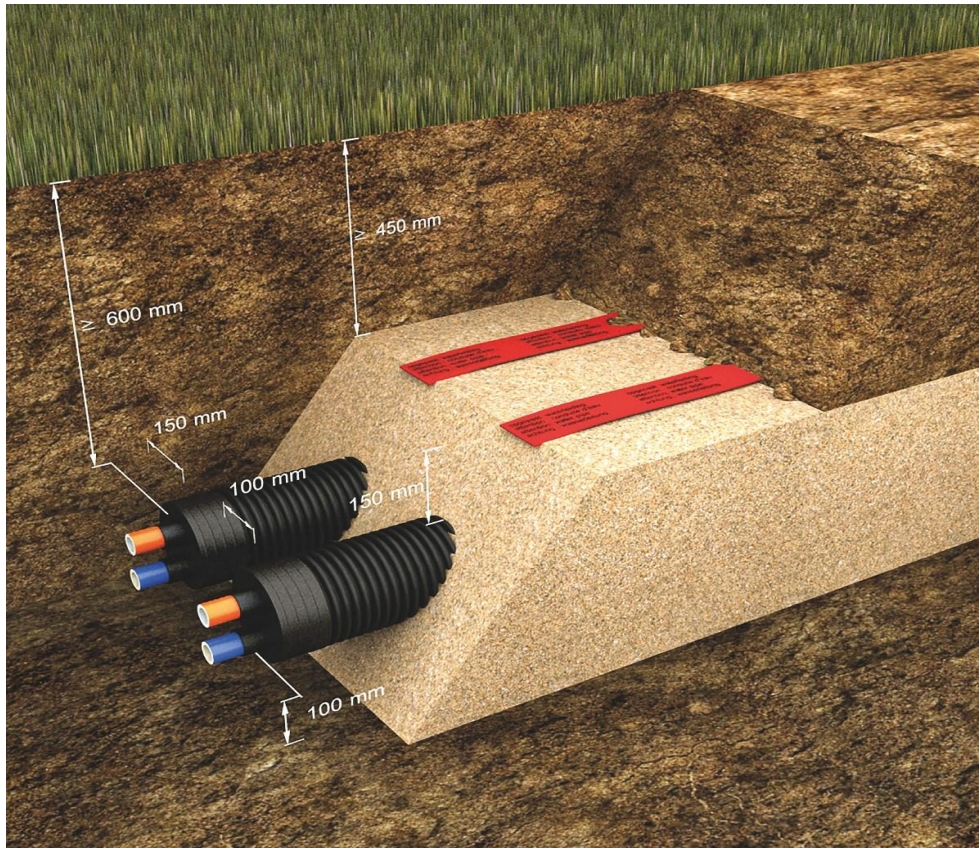


Σχήμα 37. Σύγχρονο δίκτυο και πηγές τηλεθέρμανσης [34].

Μέσω ενός σύγχρονου δικτύου σωληνώσεων για τηλεθέρμανση (Σχήμα 38), η μονάδα παραγωγής θερμότητας αντλεί θερμαινόμενο νερό παροχής στους καταναλωτές όπου χρησιμοποιείται ως θέρμανση δωματίου/δαπέδου και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το ζεστό νερό οικιακής χρήσης θερμαίνεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας στον οποίο το θερμαινόμενο νερό παροχής μεταφέρει τη θερμότητά του στο νερό που βγαίνει από τις βρύσες.

Για θέρμανση δωματίου, το νερό παροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας. Εναλλακτικά, ένας εναλλάκτης θερμότητας θα μπορούσε επίσης να μεταφέρει τη θερμότητα σε μια εσωτερική κυκλοφορία. Το νερό παροχής – το οποίο είναι πλέον κρύο επειδή η θερμότητα έχει μεταφερθεί στο ζεστό νερό οικιακής χρήσης και στη θέρμανση δωματίου – στη συνέχεια επιστρέφει στη μονάδα τηλεθέρμανσης. Το νερό παροχής τηλεθέρμανσης κυκλοφορεί ατελείωτα σε κλειστό αγωγό.

Ορισμένα συστήματα τηλεθέρμανσης χρησιμοποιούν ατμό ως μέσο για τη διανομή θερμότητας αντί για νερό. Αυτό γίνεται για την επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών παροχής, οι οποίες είναι συχνά απαραίτητες για βιομηχανικές διεργασίες. Ένα μειονέκτημα του ατμού είναι ότι έχει μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας από το νερό.



Σχήμα 38. Μονωμένες σωληνώσεις τηλεθέρμανσης [35].

2.2.4.2 Ιστορική πορεία της Τηλεθέρμανσης

Η τηλεθέρμανση έχει τις ρίζες της στα θερμαινόμενα με ζεστό νερό λουτρά και τα θερμοκήπια της αρχαίας Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Ένα σύστημα διανομής ζεστού νερού στο Chaudes-Aignes στη Γαλλία θεωρείται γενικά ως το πρώτο πραγματικό σύστημα τηλεθέρμανσης. Χρησιμοποιούσε γεωθερμική ενέργεια για την παροχή θερμότητας για περίπου 30 σπίτια και ξεκίνησε τη λειτουργία του τον 14^ο αιώνα.

Η Ναυτική Ακαδημία των ΗΠΑ στην Ανάπολη ξεκίνησε την υπηρεσία τηλεθέρμανσης με ατμό το 1853. Αν και αυτά και πολλά άλλα συστήματα έχουν λειτουργήσει ανά τους αιώνες, το πρώτο εμπορικά επιτυχημένο σύστημα τηλεθέρμανσης κυκλοφόρησε στο Lockport της Νέας Υόρκης το 1877 από τον Αμερικανό υδραυλικό μηχανικό Birdsill Holly. Θεωρείται ο ιδρυτής της σύγχρονης τηλεθέρμανσης.

Γενικά, όλα τα σύγχρονα συστήματα τηλεθέρμανσης καθοδηγούνται από τη ζήτηση, πράγμα που σημαίνει ότι ο προμηθευτής θερμότητας αντιδρά στη ζήτηση από τους καταναλωτές και διασφαλίζει ότι υπάρχει επαρκής θερμοκρασία και πίεση νερού για την παροχή της ζητούμενης θερμότητας στους χρήστες. Η κάθε μια από τις πέντε γενιές έχουν καθοριστικά χαρακτηριστικά που τις ξεχωρίζουν από τις προηγούμενες γενιές.

Το χαρακτηριστικό κάθε γενιάς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει μια ένδειξη της κατάστασης ανάπτυξης ενός υπάρχοντος συστήματος τηλεθέρμανσης (Σχήμα 39).

Πρώτη γενιά

Η πρώτη γενιά ήταν ένα σύστημα με βάση τον ατμό που τροφοδοτούνταν από άνθρακα και εισήχθη για πρώτη φορά στις ΗΠΑ τη δεκαετία του 1880 και έγινε δημοφιλής και σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες. Ήταν τελευταίας τεχνολογίας μέχρι τη δεκαετία του 1930 και χρησιμοποιούσε αγωγούς από σκυρόδεμα, λειτουργούσε με πολύ υψηλές θερμοκρασίες και επομένως δεν ήταν πολύ αποδοτικός. Υπήρχαν επίσης προβλήματα αξιοπιστίας και ασφάλειας λόγω των σωλήνων ατμού υπό θερμή πίεση. Σήμερα, αυτή η γενιά είναι τεχνολογικά ξεπερασμένη. Ωστόσο, ορισμένα από αυτά τα συστήματα εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα στη Νέα Υόρκη ή το Παρίσι. Άλλα συστήματα που κατασκευάστηκαν αρχικά μετατράπηκαν στη συνέχεια σε μεταγενέστερες γενιές.

Δεύτερη γενιά

Η δεύτερη γενιά αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1930 και κατασκευαζόταν μέχρι τη δεκαετία του 1970. Έκαιγε άνθρακα και πετρέλαιο, η ενέργεια μεταδιδόταν μέσω ζεστού νερού υπό πίεση ως φορέα θερμότητας. Τα συστήματα είχαν συνήθως θερμοκρασίες τροφοδοσίας πάνω από 100 °C, χρησιμοποιούσαν σωλήνες νερού σε αγωγούς από σκυρόδεμα, κυρίως συναρμολογούμενους επί τόπου, και βαρύ εξοπλισμό. Ο κύριος λόγος χρήσης αυτών των συστημάτων ήταν η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, η οποία προέκυψε από τη χρήση σταθμών συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτροπαραγωγής. Ενώ χρησιμοποιούνται επίσης σε άλλες χώρες, τυπικά συστήματα αυτής της γενιάς ήταν τα σοβιετικού τύπου συστήματα τηλεθέρμανσης που κατασκευάστηκαν μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο σε αρκετές χώρες της Ανατολικής Ευρώπης.

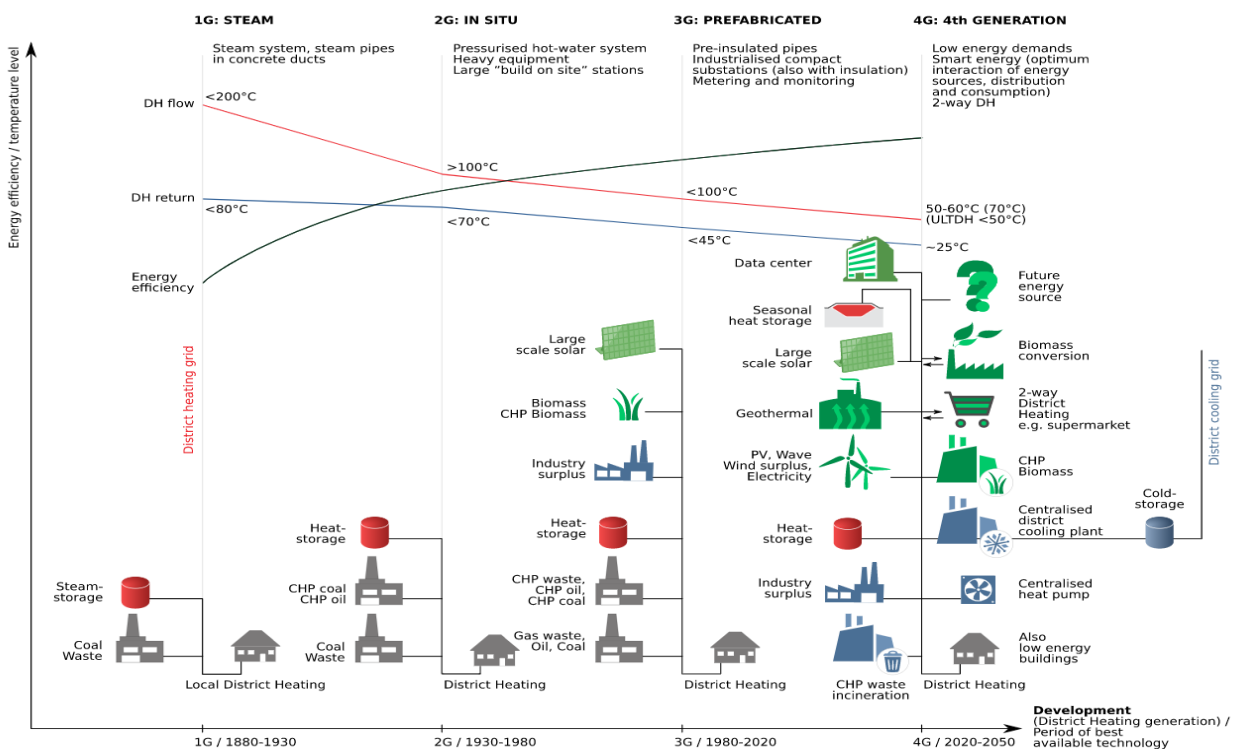
Τρίτη γενιά

Στη δεκαετία του 1970 αναπτύχθηκε η τρίτη γενιά και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε στα περισσότερα από τα ακόλουθα συστήματα σε όλο τον κόσμο. Αυτή η γενιά ονομάζεται επίσης «Σκανδιναβική τεχνολογία τηλεθέρμανσης», επειδή πολλοί από τους κατασκευαστές εξαρτημάτων τηλεθέρμανσης εδρεύουν στη Σκανδιναβία. Η τρίτη γενιά χρησιμοποιεί προκατασκευασμένους, μονωμένους σωλήνες, οι οποίοι θάβονται απευθείας στο έδαφος και λειτουργούν με χαμηλότερες θερμοκρασίες, συνήθως κάτω από 100 °C. Ένα πρωταρχικό κίνητρο για την κατασκευή αυτών των συστημάτων ήταν η ασφάλεια του εφοδιασμού μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης μετά τις δύο πετρελαϊκές κρίσεις που οδήγησαν σε διακοπή της παροχής πετρελαίου. Ως εκ τούτου, αυτά τα συστήματα συνήθως χρησιμοποιούσαν άνθρακα, βιομάζα και απόβλητα ως πηγές ενέργειας, κατά προτίμηση από το πετρέλαιο. Σε ορισμένα συστήματα, η γεωθερμική ενέργεια και η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιούνται επίσης στο ενεργειακό μείγμα. Για παράδειγμα, το Παρίσι χρησιμοποιεί γεωθερμική θέρμανση από πηγή 55–70 °C 1–2 km κάτω από την επιφάνεια από τη δεκαετία του 1970 για οικιακή θέρμανση.

Τέταρτη γενιά

Η τέταρτη γενιά έχει σχεδιαστεί για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την ενσωμάτωση υψηλών μεριδίων μεταβλητής ανανεώσιμης ενέργειας στην τηλεθέρμανση παρέχοντας υψηλή ευελιξία στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές, τα επίπεδα θερμοκρασίας έχουν μειωθεί για να αυξηθεί η ενεργειακή απόδοση του συστήματος, με θερμοκρασίες από πλευράς παροχής 70 °C και χαμηλότερες. Πιθανές πηγές θερμότητας είναι η απορριπτόμενη θερμότητα από τη βιομηχανία, από μονάδες ΑΗΣ που καίνε απόβλητα, από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας, από γεωθερμική και ηλιακή θερμική ενέργεια (κεντρική ηλιακή θέρμανση), από αντλίες θερμότητας μεγάλης κλίμακας, από απόβλητα θερμότητας από ψυκτικούς σκοπούς και κέντρα δεδομένων και από άλλες βιώσιμες πηγές ενέργειας. Με αυτές τις πηγές ενέργειας και μέσω της μεγάλης κλίμακας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, τα συστήματα τηλεθέρμανσης τέταρτης γενιάς αναμένεται να παρέχουν ευελιξία για την εξισορρόπηση της παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας αντλίες θερμότητας για την ενσωμάτωση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας ως θερμότητα, όταν η αιολική ενέργεια επαρκεί ή όταν οι μονάδες βιομάζας μπορούν να παρέχουν εφεδρική ισχύ. Επομένως, οι αντλίες θερμότητας μεγάλης κλίμακας θεωρούνται βασική τεχνολογία για έξυπνα ενεργειακά συστήματα με υψηλά μερίδια ανανεώσιμης ενέργειας έως και 100% και προηγμένα συστήματα τηλεθέρμανσης τέταρτης γενιάς.

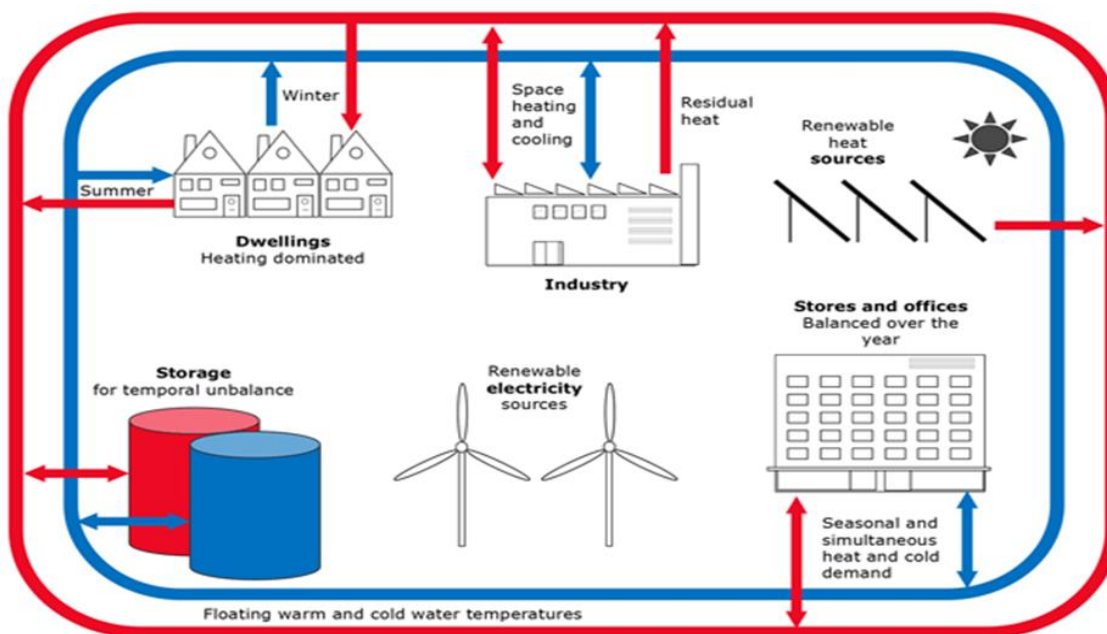


Σχήμα 39. Χαρακτηριστικά των τεσσάρων πρώτων γενιών τηλεθέρμανσης, μαζί με τις θερμοκρασίες ροής και επιστροφής για καθεμία [36].

Πέμπτη γενιά

Ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης και ψύξης πέμπτης γενιάς (5GDHC), που ονομάζεται επίσης ψυχρή τηλεθέρμανση, διανέμει τη θερμότητα σε σχεδόν θερμοκρασία περιβάλλοντος: αυτό κατ' αρχήν ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας στο έδαφος και μειώνει την ανάγκη για εκτεταμένη μόνωση (Σχήμα 40). Κάθε κτίριο στο δίκτυο χρησιμοποιεί μια αντλία θερμότητας στο δικό του δωμάτιο εγκατάστασης για να εξαγάγει θερμότητα από το κύκλωμα περιβάλλοντος όταν την χρειάζεται, και χρησιμοποιεί την ίδια αντλία θερμότητας αντίστροφα για να απορρίψει τη θερμότητα όταν χρειάζεται ψύξη. Σε περιόδους ταυτόχρονων απαιτήσεων ψύξης και θέρμανσης, αυτό επιτρέπει την απορριπτόμενη θερμότητα από την ψύξη να χρησιμοποιείται σε αντλίες θερμότητας σε εκείνα τα κτίρια που χρειάζονται θέρμανση. Η συνολική θερμοκρασία εντός του κυκλώματος περιβάλλοντος ελέγχεται κατά προτίμηση με ανταλλαγή θερμότητας με έναν υδροφόρο ορίζοντα ή άλλη πηγή νερού χαμηλής θερμοκρασίας ώστε να παραμένει εντός ενός εύρους θερμοκρασίας από 10 °C έως 25 °C.

Ενώ οι σωληνώσεις για δίκτυα εδάφους με θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι λιγότερο δαπανηρές για εγκατάσταση ανά διάμετρο σωλήνα σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές, καθώς δεν χρειάζονται τον ίδιο βαθμό μόνωσης για τα κυκλώματα σωληνώσεων, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η χαμηλότερη διαφορά θερμοκρασίας στο δίκτυο σωληνών, οδηγεί σε σημαντικά μεγαλύτερες διαμέτρους σωληνών από ό,τι στις προηγούμενες γενιές. Λόγω της απαίτησης κάθε συνδεδεμένου κτιρίου στα συστήματα τηλεθέρμανσης και ψύξης πέμπτης γενιάς να έχει τη δική του αντλία θερμότητας, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως πηγή θερμότητας ή ως ψύκτρα για την αντλία θερμότητας, ανάλογα με το αν λειτουργεί σε λειτουργία θέρμανσης και ψύξης. Όπως και με τις προηγούμενες γενιές, το δίκτυο σωληνώσεων είναι μια υποδομή που κατ' αρχήν παρέχει ανοιχτή πρόσβαση για διάφορες πηγές θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας, όπως θερμότητα περιβάλλοντος, νερό περιβάλλοντος από ποτάμια, λίμνες, θάλασσα ή λιμνοθάλασσες και απορριπτόμενη θερμότητα από βιομηχανικές ή εμπορικές πηγές.



Σχήμα 40. Τηλεθέρμανση και ψύξη πέμπτης γενιάς [37].

Με βάση την παραπάνω περιγραφή είναι σαφές ότι υπάρχει μια θεμελιώδης διαφορά μεταξύ του 5GDHC και των προηγούμενων γενεών τηλεθέρμανσης, ιδιαίτερα στην εξατομίκευση της παραγωγής θερμότητας. Αυτό το κρίσιμο σύστημα έχει σημαντικό αντίκτυπο κατά τη σύγκριση των αποδόσεων μεταξύ των διαφορετικών γενεών, καθώς η εξατομίκευση της παραγωγής θερμότητας μετακινεί τη σύγκριση από μια απλή σύγκριση απόδοσης συστήματος διανομής σε σύγκριση απόδοσης συστήματος παροχής, όπου πρέπει να ληφθούν υπόψιν τόσο η απόδοση παραγωγής θερμότητας όσο και η αποτελεσματικότητα του συστήματος διανομής.

Σε ένα σύγχρονο κτίριο με εσωτερικό σύστημα διανομής θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας μπορεί να εγκατασταθεί μια αποτελεσματική αντλία θερμότητας η οποία θα παρέχει απόδοση θερμότητας στους 45 °C. Από την άλλη σε ένα παλαιότερο κτίριο με εσωτερικό σύστημα διανομής υψηλότερης θερμοκρασίας π.χ. το καλοριφέρ απαιτείται αντλία θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας για την παροχή θερμότητας.

Ένα μεγαλύτερο παράδειγμα ενός δικτύου θέρμανσης και ψύξης πέμπτης γενιάς είναι το Mijwater στο Heerlen, στην Ολλανδία. Σε αυτήν την περίπτωση, το χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η μοναδική πρόσβαση σε ένα εγκαταλελειμμένο ανθρακωρυχείο γεμάτο νερό εντός των ορίων της πόλης που παρέχει μια σταθερή πηγή θερμότητας για το σύστημα.

Τέλος, ένα δίκτυο πέμπτης γενιάς ("Balanced Energy Network", BEN) εγκαταστάθηκε το 2016 σε δύο μεγάλα κτίρια του London South Bank University ως έργο έρευνας και ανάπτυξης.

2.2.4.3 Είδη Τηλεθέρμανσης βάσει της πηγής θερμότητας

Οι πηγές θερμότητας που χρησιμοποιούνται για διάφορα συστήματα τηλεθέρμανσης περιλαμβάνουν: σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν σχεδιαστεί για συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP, που ονομάζεται επίσης συμπαραγωγή), συμπεριλαμβανομένων σταθμών καύσης και πυρηνικής ενέργειας, απλή καύση ορυκτού καυσίμου ή βιομάζας, γεωθερμική θερμότητα, ηλιακή θερμότητα, βιομηχανικές αντλίες θερμότητας που εξάγουν θερμότητα από θαλασσινό νερό, νερό ποταμών ή λιμνών, λύματα ή απώλειες θερμότητας από βιομηχανικές διεργασίες.

Τηλεθέρμανση από Θερμοηλεκτρικούς Σταθμούς (Απλού ή Συνδυασμένου κύκλου)

Το βασικό στοιχείο πολλών συστημάτων τηλεθέρμανσης είναι ένας σταθμός λέβητα μόνο θερμότητας. Επιπλέον, συχνά προστίθεται η συμπαραγωγή παράλληλα με τους λέβητες. Και τα δύο έχουν κοινό ότι βασίζονται τυπικά στην καύση φορέων πρωτογενούς ενέργειας. Η διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων είναι ότι, σε μια μονάδα συμπαραγωγής, η θερμότητα και η ηλεκτρική ενέργεια παράγονται ταυτόχρονα, ενώ στους σταθμούς λεβήτων παράγεται μόνο θερμότητα.

Στην περίπτωση μιας μονάδας συμπαραγωγής με ορυκτά καύσιμα, η παραγωγή θερμότητας έχει τυπικά μέγεθος ώστε να ανταποκρίνεται στο μισό του μέγιστου χειμερινού θερμικού φορτίου, αλλά κατά τη διάρκεια του έτους θα παρέχει το 90% της παρεχόμενης θερμότητας. Μεγάλο μέρος της θερμότητας που παράγεται το καλοκαίρι γενικά θα χαθεί. Η χωρητικότητα του λέβητα θα μπορεί να καλύψει ολόκληρη τη ζήτηση θερμότητας χωρίς βοήθεια και μπορεί να καλύψει βλάβες στη μονάδα συμπαραγωγής.

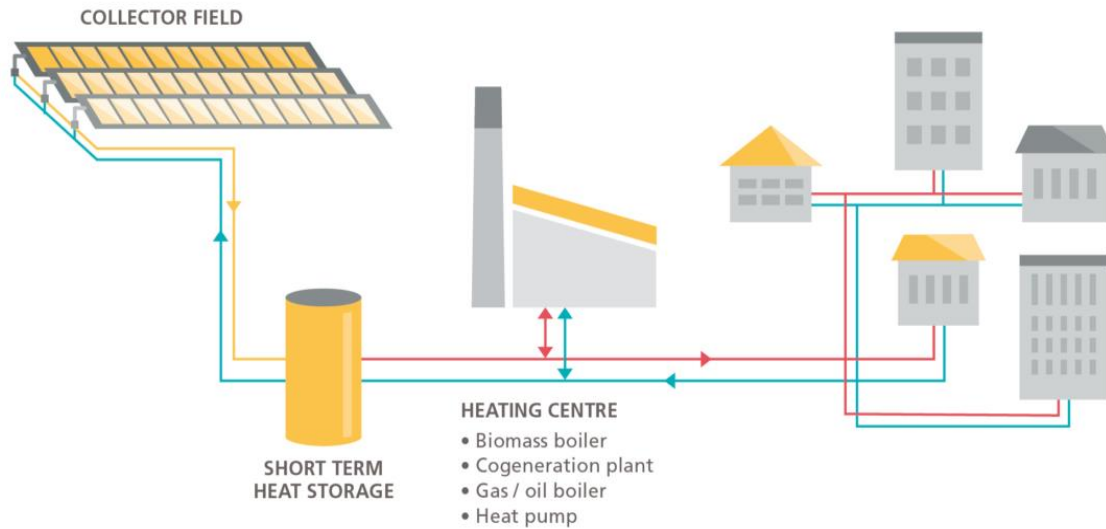
Ο συνδυασμός συμπαραγωγής και τηλεθέρμανσης είναι πολύ ενεργειακά αποδοτικός από οικονομική άποψη, αλλά εκπέμπει CO₂ και NO_x επί τόπου. Ένας απλός θερμοηλεκτρικός σταθμός μπορεί να έχει απόδοση 20–35%, ενώ μια πιο προηγμένη εγκατάσταση με δυνατότητα ανάκτησης των απωλειών θερμότητας μπορεί να φτάσει συνολική ενεργειακή απόδοση σχεδόν 80%. Ορισμένοι μπορεί να προσεγγίσουν το 100% με βάση τη χαμηλότερη τιμή θέρμανσης συμπεκνώνοντας επίσης τα καυσαέρια.

Η απορριπτόμενη θερμότητα από πυρηνικούς σταθμούς χρησιμοποιείται μερικές φορές για τηλεθέρμανση. Οι αρχές για έναν συμβατικό συνδυασμό συμπαραγωγής και τηλεθέρμανσης είναι οι ίδιες για έναν πυρηνικό σταθμό όπως και για έναν θερμοηλεκτρικό σταθμό. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους, η τηλεθέρμανση από πυρηνικούς σταθμούς παράγει πολύ λιγότερες εκπομπές άνθρακα. Ο πυρηνικός σταθμός Haiyang στην επαρχία Shandong της Κίνας, έχει προγραμματιστεί να παρέχει τηλεθέρμανση σε ολόκληρη την περιοχή της πόλης Haiyang (4,5 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα) μέχρι το τέλος του 2021. Αυτή η επιχείρηση, η οποία θα αντικαταστήσει τις μονάδες συμπαραγωγής που κινούνται με άνθρακα, προβλέπεται να μειώσει τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 60.000 τόνους. Οι μικροί αρθρωτοί αντιδραστήρες (SMR) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία της τηλεθέρμανσης. Μιλώντας στο podcast του Energy Impact Center (EIC), ο Titans of Nuclear, κύριος μηχανικός της GE Hitachi Nuclear Energy, Christer Dahlgren, σημείωσε ότι η τηλεθέρμανση θα μπορούσε να είναι η ώθηση για την κατασκευή νέων πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στο μέλλον.

Η Ρωσία έχει αρκετούς πυρηνικούς σταθμούς συνδυασμένης παραγωγής. Η ρωσική πυρηνική τηλεθέρμανση σχεδιάζεται να τριπλασιαστεί σχεδόν μέσα σε μια δεκαετία καθώς κατασκευάζονται νέες μονάδες.

Τηλεθέρμανση με ηλιακή πηγή

Η χρήση της ηλιακής θερμότητας για τηλεθέρμανση έχει αυξηθεί στη Δανία και τη Γερμανία τα τελευταία χρόνια. Τα συστήματα περιλαμβάνουν συνήθως διαεποχική αποθήκευση θερμικής ενέργειας για σταθερή παραγωγή θερμότητας καθημερινά και μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα. Κάποια παραδείγματα αποτελούν το Vojens στα 50 MW, το Dronninglund στα 27 MW και το Marstal στα 13 MW στη Δανία. Αυτά τα συστήματα έχουν επεκταθεί σταδιακά για να καλύπτουν το 10% έως 40% των ετήσιων αναγκών θέρμανσης χώρου των χωριών τους. Τα ηλιακά-θερμικά πάνελ είναι τοποθετημένα στο έδαφος σε χωράφια. Η αποθήκευση θερμότητας είναι η αποθήκευση λάκκου, το σύμπλεγμα γεωτρήσεων και η παραδοσιακή δεξαμενή νερού (Σχήμα 41). Στην Αλμπέρτα του Καναδά, η κοινότητα Drake Landing Solar έχει επιτύχει παγκόσμιο ρεκόρ 97% ετήσιο ηλιακό κλάσμα για τις ανάγκες θέρμανσης, χρησιμοποιώντας ηλιακά θερμικά πάνελ στις στέγες του γκαράζ και θερμική αποθήκευση σε ένα σύμπλεγμα γεωτρήσεων.



IEA SHC TASK 55

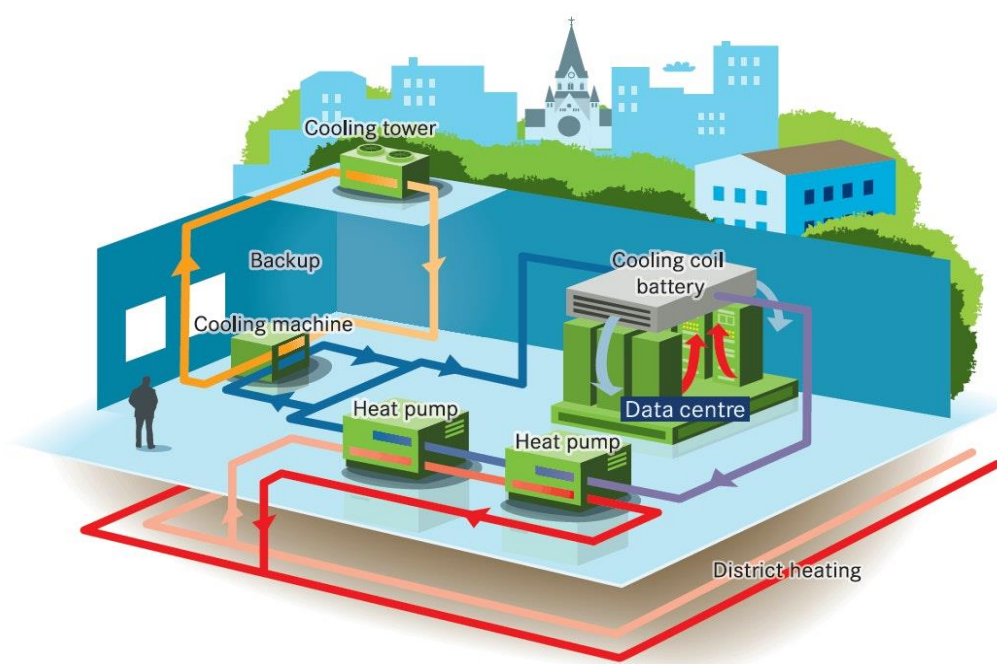
Σχήμα 41. Σχηματική αναπαράσταση τηλεθέρμανσης με ηλιακή πηγή [38].

Τηλεθέρμανση με αντλία θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας έχουν αρκετά υποστηρικτικό ρόλο στην λειτουργία της τηλεθέρμανσης (Σχήμα 42). Μεταξύ των τρόπων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι βιομηχανικές αντλίες θερμότητας είναι:

- Ως κύρια πηγή βασικού φορτίου όπου το νερό από μια χαμηλής ποιότητας πηγή θερμότητας, π.χ. ένας ποταμός, ένα φιόρντ, η εκροή σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η εκροή εργασιών επεξεργασίας λυμάτων (όλα συνήθως μεταξύ 0 °C και 25 °C), ενισχύεται μέχρι τη θερμοκρασία δικτύου των τυπικά 60°C έως 90°C χρησιμοποιώντας αντλίες θερμότητας. Αυτές οι συσκευές, αν και καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, θα μεταφέρουν θερμότητα τρεις έως έξι φορές μεγαλύτερη από την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.
- Ως μέσο ανάκτησης θερμότητας από τον βρόχο ψύξης ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής για να αυξηθεί είτε το επίπεδο ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων (καθώς ο σωλήνας επιστροφής της μονάδας τηλεθέρμανσης ψύχεται τώρα από την αντλία θερμότητας) είτε με ψύξη του κλειστού βρόχου ατμού και τεχνητή πτώση στην πίεση συμπύκνωσης και συνεπώς αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αύξηση της απόδοσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ως μέσο ψύξης των καυσαερίων, καθαρίζοντας το εργαζόμενο μέσο (συνήθως νερό) από 60 °C μετά την έγχυση έως 20 °C πριν από την έγχυση. Η θερμότητα ανακτάται χρησιμοποιώντας μια αντλία θερμότητας και μπορεί να πωληθεί και να εγχυθεί στην πλευρά του δικτύου της εγκατάστασης σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία (περίπου 80 °C).

- Όπου το δίκτυο έχει φτάσει σε χωρητικότητα, μεγάλοι μεμονωμένοι χρήστες φορτίου μπορούν να αποσυνδεθούν από τον σωλήνα ζεστής τροφοδοσίας, ας πούμε στους 80 °C και να συνδεθούν με τον σωλήνα επιστροφής, π.χ. 40 °C. Προσθέτοντας τοπικά μια αντλία θερμότητας σε αυτόν τον χρήστη, ο σωλήνας 40 °C ψύχεται περαιτέρω (η θερμότητα διοχετεύεται στον ατμοποιητή της αντλίας θερμότητας). Η έξοδος από την αντλία θερμότητας είναι στη συνέχεια ένας αποκλειστικός βρόχος για τον χρήστη στους 40 °C έως 70 °C. Επομένως, η συνολική χωρητικότητα του δικτύου έχει αλλάξει καθώς η συνολική διαφορά θερμοκρασίας του βρόχου έχει μεταβληθεί από 80 – 40 °C έως 80 °C – x (το x είναι μια τιμή μικρότερη από 40 °C).



Σχήμα 42. Λειτουργία τηλεθέρμανσης με αντλίες θερμότητας [39].

Οι πρόσφατες τεχνικές εξελίξεις επιτρέπουν τη χρήση φυσικών ψυκτικών μέσω αντλίας θερμότητας που έχουν πολύ χαμηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP). Το ψυκτικό CO₂ (R744, GWP=1) ή η αμμωνία (R717, GWP=0) έχουν επίσης το πλεονέκτημα, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, να προσδίδουν υψηλότερη απόδοση στην αντλία θερμότητας από τα συμβατικά ψυκτικά. Ένα παράδειγμα είναι ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης 14 MW (θερμική) στο Drammen της Νορβηγίας, το οποίο τροφοδοτείται από αντλίες θερμότητας θαλασσινού νερού που χρησιμοποιούν ψυκτικό μέσο R717 και λειτουργεί από το 2011. Το νερό στους 90 °C παραδίδεται στον βρόχο περιοχής και επιστρέφει στους 65 °C. Η θερμότητα εξαγεται από το θαλασσινό νερό (18 m βάθος) που παραμένει στους 8 έως 9 °C όλο το χρόνο, δίνοντας μέσο συντελεστή απόδοσης (COP) περίπου 3,15. Κατά τη διαδικασία, το θαλασσινό νερό ψύχεται στους 4 °C.

Ωστόσο, αυτός ο πόρος δεν χρησιμοποιείται. Σε ένα σύστημα περιφέρειας όπου το κρύο νερό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για κλιματισμό, η αποτελεσματική COP θα ήταν σημαντικά υψηλότερη.

Στο μέλλον, οι βιομηχανικές αντλίες θερμότητας θα απανθρακοποιηθούν περαιτέρω, αφού θα χρησιμοποιούν την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (από αιολική, ηλιακή κ.λπ.).

Στη Στοκχόλμη, η πρώτη αντλία θερμότητας εγκαταστάθηκε το 1977 για την παροχή τηλεθέρμανσης που προέρχεται από διακομιστές της IBM. Σήμερα η εγκατεστημένη ισχύς είναι περίπου 660 MW θερμότητας, χρησιμοποιώντας ως πηγές θερμότητας επεξεργασμένα λύματα, θαλασσινό νερό, περιφερειακή ψύξη, κέντρα δεδομένων και παντοπωλεία. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το έργο Drammen Fjernvarme District Heating στη Νορβηγία, το οποίο παράγει 14 MW από νερό στους μόλις 8 °C.

Καθώς οι ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία και η Δανία κινούνται σε πολύ υψηλά επίπεδα (80% και 100% αντίστοιχα έως το 2050) ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για όλες τις χρήσεις ενέργειας, θα αυξηθούν οι περίοδοι υπερβολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η αποθήκευση αυτής της ενέργειας ως δυνητική ηλεκτρική ενέργεια (π.χ. αντλούμενη υδροηλεκτρική ενέργεια) είναι πολύ δαπανηρή και μειώνει τη συνολική απόδοση μετ' επιστροφής. Ωστόσο, η αποθήκευσή της ως θερμότητα σε συστήματα τηλεθέρμανσης, για χρήση σε κτίρια όπου υπάρχει ζήτηση, συμφέρει δραματικά. Ενώ η ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας υποβαθμίζεται, οι αντλίες θερμότητας του δικτύου υψηλής τάσης θα μεγιστοποιούσαν την απόδοση, ενώ ταυτόχρονα δεν θα σπαταλούσαν υπερβολική ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές.

2.2.4.4 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της Τηλεθέρμανσης

Η τηλεθέρμανση έχει διάφορα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα μεμονωμένα συστήματα θέρμανσης. Συνήθως η τηλεθέρμανση είναι ενεργειακά αποδοτικότερη, λόγω της ταυτόχρονης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι μεγαλύτερες μονάδες καύσης διαθέτουν επίσης πιο προηγμένο καθαρισμό καυσαερίων από τα συστήματα ενός λέβητα. Στην περίπτωση της πλεονάζουσας θερμότητας από τις βιομηχανίες, τα συστήματα τηλεθέρμανσης δεν χρησιμοποιούν πρόσθετο καύσιμο επειδή ανακτούν θερμότητα που διαφορετικά θα διασκορπιζόταν στο περιβάλλον.

Η τηλεθέρμανση απαιτεί μια μακροπρόθεσμη οικονομική δέσμευση που δεν ταιριάζει με την εστίαση στις βραχυπρόθεσμες αποδόσεις μιας επένδυσης. Τα οφέλη για την κοινότητα περιλαμβάνουν την αποφυγή κόστους ενέργειας μέσω της χρήσης πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας και μειωμένες επενδύσεις σε ατομικό εξοπλισμό θέρμανσης νοικοκυριών ή κτιρίων. Τα δίκτυα τηλεθέρμανσης, οι σταθμοί λεβήτων μόνο για θερμότητα και οι μονάδες συμπαραγωγής απαιτούν υψηλές αρχικές δαπάνες και χρηματοδότηση. Μόνο εάν θεωρηθούν μακροπρόθεσμες επενδύσεις θα μεταφραστούν σε κερδοφόρες λειτουργίες για τους ιδιοκτήτες συστημάτων τηλεθέρμανσης ή τους φορείς εκμετάλλευσης σταθμών συνδυασμένης θέρμανσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η τηλεθέρμανση είναι λιγότερο ελκυστική για περιοχές με χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, καθώς η επένδυση ανά νοικοκυριό είναι σημαντικά υψηλότερη. Επίσης είναι λιγότερο συμφέρουσα επιλογή σε περιοχές με πολλά μικρά κτίρια. π.χ. μονοκατοικίες από ό,τι σε περιοχές με λιγότερα μεγαλύτερα κτίρια. π.χ. πολυκατοικίες, γιατί κάθε σύνδεση με μονοκατοικία είναι αρκετά ακριβή. Τέλος, τα μεμονωμένα συστήματα θέρμανσης μπορούν να σβήσουν τελείως κατά διαστήματα, ανάλογα με την τοπική ζήτηση θέρμανσης, κάτι που δεν συμβαίνει με ένα σύστημα τηλεθέρμανσης.

2.2.4.5 Η Τηλεθέρμανση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα διαθέτει τηλεθέρμανση κυρίως στην Επαρχία Δυτικής Μακεδονίας, Κεντρικής Μακεδονίας και στην Επαρχία Πελοποννήσου. Το μεγαλύτερο σύστημα είναι η πόλη της Πτολεμαΐδας (Σχήμα 43), όπου υπάρχουν πέντε σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής (θερμοηλεκτρικοί σταθμοί ή ΑΗΣ ειδικότερα) που παρέχουν θερμότητα στις περισσότερες από τις μεγαλύτερες πόλεις και σε ορισμένα χωριά. Η πρώτη μικρή εγκατάσταση έγινε στην Πτολεμαΐδα το 1960, προσφέροντας θέρμανση στο χωριό Προάστιο της Εορδαίας με τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας. Σήμερα εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης διατίθενται και στην Κοζάνη, την Πτολεμαΐδα, το Αμύνταιο, τον Φιλώτα, τις Σέρρες και τη Μεγαλόπολη με χρήση γειτονικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στις Σέρρες ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής είναι Μονάδα ΣΗΘ Υψηλής Απόδοσης που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο, ενώ ο άνθρακας είναι το κύριο καύσιμο για όλα τα άλλα δίκτυα τηλεθέρμανσης.



Σχήμα 43. Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας, αριστερά οι σωληνώσεις και δεξιά ο ΑΗΣ [40].

2.2.5 Άλλα συστήματα θέρμανσης

2.2.5.1 Τζάκια – Ενεργειακά Τζάκια

Ένα τζάκι είναι μια κατασκευή από τούβλο, πέτρα ή μέταλλο που έχει σχεδιαστεί για να περιορίζει μια φωτιά. Τα τζάκια χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση ενός δωματίου. Τα σύγχρονα τζάκια ποικίλλουν σε θερμική απόδοση, ανάλογα με το σχέδιο.

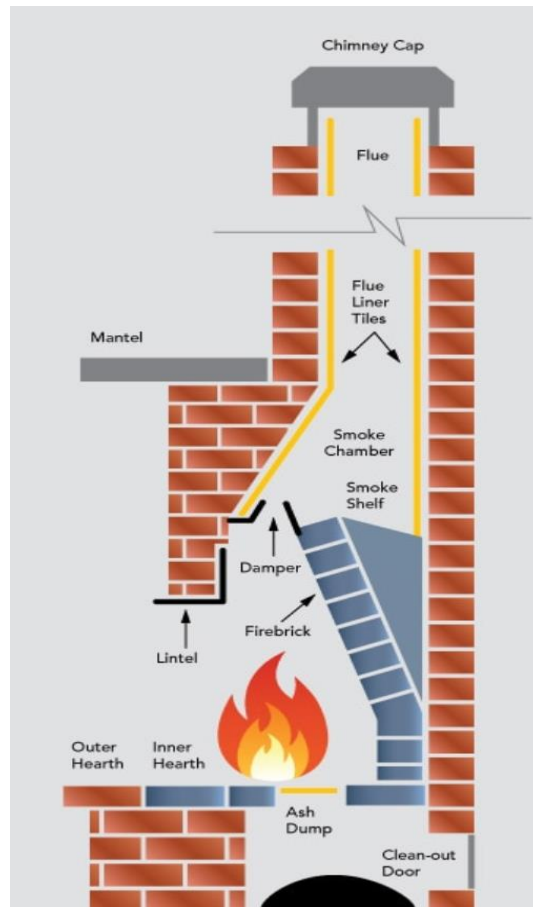
Ιστορικά, χρησιμοποιούνταν για θέρμανση κατοικίας, μαγείρεμα και θέρμανση νερού για πλυντήρια και οικιακές χρήσεις. Μια πυρκαγιά περιορίζεται σε μια εστία ή λάκκο πυρκαγιάς. Μια καμινάδα επιτρέπει τη διαφυγή των καυσαερίων. Ένα τζάκι αποτελείται από τα εξής: θεμέλιο, εστία, καμινάδα, σχάρα.

Εξωτερικά, υπάρχει συχνά μια κατασκευή από τούβλα, στην οποία οι προεξέχουσες στρώσεις από τούβλα λειτουργούν ως σταγόνες για να εμποδίζουν το νερό της βροχής να τρέχει στους εξωτερικούς τοίχους. Ένα κάλυμμα χρησιμεύει για να κρατά το νερό της βροχής έξω από το εξωτερικό της καμινάδας. Η βροχή στην καμινάδα είναι πολύ μεγαλύτερο πρόβλημα σε καμινάδες επενδεδυμένες με αδιαπέραστα πλακάκια καπνού ή μεταλλικές επενδύσεις από ό,τι με την παραδοσιακή καμινάδα τοιχοποιίας, η οποία απορροφά όλη τη βροχή εκτός από την πιο έντονη βροχή.

Ορισμένες μονάδες τζακιού ενσωματώνουν έναν φυσητήρα, ο οποίος μεταφέρει περισσότερη θερμότητα του τζακιού στον αέρα μέσω μεταφοράς, με αποτέλεσμα έναν πιο ομοιόμορφα θερμαινόμενο χώρο με χαμηλότερο θερμικό φορτίο. Η απόδοση του τζακιού μπορεί επίσης να αυξηθεί με τη χρήση ενός μεταλλικού κομματιού που τοποθετείται πίσω από τη φωτιά και αντανάκλα τη θερμότητα πίσω στο δωμάτιο. Τα firebacks κατασκευάζονται παραδοσιακά από χυτοσίδηρο, αλλά είναι επίσης κατασκευασμένα και από ανοξείδωτο χάλυβα.

Κλειστό τζάκι με καύσιμα ξύλου εξοπλισμένο με ανεμιστήρα που εισέρχεται αέρας μέσω του κάτω αεραγωγού, τον φυσά γύρω από την εστία για να τη θερμάνει και τον απελευθερώνει μέσω του άνω αεραγωγού.

Τα περισσότερα παλαιότερα τζάκια (Σχήμα 44) έχουν σχετικά καλή απόδοση, συνήθως γύρω στο 10%. Τα τυπικά, σύγχρονα τζάκια από τοιχοποιία με καύση ξύλου έχουν ωστόσο απόδοση τουλάχιστον 80%. Για να βελτιωθεί η απόδοση, τα τζάκια μπορούν επίσης να τροποποιηθούν με την εισαγωγή ειδικών βαριών εστιών που έχουν σχεδιαστεί για να καίνε με πολύ πιο αποτελεσματικό τρόπο. Αυτά τα τροποποιημένα τζάκια είναι συχνά εξοπλισμένα με ένα μεγάλο παράθυρο πυρκαγιάς, επιτρέποντας μια αποτελεσματική διαδικασία θέρμανσης σε δύο φάσεις. Κατά την πρώτη φάση η αρχική θερμότητα παρέχεται από ένα μεγάλο γυάλινο παράθυρο ενώ η φωτιά καίει. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η κατασκευή, χτισμένη από πυρίμαχα τούβλα, απορροφά τη θερμότητα. Αυτή η θερμότητα στη συνέχεια ακτινοβολείται ομοιόμορφα για πολλές ώρες κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης. Τα τζάκια από τοιχοποιία παρέχουν μόνο θερμότητα που εκπέμπεται από την επιφάνειά τους. Ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία, αρκούν 1 έως 2 καύσεις ημερησίως για να εξασφαλίσουν σταθερή θερμοκρασία δωματίου.



Σχήμα 44. Λειτουργία παραδοσιακού τζακιού [41].

Ένα σύγχρονο ενεργειακό τζάκι μπορεί επίσης να συνδεθεί με τα καλοριφέρ, θερμαίνοντας νερό και οδηγώντας το μέσω σωληνώσεων στα σώματα καλοριφέρ, θερμαίνοντας έτσι και χώρους της οικίας, που βρίσκονται εκτός της ακτίνας του τζακιού.

2.2.5.2 Σόμπες Ξύλου – Σόμπες Pellet

Μια σόμπα ξύλου (Σχήμα 45) είναι μια συσκευή θέρμανσης ικανή να καίει καύσιμο ξύλου και καύσιμο βιομάζας (π.χ. pellet) που προέρχεται από ξύλο. Γενικά η συσκευή αποτελείται από μια συμπαγή μεταλλική κλειστή εστία (συνήθως χυτοσίδηρο ή χάλυβα), συχνά επενδυμένη με πυρότουβλο, και ένα ή περισσότερα χειριστήρια αέρα, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν χειροκίνητα ή αυτόματα ανάλογα με τη σόμπα. Η πρώτη ξυλόσομπα έκανε την εμφάνισή της στο Στρασβούργο το 1557, αρκετά πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση, η οποία θα εδραίωνε την αξία του υλικού σίδηρος. Όπως είναι λογικό, τέτοιες σόμπες ήταν πολυτέλεια για εκείνη την εποχή, επομένως η εξάπλωσή τους έγινε σταδιακά.

Η σόμπα συνδέεται με σωλήνα αερισμού σε κατάλληλο καπναγωγό, ο οποίος θα γεμίσει με ζεστά αέρια καύσης μόλις το καύσιμο υποστεί ανάφλεξη. Η καμινάδα ή τα καυσαέρια πρέπει να είναι πιο ζεστά από την εξωτερική θερμοκρασία για να διασφαλιστεί ότι τα αέρια καύσης θα έλκονται έξω από τον θάλαμο πυρκαγιάς και πάνω από την καμινάδα.

Οι καυστήρες ξύλου τριπλασιάζουν το επίπεδο επιβλαβούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης των εσωτερικών χώρων. Κάθε χρόνο 61.000 πρόωροι θάνατοι αποδίδονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση από τη θέρμανση κατοικιών με ξύλο και άνθρακα στην Ευρώπη, με επιπλέον 10.000 θανάτους που μπορούν να αποδοθούν στη Βόρεια Αμερική.



Σχήμα 45. Παράδειγμα σόμπας ξύλου [42].

2.2.5.3 Ηλεκτρικές Θερμάστρες

Άλλον έναν τρόπο θέρμανσης ενός κτιρίου αποτελούν οι ηλεκτρικές θερμάστρες ή ηλεκτρικά καλοριφέρ.

Ένας πολύ κοινός τύπος ηλεκτρικού καλοριφέρ, είναι οι θερμαντήρες που περιέχουν ένα ηλεκτρικό στοιχείο και τείνουν να είναι κατασκευασμένοι από ένα υλικό που είναι καλός αγωγός της θερμότητας. Το ηλεκτρικό στοιχείο μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα η οποία στη συνέχεια «μεταφέρεται» στο δωμάτιο.

Οι ράβδοι ηλεκτρικών πάνελ έχουν συνήθως πολύ λεπτό προφίλ, με αποτέλεσμα να είναι ιδανικές για τοποθέτηση σε τοίχο κρατώντας τες μακριά από το δρόμο. Είναι ιδανικοί στο να ζεσταίνονται γρήγορα και συνήθως περιέχουν θερμοστάτη και χρονοδιακόπτη για ακρίβεια.

Άλλο ένα είδος καλοριφέρ, είναι τα ηλεκτρικά καλοριφέρ με λάδι. Αυτός ο ενεργειακά αποδοτικός τύπος ηλεκτρικών καλοριφέρ είναι ένας δημοφιλής τρόπος θέρμανσης του σπιτιού με απουσία όμως συστήματος κεντρικής θέρμανσης ζεστού νερού. Αυτά τα θερμαντικά σώματα τείνουν να είναι φορητά (σε τροχούς) και περιέχουν ένα ειδικό είδος θερμικού λαδιού σε μια δεξαμενή. Αυτό το λάδι καλύπτει πλήρως το εσωτερικό ηλεκτρικό στοιχείο, έτσι ώστε όταν το σώμα είναι ενεργοποιημένο, η θερμότητα μεταφέρεται από το στοιχείο στο θερμικό λάδι, το οποίο ρέει γύρω από το στοιχείο.

Αυτό λειτουργεί λίγο σαν ένα καλοριφέρ ζεστού νερού, αλλά χωρίς την παρουσία των σωλήνων ζεστού νερού. Ωστόσο, το θερμικό λάδι είναι σφραγισμένο εσωτερικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά και ξανά για να ζεστάνει τα εξωτερικά τοιχώματα. Αυτό τους καθιστά έναν πραγματικά βολικό αυτόνομο τρόπο θέρμανσης του δωματίου, συνήθως συνδεδεμένο σε μια κανονική πρίζα, αλλά ο βαθμός απόδοσης τους συνήθως είναι χαμηλός.

Όταν κάποιος επιθυμεί τη θερμότητά να παραδίδεται απευθείας σε κάποιον που βλέπει προς την πηγή, θα την ήθελε από μια πηγή όπως το υπέρυθρο καλοριφέρ. Τα ηλεκτρικά υπέρυθρα καλοριφέρ ακτινοβολούν στα γύρω σώματα, τα οποία απελευθερώνουν ενέργεια με τη μορφή θερμότητας.

Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα των υπέρυθρων θερμαντήρων είναι ότι μπορούν να κρυφτούν σε κοινή θέα. Η πλειονότητα αυτών των τύπων θερμαντήρων είναι ότι δεν μοιάζουν σε τίποτα με τα παραδοσιακά καλοριφέρ, αφού συχνά έρχονται σε μορφή καθρέφτη ή μοιάζουν με διακοσμητικό τοίχου.

Οι θερμαντήρες αποθήκευσης ήταν, επίσης, κάποτε ένας πολύ δημοφιλής τρόπος θέρμανσης σπιτιών που δεν διέθεταν συμβατικά συστήματα κεντρικής θέρμανσης ζεστού νερού, είτε για οικονομικούς λόγους είτε επειδή η περιοχή δεν ήταν συνδεδεμένη με το δίκτυο φυσικού αερίου. Εσωτερικοί θερμαντήρες αποθήκευσης διαθέτουν σειρές από κεραμικά τούβλα που αποθηκεύουν θερμική ενέργεια τη νύχτα (όταν το ηλεκτρικό ρεύμα είναι φθηνότερο) και στη συνέχεια απελευθερώνουν θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας (όταν η ηλεκτρική ενέργεια είναι πιο ακριβή). Τα σπίτια με θερμάστρες αποθήκευσης τείνουν να έχουν ειδικά τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας που διαφοροποιούν τη νυχτερινή και την ημερήσια χρήση, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη κόστους από αυτά. Θεωρητικά αυτό ακούγεται καλό, αλλά στην πραγματικότητα, πολλοί παλιοί θερμαντήρες αποθήκευσης παρέχουν συχνά υπερβολική θερμότητα το πρωί και όχι αρκετή το βράδυ. Οι θερμαντήρες αποθήκευσης θεωρούνται πλέον γενικά παλιάς τεχνολογίας και λιγότερο αποδοτικοί από άλλους τρόπους θέρμανσης.

2.3 Εκπομπές συστημάτων θέρμανσης

2.3.1 Στερεά Καύσιμα

Μεταξύ όλων των συστημάτων θέρμανσης, η καύση ξύλου και άνθρακα έχει την υψηλότερη ποσότητα εκπομπών. Σύμφωνα με έρευνες, οι εκπομπές PM_{2.5} είναι οι υψηλότερες όταν χρησιμοποιείται άνθρακας (1,56 kg/tce) ακολουθούμενη από πετρέλαιο (0,4044 kg/tce) και φυσικό αέριο (0,08 kg/tce) εάν ληφθεί υπόψη ένα σταθερό θερμομαντικό φορτίο.

2.3.1.1 Λέβητας - Boiler στερεού καυσίμου

Η καύση άνθρακα ως πηγή θέρμανσης κατοικιών έχει πολύ χαμηλή απόδοση καθώς και υψηλές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η χρήση συστημάτων θέρμανσης με καύση άνθρακα μειώνεται, ωστόσο, εξακολουθεί να είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν ελκυστικές εναλλακτικές λύσεις λόγω της αφθονίας του άνθρακα και της χαμηλής τιμής. Οι εκπομπές CO εξαρτώνται από την ποσότητα άνθρακα στο καύσιμο. Οι εκπομπές CO και οι ρυθμοί καύσης σχετίζονται γραμμικά όταν η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι σταθερή. Εκτός από την επίδραση της θερμοκρασίας, ο ρυθμός συμπύκνωσης και οι ρυθμοί VOC (Volatile Organic Compounds) είναι αντιστρόφως ανάλογοι. Η ατελής καύση του άνθρακα και η χαμηλή απόδοση στις σόμπες θέρμανσης κατοικιών προκαλούν τεράστια θολερότητα. Προκειμένου να μειωθεί αυτή η ρύπανση, είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται άνθρακας επεξεργασμένος, παρά ο ακατέργαστος άνθρακας, αλλά το πρόβλημα που παραμένει είναι ότι οι σόμπες που χρησιμοποιούν αυτά τα καύσιμα χαμηλών εκπομπών θα οδηγήσουν σε επιπλέον κατανάλωση καυσίμου.

2.3.1.2 Βιομάζα και Ξύλο

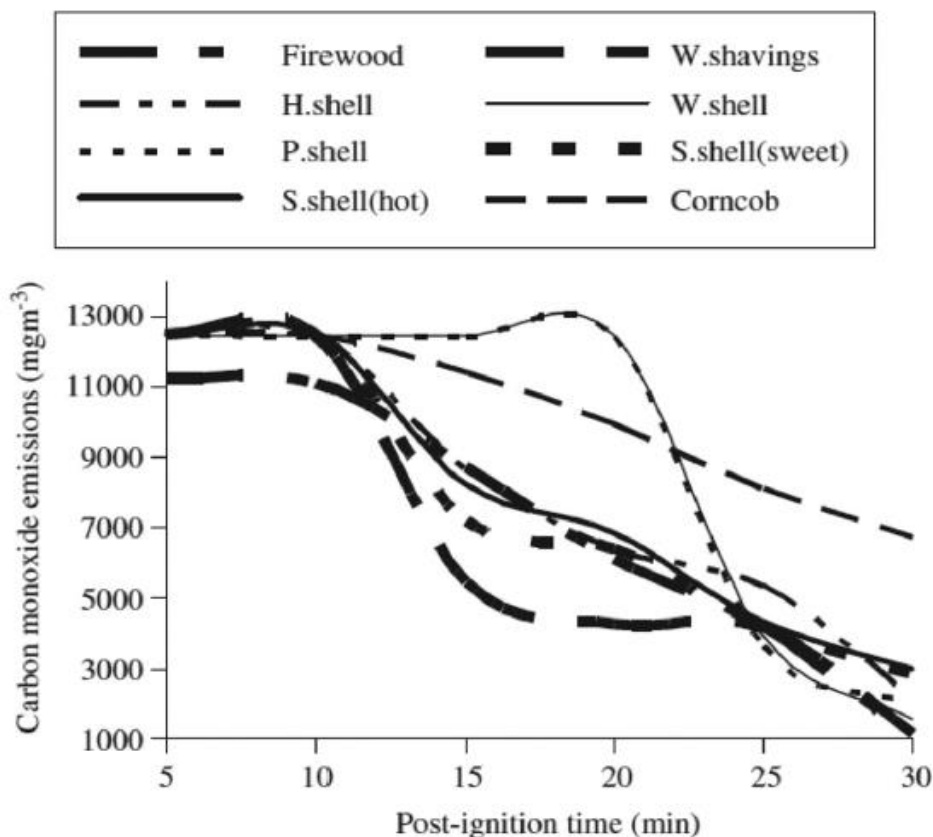
Στη Νορβηγία το δυναμικό της βιομάζας είναι πολύ υψηλότερο από αυτό που χρησιμοποιείται σήμερα, ενώ είναι γνωστό ότι οι σόμπες που καίγονται προκαλούν το 60% των συνολικών εκπομπών PM. Το ξύλο είναι καλύτερο από το πετρέλαιο όσον αφορά την καταστροφή του DNA των επιπτώσεων PM και τη βραχυπρόθεσμη κυτταροτοξικότητα. Οι μέθοδοι καύσης ξύλου χρησιμοποιούνται ευρέως για θέρμανση κατοικιών, ενώ εξακολουθούν να έχουν σημαντικές εκπομπές PM, οργανικού αερολύματος, μαύρου άνθρακα και άλλων ρυπογόνων ενώσεων. Αυτό οφείλεται κυρίως στις διαδικασίες καθαρισμού της τέφρας που έχουν ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση λεπτών και χονδροειδών σωματιδίων. Παρόλο που η διάρκεια απομάκρυνσης της τέφρας δεν είναι πολύ μεγάλη, υπάρχει ανάγκη χρήσης φίλτρων όπως το HEPA (High Efficiency Particulate Air).

Η εισαγωγή βιοκαυσίμων στα υπάρχοντα συστήματα συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG). Ως εκ τούτου, θα μπορούσε να είναι μια αποτελεσματική λύση μόνο εάν η βιομάζα είναι μια απεριόριστη πηγή στην περιοχή θέρμανσης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ξύλου που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις σόμπες, όπως παλιά ξυλεία, σύγχρονο επεξεργασμένο ξύλο, αυτοματοποιημένο πέλλετ και άλλα. Η σόμπα Pellet (φυσικού ξύλου) έχει τις χαμηλότερες εκπομπές ρύπων σε σύγκριση με άλλες παλιές σόμπες ξύλου. Ενώ, μεταξύ όλων των καυσίμων βιομάζας, ο άνθρακας είναι η καλύτερη επιλογή για χρήση για θέρμανση χώρων που παράγει πολύ λίγη ποσότητα καπνού και έχει θερμική απόδοση 46%.

Οι παλιές σόμπες θέρμανσης μπορούν να προκαλέσουν επικίνδυνες αναπνευστικές ασθένειες, γι' αυτό χρειάζονται βελτιώσεις. Ορισμένες σύγχρονες τεχνολογίες έχουν περισσότερες αρνητικές επιπτώσεις στις φλεγμονές των πνευμόνων σε σύγκριση με τις παλιές τεχνολογίες. Αυτό δείχνει ότι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο βαθμός τοξικότητας και όχι μόνο η ποσότητα των εκπομπών. Η κουλτούρα έχει μεγάλη επιρροή σε αυτές τις βελτιώσεις προκειμένου να ενθαρρύνει και να δώσει κίνητρα στους χρήστες. Είναι επίσης απαραίτητο να σημειωθεί ότι, η περιβαλλοντική προστασία είναι οικονομικά εφικτή γιατί ένας από τους κύριους στόχους είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Η διαδικασία καύσης ξύλου χωρίζεται σε δύο φάσεις: αρχική και σταθερή. Η υψηλότερη ποσότητα εκπομπών παράγεται συνήθως κατά την αρχική φάση εκτός από τα σωματίδια τα οποία βρίσκονται περισσότερο στη σταθερή. Το Σχήμα 46 δείχνει τη διαφορά μεταξύ των εκπομπών διαφορετικών καυσίμων βιομάζας που καίγονται σε σχέση με το χρόνο μετά την ανάφλεξη.



Σχήμα 46. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα επιλεγμένων καυσίμων βιομάζας σε σχέση με το χρόνο μετά την ανάφλεξη [43]

2.3.2 Πετρέλαιο

Σε ορισμένες χώρες και περιοχές, το πετρέλαιο είναι η κύρια πηγή θέρμανσης, όπως το ντίζελ, λόγω της χαμηλής τιμής αυτού του συστήματος θέρμανσης, του καυστήρα και του καυσίμου. Οι ΡΑΗ και η φορμαλδεΐδη είναι ουσίες που παρουσιάζουν την τοξικότητα των ΡΜ. Η τοξικότητα των ΡΑΗ που προκύπτει από το βιοντίζελ είναι 13 φορές μικρότερη ενώ η φορμαλδεΐδη είναι δύο φορές μεγαλύτερη από αυτή του πετρελαίου. Για το λόγο αυτό από άποψη εκπομπών προτιμάται το βιοντίζελ. Η Αυστρία είναι μια από τις χώρες που εξαρτάται από λέβητες πετρελαίου για θέρμανση. Πρόσφατα, οι λέβητες pellet και οι λέβητες συμπύκνωσης λαδιού έχουν βρεθεί ότι είναι καλές εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τους παλιούς λέβητες με καύση πετρελαίου. Η ζήτηση λεβήτων pellet έχει αυξηθεί σημαντικά λόγω των χαμηλών εκπομπών GHG σε σύγκριση με το πετρέλαιο και της μείωσης της ζήτησης ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, οι λέβητες pellet έχουν και άλλες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Σε μία σύγκριση των συστημάτων θέρμανσης πετρελαίου με αυτά του υγραερίου (LPG), ο συγγραφέας συμπέρανε ότι η χρήση υγραερίου αντί για πετρέλαιο στην Ευρώπη θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα κατά 50%.

2.3.3 Φυσικό Αέριο

Από περιβαλλοντική άποψη, είναι προτιμότερο να αντικατασταθούν τα συστήματα θέρμανσης στερεών καυσίμων με λέβητες φυσικού αερίου (NG) προκειμένου να μειωθεί η ποσότητα των εκπομπών CO₂. Η αντικατάσταση των ξυλόσομπων με συμπιεσμένο φυσικό αέριο έχει επίσης επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά μικρότερες.

Ωστόσο, είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψιν και μια πιθανή διαρροή φυσικού αερίου που θεωρείται χειρότερη από το CO₂ όσον αφορά την υπερθέρμανση του πλανήτη. Σε μια μελέτη για τους εθνικούς λέβητες αερίου και τις επιπτώσεις τους στις εκπομπές NO_x στην Ιταλία από το 1999 έως το 2000, φάνηκε ότι υπάρχει ανάγκη αντικατάστασης των λεβήτων προκειμένου να μειωθούν αυτές οι εκπομπές με τη χρήση λεβήτων συμπύκνωσης.

Η απόσβεση των καυσαερίων έχει σημαντικό αντίκτυπο στη μείωση των συγκεντρώσεων CO και NO λόγω του σχηματισμού αντιδράσεων οξειδωσης. Το συνθετικό φυσικό αέριο (SNG) προκαλεί λιγότερη θολερότητα (52%), αλλά υψηλότερα GHG (65%) σε σύγκριση με τον άνθρακα. Αντίθετα, το SNG έχει χαμηλή απόδοση οπότε επιβάλλει να καταναλώνει επιπλέον ποσότητα ενέργειας.

Επομένως, θα πρέπει να προσαρμοστεί κατά τρόπο ώστε να εξισορροπεί τη ρύπανση στις αστικές περιοχές και στις περιοχές που παράγουν SNG, διότι διαφορετικά οι ρύποι θα μεταφερθούν έμμεσα από τις αστικές περιοχές στις περιοχές παραγωγής του.

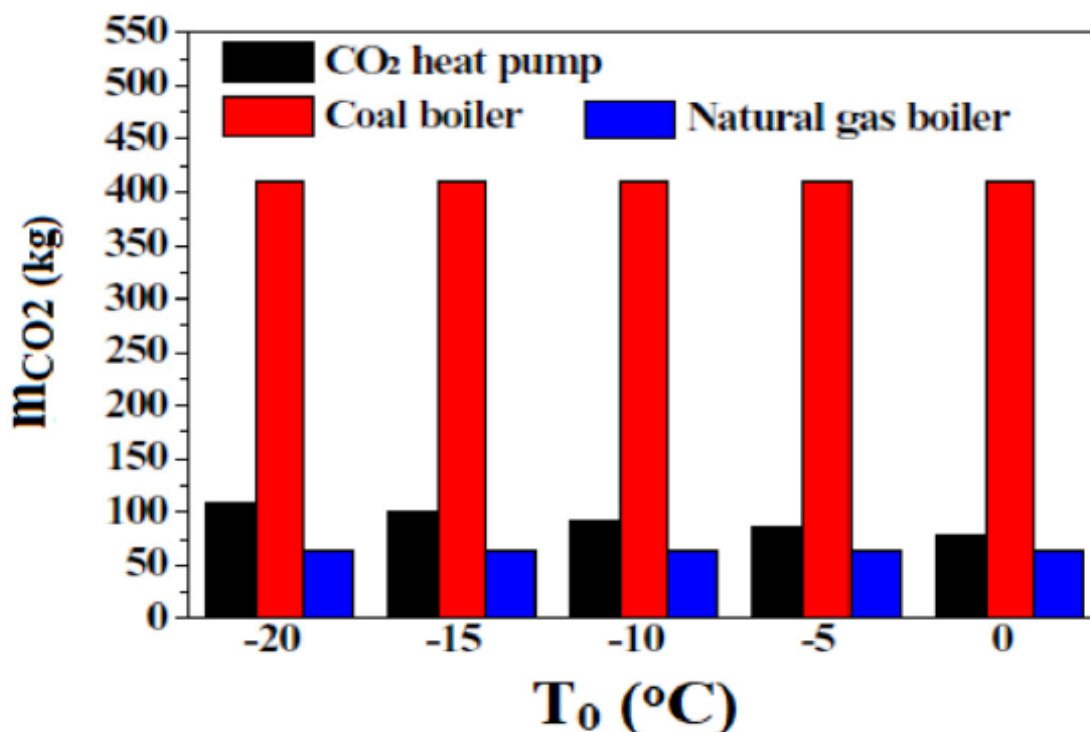
2.3.4 Αντλία Θερμότητας με πηγή Αέρα

Οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα (ASHP) κινούνται με ηλεκτροκινητήρες προκειμένου να τροφοδοτήσουν τον συμπιεστή με την απαιτούμενη ενέργεια. Πράγματι, οι εκπομπές τέτοιων συστημάτων εξαρτώνται έμμεσα από τις πηγές ενέργειας και τις τεχνολογίες που τροφοδοτούν το δίκτυο με ηλεκτρική ενέργεια.

Η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας (HP) εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του εργαζόμενου μέσου. Σε αρκετές πρόσφατες μελέτες, το CO₂ έχει επιλεγεί ως εργαζόμενο μέσο επειδή είναι άφθονο. Το COP της αντλίας θερμότητας εξαρτάται από την εξωτερική θερμοκρασία έτσι ώστε αν αυξηθεί η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ποσότητα των εκπομπών θα μειωθεί. Βασίζεται επίσης στον εποχιακό παράγοντα απόδοσης (SPF).

Θα μπορούσε να επιτευχθεί σημαντική μείωση των εκπομπών σε SPF. Συνήθως, οι αντλίες θερμότητας CO₂ βασίζονται σε υπερκρίσιμους κύκλους με συσκευή υπόψυξης R134a που μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη της βέλτιστης λειτουργίας. Η συνολική μείωση του κόστους κατά τη χρήση αντλίας θερμότητας CO₂ είναι 120% και 26% σε σύγκριση με τους λέβητες άνθρακα και φυσικού αερίου αντίστοιχα.

Παρόλο που αυτές οι αντλίες θερμότητας εκπέμπουν ελαφρώς μεγαλύτερη ποσότητα CO₂ σε σύγκριση με τους λέβητες αερίου (Σχήμα 47), εξακολουθούν να είναι πολύ ελκυστικές ως υποκατάστατο του άνθρακα, ειδικά σε εκείνες τις χώρες που δεν είναι πλούσιες σε φυσικό αέριο.



Σχήμα 47. Σύγκριση μεταξύ boiler άνθρακα, boiler φυσικού αερίου και αντλία θερμότητας CO₂, ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [43].

2.3.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα μπορούσαν να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ κατά 40 φορές σε σύγκριση με αυτές του άνθρακα και του λιγνίτη. Τα υβριδικά συστήματα μπορούν επίσης να συμβάλουν στη μείωση αυτών των εκπομπών και ειδικά εάν βασίζονται σε ΑΠΕ. Από αυτή την άποψη, προτιμάται ιδιαίτερα η χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (ESS) για τη σταθεροποίηση ολόκληρου του ενεργειακού συστήματος. Το κύριο μειονέκτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η μεγάλη περίοδος οικονομικής απόσβεσης σε πολλές περιπτώσεις. Ωστόσο, η προστασία του πλανήτη είναι πλέον ανταγωνιστικό κριτήριο για την επιλογή ενός συστήματος, επομένως δεν πρέπει να παραμερίζεται.

2.3.5.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για άμεση χρήση, όπως η θέρμανση του νερού ή να αποθηκευτεί με τη βοήθεια ενός ESS. Είναι απαραίτητο να αποθηκευτεί η θερμότητα που παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια για να χρησιμοποιηθεί τη νύχτα, διαφορετικά θα πρέπει να ενεργοποιηθεί ένα βοηθητικό σύστημα. Τα συστήματα ηλιακής θέρμανσης ήταν σε θέση να μειώσουν 250.4 kg CO₂/έτος ως μέση τιμή για συγκεκριμένες μονάδες που μελετήθηκαν στη Βραζιλία. Αυτή η τιμή εξαρτάται από την κλιματική ζώνη και τα παραδοσιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται στην περιοχή. Μπορεί να υπάρχουν πολλά συστήματα που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη μείωση των εκπομπών CO₂, όπως η ηλιακή θέρμανση νερού, αλλά δεν προτιμάται λόγω οικονομικών λόγων σε ορισμένες περιπτώσεις. Ως εκ τούτου, η ιεράρχηση των προτεραιοτήτων είναι πολύ σημαντική προκειμένου να δοθεί έμφαση αρχικά στην περιβαλλοντική πτυχή. Συνήθως, τα συστήματα ηλιακής ενέργειας δεν έχουν άμεσο αντίκτυπο στο περιβάλλον, ωστόσο, η ρύπανση μπορεί να μεταφερθεί κατά τις διαδικασίες κατασκευής και συντήρησης, κάτι που τονίζει την ανάγκη εκπόνησης μελετών για ολοκληρωμένους κύκλους ζωής.

2.3.5.2 Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια πολύ ελκυστική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας πρόσφατα λόγω της ανεξάρτητης φύσης της. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παροχή θέρμανσης και ψύξης με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας πηγής εδάφους (GSHP). Αυτό το σύστημα εκμεταλλεύεται την υψηλή υπόγεια θερμοκρασία το χειμώνα σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Σε σύγκριση με το συμβατικό ASHP (αντλία θερμότητας με πηγή αέρα), το GSHP απαιτεί λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει αφού η πηγή εδάφους αντισταθμίζει αυτή τη διαφορά ενέργειας. Αυτό συμβαίνει λόγω της ικανότητας του εδάφους να εξατμίζει το λειτουργικό ρευστό σε υψηλότερη θερμοκρασία. Προκειμένου να αυξηθεί το δυναμικό της, πρέπει να υιοθετηθεί η εποχιακή αποθήκευση που οδηγεί σε λιγότερες εκπομπές άνθρακα, όπως αποθήκευση θερμικής ενέργειας από γεωτρήσεις (BTES) και αποθήκευση θερμικής ενέργειας υδροφορέων (ATES).

Το GSHP είναι μια από τις προτιμώμενες αντικαταστάσεις του boiler φυσικού αερίου, αλλά εξακολουθεί να μην έχει αναπτυχθεί πλήρως για να καλύπτει όλες τις πιθανές λειτουργίες. Αποδείχθηκε ότι η αντικατάσταση των λεβήτων θέρμανσης χώρου φυσικού αερίου και των ορυκτών καυσίμων για θέρμανση με αποδοτικές αντλίες θερμότητας, όπως GSHP και ASHP, θα μειώσει την απαιτούμενη πρωτογενή ενέργεια κατά 60% και τις εκπομπές CO₂ κατά 90% στην Ευρώπη. Διαπιστώθηκε ότι η χρήση αντλίας θερμότητας για θέρμανση αντί για συστήματα άνθρακα θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά 43%. Από την άλλη πλευρά, οι λέβητες αερίου συμπύκνωσης θα μπορούσαν επίσης να είναι μια καλύτερη λύση από τα ASHP σε μέρη όπου το στερεό καύσιμο είναι η κύρια πηγή ενέργειας.

2.3.6 Τηλεθέρμανση

Οι εκπομπές της τηλεθέρμανσης (DH- District Heating) εξαρτώνται από το καύσιμο της μονάδας-πηγής, το χειρισμό και τη μεταφορά καυσίμων ανά παραδοτέα μονάδα. Εάν το σύστημα λειτουργεί με σταθερή ισχύ, θα απελευθερωθούν περισσότερες εκπομπές CO₂ λόγω της επιπλέον κατανάλωσης ενέργειας. Πρόσφατα, παρουσιάστηκαν τα συστήματα τηλεθέρμανσης πέμπτης γενιάς, τα οποία βασίζονται στην παροχή χαμηλών θερμοκρασιών και συνήθως σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και αμφότερα στοχεύουν στην αύξηση της απόδοσης των συστημάτων, και στη μείωση των απωλειών και των εκπομπών.

Αυτή η γενιά είναι επίσης γνωστή ως αμφίδρομο σύστημα τηλεθέρμανσης και ψύξης (DHC). Σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Μόσχα, η οποία είναι η μεγαλύτερη πόλη στον κόσμο που χρησιμοποιεί τηλεθέρμανση, παρατηρήθηκε ότι οι εκπομπές CO₂ ήταν ευθέως ανάλογες με τις θερμικές εκπομπές. Δεδομένου ότι αυτά τα συστήματα είναι πολύ μεγάλα, η κατασκευή υποδομής δικτύου θα έχει πράγματι σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, εκτός από τη φάση λειτουργίας. Η Πολωνία είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη εξάρτηση από την τηλεθέρμανση στην Ευρώπη, αλλά το πρόβλημα είναι ότι χρησιμοποιεί τον άνθρακα ως κύρια πηγή. Έτσι, προτάθηκε η χρήση της αποτέφρωσης αστικών απορριμμάτων, η οποία θεωρείται καλύτερη επιλογή από τα μεμονωμένα συστήματα λόγω των σύγχρονων τεχνικών και μεθόδων καθαρισμού που εμπλέκονται.

Η επέκταση της τηλεθέρμανσης συνοδεύεται από σοβαρά προβλήματα όπως η αύξηση του ρυθμού ροής μάζας που μπορεί να προκαλέσει μεγάλους κραδασμούς εκτός από την αύξηση των εκπομπών CO₂. Ως εκ τούτου, ο βέλτιστος σχεδιασμός είναι μείζονος σημασίας για την επίλυση των αναφερθέντων προβλημάτων, σχετικά με τις ταχύτητες και τις πιέσεις στις σωληνώσεις.

Οι σωλήνες της τηλεθέρμανσης κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα που μπορεί να υποστεί διάβρωση για μεγάλες περιόδους. Οι χημικές ουσίες θα μπορούσαν να είναι μια λύση για τη μείωση αυτού του αποτελέσματος. Διαπιστώθηκε ότι η έγχυση οξυγόνου είναι ένας φιλικός προς το περιβάλλον τρόπος με τον οποίο ενεργοποιείται μια αντίδραση οξειδωσης επιτρέποντας αύξηση της αντοχής στη διάβρωση αυτών των σωλήνων.

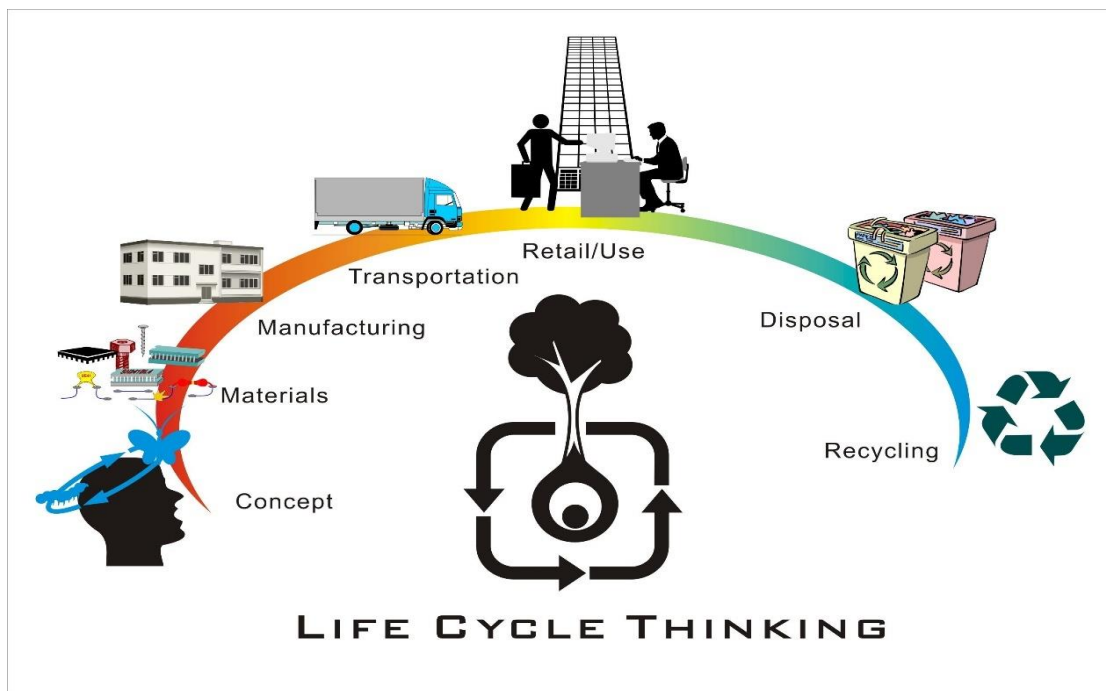
Η τηλεθέρμανση έχει υψηλή περιβαλλοντική απόδοση, αλλά εξακολουθεί να μην προτιμάται πάντα ανάλογα με τον τύπο της πηγής που τροφοδοτεί το κύριο σύστημα. Συνιστάται ιδιαίτερα η χρήση ηλιακής ενέργειας και ιδιαίτερα η διαμόρφωση δικτύου 4 σωλήνων, ενώ από την άλλη, το φυσικό αέριο είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται σε μεμονωμένους λέβητες σε κάθε κατοικία.

3. Ανάλυση κύκλου ζωής

3.1 Εισαγωγή στην ανάλυση κύκλου ζωής

Η ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) είναι ένα εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του αντίκτυπου ενός προϊόντος, ενός συστήματος ή μιας δραστηριότητας στο περιβάλλον. Η περιβαλλοντική αυτή αξιολόγηση, είναι μια συστηματική, τυποποιημένη προσέγγιση για την ποσοτικοποίηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας κατασκευής που προκύπτει από την εξόρυξη πρώτων υλών έως το τέλος της ζωής τους (Σχήμα 48). Οι μεθοδολογίες για την ανάλυση κύκλου ζωής ορίζονται από τη σειρά του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO).

Τα αποτελέσματα της εν λόγω αξιολόγησής μπορούν να βοηθήσουν στον προσδιορισμό των τομέων βελτίωσης στις παραγωγικές διαδικασίες, να βοηθήσουν τον στρατηγικό σχεδιασμό και να ενημερώσουν τη δημόσια πολιτική. Επίσης, επιτρέπουν τη σύγκριση διαφορετικών προϊόντων, δίνοντας την δυνατότητα στους επαγγελματίες να απαντήσουν σε ερωτήσεις σχετικά με την σύγκριση δύο διαδικασιών από πλευράς περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Τέλος, οι αναλύσεις κύκλου ζωής χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση του σχεδιασμού προϊόντων, διεργασιών ή συστημάτων, καθώς μπορούν να προσδιορίσουν τις επιμέρους διαδικασίες παραγωγής με υψηλή περιβαλλοντική επιβάρυνση, επιτρέποντας το σχεδιασμό και τη σύγκριση εναλλακτικών οδών παραγωγής.

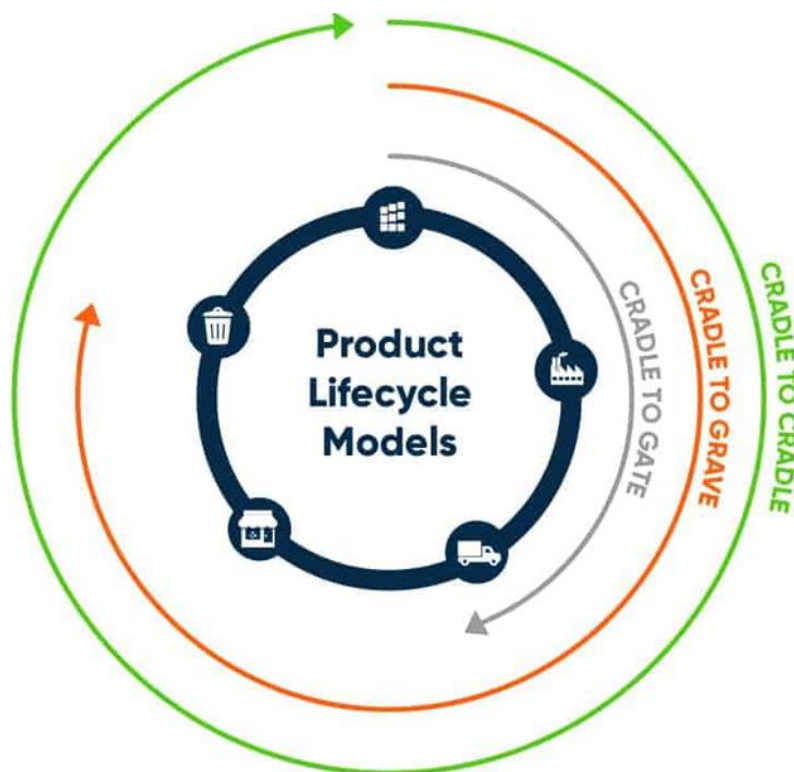


Σχήμα 48. Τα στάδια ενός κύκλου ζωής [44].

3.2 Μορφές ανάλυσης κύκλου ζωής

Οι ποσοτικοποιήσεις αναλύσεων κύκλου ζωής μπορούν να πραγματοποιηθούν με πολλές μορφές, οι οποίες επισημαίνονται ως παραλλαγές της εν λόγω αξιολόγησης. Ακολουθούν οι πιο δημοφιλείς από αυτές (Σχήμα 49):

- Cradle to grave (‘Από το λίκνο μέχρι τον τάφο’): Είναι μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση που περιλαμβάνει όλα τα στάδια ενός κύκλου ζωής, από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την απόρριψή τους στο περιβάλλον.
- Cradle to gate (‘Από το λίκνο μέχρι την πύλη’): Είναι μια πιο συγκεκριμένη αξιολόγηση, που ασχολείται μόνο με τις διαδικασίες εξόρυξης, παραγωγής, κατασκευής, συσκευασίας και μεταφοράς των πρώτων υλών στο εργοστάσιο επεξεργασίας τους. Αξιολογεί μόνο τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εντός του εργοστασίου και δεν περιλαμβάνει τις φάσεις διανομής, χρήσης και διάθεσης από τους καταναλωτές. Το πλεονέκτημα αυτής της μορφής ανάλυσης συγκριτικά με τις υπόλοιπες είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων για την εκτέλεση μιας παραγωγικής διαδικασίας, αφού όπως είναι αντιληπτό όσο προστίθενται δεδομένα σε μια μελέτη, παρατηρείται αύξηση του σφάλματος.
- Cradle to cradle (‘Από λίκνο σε λίκνο’): Αυτού του είδους η αξιολόγηση, μοιάζει με την Cradle to grave, με την διαφορά όμως ότι το στάδιο του τέλους ζωής ενός προϊόντος είναι μια διαδικασία ανακύκλωσης, επομένως το προϊόν δεν θα απορριφθεί μετά το τέλος της ζωής του.



Σχήμα 49. Μορφές ανάλυσης κύκλου ζωής [45].

3.3 Επίπεδα διαχωρισμού των αναλύσεων κύκλου ζωής

Η μεθοδολογία LCA μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρία επίπεδα με βάση τις τεχνολογικές λεπτομέρειες:

- **Εννοιολογική ανάλυση κύκλου ζωής:** Περιλαμβάνει το πρώτο επίπεδο ανάλυσης που βασίζεται σε περιορισμένες περιβαλλοντικές πτυχές λίγων σταδίων του κύκλου ζωής όπου υπάρχει ακόμη κάποια δυνατότητα βελτίωσης για τον κατασκευαστή. Τα αποτελέσματα μπορεί να είναι χρήσιμα για την ποιοτική αναφορά των αποτελεσμάτων αξιολόγησης, αλλά δεν είναι κατάλληλα για εταιρικό μάρκετινγκ ή ρητή δημοσίευση μελέτης LCA.
- **Απλοποιημένη ανάλυση κύκλου ζωής:** Αυτός είναι ο τύπος ολοκληρωμένης αξιολόγησης που χρησιμοποιεί γενικά σύνολα δεδομένων που καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή ενός συστήματος διαδικασιών. Επίσης, ο απαιτούμενος χρόνος και οι δαπάνες μειώνονται σημαντικά εδώ, κάτι που διαφοροποιεί αρκετά την εν λόγω ανάλυση από τη λεπτομερή που θα οριστεί στην συνέχεια. Αυτό συνίσταται σε έλεγχο των σταδίων του κύκλου ζωής, σε απλοποίηση των αποτελεσμάτων LCA για μελλοντικές συστάσεις και στην διασφάλιση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Αυτό συχνά αποκαλείται «Βελτιωμένη LCA».
- **Λεπτομερής ανάλυση κύκλου ζωής:** Αυτός ο τύπος ανάλυσης είναι ολοκληρωμένος με την πλήρη εξέταση κάθε σταδίου του κύκλου ζωής. Περιέχει σύνολα δεδομένων ειδικά για το σύστημα που αξιολογείται, και αναλύεται εξονυχιστικά για περαιτέρω βελτίωση της διαδικασίας. Όταν εκτελείται μια τέτοια ανάλυση, πρέπει οι εισροές που θα τοποθετηθούν να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβείς, καθώς η μη εισαγωγή ρεαλιστικών δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα.

3.4 Στάδια ανάλυσης κύκλου ζωής

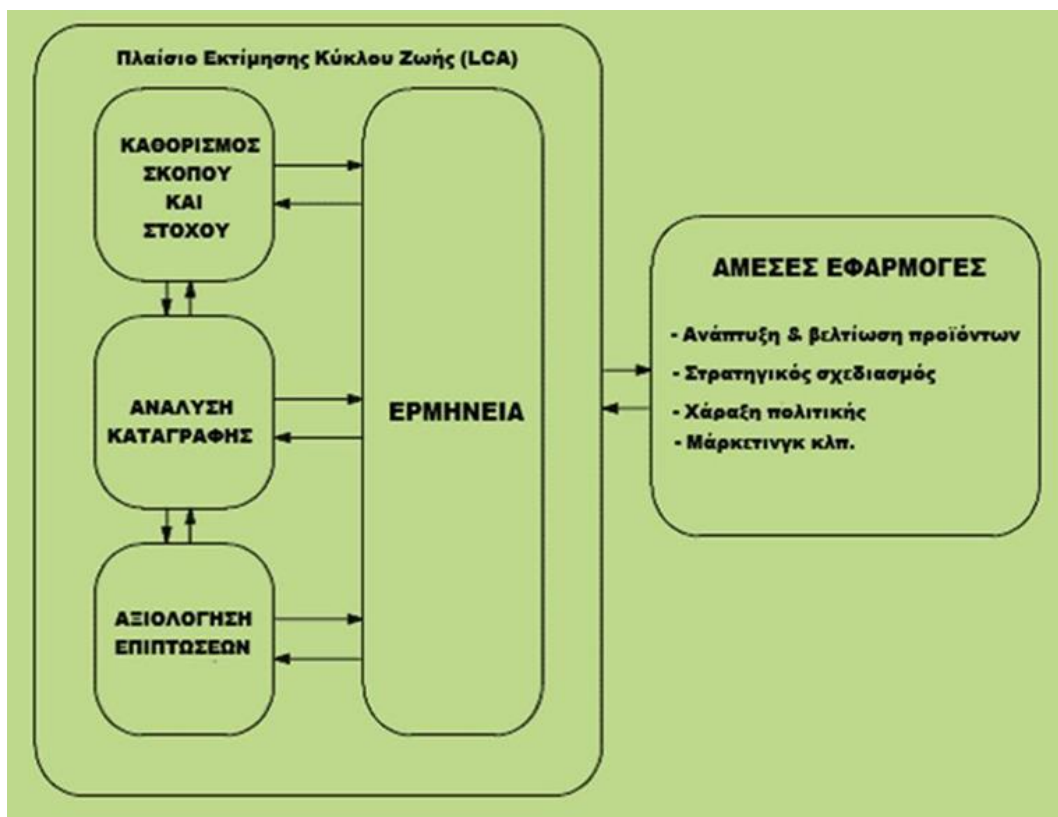
Στις μέρες μας, η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κίνητρα βελτίωσης των διαδικασιών που εκτελούνται. Είναι λοιπόν λογικό η αξιολόγηση κύκλου ζωής να λαμβάνει τα τελευταία χρόνια δεσπόζουσα θέση στην επαγγελματική ζωή του σύγχρονου ανθρώπου. Αν και η ποικιλία εφαρμογών της εν λόγω ανάλυσης είναι μεγάλη οι κυριότερες είναι οι εξής:

- Ανάλυση της συμβολής των σταδίων του κύκλου ζωής στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο, συνήθως με στόχο να δοθεί προτεραιότητα σε βελτιώσεις προϊόντων ή διαδικασιών.
- Σύγκριση προϊόντων για εξαγωγή στο εμπόριο.

Όποιοι και αν είναι όμως ο σκοπός και η μορφή των αναλύσεων κύκλου ζωής, το κοινό τους χαρακτηριστικό είναι ότι χωρίζονται σε 4 στάδια τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω (Σχήμα 50):

- **Στάδιο 1 (Goal and scope):** Ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής στοχεύουν να καθορίσουν πόσο μεγάλο μέρος του κύκλου ζωής του προϊόντος θα ληφθεί κατά την αξιολόγηση και σε ποιον σκοπό θα εξυπηρετήσει η αξιολόγηση. Επίσης, τα κριτήρια που χρησιμεύουν για τη σύγκριση του συστήματος και τους συγκεκριμένους χρόνους περιγράφονται σε αυτό το βήμα.
- **Στάδιο 2 (Life cycle inventory analysis):** Σε αυτό το βήμα, η ανάλυση αποθέματος δίνει μια πλήρη περιγραφή των υλικών που απαιτούνται και της ενέργειας που καταναλώνεται εντός του υπό μελέτη συστήματος, και προσδιορίζεται λεπτομερώς η αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον, οι πρώτες ύλες που καταναλώθηκαν και οι αναπόφευκτες εκπομπές στο περιβάλλον. Όλες οι σημαντικές διεργασίες και οι δευτερεύουσες ροές ενέργειας και υλικών περιγράφονται στη συνέχεια.
- **Στάδιο 3 (Life cycle impact assessment):** Οι λεπτομέρειες από την ανάλυση απογραφής που έλαβε χώρα στο προηγούμενο στάδιο, χρησιμεύουν για την εκτίμηση των τελικών επιπτώσεων. Τα αποτελέσματα των δεικτών όλων των κατηγοριών επιπτώσεων περιγράφονται λεπτομερώς σε αυτό το βήμα. Η σημασία κάθε κατηγορίας αξιολογείται μέσω της κανονικοποίησης, και τελικά με τη στάθμιση των αποτελεσμάτων ο χρήστης κατανοεί πλήρως το περιβαλλοντικό αντίκτυπο του συστήματος που μελετά σε κάθε διαφορετικό κλάδο του οικοσυστήματος (κλιματική αλλαγή, ύδατα κλπ.).
- **Στάδιο 4 (Interpretation):** Η ερμηνεία ενός κύκλου ζωής περιλαμβάνει κριτική ανασκόπηση, προσδιορισμό της ευαισθησίας των δεδομένων και τελικά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Αν φυσικά η αξιολόγηση περιέχει σύγκριση συστημάτων, σε αυτό το στάδιο παρατίθενται και τα αποτελέσματα της σύγκρισης εφόσον αυτά οδηγούν σε κάποια ρεαλιστικά συμπεράσματα. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθούν οι περιορισμοί που υπήρχαν κατά τη διεξαγωγή της μελέτης, και να προσδιοριστούν οι βελτιώσεις που θα γινόταν αν η αξιολόγηση πραγματοποιούνταν από την αρχή.

Όπως είναι φανερό, μια αξιολόγηση κύκλου ζωής απευθύνεται σε αμέτρητους κλάδους της καθημερινότητας. Συνεπώς, οι διαφορετικές αναλύσεις που μπορούν να διεξαχθούν, είναι αδιαμφισβήτητα απεριόριστες. Ανάλογα λοιπόν με το προϊόν κάθε τέτοιας μελέτης, η διαδικασία εκτέλεσης των παραπάνω σταδίων διαφοροποιείται. Αν για παράδειγμα γίνεται λόγος για μια ολοκληρωμένη και εκτεταμένη αξιολόγηση, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψιν όλα τα χαρακτηριστικά κάθε σταδίου. Αν όμως διεξάγεται μια απλή ανάλυση κύκλου ζωής ενός μικρού προϊόντος, δεν θα ήταν απαραίτητη για παράδειγμα μια ανάλυση ευαισθησίας.



Σχήμα 50. Τα στάδια κύκλου ζωής [46].

3.5 Εισροές και εκροές της ανάλυσης κύκλου ζωής μιας διαδικασίας

Η αξιολόγηση LCA, είναι το επίκεντρο του οικολογικού σχεδιασμού, που ασχολείται με τη σχεδιαστική προσέγγιση ενός προϊόντος λαμβάνοντας πλήρως υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του προϊόντος σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του. Η ανάλυση κύκλου ζωής αναλύει τις επιπτώσεις στο περιβάλλον τόσο από τη χρήση πόρων (εισροές) όσο και από τις εκπομπές που δημιουργούνται από μια δεδομένη διαδικασία (εκροές). Αυτές παρουσιάζονται παρακάτω.

Εισροές (Inputs):

- Πρώτες ύλες
- Νερό
- Ενέργεια
- χημικά και άλλα βοηθητικά

Εκροές (Outputs):

- Προϊόντα
- Παραπροϊόντα
- Στερεά απόβλητα
- Ατμοσφαιρικές εκπομπές
- Εκπομπές νερού
- Εκπομπές στην γη

Συμπερασματικά λοιπόν, η διαδικασία ποσοτικού προσδιορισμού ξεκινά από τη φάση παραγωγής και εξόρυξης της πρώτης ύλης, στη συνέχεια εκτείνεται στη διαδικασία κατασκευής, και ακολουθούν οι φάσεις συσκευασίας, διανομής, λιανικής πώλησης, χρήσης και απόρριψης. Πρέπει όμως να γίνει σαφές, ότι η ανάλυση δεν έχει ολοκληρωθεί μόλις συλλεχθούν οι διαφορετικές εισροές και εκροές, καθώς αυτό είναι μόνο το αρχικό βήμα. Αυτές οι λεπτομέρειες εισόδου και εξόδου, που ονομάζονται απόθεμα κύκλου ζωής, θα μετατραπούν σε μαθηματικά μοντέλα για ανάλυση, ώστε να γίνει η αξιολόγηση των τελικών επιπτώσεων. Αυτές οι επιπτώσεις στη συνέχεια ποσοτικοποιούνται στην ανάλυση με την μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιεί κάθε λογισμικό, και σχετίζονται με μια κλίμακα τριών επιπέδων, που είναι η τοπική, η περιφερειακή και η παγκόσμια. Ακολουθεί το σχεδιάγραμμα μιας αξιολόγησης κύκλου ζωής, όπως αυτή διαχωρίζεται στις φάσεις που προαναφέρθηκαν (Σχήμα 51).



Σχήμα 51. Εισροές και εκροές της ανάλυσης κύκλου ζωής μιας διαδικασίας [46].

3.6 Τελικές επιπτώσεις μιας ανάλυσης κύκλου ζωής

Η LCA μπορεί να μετρήσει έναν μακρύ κατάλογο επιπτώσεων σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Οι βασικότερες είναι οι παρακάτω:

climate change (κλιματική αλλαγή - αποτύπωμα άνθρακα)

ecological footprint (οικολογικό αποτύπωμα)

water footprint (αποτύπωμα νερού)

acidification (οξίνιση των ωκεανών)

Eutrophication (ευτροφισμός)

human toxicity (ανθρώπινη τοξικότητα)

energy footprint (ενεργειακό αποτύπωμα)

ozone depletion potential (δυνατότητα καταστροφής του όζοντος)

photochemical oxidation potential (δυναμικό φωτοχημικής οξείδωσης)

smog (νέφος)

depletion of biotic and abiotic resources (εξάντληση βιοτικών και αβιοτικών πόρων)

eco-damage (οικολογική ζημιά)

land use (χρήση της γης)

3.7 Οφέλη από την εκτέλεση αναλύσεων κύκλου ζωής

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα εργαλεία περιβαλλοντικής αξιολόγησης. Μερικά από τα πιο σημαντικά οφέλη είναι τα εξής:

- Αυτή η μέθοδος μπορεί να παρέχει μια συστηματική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του προϊόντος.
- Η μεθοδολογία της αξιολόγησης του κύκλου ζωής, που βασίζεται σε νέες πληροφορίες και επιστημονικές εξελίξεις, είναι ανοιχτή στις εξελίξεις του σήμερα.
- Τα δεδομένα δείχνουν πώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μεταδίδονται από τον έναν κύκλο στον άλλο.
- Παρέχει ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων και των εκπομπών στον αέρα, το νερό και τη γη σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής.
- Προσδιορισμός ευκαιριών για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των προϊόντων σε διαφορετικά σημεία του κύκλου ζωής τους.
- Ενημέρωση των υπευθύνων λήψης αποφάσεων σε υπεύθυνους κλάδους (δηλαδή, κυβερνητικές υπηρεσίες ή μη κυβερνητικές οργανώσεις).
- Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του κύκλου ζωής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, καθώς και των αναλωσίμων προϊόντων σε τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα. Με τον τρόπο αυτόν, ο σύγχρονος άνθρωπος ενημερώνεται για τις περιβαλλοντικές συνέπειες που δημιουργεί ο υπερκαταναλωτισμός του, και αποκτά ταχύτερα οικολογική συνείδηση. Επίσης, επιταχύνεται η εξέλιξη του παραγωγικού τομέα ο οποίος αποτελεί και το μεγαλύτερο ποσοστό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
- Με την μέθοδο LCA, ένας επαγγελματίας μπορεί να παρατηρήσει αν η επένδυση του μπορεί να υποστεί βελτίωση.
- Με αυτή τη μέθοδο είναι δυνατό να συγκριθούν οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις δύο προϊόντων ή παρόμοιων διαδικασιών με σκοπό να γίνει η επιλογή της βέλτιστης επιλογής.

3.8 Λογισμικά εκτέλεσης αναλύσεων κύκλου ζωής

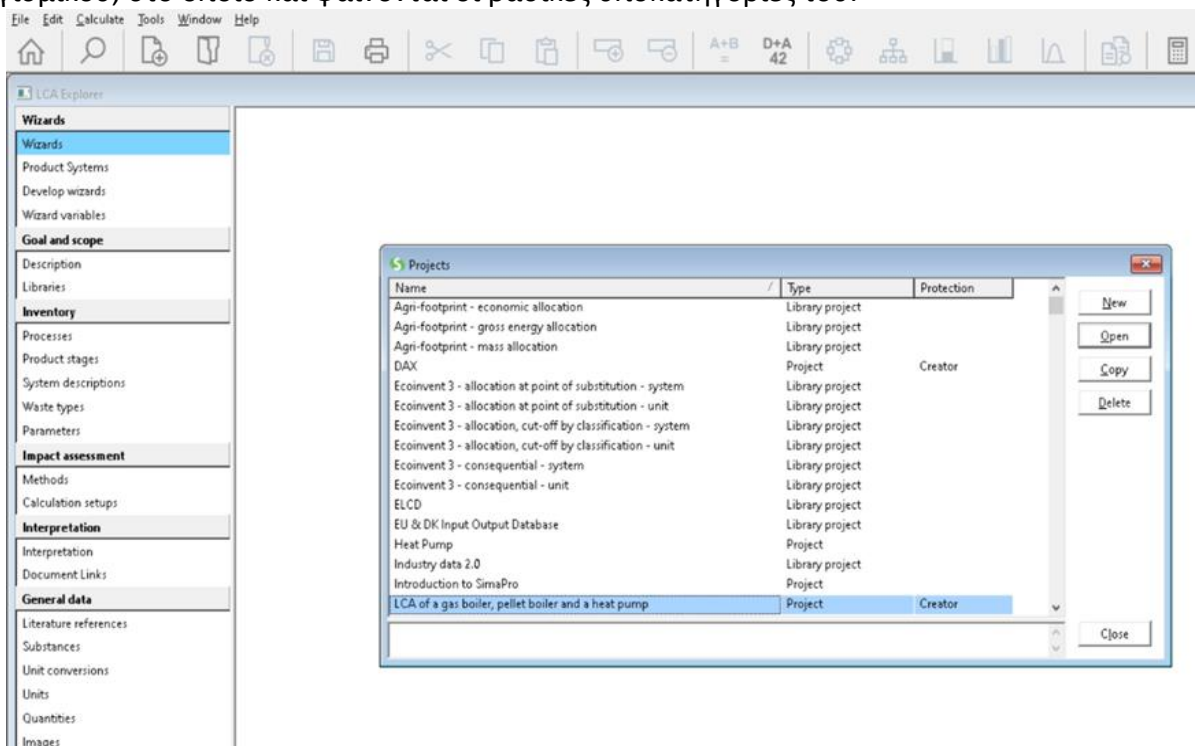
Υπάρχουν πολλά πακέτα λογισμικού με τα οποία μπορεί να επιτευχθεί μια αξιολόγηση κύκλου ζωής. Τα πιο διαδεδομένα όμως και με τις περισσότερες αποτελεσματικές αναλύσεις είναι τα SimaPro, GaBi, Umberto, και OpenLCA. Είναι φυσικό κάθε λογισμικό να έχει τις ιδιαιτερότητες του και να διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα σε μεγάλο βαθμό. Η μεθοδολογία όμως που αναφέρθηκε παραπάνω σχετικά με τις αξιολογήσεις κύκλου ζωής είναι η ίδια σε όλα τα λογισμικά, με αποτέλεσμα ένας χρήστης που γνωρίζει την λογική του LCA να μπορεί πολύ ευκολά να εκτελέσει την μελέτη του σε όλα τα παραπάνω. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα γίνει μια εισαγωγή της λογικής με την οποία λειτουργεί το λογισμικό Simapro, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης στην παρούσα διπλωματική.

4. Παρουσίαση του λογισμικού Simapro

Εισαγωγή στο Simapro

Για την επίτευξη της μελέτης που θα διεξαχθεί στο επόμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SimaPro και η έκδοση 9.0.0.48. Το λογισμικό αυτό αναπτύχθηκε από την PRe Sustainability μερικά χρόνια πριν, με απώτερο σκοπό να διατηρηθεί η βιωσιμότητα του πλανήτη μέσω της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από οποιαδήποτε δραστηριότητα. Η εταιρία PRe Sustainability υπήρξε κορυφαία δύναμη στον τομέα των κύκλων ζωής για σχεδόν 30 χρόνια, αλλά και πρωτοπόρος στον τομέα της περιβαλλοντικής και κοινωνικής εκτίμησης επιπτώσεων. Μέσω του εν λόγω λογισμικού, είναι εφικτό να πραγματοποιούνται αναλύσεις κύκλου ζωής βασισμένες σε καταγεγραμμένα γεγονότα. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει απογραφές κύκλου ζωής και διεργασίες για υλικά, ενέργεια, μεταφορές και μεθόδους επεξεργασίας αποβλήτων.

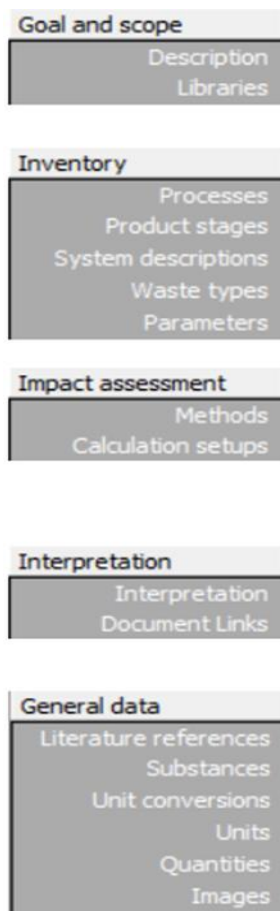
Κάθε υποκατηγορία του προγράμματος αποτελείται από διάφορα στοιχεία. Αυτά περιλαμβάνουν τις συμπεριλαμβανόμενες και εξαιρούμενες διεργασίες, τις περιβαλλοντικές εκπομπές και τις ενεργειακές εισροές. Προκειμένου να γίνουν αναλύσεις, αναπτύσσεται ένα μοντέλο από τον χρήστη για κάθε συστατικό, και τα αποτελέσματα υπολογίζονται μέσω διαφόρων μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται η μέθοδος εκτίμησης επιπτώσεων 'ReCiPe Endpoint H/A 1.13', η οποία έχει αποδείξει την αξία της για τέτοιου είδους αναλύσεις όπως αυτή που θα ακολουθήσει, λόγω της επικαιρότητας και του πεδίου εφαρμογής της συγκριτικά με άλλες μεθόδους. Η μέθοδος αυτή όπως και πολλές άλλες, χρησιμοποιεί τις υποκατηγορίες καθώς και μια ολοκληρωμένη απογραφή εκπομπών που έχει ορίσει ο χρήστης, ώστε να καταλήξει τελικά στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στην συνέχεια ακολουθεί το Σχήμα 52 που είναι το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού, στο οποίο και φαίνονται οι βασικές υποκατηγορίες του.



Σχήμα 52. Γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Simapro κατά το ξεκίνημά του

4.1 The LCA explorer

Το SimaPro LCA Explorer είναι δομημένο ως ένας κατάλογος ελέγχου για την εκάστοτε ανάλυση κύκλου ζωής, καθώς εισάγονται ή επεξεργάζονται δεδομένα με τη σειρά που ορίζεται σε αυτόν τον κατάλογο (Σχήμα 53). Ωστόσο, η ΑΚΖ είναι μια επαναληπτική διαδικασία, πράγμα που σημαίνει ότι ο χρήστης πρέπει να κάνει ένα βήμα πίσω και να επαναξιολογήσει τις προηγούμενες ενέργειές του κάποιες φορές. Οι αρχικοί υπολογισμοί σε ένα μοντέλο γεμάτο με πρόχειρα δεδομένα μπορούν να δείξουν ποια μέρη του κύκλου ζωής ή ποιες διεργασίες φαίνεται να είναι οι πιο σχετικές και, συνεπώς, ποιες τελικά χρειάζονται περαιτέρω προσοχή. Μετά από μερικές ώρες επεξεργασίας της βάσης δεδομένων, ο χρήστης μπορεί να ελέγξει αν όλα τα αποτελέσματα είναι λογικά και δικαιολογημένα. Εάν όχι, μπορεί να έχουν γίνει ορισμένες αστοχίες ή τα δεδομένα που παρασχέθηκαν μπορεί να περιέχουν σφάλματα. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να γίνει εκ νέου έλεγχος σε όλα τα βήματα της ανάλυσης, γεγονός που σφραγίζει και τον χαρακτηρισμό ‘επαναληπτική διαδικασία’.



Σχήμα 53. Κατάλογος ελέγχου του λογισμικού Simapro

4.1.1 Περιγραφή του στόχου και του πεδίου εφαρμογής (Goal and Scope)

Στην ενότητα Περιγραφή, ο χρήστης θα βρει μια σειρά από πεδία κειμένου. Αυτά παρέχουν τη δομή για την περιγραφή του στόχου και του πεδίου εφαρμογής όπως φαίνεται και στο Σχήμα 54. Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του Simapro παρατίθενται στο Σχήμα 55 και χρησιμοποιούνται ως πόροι όπου αποθηκεύονται για την αξιολόγηση που θα ακολουθήσει, τυποποιημένα δεδομένα και τυποποιημένες μεθοδολογίες εκτίμησης επιπτώσεων. Έτσι επιλέγονται οι βιβλιοθήκες εκείνες οι οποίες ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της μελέτης που διεξάγεται.

Σχήμα 54. Περιγραφή του στόχου και του πεδίου εφαρμογής σε κάθε νέο project

Wizards	Selected	Name	Protection
Wizards	<input checked="" type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic allocation	
Product Systems	<input checked="" type="checkbox"/>	Agri-footprint - gross energy allocation	
Develop wizards	<input checked="" type="checkbox"/>	Agri-footprint - mass allocation	
Wizard variables	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - system	
Goal and scope	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - unit	
Description	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - system	
Libraries	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit	
Inventory	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - consequential - system	
Processes	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - consequential - unit	
Product stages	<input checked="" type="checkbox"/>	ELCD	
System descriptions	<input checked="" type="checkbox"/>	EU & DK Input Output Database	
Waste types	<input checked="" type="checkbox"/>	Industry data 2.0	
Parameters	<input checked="" type="checkbox"/>	Methods	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Swiss Input Output Database	
	<input checked="" type="checkbox"/>	USLCI	

Σχήμα 55. Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του λογισμικού Simapro

4.1.2 Κατάλογος (Inventory)

Αυτή η ενότητα παρέχει πρόσβαση στις διαδικασίες (processes) και στάδια προϊόντων (product stages), τους δύο κύριους τύπους δεδομένων στο SimaPro. Οι περιγραφές συστημάτων (System descriptions) χρησιμοποιούνται ως πρόσθετη τεκμηρίωση σε ορισμένες διεργασίες. Οι τύποι αποβλήτων (Waste types) είναι ετικέτες που χρησιμοποιούνται από το SimaPro κατά το χειρισμό υλικών σε σενάρια αποβλήτων. Τέλος, στην βοηθητική κατηγορία παράμετροι (Parameters), μπορούν να δημιουργηθούν μεταβλητές για την πολλαπλή χρήση τους σε εξισώσεις.

4.1.3 Εκτίμηση επιπτώσεων (Impact assessment)

Αυτή η ενότητα παρέχει πρόσβαση στις μεθόδους εκτίμησης επιπτώσεων. Στην ενότητα "Ρύθμιση υπολογισμού" (calculation setup) μπορείτε να ορίσετε ποιοι κύκλοι ζωής, διεργασίες και συγκροτήματα πρέπει να αναλυθούν και να συγκριθούν επανειλημμένα. Το πλεονέκτημα της χρήσης μιας ρύθμισης υπολογισμού είναι ότι όλοι οι κύκλοι ζωής ή τα συγκροτήματα αποθηκεύονται και εμφανίζονται πάντα με την ίδια σειρά, με τα ίδια χρώματα και την ίδια κλίμακα. Στην ενότητα μέθοδοι (methods) υπάρχει μια λίστα με όλες τις διαθέσιμες μεθόδους του λογισμικού, με τις οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν όλες οι αναλύσεις κύκλου ζωής.

4.1.4 Ερμηνεία (Interpretation)

Καθώς ο χρήστης πλησιάζει προς το τέλος της ανάλυσής του, θα έρθει η ώρα να βγάλει τα συμπεράσματά του και να προβεί σε διάφορους ελέγχους. Τα πεδία κειμένου στην ενότητα "Ερμηνεία" (Interpretation) λειτουργούν ως οδηγός που βοηθά να γίνει τελικός έλεγχος σχετικά με τους προβληματισμούς που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

4.1.5 Γενικά δεδομένα (General data)

Οι άλλοι τύποι δεδομένων, όπως τα σενάρια και τα γενικά δεδομένα, δεν επεξεργάζονται συχνά κατά τη διάρκεια της μελέτης που διεξάγεται. Όμως, περιέχουν χρήσιμους υποστηρικτικούς πίνακες, όπως:

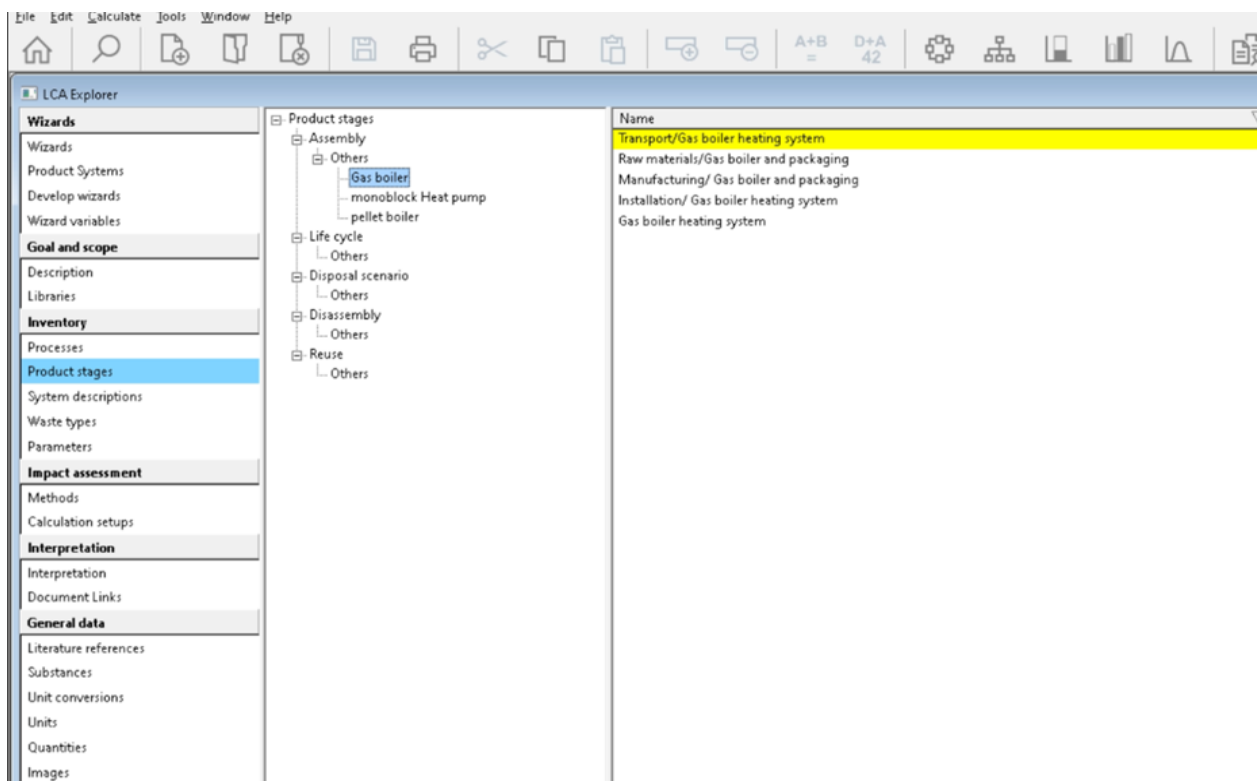
- Βιβλιογραφικές αναφορές, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με τα αρχεία διεργασιών.
- Ονόματα ουσιών: Το SimaPro κατέχει έναν κεντρικό πίνακα στον οποίο είναι καταχωρημένα όλα τα ονόματα ουσιών που αποθηκεύονται κατά την διεξαγωγή της αξιολόγησης.
- Μετατροπές μονάδων, όπως αυτές χρησιμοποιούνται στους οδηγούς.
- Μονάδες και ποσότητες που χρησιμοποιούνται σε άλλα σημεία του SimaPro.

4.2 Εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων

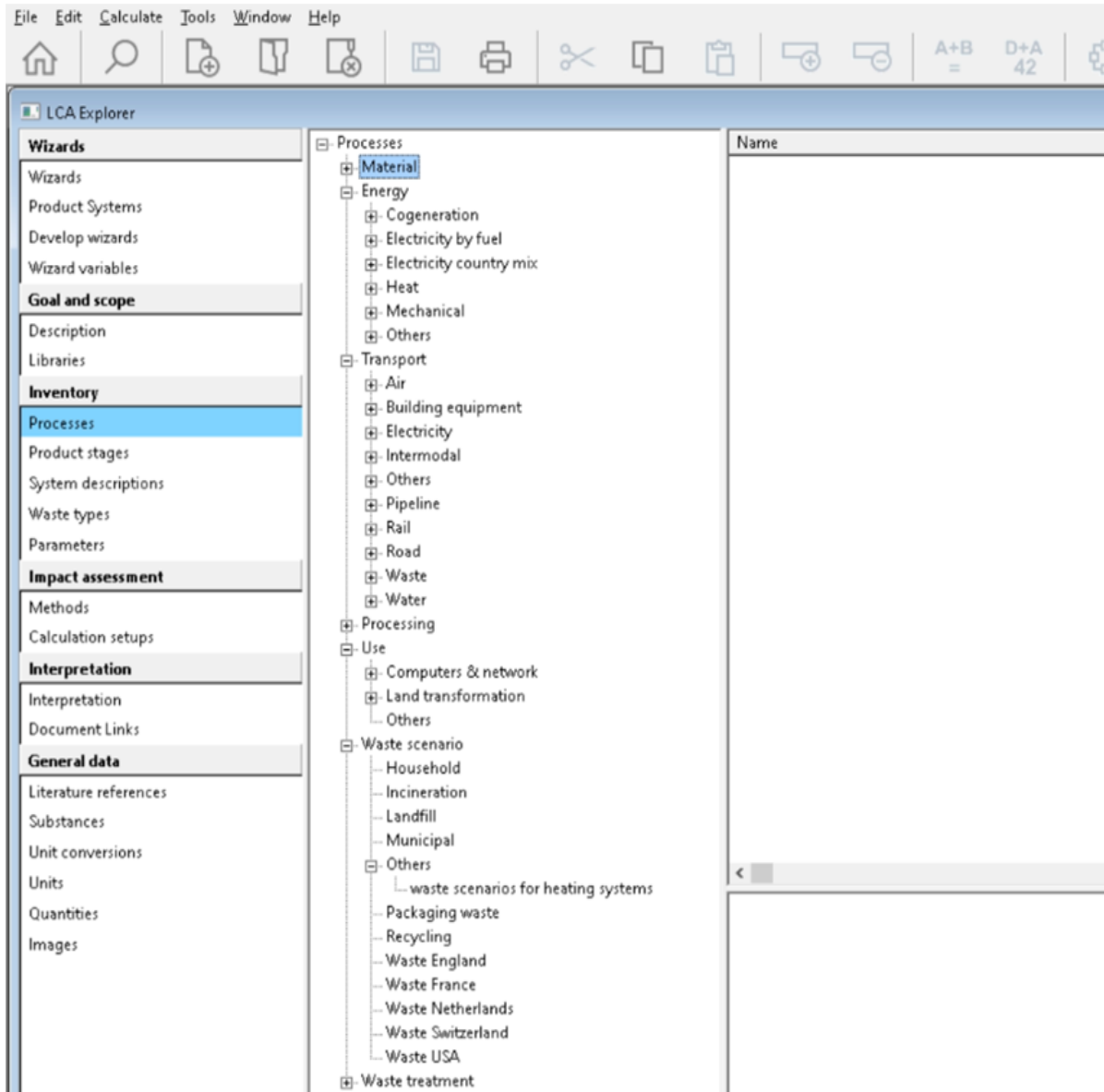
Ο πυρήνας της φάσης εισαγωγής των δεδομένων, είναι η δημιουργία ενός δέντρου διεργασιών που περιγράφει όλες τις σχετικές διεργασίες σε έναν κύκλο ζωής. Ανεξάρτητα από το πόσο λεπτομερής είναι μια μελέτη, κάθε προσπάθεια μοντελοποίησης ενός κύκλου ζωής είναι αρκετά πολύπλοκη. Για τον λόγο αυτόν πρέπει να γίνει ξεκάθαρος ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι διαδικασίες (processes) και τα στάδια προϊόντων (product stages).

- Οι διαδικασίες είναι τα δομικά στοιχεία του δέντρου διεργασιών που περιέχουν περιβαλλοντικά δεδομένα, καθώς και δεδομένα για τις οικονομικές εισροές και εκροές όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς στο Σχήμα 57.
- Τα στάδια προϊόντων δεν περιέχουν περιβαλλοντικές πληροφορίες, αλλά περιγράφουν το προϊόν και τον κύκλο ζωής.

Η χρήση των product stages είναι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του SimaPro (Σχήμα 56). Μέσω της απλής δομής που έχει το συγκεκριμένο δομικό στοιχείο του λογισμικού, ο χρήστης μπορεί να προσπεράσει την πολυπλοκότητα που έχει εξ ορισμού η μελέτη ενός κύκλου ζωής και να δημιουργήσει αποτελεσματικά τον δικό του. Στην συνέχεια παρουσιάζονται με εικόνες τα δύο δομικά στοιχεία που αναφέρθηκαν και που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση της αξιολόγησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 56. Το περιβάλλον της υποκατηγορίας Product Stages



Σχήμα 57. Το περιβάλλον της υποκατηγορίας Processes

4.3 Περιεχόμενο Διαδικασιών (Processes)

Μια διεργασία στο SimaPro περιέχει δεδομένα για τα ακόλουθα θέματα (Σχήμα 58):

- Περιβαλλοντικές και κοινωνικές ροές (Environmental and social flows):
 - ✓ εκπομπές στον αέρα, το νερό και το έδαφος
 - ✓ Στερεά απόβλητα (τελικά απόβλητα)
 - ✓ Μη υλικές εκπομπές, όπως ακτινοβολία και θόρυβος
 - ✓ Χρήση πρώτων υλών
 - ✓ Κοινωνικές επιπτώσεις
- Οικονομικές ροές (Economic flows):
 - ✓ Εισροές από άλλες διεργασίες (διεργασίες που περιγράφονται αλλού στη βάση δεδομένων).
 - ✓ Εκροές: κάθε διεργασία πρέπει να έχει έστω μία , αλλά μπορεί να έχει και πολλαπλές οικονομικές εκροές (στο SimaPro αναφέρονται ως προϊόντα).
 - ✓ Εκροές αποβλήτων για περαιτέρω επεξεργασία, όπως εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, αποτεφρωτήρια κ.λπ.
 - ✓ Διαδικασίες που αποφεύγονται.
 - ✓ Οικονομικές επιπτώσεις.
- Τεκμηρίωση (Documentation):
 - ✓ Μια ξεχωριστή συνημμένη "τεκμηρίωση" με μια σειρά από πεδία κειμένου που χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση της εγγραφής, όπως το όνομα, τον συγγραφέα, την ημερομηνία και ορισμένα γενικά σχόλια.
 - ✓ Περιγραφή του συστήματος. Αυτό το ξεχωριστό συνημμένο είναι διαθέσιμο για την περιγραφή του υποκείμενου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε κατά τον ορισμό αυτών των δεδομένων.
- Παράμετροι (Parameters):
 - ✓ Σταθερές παράμετροι. Μπορούν να οριστούν σε επίπεδο διαδικασίας, έργου και βάσης δεδομένων.
 - ✓ Εκφράσεις: Εδώ ορίζετε τη σχέση μεταξύ των παραμέτρων. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών εκφράσεων.

Documentation | Input/output | Parameters | System description

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Category
Name of the output	0	kg	Mass	100%	
(Insert line here)					

Known outputs to technosphere. Avoided products

Name	Amount
(Insert line here)	

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-compartment	Amount
(Insert line here)		

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit
(Insert line here)		

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount
(Insert line here)	

Emissions to air

Name	Sub-co	Amount	Unit
(Insert line here)			

Emissions to water

Name	Sub-compartment	Amount
(Insert line here)		

Emissions to soil

Name	Sub-compartment	Amount
(Insert line here)		

Final waste flows

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SDI
(Insert line here)					

Non material emissions

Name	Sub-compartment	Amount
(Insert line here)		

Social issues

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SDI
(Insert line here)					

Economic issues

Name	Sub-compartment	Amount
(Insert line here)		

Known outputs to technosphere. Waste and emissions to treatment

Name	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SDI
(Insert line here)				

Σχήμα 58. Γραφικό περιβάλλον ενός κενού αρχείου διαδικασίας

Συχνά οι διαδικασίες που χρειάζονται για την διεκπεραίωση μιας ανάλυσης κύκλου ζωής, είναι ήδη διαθέσιμες σε μια βιβλιοθήκη. Σε αυτή την περίπτωση, είναι εφικτό να δημιουργηθεί μια σύνδεση μεταξύ μιας διεργασίας που βρίσκεται στην εκάστοτε μελέτη και σε μία που βρίσκεται στη βιβλιοθήκη. Επίσης, δεν είναι δυνατή η σύνδεση μεταξύ βιβλιοθηκών ή μεταξύ διαφορετικών project, καθώς είναι επιθυμητό να διατηρούνται ανεξάρτητα. Σε περίπτωση ανάγκης τροποποίησης δεδομένων σε μια βιβλιοθήκη, συνίσταται να γίνει αντιγραφή των δεδομένων της και αποθήκευση σαν νέο αρχείο, και οποιοσδήποτε αλλαγές να γίνουν τελικά στο αντίγραφο. Αυτή είναι μια σημαντική κατευθυντήρια γραμμή, καθώς αλλάζοντας βιβλιοθήκες μπορεί επίσης να αλλάξουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε άλλα project.

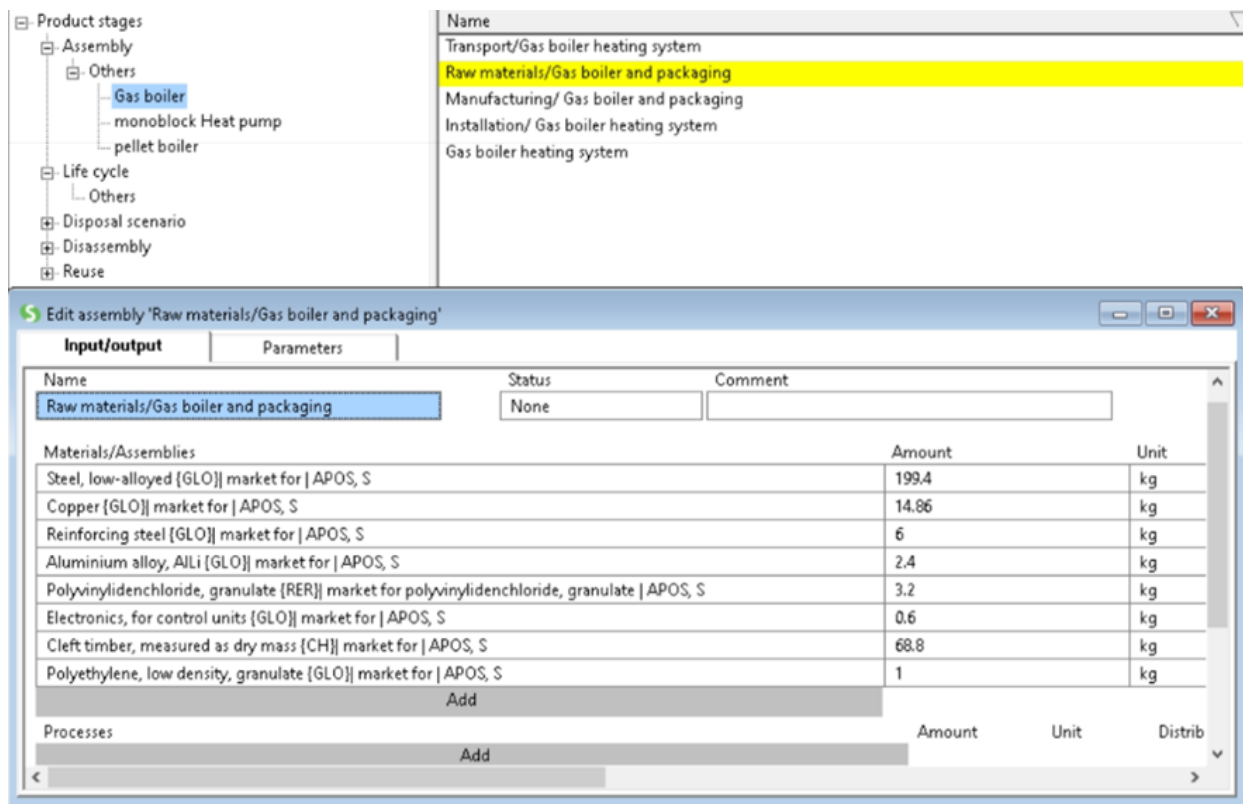
4.4 Product Stages

Η κατηγορία Product Stages χρησιμοποιείται για να γίνει περιγραφή της σύνθεσης του υπό μελέτη προϊόντος, της φάση χρήσης του και την οδό διάθεσης του στο τέλος ζωής του. Κάθε στάδιο προϊόντος αναφέρεται σε processes. Έτσι, για παράδειγμα, εάν καθοριστεί ότι ένα προϊόν περιέχει 1 kg χάλυβα, πραγματοποιείται μια σύνδεση με τη διαδικασία που περιγράφει την παραγωγή αυτής της ποσότητας χάλυβα, και με αυτόν τον τρόπο εισέρχονται οι επιπτώσεις των διαδικασιών στον ενιαίο κύκλο ζωής που αξιολογείται. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα ορισμένα στάδια προϊόντος να παραπέμπουν σε άλλα στάδια προϊόντων. Οι εικόνες που ακολουθούν στο παρόν υποκεφάλαιο, είναι παραδείγματα που περιγράφουν τα στάδια σχεδιασμού του προϊόντος του πρώτου σεναρίου στην ανάλυση που θα ακολουθήσει.

Υπάρχουν πέντε διαφορετικά στάδια προϊόντων, όλα με τις δικές τους δομές.

- Το στάδιο assembly περιέχει:
 - ✓ Μια λίστα υλικών και υποσυνόλων.
 - ✓ Έναν κατάλογο διαδικασιών παραγωγής ή μεταφοράς ή ενέργειας.

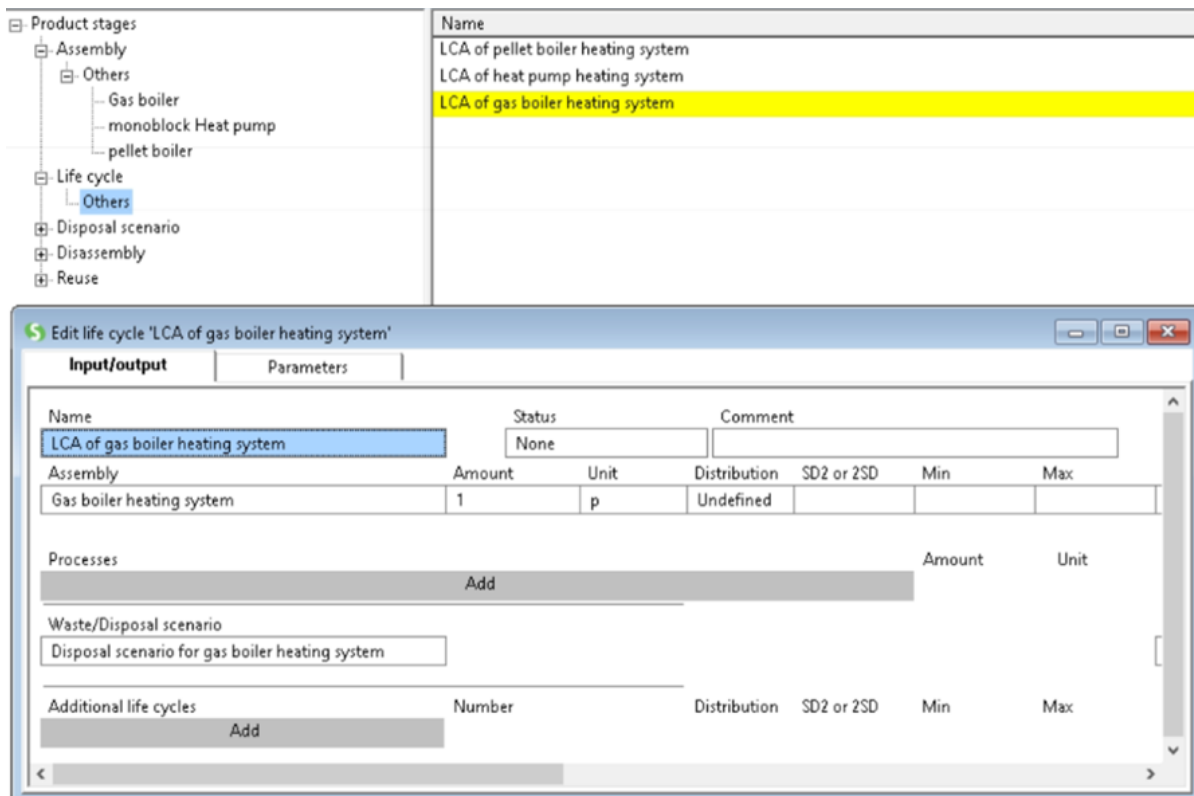
Το Assembly μπορεί να εκληφθεί ως ο ορισμός ενός προϊόντος (Σχήμα 59). Η ανάλυση ενός Assembly είναι ισοδύναμη με την ανάλυση από το λίκνο στην πύλη (Cradle to Gate). Για πολύπλοκα προϊόντα, τα assemblies μπορούν να συνδεθούν με άλλα υποσυστήματα (subassemblies). Αυτό επιτρέπει τον ορισμό σύνθετων προϊόντων με πολλά διαφορετικά μέρη.



Σχήμα 59. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου Assembly.

- Οι κύκλοι ζωής είναι τα κεντρικά στάδια του προϊόντος. Περιέχουν συνδέσεις με:
 - ✓ Ένα συγκρότημα, που αντιπροσωπεύει το προϊόν
 - ✓ Μια σειρά από διεργασίες χρήσης, όπως η χρήση ενέργειας.
 - ✓ Ένα σενάριο διάθεσης ή αποβλήτων.
 - ✓ Έναν πρόσθετο κύκλο ζωής.

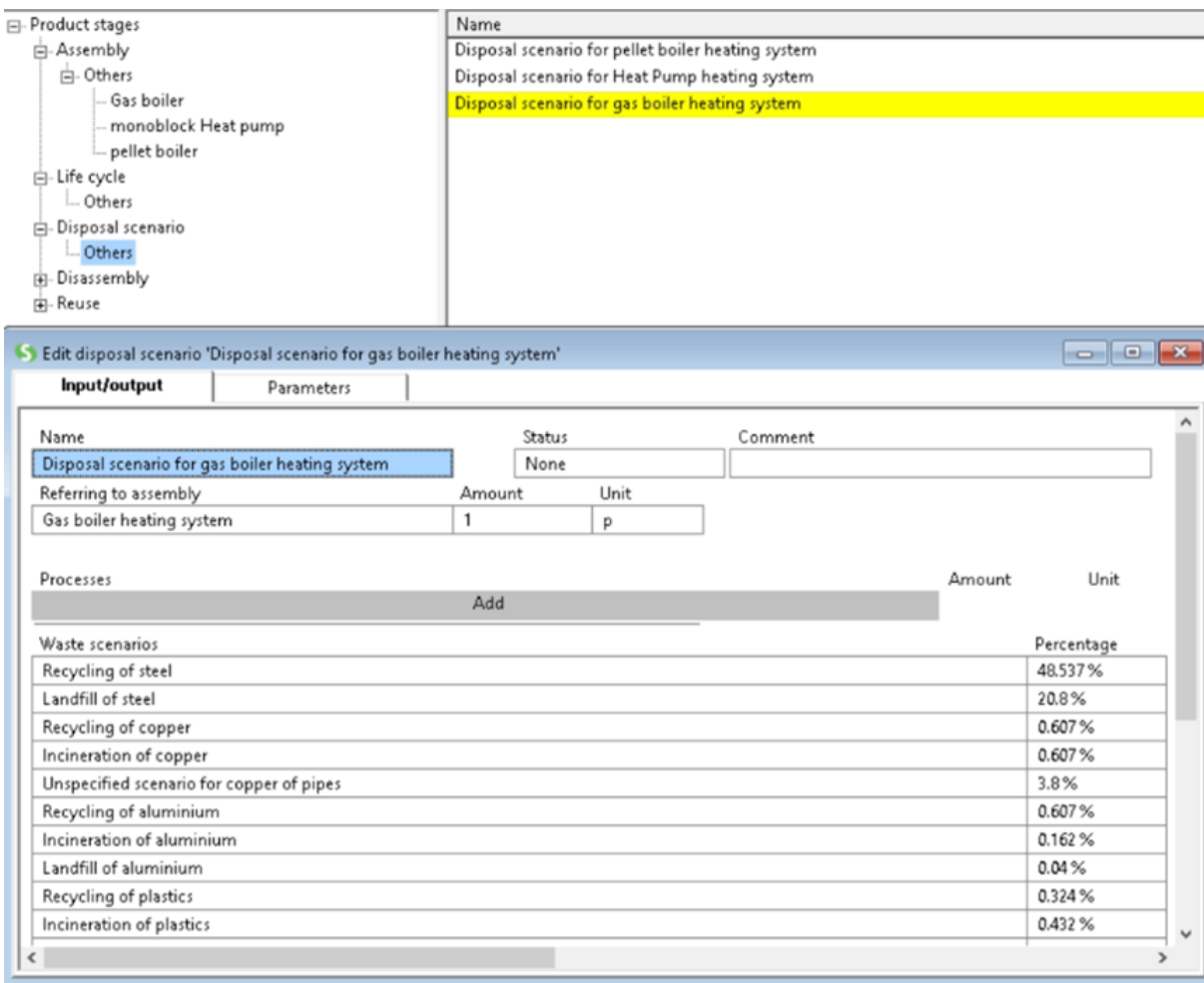
Οι κύκλοι ζωής μπορούν επίσης να συνδέονται με άλλους κύκλους ζωής (Σχήμα 60), επιτρέποντας τη δημιουργία μοντέλων στα οποία τα προϊόντα χρησιμοποιούν άλλα προϊόντα για την κατασκευή τους, την μεταφορά τους, την λειτουργία τους κλπ.



Σχήμα 60. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου κύκλου ζωής

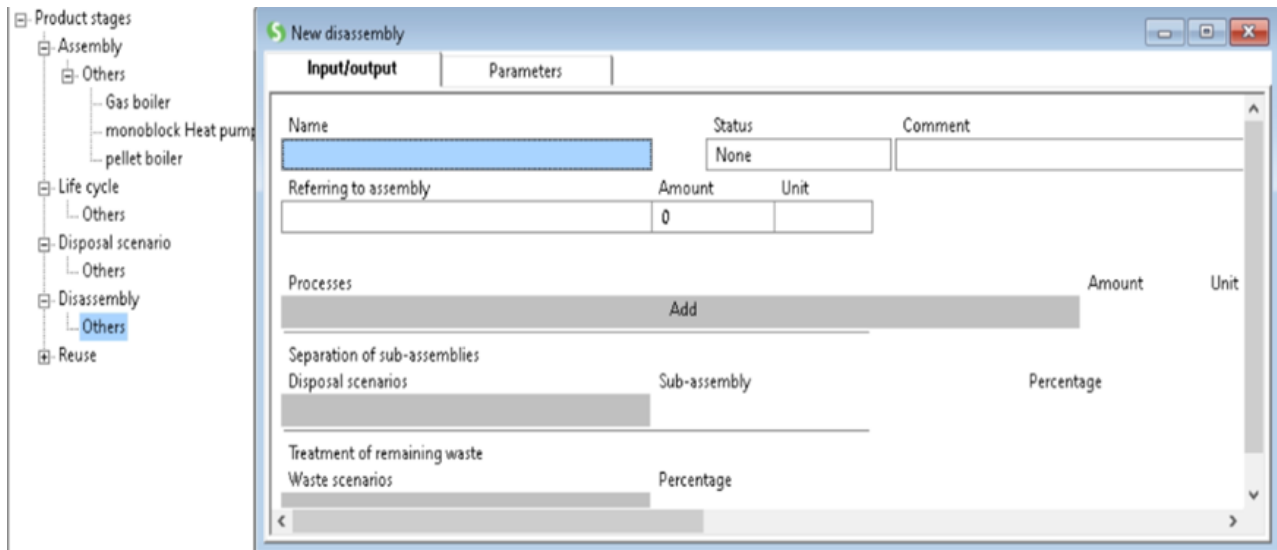
- Τα Disposal scenarios περιγράφουν τη διαδρομή στο τέλος του κύκλου ζωής ολόκληρων προϊόντων που μπορούν ακόμη να επαναχρησιμοποιηθούν ή να αποσυναρμολογηθούν (Σχήμα 61). Περιέχουν:
 - ✓ Έναν αριθμό διεργασιών, που αντιπροσωπεύουν το περιβαλλοντικό φορτίο που συνδέεται με το σενάριο.
 - ✓ Μια σειρά από συνδέσμους με αποσυναρμολογήσεις, Disposal scenarios, Waste scenarios ή αρχεία επαναχρησιμοποίησης, που καθορίζουν τους προορισμούς στους οποίους ρέει το προϊόν. Τα ποσά εκφράζονται ως ποσοστό. Το σύνολο όλων των ποσοστών πρέπει να ανέρχεται στο 100%.

Σημαντική σημείωση, είναι ότι το SimaPro διαθέτει επίσης waste scenarios που περιγράφουν τις ροές αποβλήτων από άποψη υλικών και όχι από άποψη προϊόντων. Για παράδειγμα, η επαναχρησιμοποίηση των μπουκαλιών θα περιγραφόταν με τη χρήση Disposal scenario, ενώ η ανακύκλωση ή η υγειονομική ταφή γεμίματος του γυαλιού από (σπασμένα) μπουκάλια θα περιγραφόταν με ένα waste scenario.



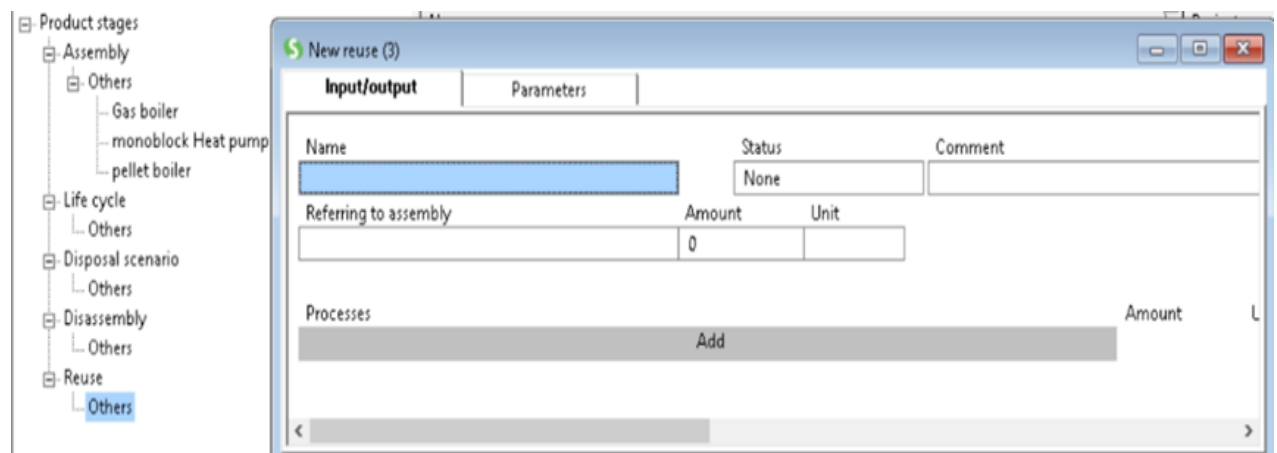
Σχήμα 61. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου Disposal scenario

- Το στάδιο Disassembly περιγράφει την αποσυναρμολόγηση εξαρτημάτων, τα οποία πρέπει να ορίζονται ως υποσυστήματα (Σχήμα 62). Στην κατηγορία αυτή περιέχεται:
 - ✓ Αναφορά στο συγκρότημα που αποσυναρμολογείται.
 - ✓ Ένας αριθμός διεργασιών που αντιπροσωπεύουν το περιβαλλοντικό φορτίο που συνδέεται με τις εργασίες αποσυναρμολόγησης.
 - ✓ Ένας αριθμός προορισμών των αποσυναρμολογούμενων εξαρτημάτων και η αποδοτικότητα της αποσυναρμολόγησης.
 - ✓ Ένας προορισμός για τα υπολείμματα, συνήθως ένα σενάριο διάθεσης ή ένα σενάριο αποβλήτων.



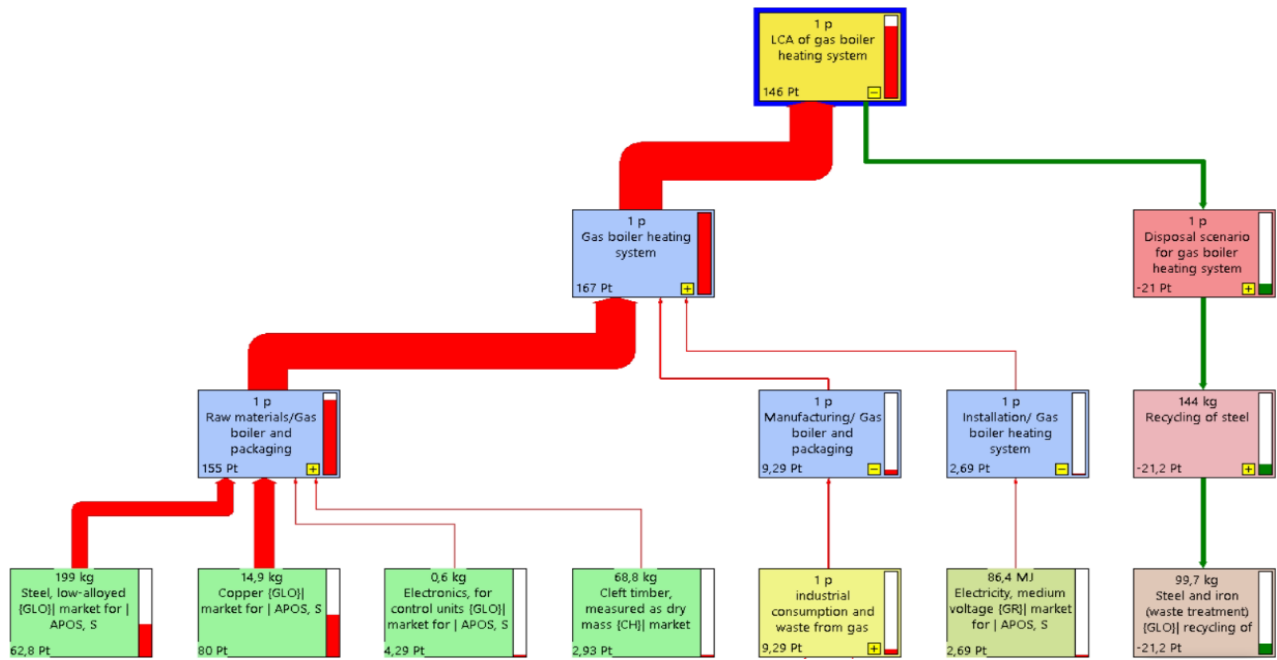
Σχήμα 62. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου Dissassembly.

- Το στάδιο Reuse περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο τα προϊόντα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν (Σχήμα 63). Περιέχει:
 - ✓ Ένας αριθμός διεργασιών που αντιπροσωπεύουν το περιβαλλοντικό φορτίο που συνδέεται με τη λειτουργία επαναχρησιμοποίησης.
 - ✓ Μια αναφορά στο συγκρότημα που επαναχρησιμοποιείται. Αυτή μπορεί επίσης να είναι μια αποσυναρμολόγηση, επιτρέποντάς στον χρήστη να καθορίσει την επαναχρησιμοποίηση των επιμέρους εξαρτημάτων.



Σχήμα 63. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου σεναρίου επαναχρησιμοποίησης

Αφού γίνει η επεξεργασία όλων των παραπάνω σταδίων του κύκλου ζωής, το Simapro έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει αυτόματα το δενδροειδή γράφημα που περιγράφει την διεργασία. Δεν μπορεί να γίνει άμεση επεξεργασία αυτού του γραφήματος, επομένως σε περίπτωση σφαλμάτων ή αλλαγών, ο χρήστης μπορεί να αλλάξει την μορφή του διαγράμματος αν επεξεργαστεί τα στάδια των product stages ή τις διαδικασίες που έχει συμπεριλάβει σε αυτά. Ακολουθεί παράδειγμα ενός τέτοιου γραφήματος στο Σχήμα 64.



Σχήμα 64. Παράδειγμα δενδροειδούς γραφήματος που περιγράφει έναν ολοκληρωμένο κύκλο ζωής

4.5 Μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων

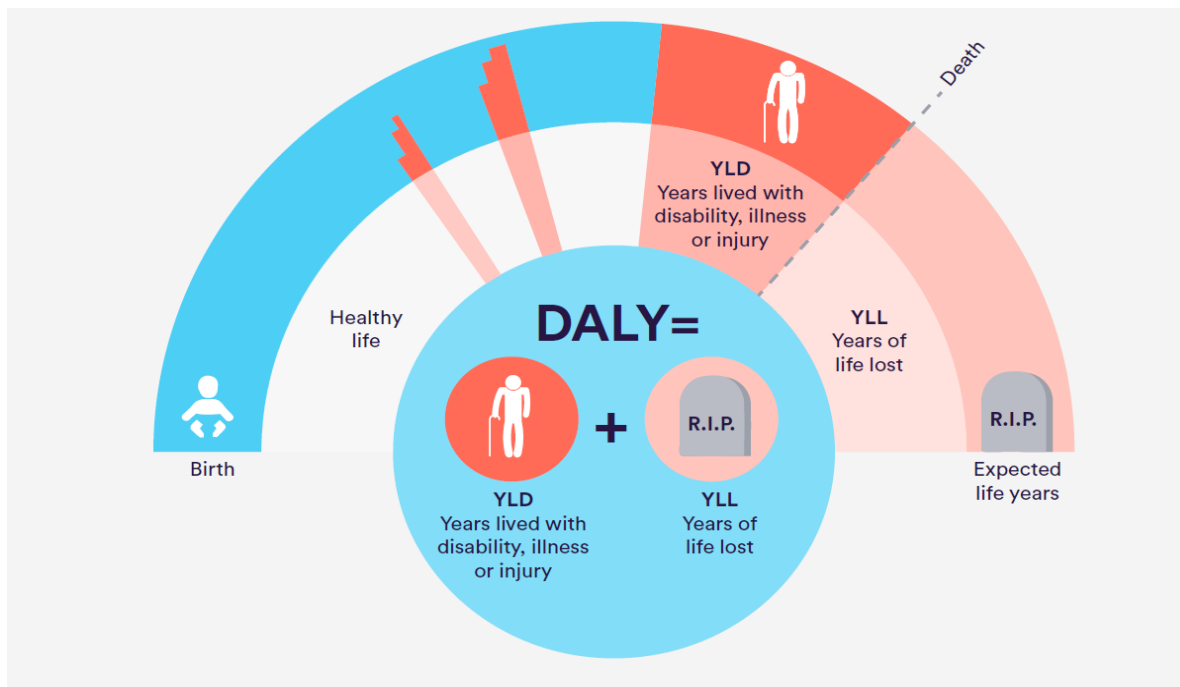
4.5.1 Χαρακτηρισμός (Characterization)

Οι ουσίες που συμβάλλουν σε μια κατηγορία επιπτώσεων πολλαπλασιάζονται με έναν συντελεστή χαρακτηρισμού που εκφράζει τη σχετική συμβολή της ουσίας. Για παράδειγμα, ο συντελεστής χαρακτηρισμού για το CO₂ στην κατηγορία επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μπορεί να είναι ίσος με 1, ενώ ο συντελεστής χαρακτηρισμού του μεθανίου μπορεί να είναι 25. Αυτό σημαίνει ότι η απελευθέρωση 1 kg μεθανίου προκαλεί την ίδια ποσότητα κλιματικής αλλαγής με 25 kg CO₂.

Το ISO απαιτεί οι συντελεστές χαρακτηρισμού να βασίζονται σε καλά κατανοητή και τεκμηριωμένη επιστήμη. Προβλέπει να περιγράφουν έναν επιστημονικό μηχανισμό που συνδέει το αποτέλεσμα της απογραφής (εκπομπή) με αυτό που ονομάζεται "τελικό σημείο" ή περιοχή προστασίας στο διάγραμμα χαρακτηρισμού. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει πρώτα να γίνει σαφές ποια είναι η περιοχή προστασίας και πώς μπορεί να οριστεί ένα σαφές τελικό σημείο του επιστημονικού μηχανισμού. Στο Simapro, το διάγραμμα του χαρακτηρισμού είναι επί τις %, και είναι μια σημαντική πρώτη προσέγγιση για το μέγεθος των επιπτώσεων που καταλαμβάνει μια ουσία ή ένα προϊόν, στο σύνολο των επιπτώσεων ενός κύκλου ζωής.

4.5.2 Εκτίμηση ζημιών (Damage assessment)

Η εκτίμηση ζημιών προστίθεται για μεθόδους με midpoint-endpoint πλαίσιο, όπως οι μέθοδοι ReCiPe 2016 και IMPACT World+. Ο σκοπός της εκτίμησης ζημιών είναι η χρήση παραγόντων midpoint-endpoint συνδυάζοντας έτσι έναν αριθμό δεικτών κατηγορίας επιπτώσεων σε μια κατηγορία ζημιών (που ονομάζεται επίσης περιοχή προστασίας). Στο στάδιο της εκτίμησης των ζημιών, ένα επιπλέον βήμα στον περιβαλλοντικό μηχανισμό προστίθεται στους δείκτες κατηγορίας επιπτώσεων midpoint για τη μέτρηση των επιπτώσεων σε επίπεδο endpoint. Με αυτόν τον τρόπο, δύο κατηγορίες επιπτώσεων με κοινή μονάδα μπορούν να προστεθούν. Για παράδειγμα, στη μέθοδο IMPACT World+, όλες οι κατηγορίες επιπτώσεων που προκαλούν βλάβες στην ανθρώπινη υγεία εκφράζονται σε DALY (disability adjusted life years). Στη μέθοδο αυτή τα DALY που προκαλούνται από καρκινογόνες ουσίες μπορούν να προστεθούν στα DALY που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή. Ακολουθεί σχηματική επεξήγηση της μονάδα DALY μέσω του Σχήμα 65.



Σχήμα 65. Σχηματική επεξήγηση της μονάδας μέτρησης DALY [47].

4.5.3 Κανονικοποίηση (Normalization)

Πολλές μέθοδοι επιτρέπουν τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του δείκτη κατηγορίας επιπτώσεων με μια τιμή αναφοράς (ή κανονική τιμή). Αυτό σημαίνει ότι η κατηγορία επιπτώσεων διαιρείται με την αναφορά. Συνήθως χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς η μέση ετήσια περιβαλλοντική επιβάρυνση σε μια χώρα ή ήπειρο, διαιρούμενη με τον αριθμό των κατοίκων. Ωστόσο, η αναφορά μπορεί να επιλεγεί ελεύθερα. Θα μπορούσε να είναι το περιβαλλοντικό φορτίο από το άναμμα ενός λαμπτήρα 60W για μία ώρα, η 100 χιλιόμετρα μεταφοράς με αυτοκίνητο ή ακόμα και 1 λίτρο γάλα. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για την επεξήγηση των αποτελεσμάτων σε μη ειδικούς σχετικά με τις αναλύσεις κύκλου ζωής, καθώς γίνεται η σύγκριση μιας αξιολόγησης με κάτι που μπορεί να φανταστεί ο καθένας αυθαίρετα. Στο SimaPro, υπάρχουν συχνά διαθέσιμα εναλλακτικά σύνολα κανονικοποίησης.

Η κανονικοποίηση λοιπόν, δείχνει σε ποιο βαθμό το αποτέλεσμα ενός δείκτη κατηγορίας επιπτώσεων έχει σχετικά υψηλή ή σχετικά χαμηλή τιμή σε σύγκριση με ένα σημείο αναφοράς. Η κανονικοποίηση επιλύει επίσης την ασυμβατότητα των μονάδων.

Μετά την κανονικοποίηση οι δείκτες κατηγορίας επιπτώσεων έχουν όλοι την ίδια μονάδα, γεγονός που διευκολύνει τη σύγκρισή τους. Η κανονικοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα αποτελέσματα χαρακτηρισμού όσο και στα αποτελέσματα εκτίμησης ζημιών

4.5.4 Στάθμιση (Weighting)

Ορισμένες μέθοδοι επιτρέπουν τη στάθμιση μεταξύ των κατηγοριών επιπτώσεων. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα των δεικτών των κατηγοριών επιπτώσεων (ή ζημιών) πολλαπλασιάζονται με συντελεστές στάθμισης και προστίθενται για τη δημιουργία μιας συνολικής ή ενιαίας βαθμολογίας.

Η στάθμιση μπορεί να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένες ή μη κανονικοποιημένες βαθμολογίες, καθώς ορισμένες μέθοδοι, όπως η EPS, δεν διαθέτουν βήμα κανονικοποίησης. Στο SimaPro, υπάρχουν συχνά εναλλακτικά σύνολα στάθμισης διαθέσιμα, πάντα σε συνδυασμό με ένα σύνολο κανονικοποίησης. Η στάθμιση είναι το πιο αμφιλεγόμενο και πιο δύσκολο βήμα στην εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, ιδίως για τις μεθόδους midpoint. Η στάθμιση δεν βασίζεται εξ ορισμού σε φυσικές επιστήμες και είναι πολύ υποκειμενική. Έχουν προταθεί διάφορες λύσεις για την επίλυση ή την απλούστευση του προβλήματος της στάθμισης, καμία από τις οποίες όμως δεν την μετέτρεψε σε απλή επιλογή ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

4.5.5 Ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)

Μια ανάλυση ευαισθησίας αξιολογεί την επίδραση των σημαντικότερων παραδοχών στα αποτελέσματα. Η αρχή είναι απλή: γίνεται αλλαγή στην υπόθεση και υπολογίζεται εκ νέου την AKZ. Για παράδειγμα, μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με βάση διαφορετικές αρχές κατανομής. Με αυτόν τον τύπο ανάλυσης, θα ο χρήστης θα κατανοήσει καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο οι διαφορετικές παραδοχές επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Θα διαπιστώσει ότι το αποτέλεσμα της AKZ μπορεί να εξαρτάται σε αρκετά μεγάλο βαθμό από ορισμένες από τις παραδοχές. Αυτό δεν χρειάζεται να αποτελεί πρόβλημα, εφόσον τα συμπεράσματα της AKZ σας είναι σταθερά. Ωστόσο, εάν διαπιστώσει ότι με μια υπόθεση το προϊόν A έχει υψηλότερο φορτίο από το B και με μια άλλη υπόθεση ότι το προϊόν B έχει υψηλότερο φορτίο, θα πρέπει να εξηγήσει προσεκτικά με ποιες υποθέσεις τα συμπεράσματά του είναι έγκυρα. Μπορεί επίσης να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει ενιαία απάντηση, καθώς όλα εξαρτώνται από τις παραδοχές που χρησιμοποιούνται.

4.5.6 Ανάλυση συνεισφοράς (Contribution analysis)

Ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων μιας αξιολόγησης κύκλου ζωής, είναι η χρήση της ανάλυσης συνεισφοράς. Με την ανάλυση αυτή μπορεί να προσδιοριστεί, ποιες διεργασίες παίζουν σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματά.

Συχνά διαπιστώνεται ότι σε μια AKZ που περιέχει εκατοντάδες διαφορετικές διεργασίες, το 95 έως 99% των αποτελεσμάτων καθορίζεται από μόλις δέκα διεργασίες. Με αυτές τις πληροφορίες ο χρήστης μπορεί να εστιάσει την προσοχή του σε αυτές τις διεργασίες και να αναλύσει εάν αυτές οι διεργασίες είναι επαρκώς αντιπροσωπευτικές, πλήρεις και εάν υπάρχουν σημαντικές παραδοχές στο πλαίσιο αυτών των διεργασιών.

4.5.7 Ανάλυση καταλόγου (Inventory analysis)

Το αποτέλεσμα της απογραφής είναι ένας κατάλογος των εκπομπών ουσιών στο έδαφος, το νερό και τον αέρα, καθώς και της εξόρυξης πρώτων υλών. Σε πολλές περιπτώσεις, ο κατάλογος καλύπτει μερικές εκατοντάδες ουσίες και πρώτες ύλες, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ερμηνεία του αποτελέσματος της απογραφής. Ωστόσο, το αποτέλεσμα της απογραφής δεν επηρεάζεται από τις αβεβαιότητες που εισάγονται στην εκτίμηση επιπτώσεων, γεγονός που καθιστά σκόπιμη την ανάλυση με βάση το αποτέλεσμα της απογραφής.

4.5.8 Monte Carlo μέθοδος σύγκρισης προϊόντων

Για να οριστεί το επίπεδο αβεβαιότητας, ο χρήστης πρέπει να ελαχιστοποιήσει το παράθυρο σύγκρισης, να επιλέξει και τους δύο κύκλους ζωής που τον αφορούν, και να κάνει κλικ στο κουμπί Monte Carlo.

Το SimaPro θα ξεκινήσει τώρα την ανάλυση αβεβαιότητας. Αυτό γίνεται με την επανάληψη της σύγκρισης. Κάθε φορά που επιλέγεται μια άλλη τιμή για τη μεταφορά και την ενέργεια, καθώς αυτοί ήταν οι παράγοντες που καθορίστηκαν με ένα εύρος αβεβαιότητας. Επιλέγονται τα διαφορετικά δείγματα με τέτοιο τρόπο ώστε όλα τα δείγματα μαζί να συμμορφώνονται με την κατανομή που καθορίζεται στα δεδομένα. Το Σχήμα 66 αποτελεί ένα παράδειγμα του γραφήματος που δίνει μια ανάλυση αβεβαιότητας.



Uncertainty analysis of 1 p 'Life cycle Pro, no takeback, no use phase' (A) minus 1 p 'Life cycle Pro, with takeback, no use phase' (B),

Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / World ReCiPe H/A , confidence interval: 95 %

Σχήμα 66. Παράδειγμα αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης αβεβαιότητας με την μέθοδο Monte Carlo

Οι κόκκινες μπάρες αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των περιπτώσεων που το σενάριο χωρίς ανακύκλωση είχε χαμηλότερο φορτίο από τον κύκλο ζωής με ανακύκλωση. Για παράδειγμα, δείχνει ότι στο 100% των περιπτώσεων η βαθμολογία εξάντλησης μετάλλων είναι χαμηλότερη χωρίς ανακύκλωση. Σε περίπου 2% των περιπτώσεων η βαθμολογία της κλιματικής αλλαγής για την ανθρώπινη υγεία είναι χαμηλότερη, πράγμα που σημαίνει ότι είναι σχεδόν βέβαιο ότι για την κλιματική αλλαγή η ανακύκλωση θα ήταν καλύτερη. Για ορισμένες άλλες κατηγορίες επιπτώσεων δεν είναι τόσο σαφές αν η ανακύκλωση είναι καλύτερη. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η λήψη ορθών αποφάσεων σχετικά με την κατασκευή και επεξεργασία προϊόντων, αφού η πλήρης αβεβαιότητα αναφορικά με την πιο σωστή επιλογή διαχείρισης θα είχε αρκετά μεγάλο ρίσκο, και πιθανότατα θα επιβάρυνε στον μέγιστο βαθμό το περιβάλλον στις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων.

5. Ανάλυση κύκλου ζωής συστημάτων θέρμανσης (Case study)

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναπτυχθεί μια εκτεταμένη ανάλυση κύκλου ζωής της μορφής ‘Cradle to grave’, τριών σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης, με σκοπό την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παράγονται από την κατασκευή τους. Τα τρία αυτά συστήματα είναι τα εξής:

- Λέβητας φυσικού αερίου σε σύνδεση με θερμαντικά σώματα.
- Λέβητας πέλλετ σε σύνδεση με θερμαντικά σώματα.
- Αντλία θερμότητας αέρα-νερού ενιαίου τύπου σε σύνδεση με θερμαντικά σώματα.

Αφού γίνει η επιλογή συγκεκριμένων συστημάτων θέρμανσης με τυποποιημένα χαρακτηριστικά λειτουργίας, θα αναλυθούν πλήρως όλα τα στάδια του κύκλου ζωής τους.

Στην συνέχεια οι αναλύσεις αυτές θα οδηγηθούν στο λογισμικό Simapro, το οποίο θα εκτελέσει την ανάλυση κύκλου ζωής για κάθε σύστημα, και θα παρέχει τα αποτελέσματα για το περιβαλλοντικό αντίκτυπο που δημιουργεί η παραγωγή τους. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των δεδομένων είναι η *Recipe (H) V1.13/Europe Recipe*, η οποία ανταποκρίνεται επάξια στις απαιτήσεις της παρούσας μελέτης. Επίσης, θα γίνει και ενεργειακή αξιολόγηση των κύκλων ζωής τους, και μέσω του Simapro θα δοθούν αποτελέσματα για την συνολική ενσωματωμένη ενέργεια (*embodied energy*) που καταναλώνεται. Η ενεργειακή αυτή αξιολόγηση θα γίνει με την μέθοδο *Cumulative Energy Demand (LHV) V1.00 / Cumulative energy demand*, η οποία είναι ικανή να παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Όπως έχει οριστεί στο 1^ο κεφάλαιο, η ενσωματωμένη ενέργεια περιλαμβάνει την ολική ενέργεια ενός πλήρους κύκλου ζωής, εκτός από εκείνη που καταναλώνεται κατά την φάση χρήσης του προϊόντος. Οι λόγοι για τους οποίους θα εξαιρεθεί η φάση χρήσης των συστημάτων θέρμανσης από την παρούσα αξιολόγηση, είναι οι παρακάτω:

- Οι πρώτες ύλες και η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την φάση χρήσης ενός συστήματος θέρμανσης, εξαρτάται αποκλειστικά από τον χρήστη του συστήματος, και δεν μπορεί να υπολογιστεί κάποια μέση τιμή αφού το εύρος κατανάλωσης είναι μεγάλο. Η υποκειμενικότητα αυτή κατά το στάδιο χρήσης, θα μετέτρεπε την παρούσα αξιολόγηση σε αναξιόπιστη στην περίπτωση που είχε συμπεριληφθεί στον κύκλο ζωής. Από την άλλη πλευρά, η μελέτη της ενσωματωμένης ενέργειας, αποτελεί μια σχετικά αντικειμενική προσέγγιση που παρουσιάζει λιγότερους αστάθμητους παράγοντες.
- Έχει μεγάλη αξία να δοθεί έμφαση στην ενέργεια που απαιτείται για να παραχθεί ένα σύστημα θέρμανσης, γιατί ακόμα και αν καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια για να λειτουργήσει, υπάρχει πιθανότητα να έχει πολύ υψηλή *embodied energy*. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αναπάντητα ερωτήματα σχετικά με το πόσο φιλικό στο περιβάλλον είναι το συγκεκριμένο σύστημα, με αποτέλεσμα να πρέπει να χρησιμοποιηθεί άλλο κριτήριο σύγκρισης προκειμένου να προσδιοριστεί η αξία του. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί μια γεωθερμική αντλία θερμότητας, η οποία απαιτεί τεράστια ποσά ενέργειας κατά το στάδιο της εγκατάστασης, ενώ στην φάση χρήσης είναι από τα οικονομικότερα συστήματα θέρμανσης.

Η ιδέα γύρω από την περιβαλλοντική σύγκριση συστημάτων θέρμανσης, είναι να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος για την τοποθέτησή του σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Γίνεται λοιπόν η υπόθεση ότι ο υπό μελέτη χώρος είναι κατασκευασμένος από σύγχρονα δομικά υλικά και ότι έχει καλού επιπέδου θερμική μόνωση. Έτσι, οι θερμικές ανάγκες των 10kW αντιστοιχούν σε ένα σπίτι περίπου 100 τ.μ. Ένα τέτοιο σπίτι, θεωρούμε πως αποτελείται από 3 υπνοδωμάτια, ένα σαλόνι, έναν διάδρομο, κουζίνα και δύο μπάνια. Με την υπόθεση πως καθένας από τους παραπάνω χώρους απαιτεί ένα θερμαντικό σώμα, καταλήγουμε πώς ο υπό μελέτη χώρος αποτελείται από 8 θερμικά σώματα χάλυβα, με τα οποία συνδέονται τα 3 συστήματα θέρμανσης για τα οποία θα γίνει ανάλυση κύκλου ζωής.

5.1 Ανάλυση κύκλου ζωής λέβητα φυσικού αερίου

Η μονάδα που επιλέγεται να μελετηθεί, είναι της εταιρίας Daikin και απεικονίζεται στο Σχήμα 67:



Σχήμα 67. Μονάδα φυσικού αερίου Daikin Altherma C Gas W - EHOBG-A [48].

Το εσωτερικό ενός λέβητα φυσικού αερίου έχει την εξής μορφή (Σχήμα 68):



Σχήμα 68. Εσωτερικό μέρος μιας μονάδας φυσικού αερίου [49].

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτη μονάδας δίνονται παρακάτω στον Πίνακα 1:

Πίνακας 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδας λέβητα φυσικού αερίου

Αέριο	Σύνδεση	Διάμετρος	mm	15
	Κατανάλωση (G20)	Ελάχ.	m ³ /h	0.36
		Μέγ.	m ³ /h	1.30
	Κατανάλωση	Ελάχ.	m ³ /h	0.42
		Μέγ.	m ³ /h	1.50
	Κατανάλωση	Ελάχ.	m ³ /h	0.14
		Μέγ.	m ³ /h	0.49
	Κλάση NOx			6
	Επίπεδο NOx		mg/kWh	28
	Κεντρική θέρμανση	Κατώτερη θερμαντική ισχύς	Ελάχ.	kW
Μέγ.			kW	12.5
Μικτή θερμαντική ισχύς		Ελάχ.	kW	4.2
		Μέγ.	kW	13.9
Θερμοκρασία νερού		Μέγ.	°C	90
Απαέρια καύσης	Θερμοκρασία	Μέγ.	°C	70
	Υλικό			Χάλυβας
Διαστάσεις	Ύψος		mm	590

Πηγή: https://www.daikin.gr/el_gr/products/ehobg-a.table.html

5.1.1 Υλικά κατασκευής λέβητα φυσικού αερίου

Το συνολικό βάρος του λέβητα είναι 35 kg. Τα υλικά από τα οποία αποτελείται με τις αντίστοιχες μάζες τους είναι τα εξής:

- ✓ Χάλυβας : 19,2 kg
- ✓ Χαλκός(σωληνώσεις ,καλωδιώσεις): 3,6 kg
- ✓ Ανοξείδωτος χάλυβας : 6 kg
- ✓ Πλαστικό(PVC) : 2,4kg
- ✓ Αλουμίνιο : 3,2 kg
- ✓ Ηλεκτρικά συστατικά : 0,6 kg

5.1.2 Σωληνώσεις για σύνδεση του λέβητα με τα θερμοανταλλάκτρες

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά σωληνών χαλκού αποξειδωμένων με φώσφορο (DHP-Cu)

I. ΓΥΜΝΟΙ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΙ							
Διάμετρος x πάχος d x s (mm)	Εσωτερική διάμετρος d εσωτ. (mm)	Ονομαστικό βάρος χαλκού (kg/m)	Εξωτερική επιφάνεια (m ² /m)	Όγκος πλήρωσης (l/m)	Ελάχ. ακτίνα κάμψης με κουρμπασόδορο (mm)	Συσκευασία Μορφή	Τεμάχια ανά δέμα
10x1,00	8,0	0,252	0,031	0,050	40	Ευθύ-γραμμά μήκη 4μετρα	250
12x1,00	10,0	0,308	0,038	0,079	45		400
15x1,00	13,0	0,391	0,047	0,133	55		600
15x1,20	12,6	0,463	0,047	0,125	—		125
18x1,00	16,0	0,475	0,057	0,201	70		450
18x1,20	15,6	0,564	0,057	0,191	—		100
22x1,00	20,0	0,587	0,069	0,314	—		300
22x1,5	19,0	0,860	0,069	0,284	—		80
28x1,50	25,0	1,111	0,088	0,491	—		60
35x1,50	32,0	1,405	0,110	0,804	—		50
35x2,00	31,0	1,845	0,110	0,755	—		50
42x1,50	39,0	1,699	0,132	1,195	—		40
42x2,00	38,00	2,236	0,132	1,134	—		40
54x2,00	50,0	2,908	0,170	1,963	—		30
64x2,00	60,0	3,467	0,201	2,827	—		25
76,1x2,00	72,1	4,144	0,239	4,083	—		20
88,9x2,00	84,9	4,859	0,279	5,661	—	15	
108x2,50	103,0	7,375	0,339	8,332	—	10	

II. ΕΠΕΝΔΥΜΕΝΟΙ ΣΕ ΡΟΛΟΥΣ							
Χαλκοσωλήνας Εξωτ. διάμ. x πάχος d x s (mm)	Ολική εξωτ. διάμετρος D (mm)	Όγκος πλήρωσης σωλήνα V (l/m)	Βάρος χαλκού ονομαστ. (kg/m)	Θερμική ικανότητα (Kcal/h)	Ελάχ. ακτίνα κάμψης με το χέρι (mm)	Ελάχ. ακτίνα κάμψης με κουρμπασόδορο (mm)	Συσκευασία σε ρόλους μήκους (m)
15 x 1,00	19	0,133	0,391	—	120	—	25 ή 50
15 x 1,20	19	0,125	0,463	—	120	—	25
18 x 1,00	22	0,201	0,475	—	145	—	25 ή 50
18 x 1,20	22	0,191	0,564	—	145	—	25
22 x 1,00	26	0,314	0,587	—	175	—	25

Πηγή: <https://www.aenaos-sa.gr/talos-gas-xalkosolines-fysikou-aeriou>

Η έξοδος του λέβητα είναι 15 mm για την σύνδεση με τα σώματα. Επομένως το βάρος του χαλκού των σωληνώσεων ανά μέτρο είναι 0,463 kg/m όπως φαίνεται στον **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..** Θα χρειαστούν περίπου 20 m σωληνώσεων διότι ο λέβητας θα τοποθετηθεί στο πίσω μέρος του σπιτιού, επομένως απαιτούνται $20\text{m} \times 0,463 \text{ kg/m} = 9,26 \text{ kg}$ χαλκού. Επίσης υπάρχουν και οι συνδέσεις των σωληνών καθώς δεν είναι ενιαίοι, επομένως έχουμε ακόμη 2kg χαλκού (ταφ κλπ).

Συνολικό βάρος χαλκού για σωληνώσεις = 11,26 kg

5.1.3 Υλικό κατασκευής θερμαντικών σωμάτων

Θα χρησιμοποιηθούν σώματα από χάλυβα λόγω της εξαιρετικής τους θερμικής απόδοσης αλλά ταυτόχρονα και για την μικρή τους επιβάρυνση στο περιβάλλον. Επιλέγονται μέτριου προς μεγάλου μεγέθους σώματα με 16 φέτες όπως το σώμα του Σχήμα 69.



RAL	9016
Αριθμός στηλών	2
Βάθος(cm) Συσκευασίας	64
Βάρος(kg) Συσκευασίας	22.4
Διαστάσεις καλοριφέρ	16 φέτες
Εγγύηση	10
Θερμική ισχύς	1440
Τύπος	ίσιο
Υλικό	χάλυβας
Υψος	905
Χρώμα	λευκό

Σχήμα 69. Χαρακτηριστικά θερμαντικών σωμάτων [50].

Τελικά υπολογίζεται ότι απαιτούνται : $8 \times 22,4 \text{ kg}$ χάλυβα = 179,2 kg χάλυβα για τα σώματα.

5.1.4 Συσκευασία του συστήματος θέρμανσης φυσικού αερίου

- Συσκευασία λέβητα :Για την μεταφορά του λέβητα απαιτείται αρχικά μια επίπεδης ξύλινη παλέτα 10 kg στην οποία θα ακουμπάει η ξύλινη συσκευασία του λέβητα. Η ξύλινη συσκευασία θα αποτελείται από 1 ξύλινο κουτί (cleft timber box) μάζας 18,8 kg, προκειμένου να μπορεί να μεταφέρει τον συγκεκριμένο λέβητα. Γίνεται η υπόθεση ότι η παλέτα και το κουτί μεταφοράς κατασκευάζονται από το ίδιο ξύλινο υλικό.



Σχήμα 70. Ξύλινο κουτί και ξύλινες παλέτες για την μεταφορά του λέβητα αερίου [51].

Ακόμα απαιτούνται μικρό-ποσότητες αεροπλάστ (bubble wrap, το οποίο στο Simarpro είναι στην υποκατηγορία thermoplasts-polyethylene), περίπου 200g για την προστασία του λέβητα κατά την μεταφορά , καθώς και 1 kg ατσάλι (steel) για τις βίδες που απαιτούνται για την συναρμολόγηση της συσκευασίας. Συνολικά η συσκευασία του λέβητα χωρίς την 10 kg παλέτα ζυγίζει 20kg.

- Συσκευασία σωληνώσεων: Οι σωλήνες μεταφέρονται στερεωμένοι στην καρότσα του φορτηγού με το οποίο ταξιδεύουν, επομένως δεν απαιτείται επιπλέον συσκευασία για αυτούς.
- Συσκευασία σωμάτων καλοριφέρ: Ανά δύο από τα 8 σώματα που θα τοποθετηθούν στον υπό μελέτη χώρο, ταξιδεύει στην καρότσα ενός φορτηγού πάνω σε μια παλέτα 10 kg , τυλιγμένα με αεροπλάστ για προστασία. Επομένως απαιτούνται 4 τεμάχια επίπεδης ξύλινης παλέτας, και περίπου 800 g αεροπλάστ.

5.1.5 Στάδιο κατασκευής συστήματος θέρμανσης

Για την κατασκευή του συστήματος θέρμανσης και των συσκευασιών μεταφοράς του, συνολικά υπολογίστηκαν κατά προσέγγιση οι παρακάτω δαπάνες και εκπομπές:

- ✓ Ηλεκτρική ενέργεια(electricity) : 58.2 kWh
- ✓ Θερμική ενέργεια(Heat energy) 90 kWh / 324 MJ
- ✓ Κατανάλωση νερού(water consumption): 150 kg/ 0,15 m³
- ✓ Μεταφορές πρώτων υλών στα εργοστάσια(transport input): 40 tkm
- ✓ Σκόνη συγκολλήσεων(welding dust) : 5 kg
- ✓ Επικίνδυνα απόβλητα (Hazardous waste): 0,5 kg
- ✓ Λύματα(wastewater): 150 kg

5.1.6 Μεταφορά συστήματος από το εργοστάσιο μέχρι τον υπό μελέτη χώρο.

Γίνεται η υπόθεση ότι ο υπό μελέτη χώρος βρίσκεται στην Ευρώπη(RER in Simarpro).

Εάν στο simarpro για ορισμένα υλικά και διαδικασίες υπάρχει η δυνατότητα καλύτερου προσδιορισμού της θέσης, τότε ο χώρος αυτός θα βρίσκεται στην Ελλάδα, και πιο συγκεκριμένα στο κέντρο της Αθήνας στο Κολωνάκι. Είναι βασικό να προσδιοριστεί η τοποθεσία του χώρου τουλάχιστον για την εισαγωγή των δεδομένων μεταφοράς των προϊόντων από τα εργοστάσια.

- Μεταφορά του λέβητα: Στην Ελλάδα δεν υπάρχει εργοστάσιο της εταιρίας Daikin η οποία κατασκευάζει τον λέβητα αερίου. Επομένως για να φτάσει στον υπό μελέτη χώρο θα πρέπει να κατασκευαστεί στο κοντινότερο εργοστάσιο το οποίο αυτήν την στιγμή εδρεύει στην Ρώμη. Αφού φορτωθεί στο φορτηγό(μεσαίου μεγέθους, Euro 5) μαζί με την συσκευασία μεταφοράς του(85 kg) , θα ταξιδέψει οδικώς για 430 Km μέχρι το λιμάνι του Μπάρι. Από εκεί θα ταξιδέψει με εμπορικό πλοίο μέχρι το λιμάνι του Πειραιά(συνολικά 979,71 Km). Τελικά από εκεί θα ταξιδέψει επιπλέον 35 km μέχρι το φορτίο να φτάσει στον υπό μελέτη χώρο(Έγινε η υπόθεση ότι το φορτίο πρώτα ταξιδεύει από τον Πειραιά μέχρι το υποκατάστημα της Daikin στο Μαρούσι, και στην συνέχεια με ίδιο φορτηγό μεταφέρεται μέχρι το κέντρο της Αθήνας).

Τελικά, ο λέβητας με την συσκευασία του ταξιδεύει για $465\text{Km} \times 0,085\text{ ton} = 39,525\text{ tkm}$ με φορτηγό, καθώς και $979,71\text{ Km} \times 0,085\text{ ton} = 83,27\text{ tkm}$ με πλοίο έως ότου να φτάσει στον χώρο που θα εγκατασταθεί.

- Μεταφορά σωληνώσεων: Οι σωλήνες κατασκευάζονται στο σχηματάρι στο εργοστάσιο της εταιρίας ΧΑΛΚΟΡ και με φορτηγό (μεσαίου μεγέθους, EURO 5) διανύουν περίπου 70 km μέχρι να φτάσουν στο κέντρο της Αθήνας όπου και βρίσκεται ο υπό μελέτη χώρος. Η ποσότητα των 20 m χαλκοσωλήνων αντιστοιχούν όπως προαναφέρθηκε σε 11,26 kg αν προστεθούν και τα 2kg χαλκού για συνδέσεις των σωλήνων

Επομένως γίνεται λόγος για 0,7882611 tkm (τονό -χιλιόμετρα).

- Μεταφορά θερμαντικών σωμάτων: Τα θερμαντικά σώματα κατασκευάζονται στην εταιρία ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ ΑΕ που εδρεύει στον Ταύρο Αττικής. Απαιτούνται 4 παλέτες των 10 kg (συνολικά 40 kg) πάνω στις οποίες θα μεταφερθούν τα 8 σώματα συνολικού βάρους 179,2 kg χάλυβα, και 800g αεροπλάστ.

Για μεταφορά λοιπόν 220kg για 8 Km (απόσταση Ταύρος - κέντρο) γίνεται λόγος για 1,76 tkm.

5.1.7 Εγκατάσταση του θερμικού συστήματος στον υπό μελέτη χώρο

Θα γίνει η υπόθεση, ότι κατά την κατασκευή του υπό μελέτη χώρου, θα έχει ήδη αποφασιστεί το σύστημα θέρμανσης το οποίο θα εγκατασταθεί, επομένως θα έχουν δημιουργηθεί οι προϋποθέσεις για την εγκατάσταση του λέβητα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι θα υπάρχουν από την αρχή οι τομές στους τοίχους για να περαστούν οι χαλκοσωλήνες, καθώς και ειδικά διαμορφωμένος χώρος για την εισαγωγή του λέβητα (λεβητοστάσιο). Η υπόθεση αυτή είναι σημαντική, διότι έτσι δεν θα συνυπολογιστούν στην ανάλυση κύκλου ζωής του λέβητα οι εργασίες τοποθέτησης των σωληνώσεων και η δημιουργία λεβητοστασίου, εργασίες οι οποίες θα έκαναν αρκετά πολύπλοκους τους υπολογισμούς, καθώς δεν είναι εφικτό να γνωρίζει κανείς ακριβώς την ενέργεια που θα καταναλωθεί για να επιτευχθούν αυτές. Επομένως οι εν λόγω εργασίες ανήκουν πλέον στην ανάλυση κύκλου ζωής της κατασκευής του χώρου που μελετάται. Έτσι λοιπόν, κατά το στάδιο της εγκατάστασης του λέβητα, οι μόνες διαδικασίες που πρέπει να γίνουν και οι οποίες επηρεάζουν την εν λόγω ανάλυση κύκλου ζωής, είναι οι στηρίξεις των θερμαντικών σωμάτων και η στήριξη του λέβητα στους ανάλογους τοίχους. Το 90% των παραπάνω διαδικασιών, προέρχεται από το ανθρώπινο δυναμικό γεγονός που σημαίνει ότι δεν επηρεάζεται ο κύκλος ζωής του λέβητα. Το υπολειπόμενο 10% είναι η χρήση εργαλείων που απαιτούν ενέργεια όπως για παράδειγμα ένα ηλεκτρικό δράπανο τοίχων. Εάν θεωρήσουμε ότι 4 εργαλεία των 1kW το καθένα δουλέψαν από 6 ώρες, συνολικά υπολογίζουμε ότι καταναλώθηκε ενέργεια 24 kWh (medium voltage) για την εγκατάσταση του συστήματος θέρμανσης στον χώρο.

5.1.8 Τέλος κύκλου ζωής συστήματος λέβητα φυσικού αερίου

Η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής του λέβητα φυσικού αερίου, αλλά και των θερμαντικών σωμάτων είναι τα 15 - 20 χρόνια. Πέρα από αυτήν την διάρκεια, ο λέβητας υπολειτουργεί και βγάζει προβλήματα ενώ τα θερμαντικά σώματα χάνουν την αποδοτικότητα τους με αποτέλεσμα το κόστος θέρμανσης να είναι τότε αρκετά υψηλό. Από την άλλη δε, οι χάλκινοι σωλήνες έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, περίπου 60 χρόνια, αν φυσικά δεν έχει γίνει κάποιο λάθος στην τοποθέτησή τους όπως λανθασμένη ένωση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το τέλος ζωής του εν λόγω συστήματος θέρμανσης, θα περιλαμβάνει την επεξεργασία του λέβητα καθώς και των 8 χαλύβδινων σωμάτων αλλά όχι την επεξεργασία των σωληνώσεων οι οποίοι κατά γενική ομολογία θεωρούνται πρακτικά 'αθάνατοι'. Τέλος γίνεται η υπόθεση πως οι συσκευασίες μεταφοράς και οι παλέτες του συστήματος, φυλάσσονται έως το τέλος ζωής του με σκοπό την επανατοποθέτηση και μεταφορά του για ανακύκλωση, αποτέφρωση ή θάψιμο σε κάποια χωματερή.

Οι παλέτες φυσικά δεν θα υποστούν κάποια επεξεργασία αφού δεν φθείρονται κατά το πέρασμα του χρόνου ζωής του συστήματος, επομένως δεν θα ληφθούν υπόψιν στο σενάριο επεξεργασίας των απορριμμάτων.

Οι συσκευασίες από την άλλη, θα ληφθούν διότι δεν συμφέρει να υποστούν επεξεργασία ώστε να προσαρμοστούν προς ανάγκες πιθανής επαναχρησιμοποίησης. Οι παλέτες που χρειάζονται για την μεταφορά όλου συστήματος καθώς και οι σωληνώσεις, θα οριστούν σαν απροσδιόριστες ποσότητες καθώς η πορεία προς κατά την απεγκατάστασή του συστήματος είναι άγνωστη.

Κατά το πέρας προς ζωής του λέβητα , πρωταρχικός στόχος είναι η ανακύκλωση των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν , κατά το μέγιστο ποσοστό προς. Τα μη ανακυκλώσιμα υλικά καθώς και τα υπολείμματα των ανακυκλώσιμων, στέλνονται για αποτέφρωση. Οι μικρό-ποσότητες που περίσσεψαν από προς δύο παραπάνω φιλικές προς το περιβάλλον διαδικασίες, στέλνονται για ταφή. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα ποσοστά των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν , να καούν ή να ταφούν:

Πίνακας 3. Προσεγγιστικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών κατασκευής

Υλικό	Ποσοστό του κάθε υλικού			
	Ανακύκλωση	Αποτέφρωση	Υγειονομική ταφή	Απροσδιόριστο
Χάλυβας	70%	-	30%	-
Χαλκός	50%	50%	-	-
Χαλκός για σωληνώσεις	-	-	-	100%
Αλουμίνιο	75%	20%	5%	-
Πλαστικό	30%	40%	30%	-
Ηλεκτρονικά μέρη	-	70%	30%	-
Ξύλο	80%	10%	10%	-
Ξύλο για παλέτες	-	-	-	100%
Αεροπλάστ (Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας)	70%	-	30%	-

Να σημειωθεί ότι τα παραπάνω προσεγγιστικά ποσοστά έχουν προκύψει κυρίως από έρευνες. Ταυτόχρονα όμως έχουν προσαρμοστεί και στις δυνατότητες του Simapro , αφού για την δημιουργία των waste scenario για κάθε υλικό χρησιμοποιήθηκαν έτοιμες διαδικασίες του λογισμικού οι οποίες είναι βασισμένες στις βιβλιοθήκες του.

Για παράδειγμα αν ένα συγκεκριμένο υλικό μπορεί σε κάποιο μικρό ποσοστό να αποτεφρωθεί, όμως το Simapro δεν διαθέτει τέτοιου είδους επεξεργασία για το συγκεκριμένο υλικό, το ποσοστό αυτό θα παραλειφθεί, και θα προσμετρηθεί στην υγειονομική ταφή. Αν και υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέας διαδικασίας επεξεργασίας ενός υλικού, η έλλειψη γνώσης του μεγαλύτερου μέρους των επιμέρους διαδικασιών που την διέπουν, θα οδηγούσε σε ατελές σενάριο και τελικά σε λανθασμένα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτόν επιλέγονται τα έτοιμα σενάρια επεξεργασίας, επομένως η προσαρμογή των ποσοστών είναι αναπόφευκτη.

Μέσω των παραπάνω δεδομένων, και λαμβάνοντας υπόψιν την μάζα των υλικών στο σύστημα θέρμανσης του λέβητα αερίου και της συσκευασίας του, υπολογίζεται το ποσοστό του κάθε υλικού με την ανάλογη επεξεργασία του, και γίνεται αναγωγή στην ολική μάζα του συστήματος. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το άθροισμα όλων αυτών των ποσοστών είναι 100%, διότι για την κατασκευή του Disposal scenario στο Simapro, πρέπει να τοποθετούνται όλα τα πιθανά waste scenario σε ποσοστά τέτοια ώστε το άθροισμά τους να δίνει 100%. Τα αποτελέσματα αυτά υπολογίστηκαν με την βοήθεια του excel και παρουσιάζονται παρακάτω μέσω του Πίνακα 4:

Πίνακας 4. Τελικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών

Waste scenario	Τελικό ποσοστό επεξεργασίας κάθε υλικού			
	Ανακύκλωση	Αποτέφρωση	Υγειονομική ταφή	Απροσδιόριστο
Χάλυβας	48,537%	0,000%	20,800%	0,000%
Χαλκός	0,607%	0,607%	0,000%	0,000%
Χαλκός για σωληνώσεις	0,000%	0,000%	0,000%	3,800%
Αλουμίνιο	0,607%	0,162%	0,040%	0,000%
Πλαστικό	0,324%	0,432%	0,324%	0,000%
Ηλεκτρονικά μέρη	0,000%	0,142%	0,060%	0,000%
Ξύλο	5,077%	0,634%	0,634%	0,000%
Ξύλο για παλέτες	0,000%	0,000%	0,000%	16,877%
Αεροπλάστ (Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας)	0,236%	0,000%	0,100%	0,000%

Γίνεται η εκτίμηση ότι το σύστημα θέρμανσης, από τον υπό μελέτη χώρο ταξιδεύει για επεξεργασία μετά το τέλος ζωής του για 0,05 tkm ανά υλικό, ώστε να γίνει ο διαχωρισμός των υλικών για ανακύκλωση, αποτέφρωση και ταφή.

5.2 Ανάλυση κύκλου ζωής λέβητα πέλλετ

Η μονάδα που επιλέγεται να μελετηθεί, είναι της εταιρίας PALAZZETTI και απεικονίζεται στο Σχήμα 71:



Σχήμα 71. Μονάδα λέβητα πέλλετ PALAZZETTI JP 15 KW [52].

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτη μονάδας δίνονται από τον Πίνακα 5 που ακολουθεί :

Πίνακας 5. Τεχνικά χαρακτηριστικά λέβητα πέλλετ

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Ενεργειακή κλάση	A+
Εξωτερικές Διαστάσεις- Βάρος	70x63x140 cm - 230 kg
Επίπεδο περιβαλλοντολογικών επιδόσεων	****
Θερμική απόδοση στην ελάχιστη θερμική ισχύ	97,71%
Θερμική απόδοση στην μέγιστη θερμική ισχύ	96,11%
Μέγιστη Θερμική ισχύς εισαγωγής	16,70 KW
Μέγιστη Ονομαστική Θερμική ισχύς	16,05 KW
Μέγιστη Ονομαστική Θερμική ισχύς στο νερό	15,31 KW
Ελάχιστη Θερμική ισχύς	4,90 KW
Ελάχιστη Ονομαστική Θερμική ισχύς στο νερό	4,40 KW
Μέγιστη αυτονομία λειτουργίας	52 h
Χωρητικότητα δεξαμενής pellet	55 Kg
Ωριαία κατανάλωση	1.05 Kg/h - 3.48 Kg/h
Διάμετρος εξόδου καυσαερίων	Ø 8 cm
Θέση εξόδου καυσαερίων	Πίσω τμήμα συσκευής
Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης	OXI

Πηγή: <https://www.starfire.gr/en/heating-air-conditioning-solutions/pellet-boilers/pellets-boilers-palazzetti/JP-14-levitas-caldaia-pellet-palazzetti>

5.2.1 Υλικά κατασκευής λέβητα πέλλετ

Ο λέβητας, εκτός από την κατασκευή του, απαιτεί και ένα δοχείο αποθήκευσης του καυσίμου πέλλετ το οποίο ονομάζεται σιλό. Αυτό για να συνδεθεί με τον λέβητα, απαιτούνται 5 m σπιράλ σωλήνες με διάμετρο 15 cm από υλικό PVC(περίπου 2kg PVC). Για την σύνδεση των σπιράλ μεταξύ τους αλλά και με τα δύο άκρα τους(λέβητας, σιλό) απαιτούνται περίπου 3 kg χάλυβα για βίδες και συνδέσεις. Τέλος, για την τροφοδοσία του λέβητα από το σιλό , θα υπάρχει ένα σύστημα αναρρόφησης κενού (vacuum) , τα υλικά κατασκευής του οποίου θα αποδοθούν παρακάτω.

5.2.1.1 Υλικά κατασκευής λέβητα πέλλετ 230 kg

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται τα υλικά κατασκευής του λέβητα πέλλετ.

Πίνακας 6. Υλικά κατασκευής λέβητα πέλλετ

Υλικά κατασκευής	Ποσότητα υλικών κατασκευής λέβητα (kg)
ανοξείδωτος χάλυβας	113,01
Αλουμίνιο	55,87
Χαλκός	23,61
Νικέλιο	13,71
Χρώμιο	7,85
Πολυαιθυλένιο	6,46
Ψευδάργυρος	4,29
Κασσίτερος	2,64
ηλεκτρονικές συσκευές(καλώδια, σφικκτήρες και αισθητήρες για θερμοστάτη)	1,13
PVC	0,76
καουτσούκ	0,67
Συνολικά	230,00

5.2.1.2 Υλικά κατασκευής σιλό

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα υλικά κατασκευής του σιλό.

Πίνακας 7. Υλικά κατασκευής σιλό

Υλικά κατασκευής σιλό	Δοχείο αποθήκευσης του καυσίμου πέλλετ
ανοξείδωτος χάλυβας	66,93
Αλουμίνιο	5,39
Χαλκός	16,12
Πολυαιθυλένιο	2,1
Κασσίτερος	3,68
καουτσούκ	0,43
Συνολικά	94,65

5.2.1.3 Υλικά κατασκευής συστήματος τροφοδότησης του λέβητα πέλλετ

Για την αναρρόφηση των πέλλετ από το σιλό θα χρησιμοποιηθεί ένας κινητήρας vacuum 600 W ο οποίος ζυγίζει 5kg και απεικονίζεται στο Σχήμα 72, ενώ τα υλικά ολόκληρου του συστήματος τροφοδότησης του λέβητα με καύσιμο πέλλετ παρουσιάζονται στον Πίνακα 8:



Σχήμα 72. Κινητήρας vacuum 600W [53].

Πίνακας 8. Υλικά κατασκευής συστήματος τροφοδότησης του λέβητα πέλλετ

Υλικά κατασκευής	Σωληνώσεις PVC(kg)	Vacuum motor(kg)	ΣΥΝΟΛΙΚΑ (kg)
ανοξείδωτος χάλυβας	3	0,8	3,8
Αλουμίνιο	-	2,6	2,6
PVC	2	1,6	3,6
Συνολικά	5	5	10

5.2.2 Σωληνώσεις για σύνδεση του λέβητα πέλλετ με τα θερμαντικά σώματα

Η έξοδος του λέβητα είναι 15 mm για την σύνδεση με τα σώματα. Επομένως το βάρος του χαλκού επενδυμένων σωληνώσεων ανά μέτρο είναι 0,463 kg/m. Θα χρειαστούν περίπου 20 m σωληνώσεων διότι ο λέβητας θα τοποθετηθεί στο πίσω μέρος του σπιτιού, επομένως απαιτούνται $20\text{m} \times 0,463 \text{ kg/m} = 9,26 \text{ kg}$ χαλκού. Επίσης υπάρχουν και οι συνδέσεις των σωλήνων καθώς δεν είναι ενιαίοι, επομένως έχουμε ακόμη 2kg χαλκού(ταφ κλπ).

Συνολικό βάρος χαλκού για σωληνώσεις = 11,26 kg.

5.2.3 Υλικό κατασκευής θερμαντικών σωμάτων

Θα κατασκευαστούν 8 θερμαντικά σώματα για να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες του υπό μελέτη χώρου ο οποίος όπως ορίστηκε είναι περίπου 100 τ.μ. Θα χρησιμοποιηθούν σώματα από χάλυβα λόγω της εξαιρετικής τους θερμικής απόδοσης αλλά ταυτόχρονα και για την μικρή τους επιβάρυνση στο περιβάλλον. Επιλέγονται μέτριου προς μεγάλου μεγέθους σώματα με 16 φέτες. Τελικά υπολογίζεται ότι απαιτούνται : $8 \times 22,4 \text{ kg χάλυβα} = 179,2 \text{ kg χάλυβα}$ για τα σώματα.

5.2.4 Συσκευασία του συστήματος θέρμανσης πέλλετ

- Συσκευασία λέβητα:
 - ✓ 2 παλέτες των 10 kg για την μεταφορά του λέβητα και της συσκευής vacuum.
 - ✓ Ταινία συσκευασίας (packaging fim) για το τύλιγμα των εξαρτημάτων συναρμολόγησής, του λέβητα και των σπирάλ περίπου 0.8 kg.
 - ✓ Το ξύλινο κουτί μεταφοράς του λέβητα θα ζυγίζει περίπου 40 kg.
 - ✓ Το κουτί μεταφοράς της συσκευής vacuum θα ζυγίζει 5 kg.
 - ✓ Για το σφράγισμα των κουτιών των δύο συσκευών απαιτείται 1 kg χάλυβα για βίδες και σφικτήρες.
 - ✓ Για την ασφάλεια κατά την μεταφορά των παραπάνω συσκευών , του σιλό και των λοιπών εξαρτημάτων, απαιτούνται περίπου 2 kg αεροπλάστ(bubble wrap).
 - ✓ Για την μεταφορά των λοιπών εξαρτημάτων συναρμολόγησης του συστήματος, απαιτείται ένα μικρό κουτί από χαρτόνι περίπου 0,3kg.
 - ✓ Τέλος απαιτείται περίπου 0,01 kg επεξεργασμένου χαρτιού για το εγχειρίδιο εγκατάστασης και λειτουργίας που θα σταλθεί μαζί με το σύστημα του λέβητα.
- Συσκευασία σωληνώσεων: Οι σωλήνες μεταφέρονται στερεωμένοι στην καρότσα του φορτηγού με το οποίο ταξιδεύουν, επομένως δεν απαιτείται επιπλέον συσκευασία για αυτούς.
- Συσκευασία σωμάτων καλοριφέρ: Ανά δύο από τα 8 σώματα που θα τοποθετηθούν στον υπό μελέτη χώρο, ταξιδεύουν στην καρότσα ενός φορτηγού πάνω σε μια παλέτα , τυλιγμένα με αεροπλάστ για προστασία. Επομένως απαιτούνται 4 τεμάχια ίσιας ξύλινης παλέτας(10 kg η καθεμιά), και περίπου 800 g αεροπλάστ.

5.2.5 Στάδιο κατασκευής συστήματος θέρμανσης

Για την κατασκευή του συστήματος θέρμανσης, των σωληνώσεων, των θερμαντικών σωμάτων και των συσκευασιών μεταφοράς τους, συνολικά υπολογίστηκαν κατά προσέγγιση οι παρακάτω δαπάνες και εκπομπές:

- ✓ Ηλεκτρική ενέργεια (electricity medium voltage) : 382,45 kWh
- ✓ Θερμική ενέργεια (Heat energy): 179,8 kWh / 647,3 MJ
- ✓ Κατανάλωση νερού (water consumption): 350 kg / 0,35 m³
- ✓ Μεταφορές πρώτων υλών στα εργοστάσια (transport input): 20 tkm
- ✓ Σκόνη συγκολλήσεων (welding dust) : 5 kg
- ✓ Επικίνδυνα απόβλητα (Hazardous waste): 0,5 kg
- ✓ Λύματα (wastewater): 150 kg

5.2.6 Μεταφορά συστήματος από το εργοστάσιο μέχρι τον υπό μελέτη χώρο.

Όπως αναφέρθηκε και στο σενάριο I, ο υπό μελέτη χώρος βρίσκεται στην Ευρώπη, και συγκεκριμένα στην Ελλάδα στο κέντρο της Αθήνας. Για τον υπολογισμό των τόνο - χιλιομέτρων που απαιτούνται για την μεταφορά του συστήματος λέβητα πέλλετ, σωληνώσεων και θερμαντικών σωμάτων από τα εργοστάσια κατασκευής τους μέχρι τον υπό μελέτη χώρο, χρειάζεται πρώτα να υπολογιστεί το συνολικό βάρος των υλικών που θα μεταφερθούν. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε ο Πίνακας 9 μέσω του excel στον οποίο φαίνονται οι ολικές ποσότητες σε kg των στοιχείων που θα μεταφερθούν από την Ιταλία στο κέντρο της Αθήνας .

- Μεταφορά συστήματος λέβητα:

Ο λέβητας πέλλετ που επιλέχθηκε, κατασκευάζεται στην Βόρεια πλευρά της Ιταλίας, και πιο συγκεκριμένα στο εργοστάσιο της εταιρίας PALAZETTI το οποίο εδρεύει στην περιοχή Porcia. Από το σημείο αυτό, και αφού ταξιδέψει οδικώς με φορτηγό μεσαίου μεγέθους για 119 Km , θα φτάσει στο λιμάνι της Τεργέστης. Από εκεί, ταξιδεύει με πλοίο για 1072 μίλια δηλαδή για 1985,3 Km , μέχρι να καταπλεύσει στο λιμάνι του Πειραιά. Τελικά από εκεί θα ταξιδέψει επιπλέον 13,2 km μέχρι το φορτίο να φτάσει στον υπό μελέτη χώρο. Τελικά, ο λέβητας με την συσκευασία του ταξιδεύει για 132,2 Km με φορτηγό ίδιων διαστάσεων, καθώς και 1985,3 Km με πλοίο μέχρι να φτάσει στον υπό μελέτη χώρο.

Πίνακας 9. Μάζες των υλικών που μεταφέρονται από την Ιταλία στον υπό μελέτη χώρο

Υλικά κατασκευής	Λέβητας πέλλετ (kg)	Δοχείο αποθήκευσης του καυσίμου πέλλετ – σιλό (kg)	PVC σωληνώσεις για συνδέση σιλό – λέβητα (kg)	Κινητήρας Vasuimh (kg)	Συσκευασία συστήματος λέβητα πέλλετ (kg)	Συνολικές ποσότητες υλικών (kg)
ανοξείδωτος χάλυβας	113,01	66,93	3	0,8	1	184,74
Αλουμίνιο	55,87	5,39		2,6		63,86
Χαλκός	23,61	16,12				39,73
Νικέλιο	13,71					13,71
Χρώμιο	7,85					7,85
Πολυαιθυλένιο	6,46	2,1				8,56
Ψευδάργυρος	4,29					4,29
Κασσίτερος	2,64	3,68				6,32
ηλεκτρονικές συσκευές	1,13					1,13
PVC	0,76		2	1,6		4,36
καουτσούκ	0,67	0,43				1,10
Βάρος παλετών					20	20
Ταινία συσκευασίας					0,8	0,8
2 κουτιά κόντρα πλακέ					45	45
αεροπλαστ					2	2
Κουτί από χαρτόνι και χαρτί από το εγχειρίδιο					0,31	0,31
Συνολικά	230,00	94,65	5,00	5,00	69,11	403,76

Μέσω του παραπάνω πίνακα, υπολογίζεται ότι το συνολικό βάρος του συστήματος μαζί με την συσκευασία του, είναι 403,76 kg. Επομένως το σύστημα θέρμανσης θα ταξιδέψει:

- $(0,40376 \text{ ton} \times 132,2 \text{ km}) = 53,4 \text{ tkm}$ με φορτηγό, και,
- $(0,40376 \text{ ton} \times 1985,3 \text{ Km}) = 801,6 \text{ tkm}$ με πλοίο

- Μεταφορά σωληνώσεων: Οι σωλήνες κατασκευάζονται στο Σχηματάρι στο εργοστάσιο της εταιρίας ΧΑΛΚΟΡ και με φορτηγό (μεσαίου μεγέθους, EURO 5) διανύουν περίπου 70 km μέχρι να φτάσουν στο κέντρο της Αθήνας όπου και βρίσκεται ο υπό μελέτη χώρος. Η ποσότητα των 20 m χαλκοσωλήνων αντιστοιχούν όπως προαναφέρθηκε σε 11,26 kg αν προστεθούν και τα 2kg χαλκού για συνδέσεις των σωλήνων. Επομένως γίνεται λόγος για 0,788 tkm.
- Μεταφορά θερμαντικών σωμάτων: Τα θερμαντικά σώματα κατασκευάζονται στην εταιρία ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ ΑΕ που εδρεύει στον Ταύρο Αττικής. Απαιτούνται 4 παλέτες των 10 kg (συνολικά 40 kg) πάνω στις οποίες θα μεταφερθούν τα 8 σώματα συνολικού βάρους 179,2 kg, και 800g αεροπλάστ. Για μεταφορά λοιπόν 220 kg για 8 Km (απόσταση Ταύρος - κέντρο) γίνεται λόγος για 1,76 tkm.

5.2.7 Εγκατάσταση του θερμικού συστήματος στον υπό μελέτη χώρο

Θα γίνει η υπόθεση, ότι κατά την κατασκευή του υπό μελέτη χώρου, θα έχει ήδη αποφασιστεί το σύστημα θέρμανσης το οποίο θα εγκατασταθεί, επομένως θα έχουν δημιουργηθεί οι προϋποθέσεις για την εγκατάσταση του λέβητα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι θα υπάρχουν από την αρχή οι τομές στους τοίχους για να περαστούν οι χαλκοσωλήνες, καθώς και ειδικά διαμορφωμένος χώρος για την εισαγωγή του λέβητα (λεβητοστάσιο). Η υπόθεση αυτή είναι σημαντική, διότι έτσι δεν θα συνυπολογιστούν στην ανάλυση κύκλου ζωής του λέβητα οι εργασίες τοποθέτησης των σωληνώσεων και η δημιουργία λεβητοστασίου, εργασίες οι οποίες θα έκαναν αρκετά πολύπλοκους τους υπολογισμούς, καθώς δεν είναι εφικτό να γνωρίζει κανείς ακριβώς την ενέργεια που θα καταναλωθεί για να επιτευχθούν αυτές. Επομένως οι εν λόγω εργασίες ανήκουν πλέον στην ανάλυση κύκλου ζωής της κατασκευής του χώρου που μελετάται. Το 90% των διαδικασιών που πρέπει να γίνουν για την εγκατάσταση του θερμικού συστήματος, προέρχεται από το ανθρώπινο δυναμικό γεγονός που σημαίνει ότι δεν επηρεάζεται ο κύκλος ζωής του λέβητα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η χημική ενέργεια που θα καταναλώσουν οι αρμόδιοι τεχνικοί εγκατάστασης του συστήματος δεν συμπεριλαμβάνεται στην εν λόγω ανάλυση. Το υπολειπόμενο 10% είναι η χρήση εργαλείων που απαιτούν ενέργεια για να λειτουργήσουν. Για την εγκατάσταση ολόκληρου του συστήματος λοιπόν, οι εργασίες που πρέπει να γίνουν είναι οι παρακάτω:

- ✓ Εγκατάσταση θερμαντικών σωμάτων: 16 kWh
- ✓ Εγκατάσταση σωληνώσεων και σύνδεση με τα θερμαντικά σώματα: 2 kWh
- ✓ Εγκατάσταση λέβητα πέλλετ και σύνδεση με τις σωληνώσεις : 28 kWh
- ✓ Εγκατάσταση του σιλό: 12 kWh
- ✓ Σύνδεση του σιλό με τον λέβητα, διαδικασία η οποία περιέχει και την σύνδεση των σπирάλ μεταξύ τους: 9 kWh
- ✓ Μέτρηση και ρύθμιση του συστήματος του λέβητα για έλεγχο ορθής λειτουργίας: 3 kWh

Συνολικά λοιπόν για την εγκατάσταση του συστήματος θέρμανσης στον υπό μελέτη χώρο απαιτούνται 70 kWh ηλεκτρικής ενέργειας

5.2.8 Τέλος κύκλου ζωής συστήματος λέβητα πέλλετ

Η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής ενός λέβητα πέλλετ, είναι τα 20 – 25 χρόνια, ενώ των θερμαντικών σωμάτων τα 15 – 20 χρόνια. Πέρα από αυτήν την διάρκεια, ο λέβητας υπολειτουργεί και βγάζει προβλήματα ενώ τα θερμαντικά σώματα χάνουν την αποδοτικότητα τους με αποτέλεσμα το κόστος θέρμανσης να είναι τότε αρκετά υψηλό. Από την άλλη δε, οι χάλκινοι σωλήνες έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής ,περίπου 60 χρόνια, αν φυσικά δεν έχει γίνει κάποιο λάθος στην τοποθέτησή τους όπως λανθασμένη ένωση. Ακόμα, γίνεται η υπόθεση πως οι συσκευασίες μεταφοράς και οι παλέτες του συστήματος, φυλάσσονται έως το τέλος ζωής του με σκοπό την επανατοποθέτηση και μεταφορά του για ανακύκλωση, αποτέφρωση η θάψιμο σε κάποια χωματερή. Οι παλέτες φυσικά δεν θα υποστούν κάποια επεξεργασία αφού δεν φθείρονται κατά το πέρασμα του χρόνου ζωής του συστήματος, επομένως δεν θα ληφθούν υπόψιν στο σενάριο επεξεργασίας των απορριμμάτων. Οι συσκευασίες από την άλλη, θα ληφθούν διότι δεν συμφέρει να υποστούν επεξεργασία ώστε να προσαρμοστούν στις ανάγκες πιθανής επαναχρησιμοποίησης. Οι παλέτες που χρειάζονται για την μεταφορά όλου του συστήματος, θα οριστούν σαν απροσδιόριστες ποσότητες καθώς η πορεία τους κατά την απεγκατάστασή του συστήματος είναι άγνωστη. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το τέλος ζωής του εν λόγω συστήματος θέρμανσης, θα περιλαμβάνει την επεξεργασία του λέβητα, του σιλό, των σπιράλ και των λοιπών εξαρτημάτων σύνδεσης ,των 8 χαλύβδινων θερμαντικών σωμάτων καθώς και των συσκευασιών όλων των παραπάνω (εκτός από τις παλέτες μεταφοράς), αλλά όχι την επεξεργασία των σωληνώσεων οι οποίοι κατά γενική ομολογία θεωρούνται πρακτικά 'αθάνατοι' . Για τον λόγο αυτόν, και οι σωληνώσεις θα οριστούν σαν απροσδιόριστη ποσότητα μαζί με τις παλέτες.

Κατά το πέρας της ζωής του λέβητα , πρωταρχικός στόχος είναι η ανακύκλωση των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν , κατά το μέγιστο ποσοστό τους. Τα μη ανακυκλώσιμα υλικά καθώς και τα υπολείμματα των ανακυκλώσιμων, στέλνονται για αποτέφρωση αν αυτό είναι εφικτό. Οι μικρό-ποσότητες που περίσσεψαν από τις δύο παραπάνω φιλικές προς το περιβάλλον διαδικασίες, στέλνονται για ταφή. Στον παρακάτω Πίνακας 10 παρουσιάζονται τα ποσοστά των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν ,να καούν ή να ταφούν αντίστοιχα.

Πίνακας 10. Προσεγγιστικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών κατασκευής

Υλικό	Ποσοστό του κάθε υλικού			
	Ανακύκλωση	Αποτέφρωση	Υγειονομική ταφή	Απροσδιόριστο
Ανοξείδωτος χάλυβας	70%	0%	30%	0%
Αλουμίνιο	75%	20%	5%	0%
Χαλκός	50%	50%	0%	0%
Χαλκός για σωληνώσεις	0%	0%	0%	100%
Νικέλιο	0%	0%	100%	0%
Χρώμιο	0%	0%	100%	0%
Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας	70%	0%	30%	0%
Ψευδάργυρος	0%	30%	70%	0%
Κασσίτερος	0%	30%	70%	0%
Ηλεκτρονικά μέρη	0%	70%	30%	0%
PVC	30%	40%	30%	0%
καουτσούκ	0%	0%	100%	0%
Ταινία συσκευασίας	70%	0%	30%	0%
κόντρα πλακέ	80%	10%	10%	0
Ξύλο για παλέτες	0%	0%	0%	100%
Αεροπλάστ	70%	0%	30%	0%
Χαρτόνι	75%	5%	20%	0%

Να σημειωθεί ότι τα παραπάνω προσεγγιστικά ποσοστά έχουν προκύψει κυρίως από έρευνες. Ταυτόχρονα όμως έχουν προσαρμοστεί και στις δυνατότητες του Simapro , αφού για την δημιουργία των waste scenario για κάθε υλικό χρησιμοποιήθηκαν έτοιμες διαδικασίες του λογισμικού οι οποίες είναι βασισμένες στις βιβλιοθήκες του. Για παράδειγμα αν ένα συγκεκριμένο υλικό μπορεί σε κάποιο μικρό ποσοστό να αποτεφρωθεί, όμως το Simapro δεν διαθέτει τέτοιου είδους επεξεργασία για το συγκεκριμένο υλικό, το ποσοστό αυτό θα παραλειφθεί, και θα προσμετρηθεί στην υγειονομική ταφή. Αν και υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέας διαδικασίας επεξεργασίας ενός υλικού, η έλλειψη γνώσης του μεγαλύτερου μέρους των επιμέρους διαδικασιών που την διέπουν, θα οδηγούσε σε ατελές σενάριο και τελικά σε λανθασμένα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτόν επιλέγονται τα έτοιμα σενάρια επεξεργασίας, επομένως η προσαρμογή των ποσοστών είναι αναπόφευκτη.

Μέσω των παραπάνω δεδομένων ,και λαμβάνοντας υπόψιν την μάζα των υλικών στο σύστημα θέρμανσης του λέβητα πέλλετ και της συσκευασίας του, υπολογίζεται το ποσοστό του κάθε υλικού με την ανάλογη επεξεργασία του, και γίνεται αναγωγή στην ολική μάζα του συστήματος. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το άθροισμα όλων αυτών των ποσοστών είναι 100%, διότι για την κατασκευή του Disposal scenario στο Simapro, πρέπει να τοποθετούνται όλα τα πιθανά waste scenario σε ποσοστά τέτοια ώστε το άθροισμά τους να δίνει 100%. Τα αποτελέσματα αυτά υπολογίστηκαν με την βοήθεια του excel και παρουσιάζονται στον Πίνακας 11.

Πίνακας 11. Τελικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών

Waste scenario	Τελικό ποσοστό επεξεργασίας κάθε υλικού			
	Ανακύκλωση	Αποτέφρωση	Υγειονομική ταφή	Απροσδιόριστο
Ανοξείδωτος χάλυβας	40,122%	0,000%	17,193%	0,000%
Αλουμίνιο	7,543%	2,012%	0,503%	0,000%
Χαλκός	3,128%	3,128%	0,000%	0,000%
Χαλκός για σωληνώσεις	0,000%	0,000%	0,000%	1,773%
Νικέλιο	0,000%	0,000%	2,159%	0,000%
Χρώμιο	0,000%	0,000%	1,236%	0,000%
Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας	0,944%	0,000%	0,404%	0,000%
Ψευδάργυρος	0,000%	0,203%	0,473%	0,000%
Κασσίτερος	0,000%	0,298%	0,696%	0,000%
Ηλεκτρονικά μέρη	0,000%	0,124%	0,053%	0,000%
PVC	0,206%	0,274%	0,206%	0,000%
καουτσούκ	0,000%	0,000%	0,173%	0,000%
Ταινία συσκευασίας	0,088%	0,000%	0,038%	0,000%
κόντρα πλακέ	5,669%	0,708%	0,708%	0,000%
Ξύλο για παλέτες	0,000%	0,000%	0,000%	9,448%
Αεροπλάστ	0,309%	0,000%	0,132%	0,000%
Χαρτόνι	0,037%	0,002%	0,010%	0,000%

Γίνεται η εκτίμηση ότι το σύστημα θέρμανσης, από τον υπό μελέτη χώρο ταξιδεύει για επεξεργασία μετά το τέλος ζωής του για 0,05 tkm ανά υλικό, ώστε να γίνει ο διαχωρισμός των υλικών για ανακύκλωση, αποτέφρωση και ταφή.

5.3 Ανάλυση κύκλου ζωής αντλίας θερμότητας αέρα-νερού ενιαίου τύπου

Η αντλία θερμότητας αέρα – νερού για την οποία θα διεξαχθεί η μελέτη, είναι ενιαίου τύπου (monoblock) επομένως θα περιλαμβάνει μόνο μια εξωτερική συσκευή καθώς και τον εγκέφαλο (inverter) για την ρύθμισή της. Η εξωτερική αυτή συσκευή θα συνδέεται απευθείας μέσω σωληνώσεων με τα θερμαντικά σώματα του εσωτερικού χώρου. Επιλέγεται να μελετηθεί μια μονάδα της εταιρίας MITSUBISHI ELECTRIC η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 73.

Ecodan Monobloc 5-11 kw

**ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ / ΝΕΡΟΥ
ΜΟΝΟΜΠΛΟΚ ΤΥΠΟΥ
Compact Power inverter | R410A**



Σχήμα 73. Αντλία θερμότητας αέρα- νερού ενιαίου τύπου MITSUBISHI ELECTRIC [54].

Με δεδομένο ότι οι θερμικές ανάγκες του υπό μελέτη χώρου είναι 10 KW , επιλέγεται η παραπάνω μονάδα με ονομαστική ισχύ 11,2 KW, της οποίας τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω μέσω του Πίνακας 12:

Πίνακας 12. Τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας αέρα- νερού

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ	M.M.	PUHZ-W112VAA
Ονομαστική απόδοση στην θέρμανση	kw	11,2
COP	-	4.47
EER	-	2.8
Επίπεδο θορύβου SPL/PWL	db(A)	53
Ενεργειακή απόδοση LOT 1 W55		A++
Διαστάσεις	mm	1020 / 330 / 1350
Βάρος	kg	133
Ψυκτικό Μέσο	kg	4.0
Εύρος λειτουργίας στην θέρμανση	°C	- 20 + 35
Εύρος λειτουργίας στην ψύξη	°C	- 5 + 46
Μέγιστη θερμοκρασία εξόδου νερού στην θέρμανση	°C	+ 60
Μέγιστη θερμοκρασία εξόδου νερού στην ψύξη	°C	+ 5

Πηγή:<https://papagiannis.gr/ecodan-compact-inverter-monoblock-puhz-w-112vaa-hydrobox-ehpx-vm2c-antlia-thermotitas-aera-nerou-psiuxi-10kw-thermansia-11.2kw-r410a-monofasiki.html>

Στην εξωτερική συσκευή που παρουσιάστηκε ρέει το ψυκτικό μέσο R410A, το οποίο είναι αναγκαίο για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Η ποσότητά του όπως φαίνεται και στα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής είναι 4 kg. Επειδή το simarpro δεν έχει στις βιβλιοθήκες του το συγκεκριμένο ψυκτικό, θα χρησιμοποιηθεί το R134a, γεγονός που δεν δημιουργεί στην ανάλυση που θα ακολουθήσει κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα καθώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή σχεδόν όλων των ψυκτικών υγρών είναι παρόμοιες. Τέλος, το Simarpro διαθέτει ολοκληρωμένο σενάριο επεξεργασίας για την απόρριψη του R134a στο περιβάλλον στο τέλος ζωής του, οπότε θα χρησιμοποιηθεί αυτό.

5.3.1 Κατασκευή αντλίας θερμότητας

5.3.1.1 Υλικά κατασκευής αντλίας θερμότητας

Ο Πίνακας 13 που ακολουθεί, παρουσιάζει τα υλικά κατασκευής της υπό μελέτη αντλίας θερμότητας.

Πίνακας 13. Υλικά κατασκευής αντλίας θερμότητας

Υλικά κατασκευής	Ποσότητα υλικών κατασκευής της αντλίας θερμότητας
Πλαστικό (plastic)	48,15
Ανοξείδωτος χάλυβας (Stainless steel)	21,63
χάλυβας (Reinforcing steel)	21,63
Αλουμίνιο (Aluminium)	22,26
Χαλκός (Cooper)	9,48
Νικέλιο (Niquel)	1,93
Χρώμιο (Chrome)	1,61
Πολυαιθυλένιο (Polyethilene)	3,23
Ψευδάργυρος (Zinc)	0,62
Κασσίτερος (Tin)	0,01
ηλεκτρονικές συσκευές(οθόνη, καλώδια, σφικτήρες και αισθητήρες για θερμοστάτη) (Electronics)	1,93
PVC	0,05
καουτσούκ (Rubber)	0,46
Ψυκτικό μέσο (R134a)	4,00

5.3.1.2 Υλικά κατασκευής περιφερειακών συσκευών λειτουργίας

Εκτός από την εξωτερική συσκευή, στο εργοστάσιο όπου κατασκευάζεται η υπό μελέτη αντλία θερμότητας παράγονται και ορισμένες περιφερειακές συσκευές που απαιτούνται για την χρήση της αντλίας. Οι περιφερειακές αυτές συσκευές είναι ο εγκέφαλος λειτουργίας της (inverter), η οθόνη για την ρύθμισή της, το χειριστήριο ρύθμισής της, τα καλώδια σύνδεσης του inverter καθώς και διάφοροι αισθητήρες που είναι αναγκαίοι για την επικοινωνία της εξωτερικής μονάδας με τις εντολές ρύθμισης της από τον χρήστη. Στην συνέχεια δίνεται το Σχήμα 74 με τις περιφερειακές αυτές συσκευές, καθώς και ο Πίνακας 14 με τα συνολικά υλικά κατασκευής τους, το βάρος των οποίων υπολογίστηκε στα 5 kg.



Σχήμα 74. Περιφερειακές συσκευές λειτουργίας αντλίας θερμότητας [54].

Πίνακας 14. Υλικά κατασκευής των περιφερειακών συσκευών της αντλίας θερμότητας

Υλικά κατασκευής	Ποσότητα υλικών κατασκευής περιφερειακών συσκευών
Πλαστικό (plastic)	0,3
Ανοξείδωτος χάλυβας (Stainless steel)	0,2
Αλουμίνιο (Aluminium)	0,1
Χαλκός (Cooper)	0,7
ηλεκτρονικές συσκευές	2,4
PVC	0,8
καουτσούκ (Rubber)	0,2
Γυαλί(glass)	0,3

5.3.2 Σωληνώσεις για σύνδεση με σώματα

Η έξοδος της εξωτερικής μονάδας από την οποία αποτελείται η αντλία θερμότητας είναι 15 mm για την σύνδεση με τα σώματα. Επομένως το βάρος του χαλκού επενδυμένων σωληνώσεων ανά μέτρο είναι 0,463 kg/m. Θα χρειαστούν περίπου 20 m σωληνώσεων διότι ο λέβητας θα τοποθετηθεί στο πίσω μέρος του σπιτιού, επομένως απαιτούνται 20m x 0,463 kg/m = 9,26 kg χαλκού. Επίσης υπάρχουν και οι συνδέσεις των σωλήνων καθώς δεν είναι ενιαίοι, επομένως έχουμε ακόμη 2kg χαλκού(ταφ κλπ).

Συνολικό βάρος χαλκού για σωληνώσεις = 11,26 kg.

5.3.3 Υλικό κατασκευής θερμαντικών σωμάτων

Θα κατασκευαστούν 8 θερμαντικά σώματα για να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες του υπό μελέτη χώρου ο οποίος όπως ορίστηκε είναι περίπου 100 τ.μ. Θα χρησιμοποιηθούν σώματα από χάλυβα λόγω της εξαιρετικής τους θερμικής απόδοσης αλλά ταυτόχρονα και για την μικρή τους επιβάρυνση στο περιβάλλον. Επιλέγονται μέτριου προς μεγάλου μεγέθους σώματα με 16 φέτες. Τελικά υπολογίζεται ότι απαιτούνται : 8 x 22,4 kg χάλυβα = 179,2 kg χάλυβα για τα σώματα.

5.3.4 Συσκευασία μεταφοράς του συστήματος της αντλίας θερμότητας

- Συσκευασία αντλίας θερμότητας και περιφερειακών συσκευών:
 - ✓ 1 παλέτα των 10 kg για την μεταφορά της εξωτερικής μονάδας από την οποία αποτελείται η αντλία θερμότητας.
 - ✓ Ταινία συσκευασίας (packaging fim) βάρους 0,4 kg, για το τύλιγμα των περιφερειακών συσκευών, καθώς και της ίδιας της αντλίας θερμότητας.
 - ✓ Το ξύλινο κουτί μεταφοράς της αντλίας θερμότητας θα ζυγίζει περίπου 20 kg.
 - ✓ Για το σφράγισμα του ξύλινου κουτιού μεταφοράς απαιτείται 1 kg χάλυβα για βίδες και σφικτήρες.
 - ✓ Για την ασφάλεια κατά την μεταφορά της αντλίας θερμότητας και των περιφερειακών εξαρτημάτων, απαιτείται περίπου 1,4 kg αεροπλάστ(bubble wrap).
 - ✓ Για την μεταφορά των περιφερειακών συσκευών του συστήματος, απαιτείται ένα μικρό κουτί από χαρτόνι περίπου 0,2kg.
 - ✓ Τέλος απαιτείται περίπου 0,01 kg επεξεργασμένου χαρτιού για το εγχειρίδιο εγκατάστασης και λειτουργίας που θα σταλθεί μαζί με το σύστημα του λέβητα.
- Συσκευασία σωληνώσεων: Οι σωλήνες μεταφέρονται στερεωμένοι στην καρότσα του φορτηγού με το οποίο ταξιδεύουν, επομένως δεν απαιτείται επιπλέον συσκευασία για αυτούς.
- Συσκευασία σωμάτων καλοριφέρ: Ανά δύο από τα 8 σώματα που θα τοποθετηθούν στον υπό μελέτη χώρο, ταξιδεύουν στην καρότσα ενός φορτηγού πάνω σε μια παλέτα , τυλιγμένα με αεροπλάστ για προστασία. Επομένως απαιτούνται 4 τεμάχια επίπεδης ξύλινης παλέτας(10 kg η καθεμιά), και περίπου 800 g αεροπλάστ.

5.3.5 Στάδιο κατασκευής συστήματος θέρμανσης

Για την κατασκευή του συστήματος θέρμανσης, των σωληνώσεων, των θερμαντικών σωμάτων και των συσκευασιών μεταφοράς τους, συνολικά υπολογίστηκαν κατά προσέγγιση οι παρακάτω δαπάνες και εκπομπές:

- ✓ Ηλεκτρική ενέργεια (electricity medium voltage) : 138,9 kWh
- ✓ Θερμική ενέργεια (Heat energy): 118,4 kWh / 426,24 MJ
- ✓ Κατανάλωση νερού (water consumption): 200 kg / 0,2 m³
- ✓ Μεταφορές πρώτων υλών στα εργοστάσια (transport input): 30 tkm
- ✓ Σκόνη συγκολλήσεων (welding dust) : 5 kg
- ✓ Επικίνδυνα απόβλητα (Hazardous waste): 0,5 kg
- ✓ Λύματα (wastewater): 150 kg

5.3.6 Μεταφορά συστήματος από το εργοστάσιο μέχρι τον υπό μελέτη χώρο.

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα σενάρια, ο υπό μελέτη χώρος βρίσκεται στην Ευρώπη, και συγκεκριμένα στην Ελλάδα στο κέντρο της Αθήνας. Για τον υπολογισμό των τόνο-χιλιομέτρων που απαιτούνται για την μεταφορά της αντλίας θερμότητας, των σωληνώσεων και των θερμαντικών σωμάτων από τα εργοστάσια κατασκευής τους μέχρι τον υπό μελέτη χώρο, χρειάζεται πρώτα να υπολογιστεί το συνολικό βάρος των υλικών που θα μεταφερθούν. Ο υπολογισμός αυτός έγινε μέσω του excel και παρουσιάζεται στον Πίνακα 15.

- Μεταφορά αντλίας θερμότητας και των περιφερειακών συσκευών της:

Η αντλία θερμότητας που επιλέχθηκε καθώς και οι περιφερειακές συσκευές που είναι αναγκαίες για την λειτουργία της, κατασκευάζονται στην Βορειοδυτική Ιταλία, και πιο συγκεκριμένα στο εργοστάσιο της εταιρίας MITSUBISHI ELECTRIC το οποίο εδρεύει στην επαρχιακή πόλη Monza της Λομβαρδίας. Από το σημείο αυτό, και αφού το φορτίο ταξιδέψει οδικώς με φορτηγό μεσαίου μεγέθους για 399 Km, θα φτάσει στο λιμάνι της Τεργέστης. Από εκεί, ταξιδεύει με πλοίο για 1072 μίλια δηλαδή για 1985,3 Km, μέχρι να καταπλεύσει στο λιμάνι του Πειραιά. Τελικά από εκεί θα ταξιδέψει επιπλέον 13,2 km μέχρι το φορτίο να φτάσει στον υπό μελέτη χώρο. Τελικά, η αντλία θερμότητας με την συσκευασία του ταξιδεύει για 412,2 Km με φορτηγό ίδιων διαστάσεων, καθώς και 1985,3 Km με πλοίο έως ότου να φτάσει στον χώρο που θα εγκατασταθεί.

Πίνακας 15. Υλικά κατασκευής της αντλίας θερμότητας και της συσκευασίας της

Υλικά κατασκευής	Αντλία θερμότητας (kg)	Περιφερειακές συσκευές (kg)	Συσκευασία μεταφοράς αντλίας θερμότητας (kg)	Συνολικές ποσότητες(kg)
Πλαστικό	48,15	0,3	-	48,45
Ανοξείδωτος χάλυβας	21,63	0,2	-	21,83
χάλυβας	21,63	-	1	22,63
Αλουμίνιο	22,26	0,1	-	22,36
Χαλκός	9,48	0,7	-	10,18
Νικέλιο	1,93	-	-	1,93
Χρώμιο	1,61	-	-	1,61
Πολυαιθυλένιο	3,23	-	-	3,23
Ψευδάργυρος	0,62	-	-	0,62
Κασσίτερος	0,01	-	-	0,01
ηλεκτρονικές συσκευές	1,93	2,4	-	4,33
PVC	0,05	0,8	-	0,85
καουτσούκ	0,46	0,2	-	0,66
Ψυκτικό μέσο (R134a)	4,00	-	-	4,00
Γυαλί	-	0,3	-	0,30
ξύλινες παλέτες	-	-	10	10,00
Ταινία συσκευασίας	-	-	0,4	0,40
ξύλινο κουτί μεταφοράς	-	-	20	20,00
αεροπλαστ	-	-	1,4	1,40
Κουτί από χαρτόνι και χαρτί από το εγχειρίδιο	-	-	0,21	0,21
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΟΣΟΣΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ KG	137	5	33,01	175,01

Μέσω του παραπάνω πίνακα, υπολογίζεται ότι το συνολικό βάρος του συστήματος της αντλίας θερμότητας μαζί με την συσκευασία του, είναι 175,01 kg. Επομένως το σύστημα θέρμανσης θα ταξιδέψει:

- $(0,17501 \text{ ton} \times 412,2 \text{ km}) = 72,14 \text{ tkm}$ με φορτηγό, και,
- $(0,17501 \text{ ton} \times 1985,3 \text{ Km}) = 347,45 \text{ tkm}$ με πλοίο

- Μεταφορά σωληνώσεων: Οι σωλήνες κατασκευάζονται στο Σχηματάρι στο εργοστάσιο της εταιρίας ΧΑΛΚΟΡ και με φορτηγό (μεσαίου μεγέθους, EURO 5) διανύουν περίπου 70 km μέχρι να φτάσουν στο κέντρο της Αθήνας όπου και βρίσκεται ο υπό μελέτη χώρος. Η ποσότητα των 20 m χαλκοσωλήνων αντιστοιχούν όπως προαναφέρθηκε σε 11,26 kg αν προστεθούν και τα 2kg χαλκού για συνδέσεις των σωλήνων. Επομένως γίνεται λόγος για 0,788 tkm.
- Μεταφορά θερμαντικών σωμάτων: Τα θερμαντικά σώματα κατασκευάζονται στην εταιρία ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ ΑΕ που εδρεύει στον Ταύρο Αττικής. Απαιτούνται 4 παλέτες των 10 kg (συνολικά 40 kg) πάνω στις οποίες θα μεταφερθούν τα 8 σώματα συνολικού βάρους 179,2 kg, και 800g αεροπλάστ. Για μεταφορά λοιπόν 220 kg για 8 Km (απόσταση Ταύρος - κέντρο) γίνεται λόγος για 1,76 tkm.

5.3.7 Εγκατάσταση του θερμικού συστήματος στον υπό μελέτη χώρο

Θα γίνει η υπόθεση, ότι κατά την κατασκευή του υπό μελέτη χώρου, θα γίνουν από την αρχή οι τομές στους τοίχους για να περαστούν οι χαλκοσωλήνες, που θα συνδέουν το εκάστοτε σύστημα θέρμανσης με τα θερμαντικά σώματα. Η υπόθεση αυτή είναι σημαντική, διότι έτσι δεν θα συνυπολογιστούν στην ανάλυση κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας οι εργασίες για το τρύπημα των τοίχων με σκοπό την τοποθέτηση των σωληνώσεων. Οι εργασίες αυτές, θα έκαναν αρκετά πολύπλοκους τους υπολογισμούς, καθώς δεν είναι εφικτό να γνωρίζει κανείς ακριβώς την ενέργεια που θα καταναλωθεί για να επιτευχθεί το άνοιγμα των οπών. Επομένως οι εν λόγω εργασίες ανήκουν πλέον στην ανάλυση κύκλου ζωής της κατασκευής του χώρου που μελετάται. Το 90% των διαδικασιών που πρέπει να γίνουν για την εγκατάσταση του θερμικού συστήματος, προέρχεται από το ανθρώπινο δυναμικό γεγονός που σημαίνει ότι δεν επηρεάζεται ο κύκλος ζωής της αντλίας θερμότητας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η χημική ενέργεια που θα καταναλώσουν οι αρμόδιοι τεχνικοί εγκατάστασης του συστήματος δεν συμπεριλαμβάνεται στην εν λόγω ανάλυση. Το υπολειπόμενο 10% είναι η χρήση εργαλείων που απαιτούν ενέργεια για να λειτουργήσουν. Για την εγκατάσταση ολόκληρου του συστήματος λοιπόν, οι εργασίες που πρέπει να γίνουν είναι οι εξής:

- ✓ Εγκατάσταση θερμαντικών σωμάτων: 16 kWh
- ✓ Εγκατάσταση σωληνώσεων και σύνδεση με τα θερμαντικά σώματα: 2 kWh
- ✓ Εγκατάσταση της συσκευής στο πίσω μέρος του σπιτιού και σύνδεση με τις σωληνώσεις : 8 kWh
- ✓ Εγκατάσταση και ρύθμιση των περιφερειακών συσκευών : 2 kWh
- ✓ Μέτρηση και ρύθμιση του συστήματος για έλεγχο ορθής λειτουργίας: 2 kWh

Συνολικά λοιπόν για την εγκατάσταση του συστήματος θέρμανσης στον υπό μελέτη χώρο απαιτούνται 30 kWh ηλεκτρικής ενέργειας

5.3.8 Τέλος κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας

Η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής μιας αντλίας θερμότητας, είναι τα 20 χρόνια, ενώ των θερμαντικών σωμάτων τα 15 – 20 χρόνια. Πέρα από αυτήν την διάρκεια, το σύστημα θέρμανσης υπολειτουργεί και βγάζει προβλήματα ενώ τα θερμαντικά σώματα χάνουν την αποδοτικότητα τους με αποτέλεσμα το κόστος θέρμανσης να είναι τότε αρκετά υψηλό. Από την άλλη δε, οι χάλκινοι σωλήνες έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής ,περίπου 60 χρόνια, αν φυσικά δεν έχει γίνει κάποιο λάθος στην τοποθέτησή τους όπως λανθασμένη ένωση. Ακόμα, γίνεται η υπόθεση πως οι συσκευασίες μεταφοράς και οι παλέτες του συστήματος, φυλάσσονται έως το τέλος ζωής του με σκοπό την επανατοποθέτηση και μεταφορά του για ανακύκλωση, αποτέφρωση η θάψιμο σε κάποια χωματερή. Οι παλέτες φυσικά δεν θα υποστούν κάποια επεξεργασία αφού δεν φθείρονται κατά το πέρασμα του χρόνου ζωής του συστήματος , επομένως δεν θα ληφθούν υπόψιν στο σενάριο επεξεργασίας των απορριμμάτων. Οι συσκευασίες από την άλλη, θα ληφθούν διότι δεν συμφέρει να υποστούν επεξεργασία ώστε να προσαρμοστούν στις ανάγκες πιθανής επαναχρησιμοποίησης. Οι παλέτες που χρειάζονται για την μεταφορά όλου του συστήματος, θα οριστούν σαν απροσδιόριστες ποσότητες καθώς η πορεία τους κατά την απεγκατάστασή του συστήματος είναι άγνωστη. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το τέλος ζωής του εν λόγω συστήματος θέρμανσης, θα περιλαμβάνει την επεξεργασία της εξωτερικής συσκευής από την οποία αποτελείται η αντλία θερμότητας, των περιφερειακών συσκευών, των οκτώ χαλύβδινων θερμαντικών σωμάτων καθώς και των συσκευασιών όλων των παραπάνω (εκτός από τις παλέτες μεταφοράς), όμως δεν θα περιλαμβάνει την επεξεργασία των σωληνώσεων οι οποίοι κατά γενική ομολογία θεωρούνται πρακτικά ‘αθάνατοι’ . Για τον λόγο αυτόν, και οι σωληνώσεις θα οριστούν σαν απροσδιόριστη ποσότητα μαζί με τις παλέτες.

Κατά το πέρασ ζωής του συστήματος της αντλίας θερμότητας , πρωταρχικός στόχος είναι η ανακύκλωση των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν , κατά το μέγιστο ποσοστό τους. Τα μη ανακυκλώσιμα υλικά καθώς και τα υπολείμματα των ανακυκλώσιμων, στέλνονται για αποτέφρωση αν αυτό είναι εφικτό. Οι μικρό-ποσότητες που περίσσεψαν από τις δύο παραπάνω φιλικές προς το περιβάλλον διαδικασίες, στέλνονται για ταφή. Στον παρακάτω Πίνακας 16 παρουσιάζονται τα ποσοστά των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν ,να καούν ή να ταφούν αντίστοιχα:

Πίνακας 16. Προσεγγιστικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών κατασκευής

Υλικό	Ποσοστό του κάθε υλικού			
	Ανακύκλωση	Αποτέφρωση	Υγειονομική ταφή	Απροσδιόριστο
Πλαστικό	30%	40%	30%	0%
Ανοξείδωτος χάλυβας	70%	0%	30%	0%
χάλυβας	70%	0%	30%	0%
Αλουμίνιο	75%	20%	5%	0%
Χαλκός	50%	50%	0%	0%
Χαλκός για σωληνώσεις	0%	0%	0%	100%
Νικέλιο	0%	0%	100%	0%
Χρώμιο	0%	0%	100%	0%
Πολυαιθυλένιο	70%	0%	30%	0%
Ψευδάργυρος	0%	30%	70%	0%
Κασσίτερος	0%	30%	70%	0%
Ηλεκτρονικά μέρη	0%	70%	30%	0%
PVC	30%	40%	30%	0%
καουτσούκ	0%	0%	100%	0%
Γυαλί	90%	0%	10%	0%
Ψυκτικό μέσο	100%	0%	0%	0%
Ταινία συσκευασίας	70%	0%	30%	0%
κόντρα πλακέ	80%	10%	10%	0%
Ξύλο για παλέτες	0%	0%	0%	100%
Αεροπλάστ	70%	0%	30%	0%
Χαρτόνι	75%	5%	20%	0%

Να σημειωθεί ότι τα παραπάνω προσεγγιστικά ποσοστά έχουν προκύψει κυρίως από έρευνες. Ταυτόχρονα όμως έχουν προσαρμοστεί και στις δυνατότητες του Simapro , αφού για την δημιουργία των waste scenario για κάθε υλικό χρησιμοποιήθηκαν έτοιμες διαδικασίες του λογισμικού οι οποίες είναι βασισμένες στις βιβλιοθήκες του. Για παράδειγμα αν ένα συγκεκριμένο υλικό μπορεί σε κάποιο μικρό ποσοστό να αποτεφρωθεί, όμως το Simapro δεν διαθέτει τέτοιου είδους επεξεργασία για το συγκεκριμένο υλικό, το ποσοστό αυτό θα παραλειφθεί, και θα προσμετρηθεί στην υγειονομική ταφή. Αν και υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέας διαδικασίας επεξεργασίας ενός υλικού, η έλλειψη γνώσης του μεγαλύτερου μέρους των επιμέρους διαδικασιών που την διέπουν, θα οδηγούσε σε ατελές σενάριο και τελικά σε λανθασμένα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτόν επιλέγονται τα έτοιμα σενάρια επεξεργασίας, επομένως η προσαρμογή των ποσοστών είναι αναπόφευκτη.

Μέσω των παραπάνω δεδομένων ,και λαμβάνοντας υπόψιν την μάζα των υλικών στο σύστημα θέρμανσης της αντλίας θερμότητας και της συσκευασίας του, υπολογίζεται το ποσοστό του κάθε υλικού με την ανάλογη επεξεργασία του, και γίνεται αναγωγή στην ολική μάζα του συστήματος. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το άθροισμα όλων αυτών των ποσοστών είναι 100%, διότι για την κατασκευή του Disposal scenario στο Simapro, πρέπει να τοποθετούνται όλα τα πιθανά waste scenario σε ποσοστά τέτοια ώστε το άθροισμά τους να δίνει 100%. Τα αποτελέσματα αυτά Υπολογίστηκαν με την βοήθεια του excel και παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 17:

Πίνακας 17. Τελικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών

Waste scenario	Τελικό ποσοστό επεξεργασίας κάθε υλικού			
	Ανακύκλωση	Αποτέφρωση	Υγειονομική ταφή	Απροσδιόριστο
Πλαστικό	3,582%	4,774%	3,578%	0,000%
Ανοξειδωτος χάλυβας	34,638%	0,000%	14,845%	0,000%
χάλυβας	3,900%	0,000%	1,671%	0,000%
Αλουμίνιο	4,128%	1,100%	0,275%	0,000%
Χαλκός	1,253%	1,253%	0,000%	0,000%
Χαλκός για σωληνώσεις	0,000%	0,000%	0,000%	2,771%
Νικέλιο	0,000%	0,000%	0,475%	0,000%
Χρώμιο	0,000%	0,000%	0,395%	0,000%
Πολυαιθυλένιο	0,556%	0,000%	0,238%	0,000%
Ψευδάργυρος	0,000%	0,045%	0,106%	0,000%
Κασσίτερος	0,000%	0,001%	0,002%	0,000%
Ηλεκτρονικά μέρη	0,000%	0,746%	0,320%	0,000%
PVC	0,063%	0,084%	0,063%	0,000%
καουτσούκ	0,000%	0,000%	0,162%	0,000%
Γυαλί	0,066%	0,000%	0,007%	0,000%
Ψυκτικό μέσο	0,984%	0,000%	0,000%	0,000%
Ταινία συσκευασίας	0,069%	0,000%	0,029%	0,000%
κόντρα πλακέ	3,938%	0,492%	0,492%	0,000%
Ξύλο για παλέτες	0,000%	0,000%	0,000%	12,307%
Αεροπλάστ	0,379%	0,000%	0,162%	0,000%
Χαρτόνι	0,039%	0,002%	0,010%	0,000%

Τέλος, γίνεται η εκτίμηση ότι το σύστημα θέρμανσης, από τον υπό μελέτη χώρο ταξιδεύει για επεξεργασία μετά το τέλος ζωής του για 0,05 tkm ανά υλικό, ώστε να γίνει ο διαχωρισμός των υλικών για ανακύκλωση , αποτέφρωση και ταφή.

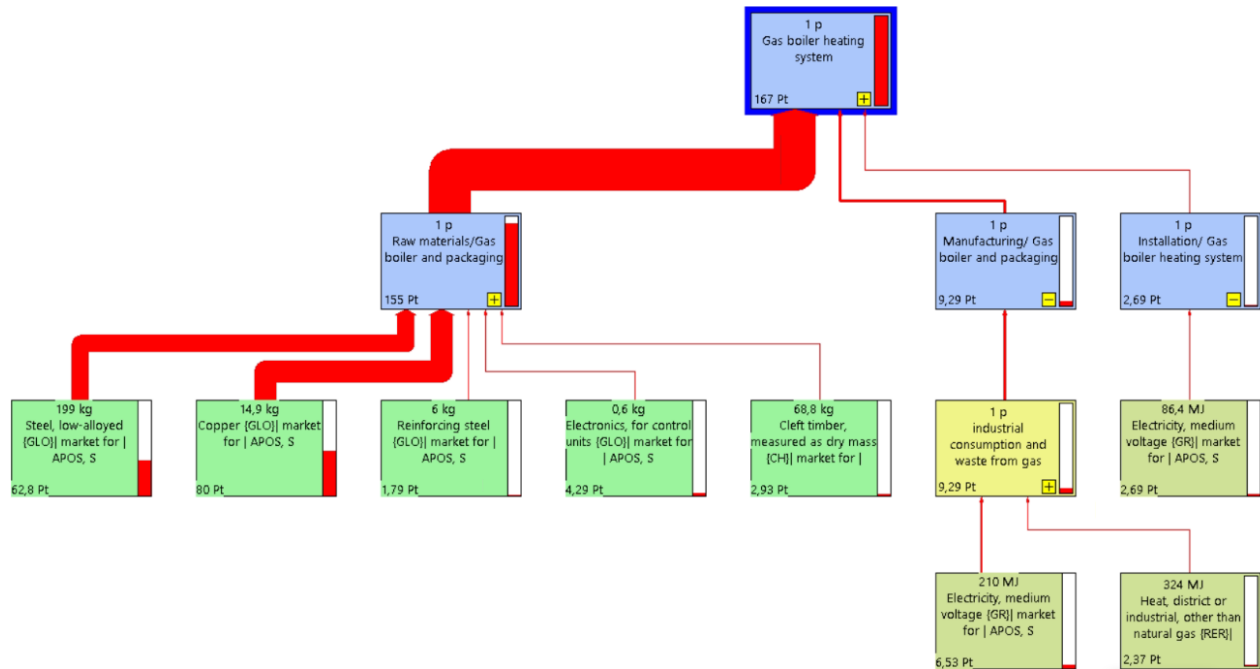
6. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

Το κάθε σύστημα θέρμανσης, μελετήθηκε αρχικά ως ένα Assembly το οποίο αποτελείται από τα επιμέρους στάδια του κύκλου ζωής του. Τα στάδια αυτά είναι οι πρώτες ύλες, η παραγωγή, η μεταφορά και τελικά η εγκατάστασή του προϊόντος στον υπό μελέτη χώρο. Μέσω της αρχικής αυτής μελέτης, δίνεται η δυνατότητα να παρατηρήσει κανείς την περιβαλλοντική συνεισφορά που έχει κάθε επιμέρους στάδιο κύκλου ζωής, στον ολικό αντίκτυπο που δημιουργείται από την παραγωγή του συστήματος θέρμανσης. Με αυτό το σκεπτικό έγιναν και οι τρεις αξιολογήσεις που θα ακολουθήσουν. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του Disposal scenario το οποίο μελετήθηκε σαν ξεχωριστό στάδιο στον ενιαίο κύκλο ζωής των συστημάτων. Έπειτα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τον ολικό κύκλο ζωής του συστήματος, ο οποίος περιέχει το Assembly και το αντίστοιχο Disposal scenario. Στόχος των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής, είναι να παρουσιάσει τις ολικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από την παραγωγή ενός συστήματος, αλλά και αυτές που δημιουργούνται από ένα καλά δομημένο σενάριο επεξεργασίας των υλικών στο τέλος ζωής τους. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής αξιολόγησης του κύκλου ζωής, όπου γνωστοποιούνται οι τιμές ενέργειας που καταναλώνει κάθε επιμέρους διαδικασία, καθώς και η ολική ενεργειακή σπατάλη η οποία όπως προαναφέρθηκε αποτελεί την embodied energy.

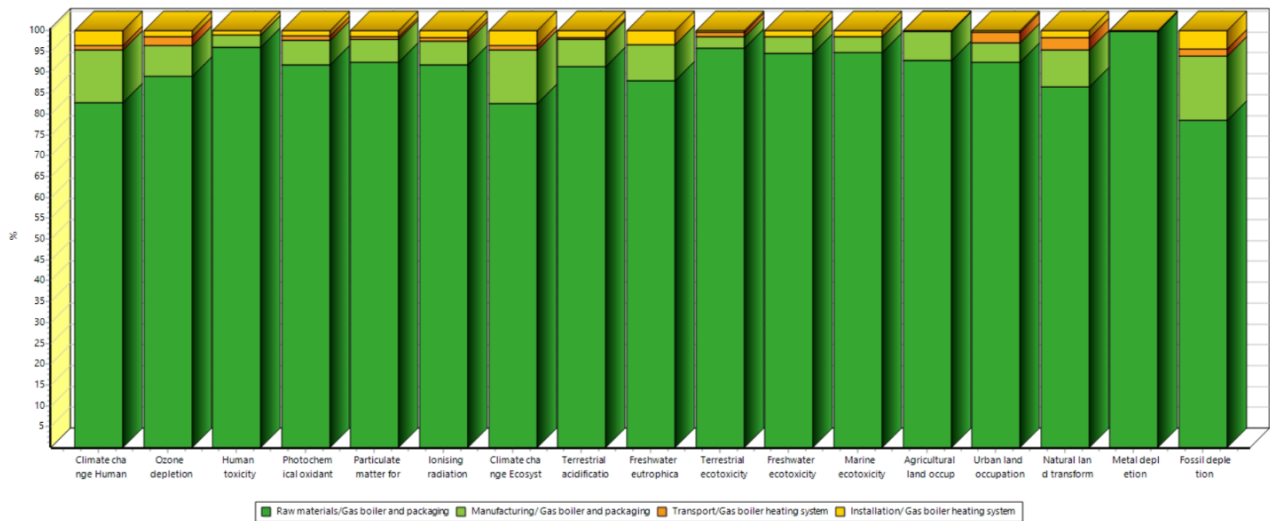
Αφού παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο που μελετήθηκε, θα γίνει μια συγκριτική ανάλυση η οποία στοχεύει στην ανάπτυξη συμπερασμάτων σχετικά με το ασφαλέστερο από περιβαλλοντικής πλευράς, σύστημα θέρμανσης. Αν και εφόσον οι τιμές των αποτελεσμάτων επιτρέπουν την δημιουργία τεκμηριωμένων συμπερασμάτων, η αξιολόγηση έχει φτάσει στο τέλος της και θεωρείται επιτυχημένη. Αν όμως τα κριτήρια συγκρίσεως δεν επαρκούν, απαιτούνται προτάσεις για περαιτέρω μελέτη οι οποίες θα επιφέρουν διακριτά αποτελέσματα.

6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από την αξιολόγηση του λέβητα αερίου

6.1.1 Ανάλυση του λέβητα φυσικού αερίου ως Assembly

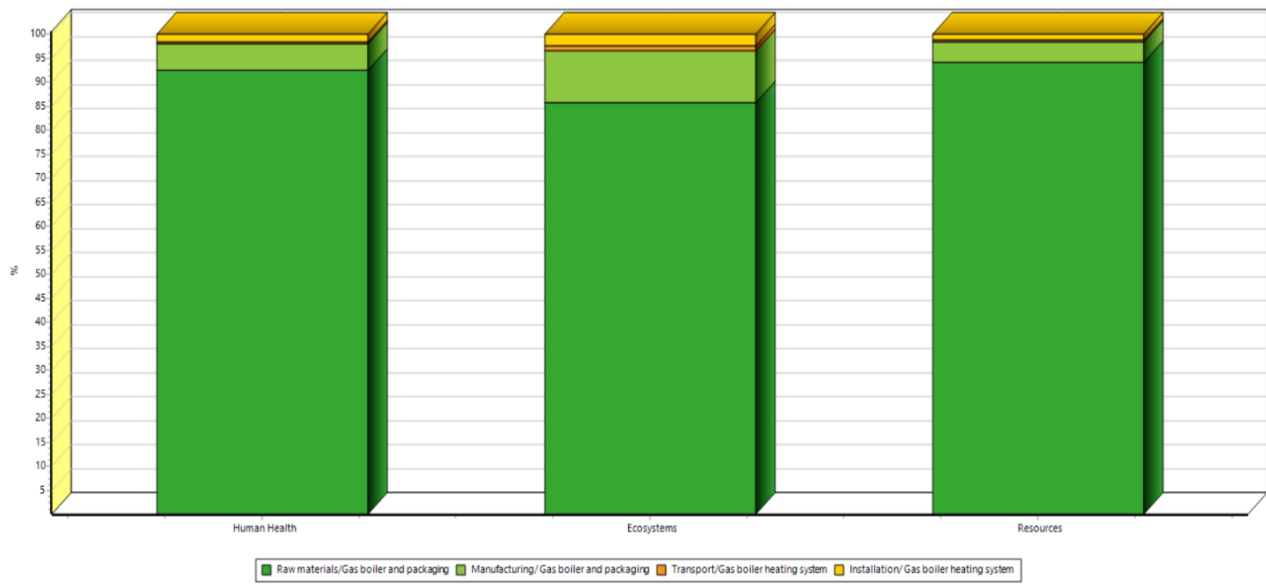


Σχήμα 75. Δέντρο της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly

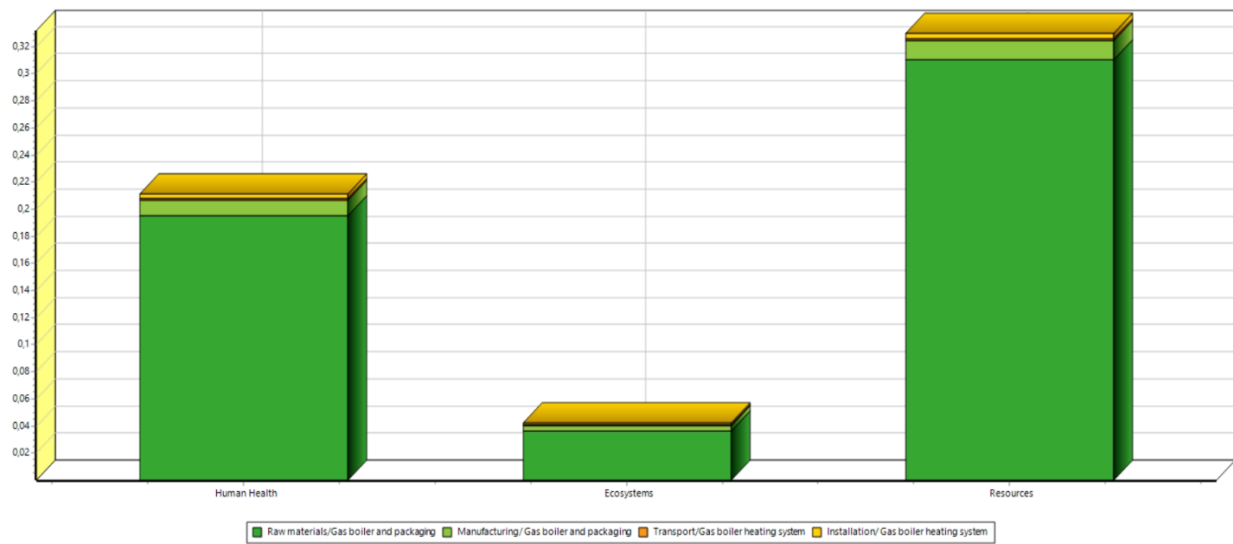


Σχήμα 76. Characterization της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly

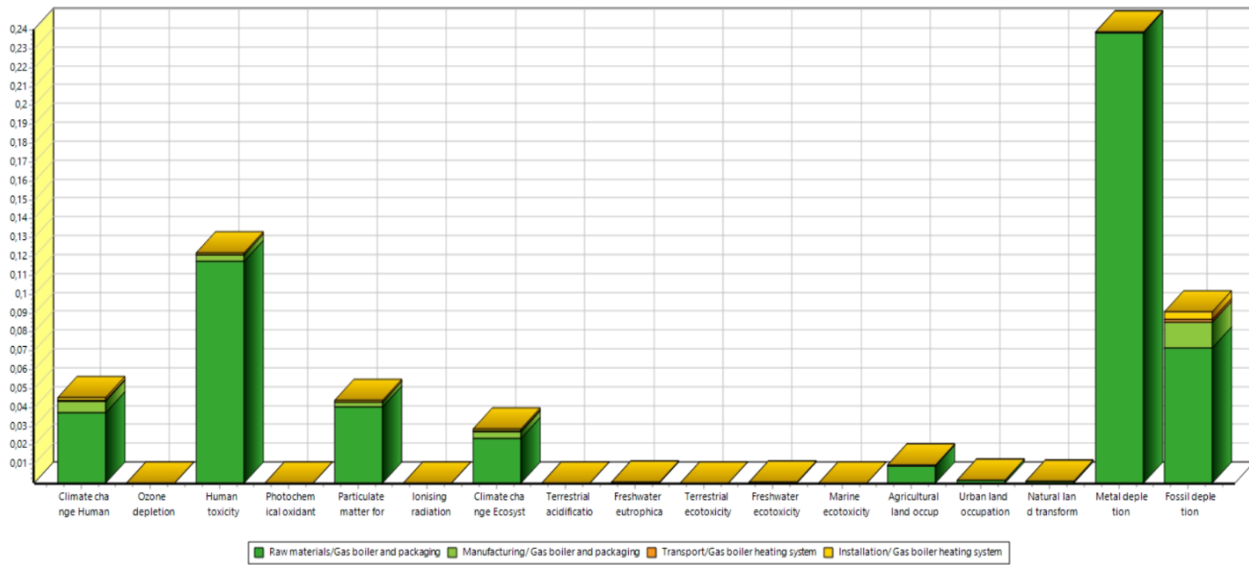
Αφού παρουσιάστηκε το Tree (Σχήμα 75) και το Characterization (Σχήμα 76) της αξιολόγησης του κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου, ακολουθούν οι υπόλοιποι μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων μέσω των Σχήμα 77 Σχήμα 78 Σχήμα 79 Σχήμα 80 Σχήμα 81 Σχήμα 82.



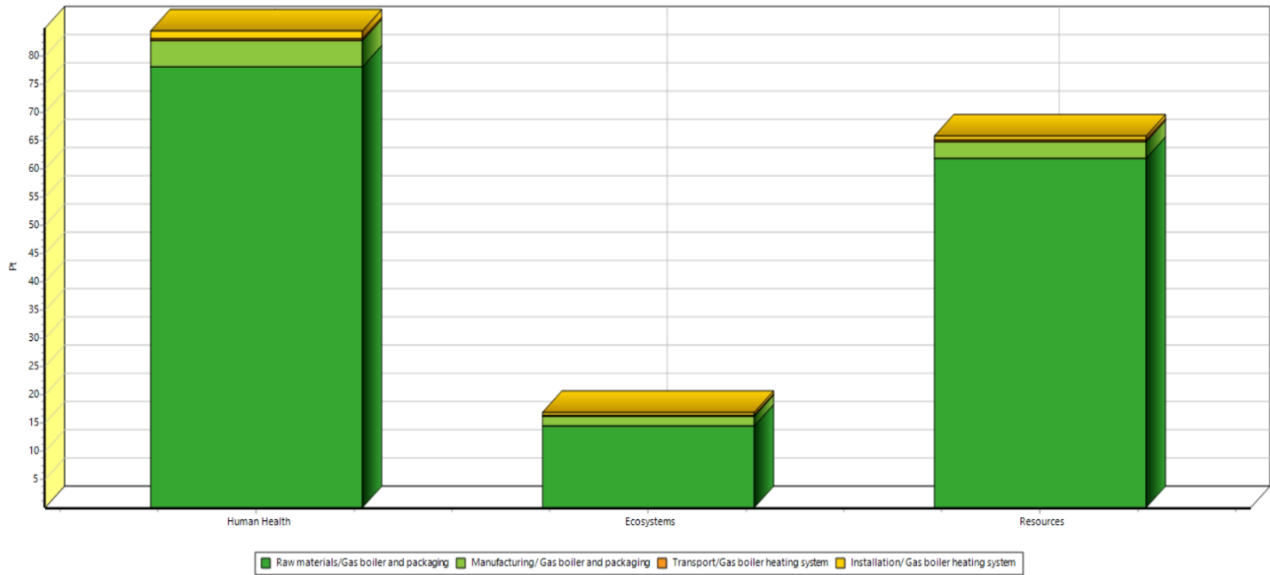
Σχήμα 77. Damage assessment της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly



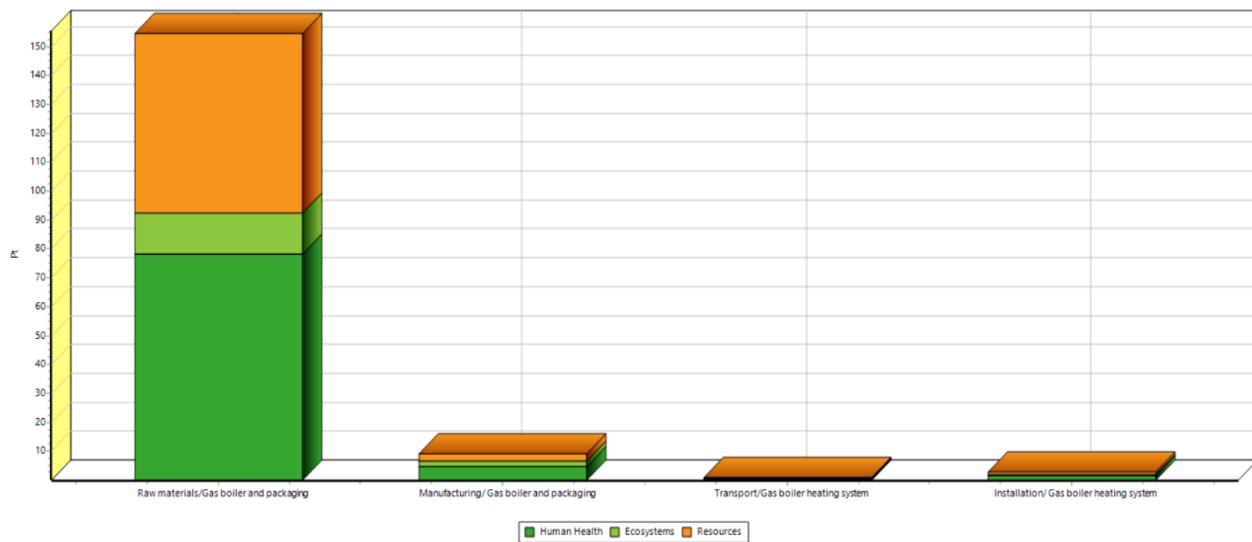
Σχήμα 78. Normalization της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly



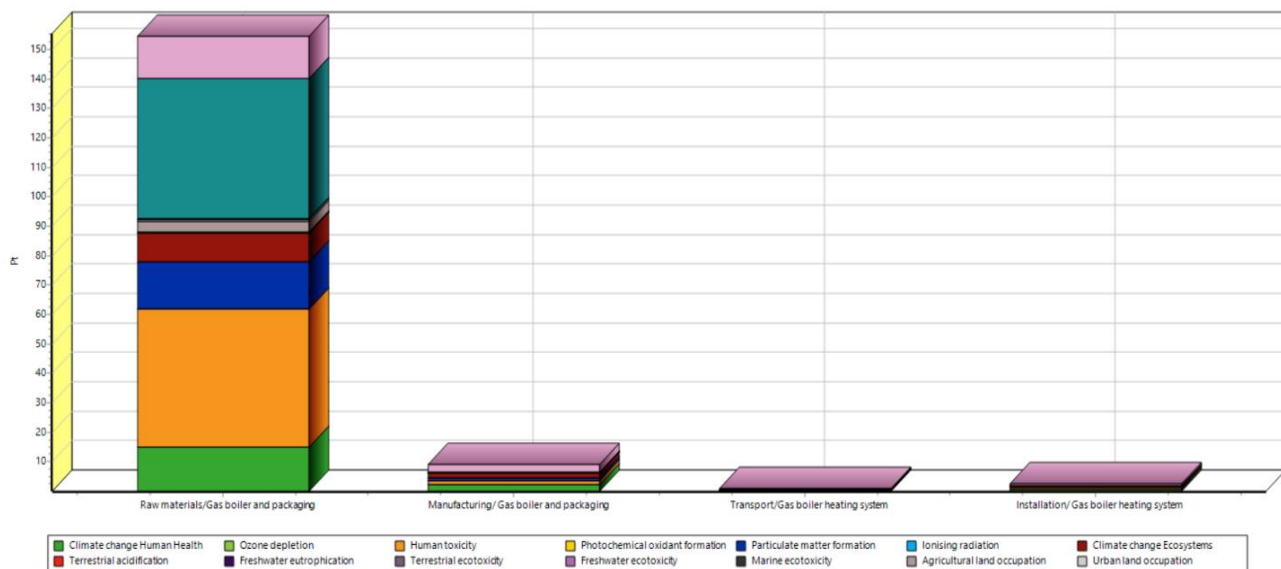
Σχήμα 79. Normalization ανά κατηγορία επιπτώσεων της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly



Σχήμα 80. Weighting της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly



Σχήμα 81. Single score της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly



Σχήμα 82. Single score ανά κατηγορία επιπτώσεων της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly

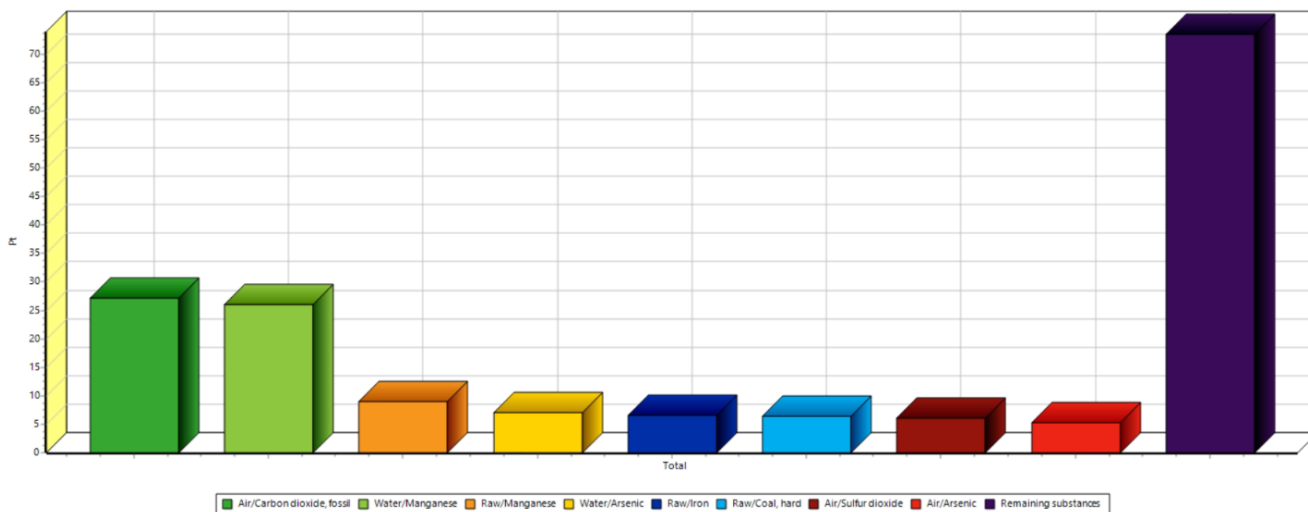
Από τα Σχήμα 81 και Σχήμα 82, παρατηρείται ότι οι πρώτες ύλες για την κατασκευή του λέβητα αερίου και της συσκευασίας του, προκαλούν με συντριπτική διαφορά την μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση (155 Pt) συγκριτικά με τις άλλες φάσεις του κύκλου ζωής του.

Αφού παρουσιάστηκαν τα βασικά διαγράμματα επιπτώσεων που προκύπτουν από τα στάδια του κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου, στην συνέχεια θα δοθούν σε μορφή πίνακα αλλά και διαγράμματος, οι κατάλογοι με τις ποσότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν και τις ουσίες που απελευθερώθηκαν, καθώς και οι επιπτώσεις αυτών σε μονάδες Pt(Points) που είναι οι μονάδες αναφοράς της μεθόδου Recipe Endpoint. Η μονάδα Pt είναι το συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο που εκφράζεται ως Single score όπως φάνηκε και από τα Σχήμα 81 και Σχήμα 82, και αντιστοιχεί στο μέσο ετήσιο φορτίο ενός πολίτη. Σε αυτήν την μέθοδο εκτίμησης των επιπτώσεων, ο χαρακτηρισμός, η εκτίμηση της ζημίας, η κανονικοποίηση και η στάθμιση συνδυάζονται.

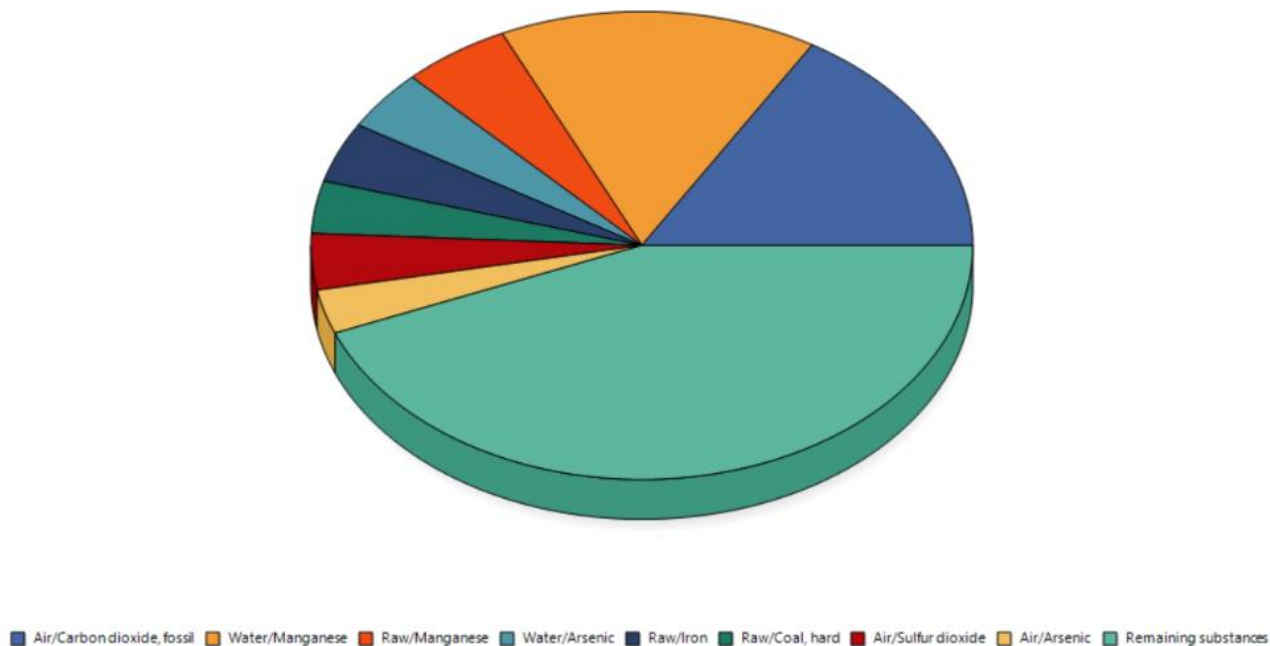
Πίνακας 18. Κατάλογος των κυρίων ουσιών που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση του λέβητα φυσικού αερίου

No	Substance	Compartm	Unit	Total	Raw materials/Ga:	Manufacturin Gas boiler	Transport/Ga: boiler	Installation/ Gas boiler
	Total of all compartments		Pt	167	155	9,29	0,824	2,69
	Remaining substances		Pt	19,8	18,5	1,18	0,0654	0,0948
1	Carbon dioxide, fossil	Air	Pt	27,2	22,3	3,61	0,346	1,01
2	Manganese	Water	Pt	26,1	24,6	1,07	0,00597	0,417
3	Manganese	Raw	Pt	9,06	9,05	0,0042	0,00158	0,000914
4	Arsenic	Water	Pt	7,13	6,95	0,126	0,00158	0,0476
5	Iron	Raw	Pt	6,56	6,54	0,0143	0,00605	0,00221
6	Coal, hard	Raw	Pt	6,42	6,01	0,375	0,0155	0,0167
7	Sulfur dioxide	Air	Pt	6,18	5,64	0,401	0,0217	0,11
8	Arsenic	Air	Pt	5,31	5,29	0,00967	0,000621	0,00226
9	Oil, crude	Raw	Pt	5,1	4,18	0,581	0,269	0,0783
10	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crud	Raw	Pt	5,1	5,1	0,00177	0,000332	0,00058
11	Copper, Cu 0.38%, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Pb 0.1	Raw	Pt	4,86	4,85	0,00186	0,000391	0,000522
12	Particulates, < 2.5 um	Air	Pt	4,7	4,25	0,32	0,0162	0,115
13	Chromium	Raw	Pt	4,48	4,47	0,00329	0,000862	0,000742
14	Transformation, from forest, extensive	Raw	Pt	4,29	4,29	0,00098	0,000153	0,000123
15	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	Air	Pt	4,19	4,09	0,0726	0,0158	0,0162
16	Copper, 0.52% in sulfide, Cu 0.27% and Mo 8.2E-3% in crud	Raw	Pt	3,99	3,99	0,00137	0,000299	0,000425
17	Gas, natural/m3	Raw	Pt	3,83	3,48	0,245	0,016	0,089
18	Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crud	Raw	Pt	3,5	3,5	0,00124	0,000296	0,00037
19	Lead	Air	Pt	3,31	3,3	0,00985	0,00238	0,00116
20	Coal, brown	Raw	Pt	2,72	0,515	1,57	0,00264	0,638
21	Occupation, forest, extensive	Raw	Pt	2,64	2,64	0,000296	1,13E-5	4,11E-5
22	Copper, 0.59% in sulfide, Cu 0.22% and Mo 8.2E-3% in crud	Raw	Pt	2,56	2,55	0,000914	0,000225	0,00027
23	Selenium	Water	Pt	2,44	2,35	0,0656	0,000504	0,0254
24	Nitrogen oxides	Air	Pt	2,28	2,05	0,163	0,0379	0,0322
25	Transformation, to forest, intensive	Raw	Pt	-2,16	-1,63	-0,531	-0,00302	-0,00406
26	Transformation, to forest, extensive	Raw	Pt	-4,2	-4,2	-0,000477	-2,05E-5	-6,76E-5

Ακολουθεί η αναπαράσταση των παραπάνω δεδομένων του Πίνακας 18 με ραβδόγραμμα (Σχήμα 83) και κυκλικό διάγραμμα (Σχήμα 84) με σκοπό την παρουσίαση της συνεισφοράς κάθε ουσίας στις ολικές επιπτώσεις.

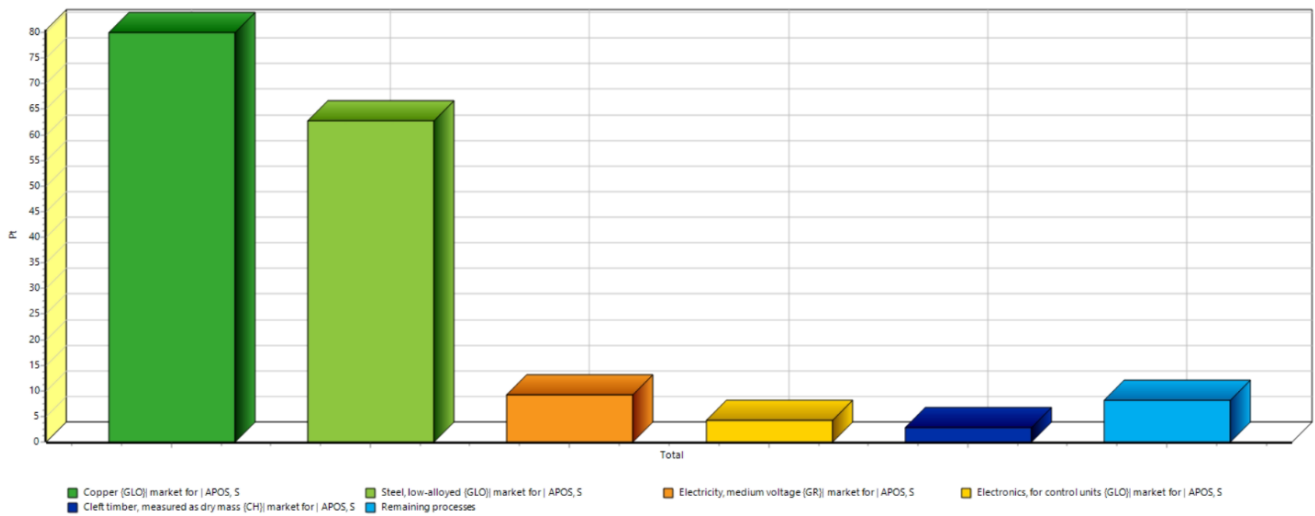


Σχήμα 83. Ραβδόγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση του λέβητα φυσικού αερίου

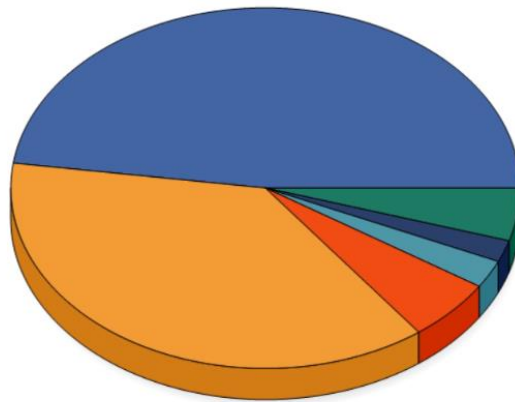


Σχήμα 84. Κυκλικό διάγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται κατά την παραγωγή, συσκευασία, μεταφορά και εγκατάσταση του λέβητα φυσικού αερίου

Από τα παραπάνω σχήματα διαπιστώνεται ότι από τις βασικές ουσίες, εκείνες που απελευθερώνονται σε μεγαλύτερη ποσότητα είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το υγρό μαγγάνιο. Τέλος, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των βασικών διαδικασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής του λέβητα φυσικού αερίου (Σχήμα 85 και Σχήμα 86).



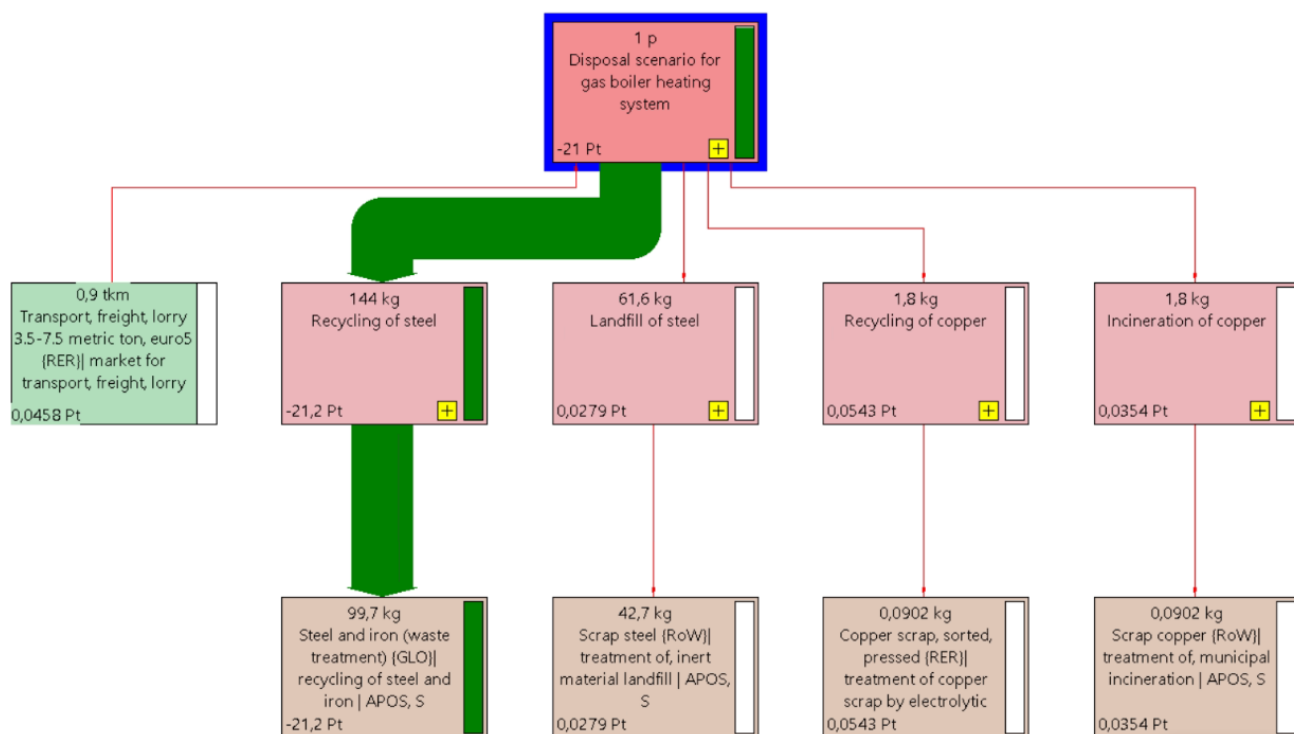
Σχήμα 85. Ραβδόγραμμα με τις διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου



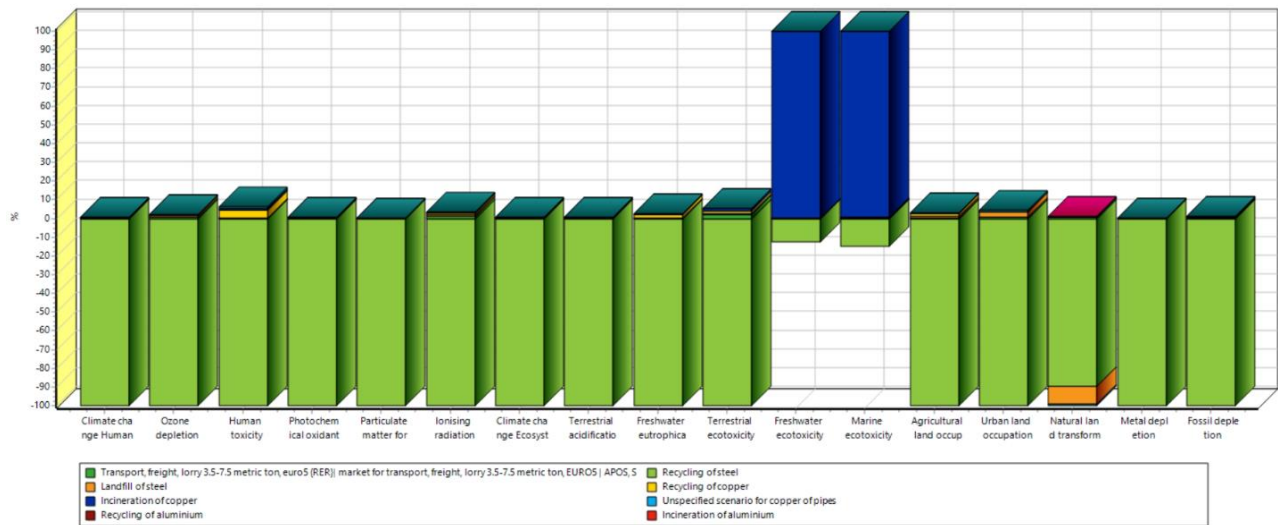
Σχήμα 86. Κυκλικό διάγραμμα με τις διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου

6.1.2 Το Disposal scenario του λέβητα φυσικού αερίου

Κατά την δημιουργία ενός πλήρους σεναρίου επεξεργασίας ενός προϊόντος στο τέλος ζωής του, είναι απαραίτητο να γίνουν ορισμένα waste scenarios για κάθε επιμέρους υλικό που θα υποστεί επεξεργασία. Ανάλογα λοιπόν τις ιδιότητες κάθε υλικού αλλά και το είδος της επεξεργασίας που θα υποστεί, ορισμένα waste scenario προσδίδουν στο σύστημα αρνητικές επιπτώσεις, και ορισμένα θετικές. Οι αρνητικές απεικονίζονται με θετικές μονάδες Pt, καθώς η μονάδα εξ ορισμού υποδηλώνει περιβαλλοντική επιβάρυνση, ενώ οι θετικές επιπτώσεις με αρνητικές μονάδες Pt. Ακόμα και οι αρνητικές επιπτώσεις όμως, με την κατάλληλη επεξεργασία ίσως μειώνονται κατά πολύ σε σχέση με κάποια αυθαίρετη ενέργεια όπως η μεταφορά ολόκληρου του λέβητα σε κάποια χωματερή. Τα παραπάνω, αποτυπώνονται παρακάτω μέσω των Σχήμα 87, Σχήμα 88 και Σχήμα 89, και η λογική που εξηγήθηκε ισχύει για την τελική επεξεργασία των συστημάτων θέρμανσης και στα επόμενα δύο σεναρία.

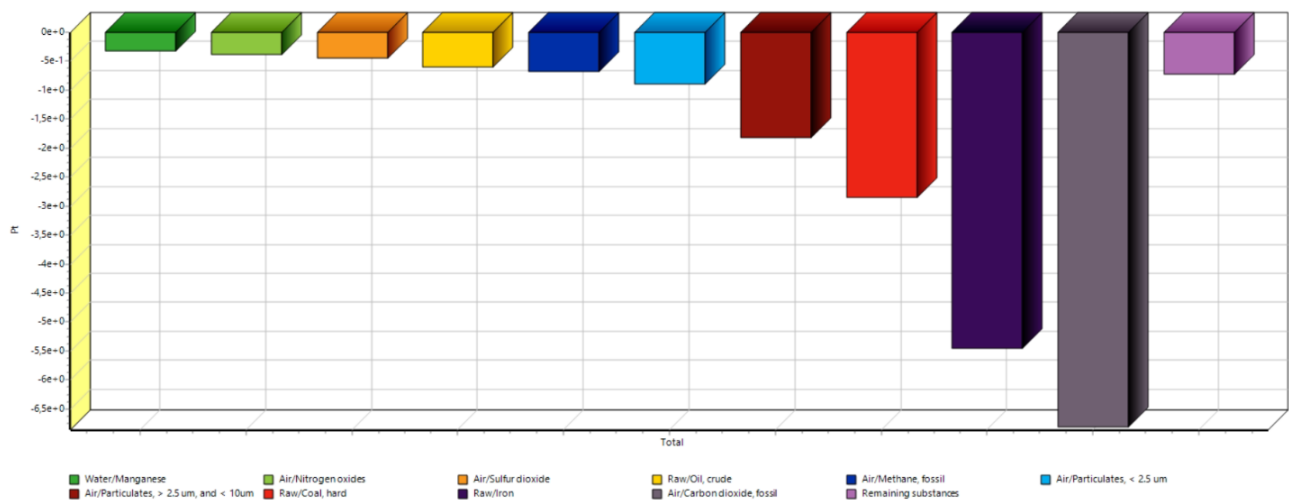


Σχήμα 87. Δέντρο του Disposal scenario του λέβητα φυσικού αερίου στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario



Σχήμα 88. Characterization του Disposal scenario του λέβητα φυσικού αερίου στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario

Όπως γίνεται αντιληπτό και από το παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 88), η ανακύκλωση του χάλυβα είναι το waste scenario με την μεγαλύτερη περιβαλλοντική προστασία, ενώ η αποτέφρωση του χαλκού είναι εκείνο με την υψηλότερη επιβάρυνση. Η συνεισφορά των υπολοίπων διαδικασιών είναι ελάχιστη.

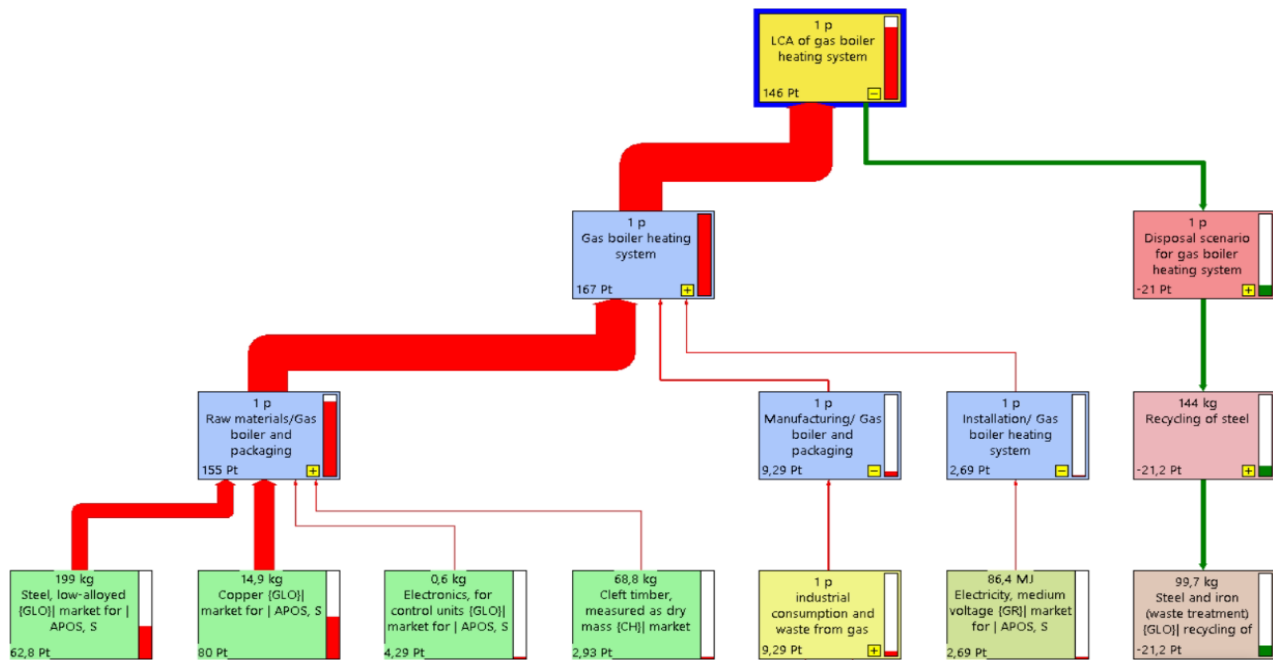


Σχήμα 89. Ραβδόγραμμα με τις ουσίες που τελικά δεν διαφεύγουν στο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του Disposal scenario

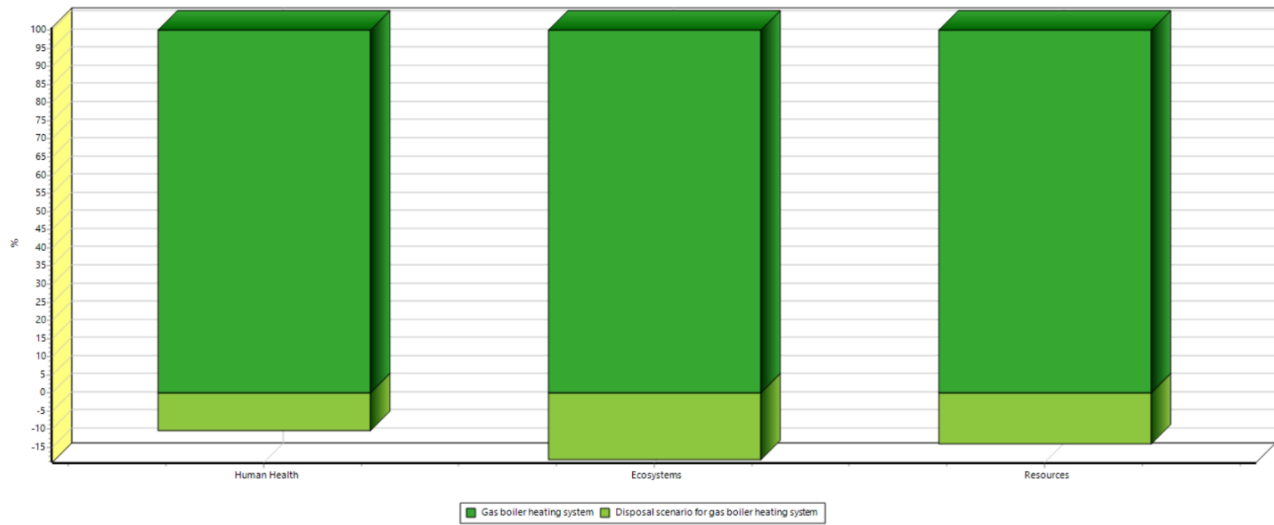
6.1.3 Ανάλυση κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου

Η Endpoint εκδοχή της Europe Recipe V1.13 χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή αποτελεσμάτων σε μονάδες Pt, ενώ η Midpoint εκδοχή κυρίως για την μέτρηση των kg CO₂ των ουσιών οι οποίες επιβαρύνουν το περιβάλλον, και συγκεκριμένα επιταχύνουν την κλιματική αλλαγή.

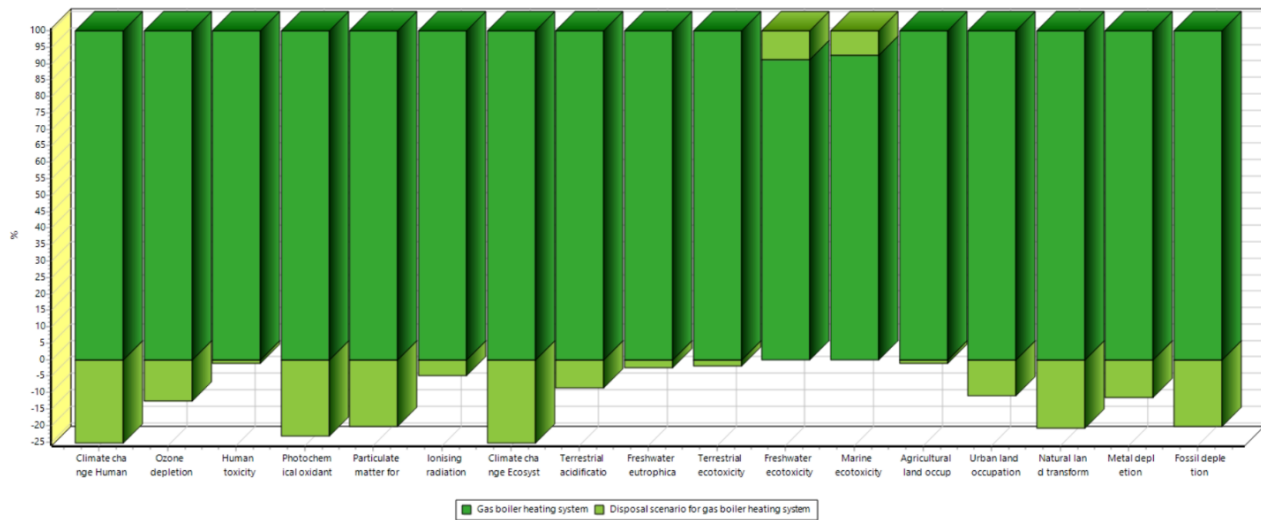
6.1.3.1 Αποτελέσματα μέσω της Endpoint εκδοχής της μεθόδου Europe Recipe(H) V1.13



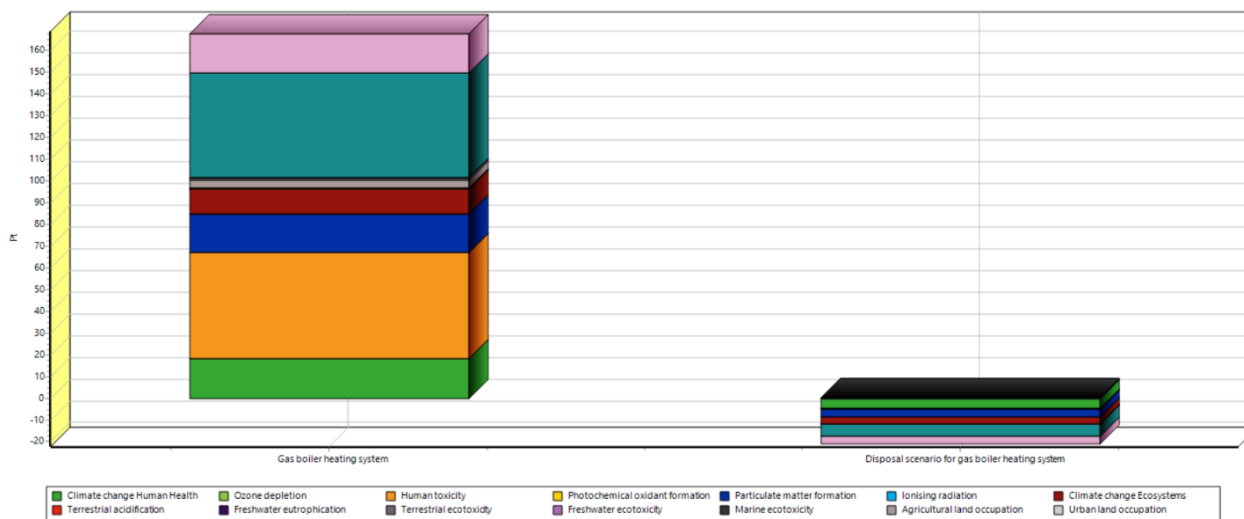
Σχήμα 90. Δέντρο του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου



Σχήμα 91. Damage assessment του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου



Σχήμα 92. Characterization του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου



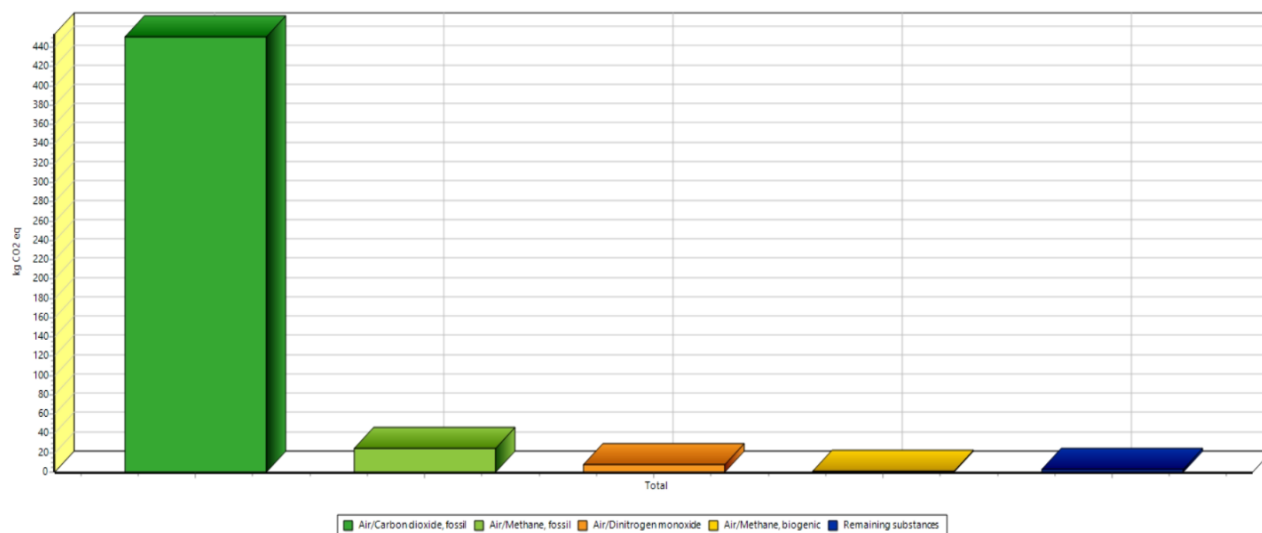
Σχήμα 93. Single score ανά κατηγορία επιπτώσεων του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου

Όπως είναι φανερό από το δέντρο (Σχήμα 90) αλλά και από τα υπόλοιπα αποτελέσματα που απεικονίζονται στα Σχήμα 91, Σχήμα 92 και Σχήμα 93, η ανάμειξη του Disposal scenario στον κύκλο ζωής του λέβητα αερίου, αφαιρεί συνολικά περίπου 20 Pt από την ολική περιβαλλοντική επιβάρυνση, ενώ σε αντίθετη περίπτωση όπου ο λέβητας αντιμετωπίζονταν ως ενιαίο απόρριμμα οι επιπτώσεις θα ήταν αρκετά πιο αυξημένες.

6.1.3.2 Αποτελέσματα μέσω της Midpoint εκδοχής της μεθόδου Europe Recipe(H) V1.13

Πίνακας 19. Πίνακας kg CO₂ των ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου

No	Substance	Compartm	Unit	Total	Gas boiler heating	Disposal scenario for
	Total of all compartments		kg CO2 eq	488	654	-166
	Remaining substances		kg CO2 eq	6,63E-5	7E-5	-3,68E-6
1	Carbon dioxide	Air	kg CO2 eq	-0,00111	x	-0,00111
2	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	451	601	-150
3	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	1,01	1,04	-0,0315
4	Carbon dioxide, to soil or biomass stock	Soil	kg CO2 eq	-0,0227	-0,0227	-1,33E-5
5	Chloroform	Air	kg CO2 eq	0,000813	0,000817	-3,8E-6
6	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	8,35	8,87	-0,521
7	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	0,0114	0,0114	-1,8E-5
8	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	0,0523	0,0524	-0,000176
9	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	0,0107	0,0108	-0,000166
10	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	0,0367	0,039	-0,00229
11	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	Air	kg CO2 eq	0,000189	0,000203	-1,38E-5
12	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	0,249	0,25	-0,00115
13	Hydrocarbons, chlorinated	Air	kg CO2 eq	0,294	0,294	-1,98E-5
14	Methane	Air	kg CO2 eq	6,88E-5	8,62E-5	-1,74E-5



Σχήμα 94. Διάγραμμα kg CO₂ των βασικών ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου

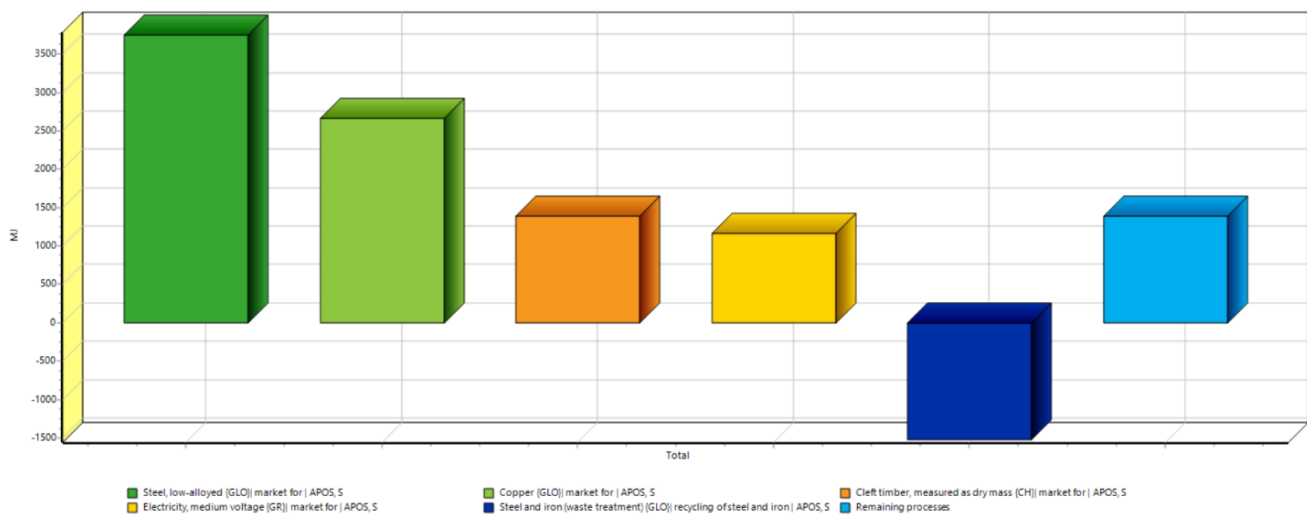
Όπως είναι φανερό και από τον Πίνακα 19 αλλά κυρίως από το Σχήμα 94, η απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα δεσπόζει στην κλίμακα των επιπτώσεων που φέρει η παραγωγή του λέβητα φυσικού αερίου.

6.1.4 Embodied energy του λέβητα φυσικού αερίου

Στον παρακάτω Πίνακα 20 φαίνεται η ολική ενεργειακή σπατάλη που απαιτείται για τον πλήρη κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου, η οποία είναι 8830 MJ. Στην συνέχεια δίνεται το Σχήμα 95 το οποίο γνωστοποιεί την ενεργειακή κατανάλωση ή παραγωγή των βασικών διεργασιών από τις οποίες αποτελείται ο πλήρης κύκλος ζωής του συστήματος. Την υψηλότερη ενεργειακή σπατάλη προκαλεί η χρήση του χάλυβα (περίπου 3700 MJ) λόγω της μεγάλης ποσότητας που χρησιμοποιείται, όμως η ανακύκλωσή του προσδίδει αρκετή ενέργεια στον ενιαίο κύκλο ζωής του λέβητα αερίου (περίπου 1500 MJ). Η παρατήρηση αυτή, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η χρήση του χαλκού, που είναι η δεύτερη μεγαλύτερη σπατάλη (περίπου 2650 MJ), αποδεικνύεται πιο επικίνδυνη αφού η επεξεργασία του στο τέλος ζωής του συστήματος δεν επιφέρει ενεργειακή παραγωγή.

Πίνακας 20. Process contribution της embodied energy της ανάλυσης κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου

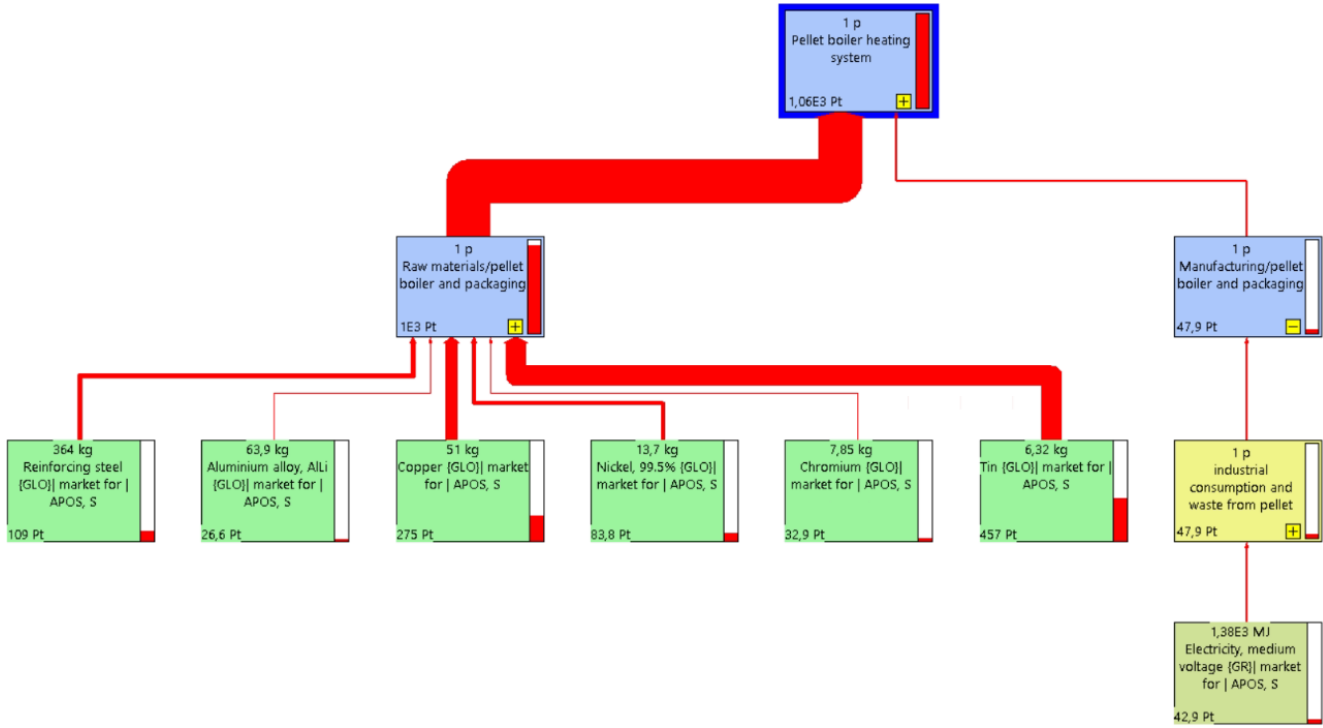
No	Process /	Project	Unit	Total	Gas boiler heating	Disposal scenario for
	Total of all processes		MJ	8,83E3	1,03E4	-1,51E3
	Remaining processes		MJ	-3,64E-12	-1,82E-12	0
1	Aluminium alloy, ALi (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	102	102	x
2	Cleft timber, measured as dry mass (CH) market for A	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	1,39E3	1,39E3	x
3	Copper (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	2,66E3	2,66E3	x
4	Copper scrap, sorted, pressed (RER) treatment of copp	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	1,81	x	1,81
5	Electricity, medium voltage (GR) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	1,16E3	1,16E3	x
6	Electronics, for control units (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	308	308	x
7	Heat, district or industrial, other than natural gas (RER)	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	327	327	x
8	Polyethylene, low density, granulate (GLO) market for	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	75,5	75,5	x
9	Polyvinylidenchloride, granulate (RER) market for polyv	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	245	245	x
10	Reinforcing steel (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	133	133	x
11	Scrap copper (RoW) treatment of, municipal incinerati	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	0,717	x	0,717
12	Scrap steel (RoW) treatment of, inert material landfill	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	6,99	x	6,99
13	Steel and iron (waste treatment) (GLO) recycling of steel	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	-1,52E3	x	-1,52E3
14	Steel, low-alloyed (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	3,75E3	3,75E3	x
15	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 (RER) ma	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	58	58	x
16	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 (RER) n	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	108	108	x



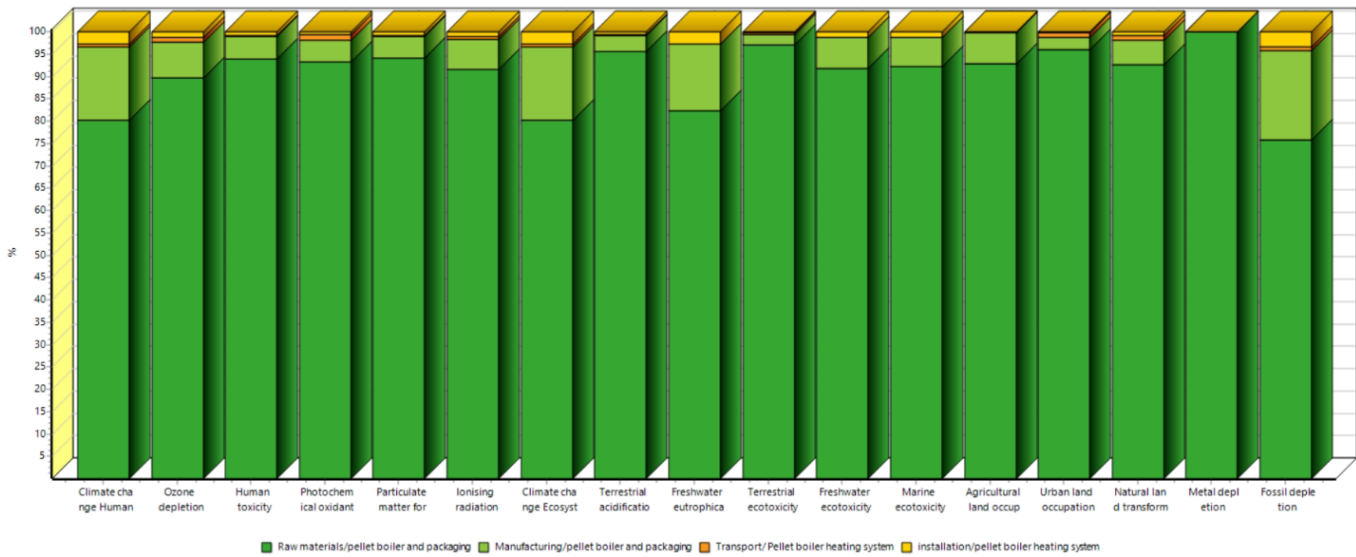
Σχήμα 95. Ραβδόγραμμα με τις ενεργειακές σπατάλες και συνεισφορές των βασικών διεργασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής του λέβητα φυσικού αερίου

6.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από την αξιολόγηση του λέβητα πέλλετ

6.2.1 Ανάλυση του λέβητα πέλλετ ως Assembly

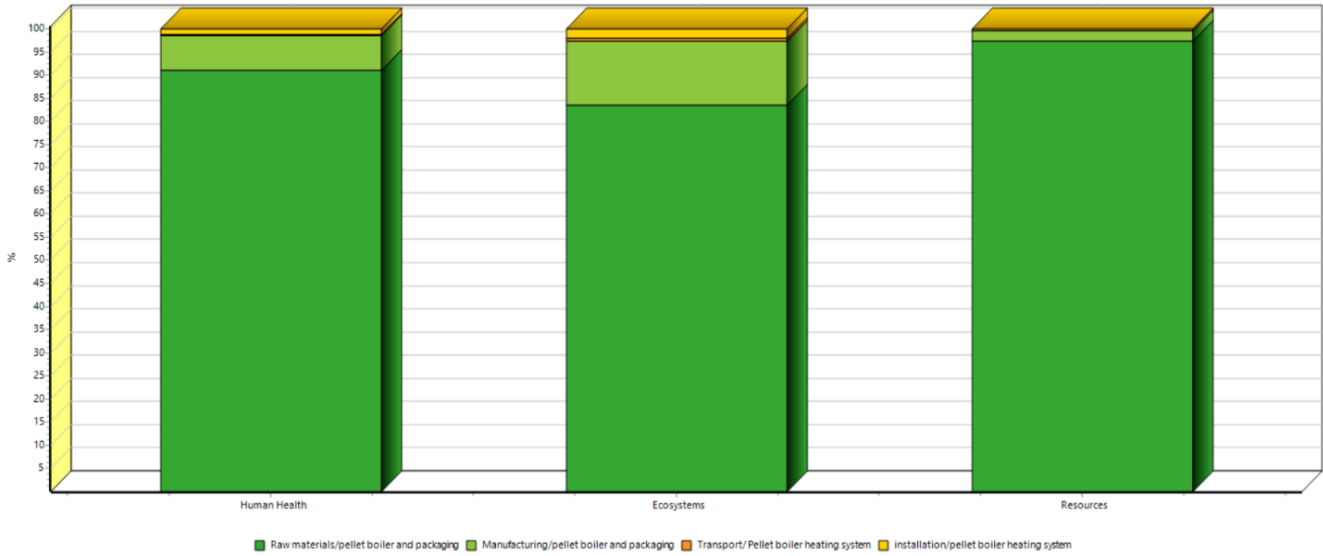


Σχήμα 96. Δέντρο της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly

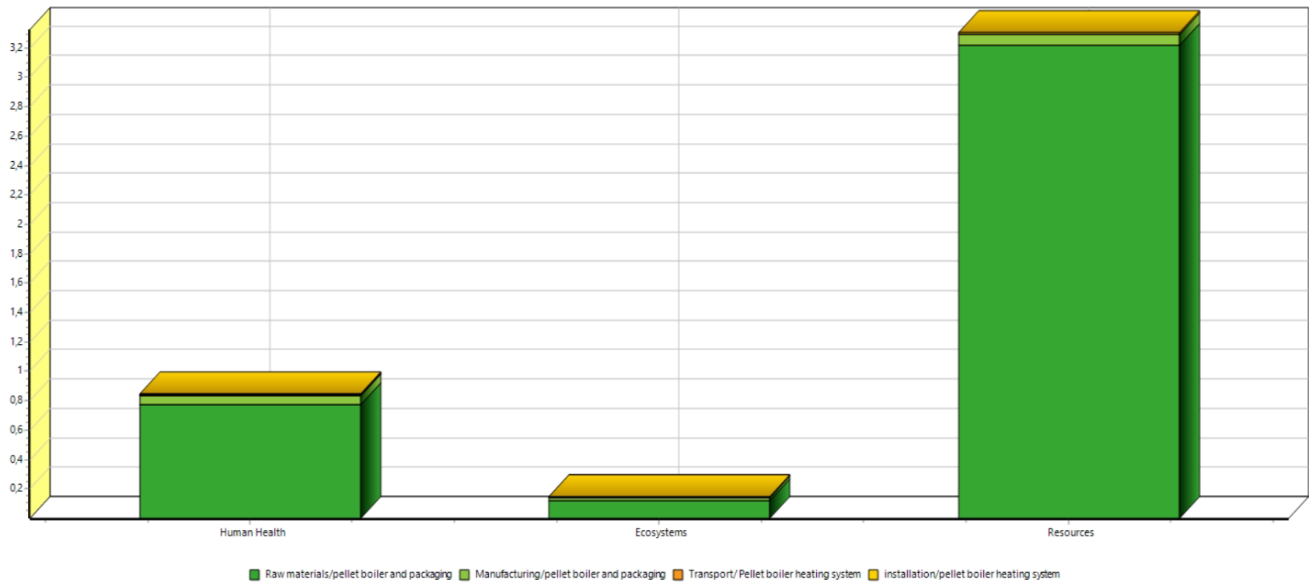


Σχήμα 97. Characterization της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly

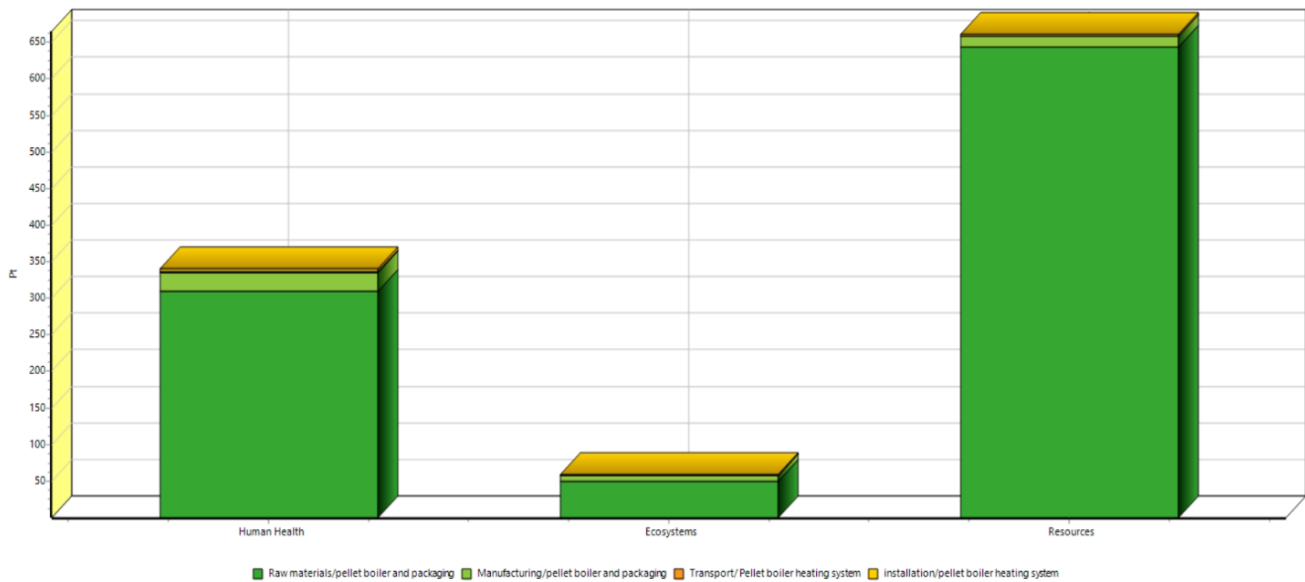
Αφού παρουσιάστηκε το Tree (Σχήμα 96) και το Characterization (Σχήμα 97) της αξιολόγησης του κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ, ακολουθούν οι υπόλοιποι μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων μέσω των Σχήμα 98, Σχήμα 99, Σχήμα 100 και Σχήμα 101.



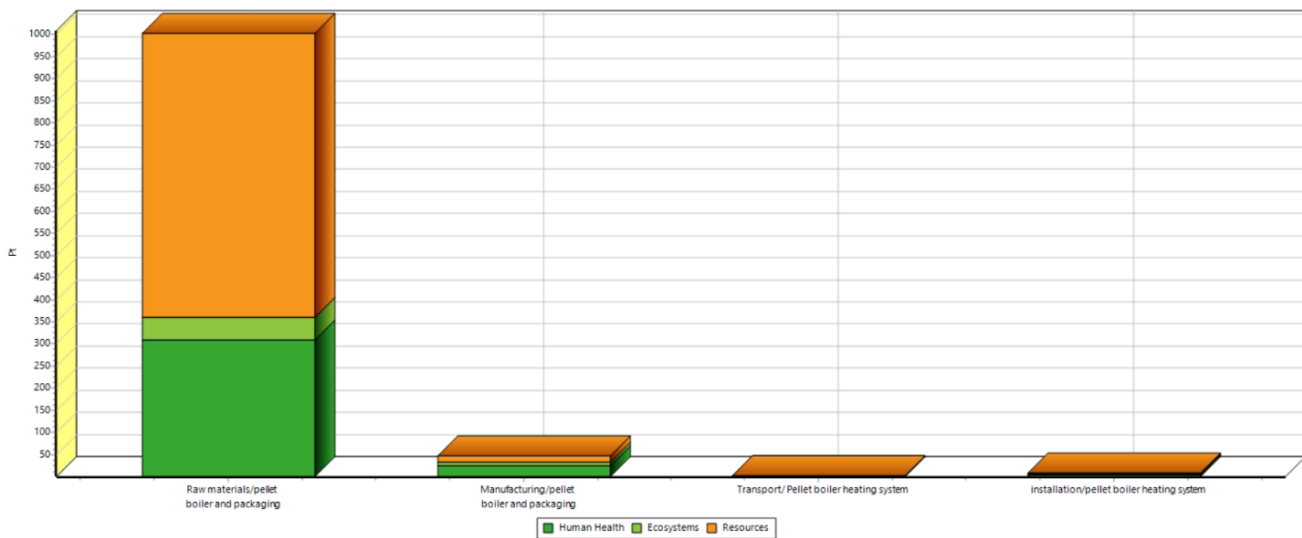
Σχήμα 98. Damage assessment της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly



Σχήμα 99. Normalization της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly



Σχήμα 100. Weighting της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly



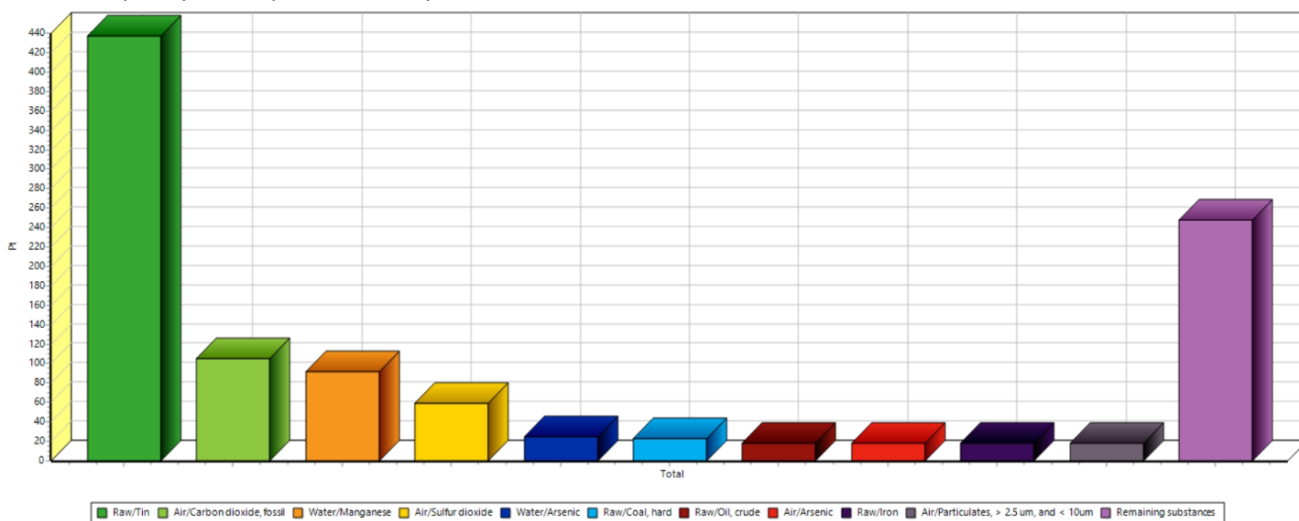
Σχήμα 101. Single score της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly

Αφού παρουσιάστηκαν τα βασικά διαγράμματα επιπτώσεων που προκύπτουν από τα στάδια του κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ, στην συνέχεια θα δοθούν σε μορφή πίνακα αλλά και διαγράμματος, οι κατάλογοι με τις ποσότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν και τις ουσίες που απελευθερώθηκαν, καθώς και οι επιπτώσεις αυτών σε μονάδες Pt.

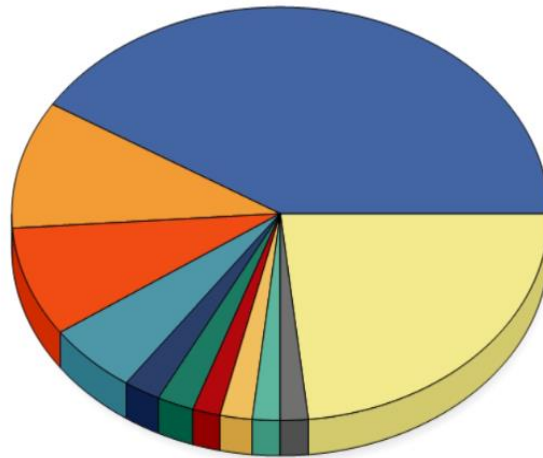
Πίνακας 21. Κατάλογος των κυρίων ουσιών που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση του λέβητα πέλλετ

No	Substance	Compartm	Unit	Total	Raw materials/pel	Manufacturin boiler and	Transport/ Pellet boiler	installation/p boiler
	Total of all compartments		Pt	1,06E3	1E3	47,9	2,02	7,86
	Remaining substances		Pt	72,5	69,9	2,25	0,117	0,267
1	Tin	Raw	Pt	437	437	0,00507	0,000366	0,000104
2	Carbon dioxide, fossil	Air	Pt	105	83,1	18,2	0,801	2,94
3	Manganese	Water	Pt	91,4	83,4	6,76	0,0155	1,22
4	Sulfur dioxide	Air	Pt	59,3	56,8	2,01	0,126	0,32
5	Arsenic	Water	Pt	24,5	23,6	0,779	0,00367	0,139
6	Coal, hard	Raw	Pt	22,7	21,7	0,925	0,0456	0,0487
7	Oil, crude	Raw	Pt	18,4	15,7	1,83	0,584	0,228
8	Arsenic	Air	Pt	18,3	18,3	0,0441	0,00174	0,00661
9	Iron	Raw	Pt	18,2	18,1	0,0495	0,0126	0,00646
10	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	Air	Pt	18,1	17,7	0,309	0,0393	0,0473
11	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude	Raw	Pt	17,6	17,6	0,0098	0,000543	0,00169
12	Chromium	Raw	Pt	17,3	17,3	0,0142	0,00196	0,00216
13	Copper, Cu 0.38%, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Pb 0.1	Raw	Pt	16,8	16,8	0,00931	0,000615	0,00152
14	Particulates, < 2.5 um	Air	Pt	16,7	14,4	1,9	0,0454	0,334
15	Gas, natural/m3	Raw	Pt	16,5	14,8	1,46	0,0396	0,259
16	Coal, brown	Raw	Pt	14,5	2,47	10,2	0,00949	1,86
17	Copper, 0.52% in sulfide, Cu 0.27% and Mo 8.2E-3% in crude	Raw	Pt	12,7	12,7	0,00727	0,000538	0,00124
18	Lead	Air	Pt	11,4	11,4	0,0302	0,00352	0,00338
19	Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude	Raw	Pt	10,3	10,3	0,0064	0,000568	0,00108
20	Nitrogen oxides	Air	Pt	9,43	8,51	0,664	0,165	0,0939
21	Copper, 1.13% in sulfide, Cu 0.76% and Ni 0.76% in crude or	Raw	Pt	9,39	9,39	0,000388	2,37E-5	6,49E-5
22	Selenium	Water	Pt	8,46	7,97	0,413	0,00122	0,0741
23	Copper, 0.59% in sulfide, Cu 0.22% and Mo 8.2E-3% in crude	Raw	Pt	7,3	7,29	0,00468	0,000438	0,000788
24	Transformation, from forest, intensive	Raw	Pt	6,93	5,81	1,1	0,00672	0,0117
25	Transformation, from forest, extensive	Raw	Pt	6,93	6,92	0,00323	0,000305	0,000359
26	Transformation, to forest, intensive	Raw	Pt	-7,29	-6,17	-1,1	-0,00697	-0,0118

Ακολουθεί η αναπαράσταση των παραπάνω δεδομένων του Πίνακα 21 με ραβδόγραμμα (Σχήμα 102) και κυκλικό διάγραμμα (Σχήμα 103) με σκοπό την παρουσίαση της συνεισφοράς κάθε ουσίας στις ολικές επιπτώσεις.



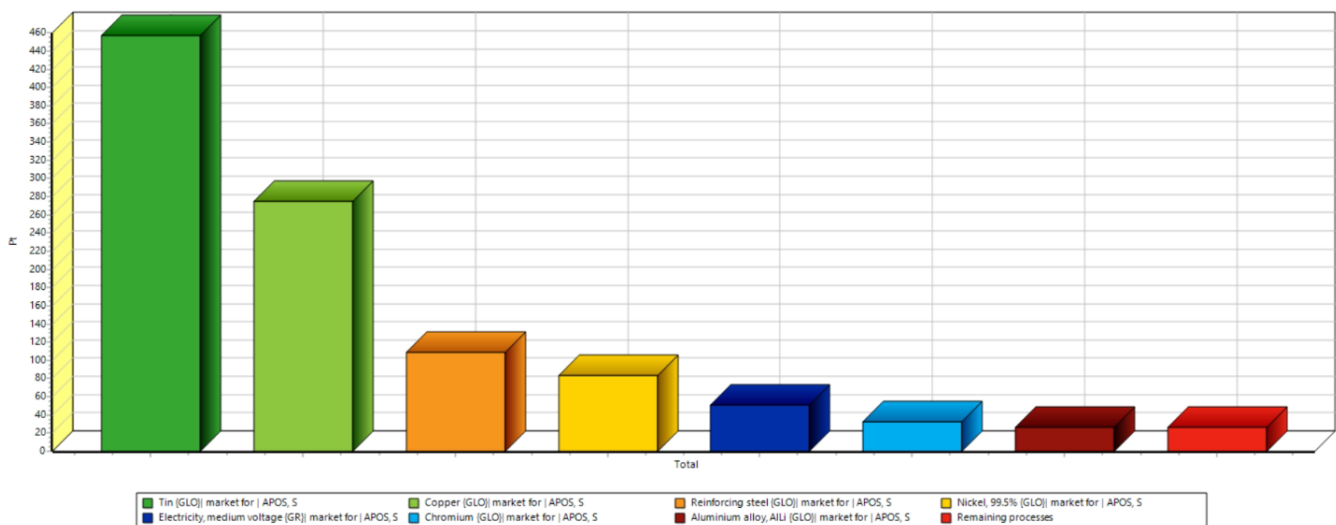
Σχήμα 102. Ραβδόγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση του λέβητα πέλλετ



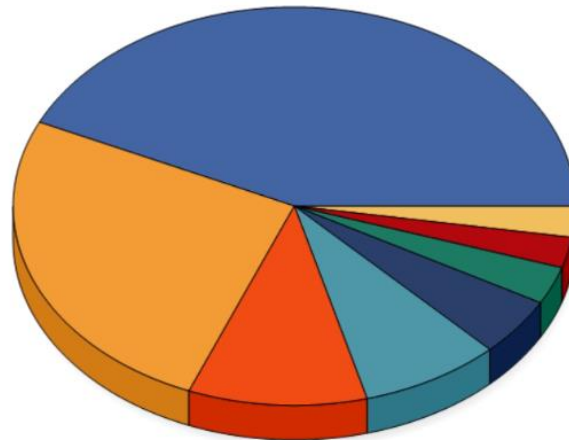
Raw/Tin Air/Carbon dioxide, fossil Water/Manganese Air/Sulfur dioxide Water/Arsenic Raw/Coal, hard Raw/Oil, crude Air/Arsenic Raw/iron Air/Particulates, > 2.5 um, and < 10um Remaining substances

Σχήμα 103. Κυκλικό διάγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται κατά την παραγωγή, συσκευασία, μεταφορά και εγκατάσταση του λέβητα πέλλετ

Τέλος, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των βασικών διαδικασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής του λέβητα φυσικού αερίου (Σχήμα 104 και Σχήμα 105).



Σχήμα 104. Ραβδόγραμμα με τις βασικές διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ

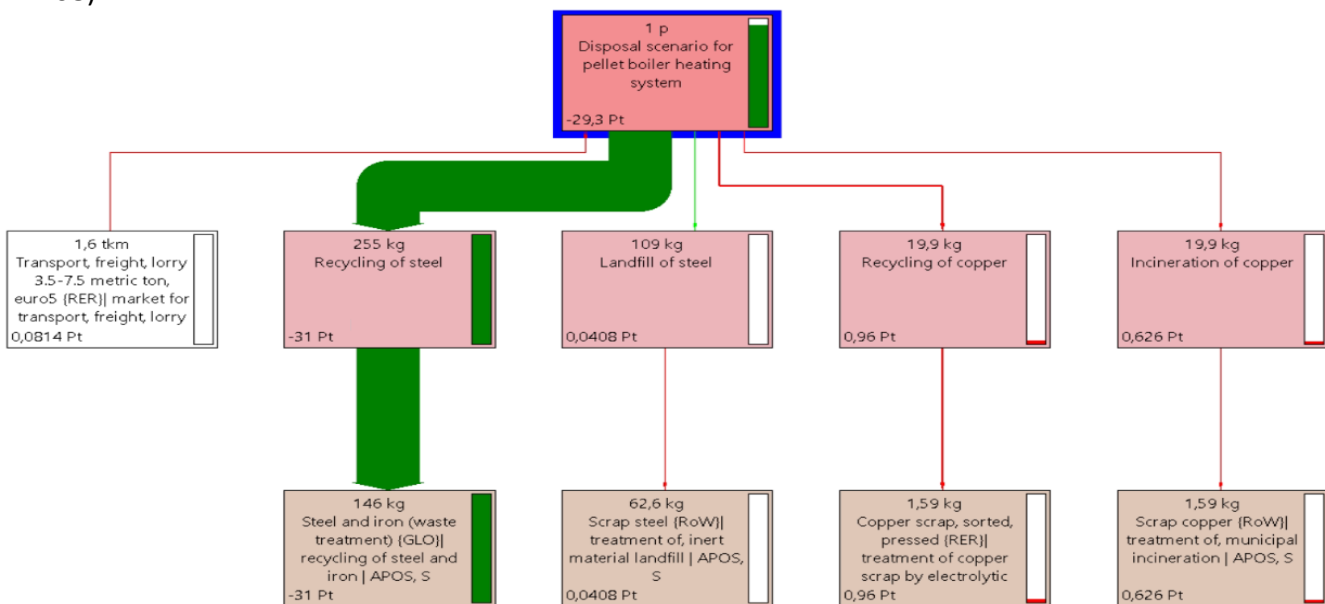


Tin (GLO) market for APOS, S	Copper (GLO) market for APOS, S	Reinforcing steel (GLO) market for APOS, S	Nickel, 99.5% (GLO) market for APOS, S
Electricity, medium voltage (GR) market for APOS, S	Chromium (GLO) market for APOS, S	Aluminium alloy, AlLi (GLO) market for APOS, S	Remaining processes

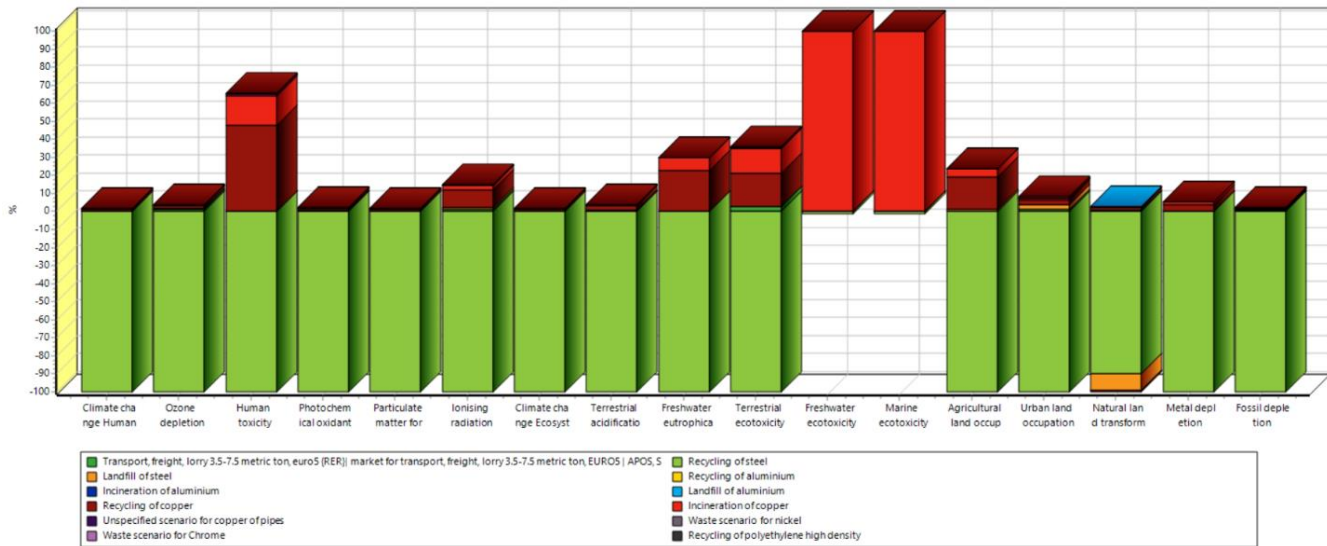
Σχήμα 105. Κυκλικό διάγραμμα με τις βασικές διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ

6.2.2 Το Disposal scenario του λέβητα πέλλετ

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του Disposal scenario έχει ως στόχο την ανάδειξη του σπουδαίου ρόλου που έχει στον ενιαίο κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζεται αρχικά το Tree του Disposal scenario μέσω του Σχήμα 106, και ακολουθεί το Characterization (Σχήμα 107) και το ραβδόγραμμα με τις ουσίες που τελικά δεν διαφεύγουν στο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του Disposal scenario στον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ (Σχήμα 108).

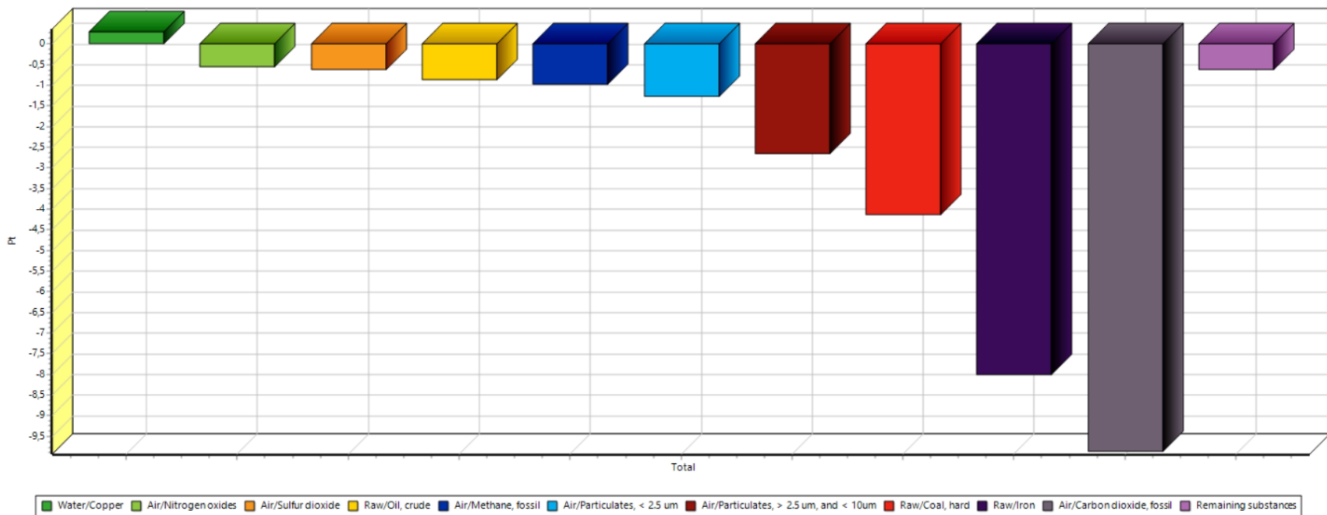


Σχήμα 106. Δέντρο του Disposal scenario του λέβητα πέλλετ στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario.



Σχήμα 107. Characterization του Disposal scenario του λέβητα πέλλετ στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario

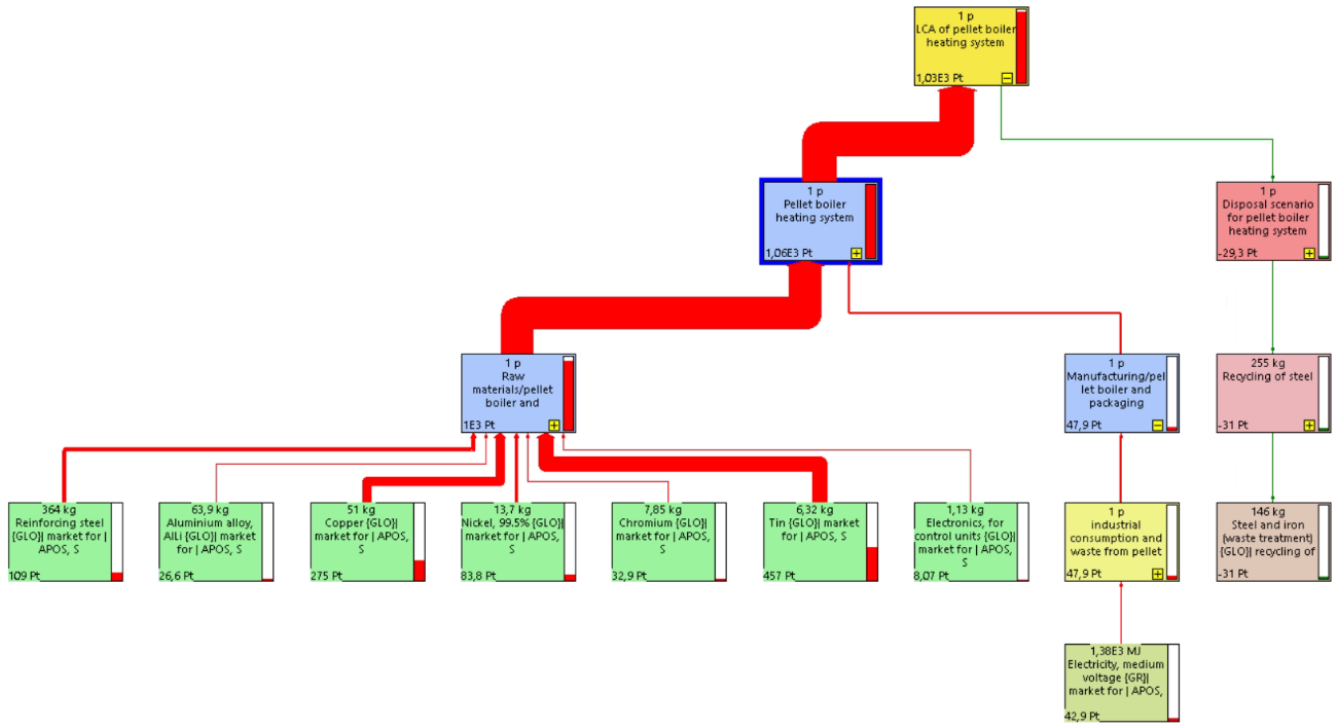
Από το Σχήμα 107 είναι φανερό ότι τον ανώτατο λόγο στην συνεισφορά του Disposal scenario στον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ, τον έχουν τα waste scenario του χαλκού και του χάλυβα. Σε αντίθεση με το Disposal scenario του λέβητα φυσικού αερίου, εδώ παρατηρείται και μια σημαντική περιβαλλοντική ρύπανση από την ανακύκλωση του χαλκού.



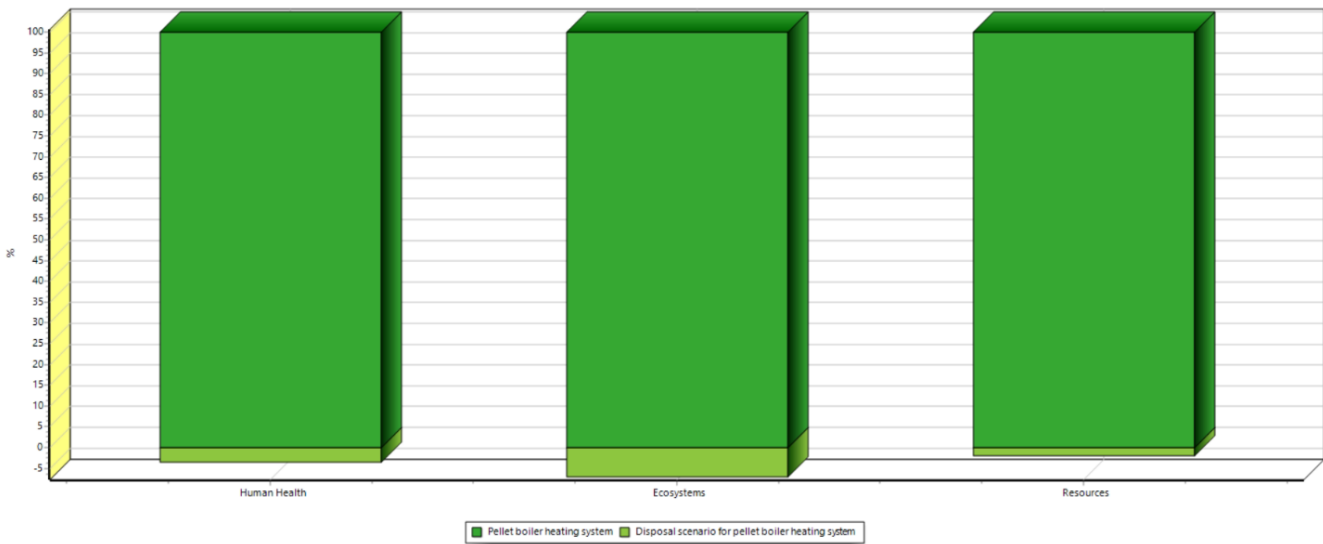
Σχήμα 108. Ραβδόγραμμα με τις ουσίες που τελικά δεν διαφεύγουν στο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του Disposal scenario

6.2.3 Ανάλυση κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ

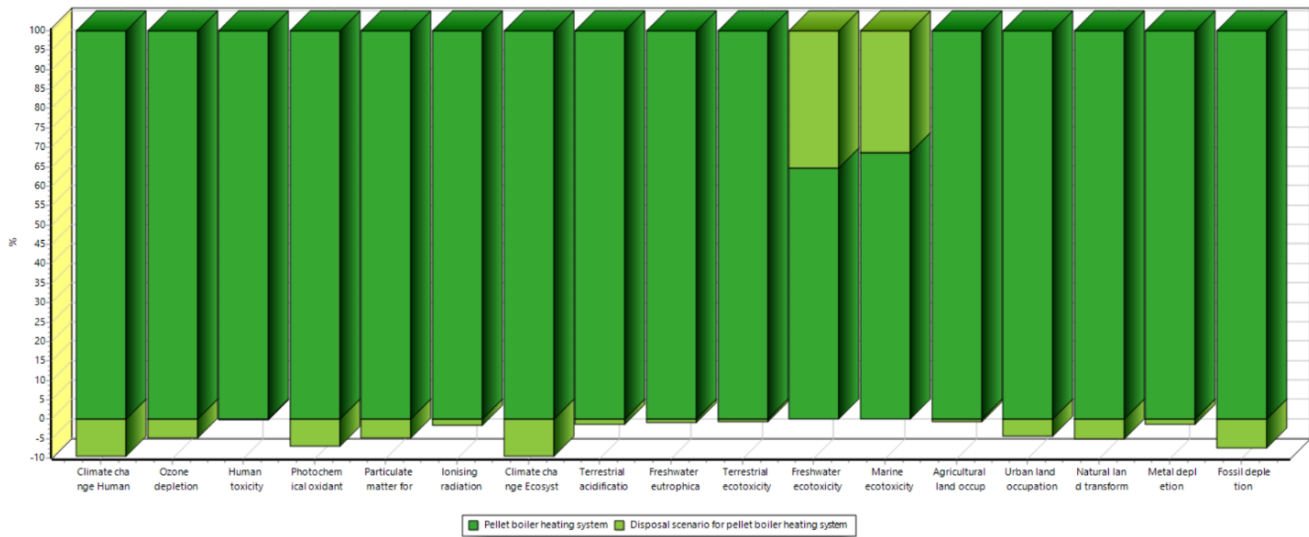
6.2.3.1 Αποτελέσματα μέσω της Endpoint εκδοχής της μεθόδου *Europe Recipe(H) V1.13*



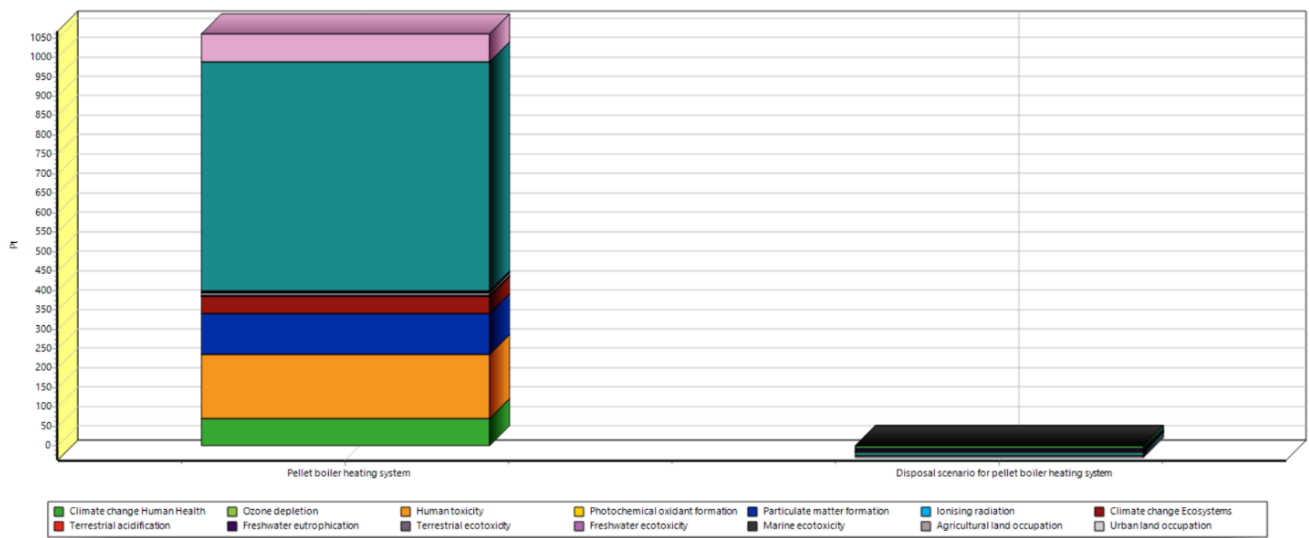
Σχήμα 109. Δέντρο του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ



Σχήμα 110. Damage assessment του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ



Σχήμα 111. Characterization του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ



Σχήμα 112. Single score ανά κατηγορία επιπτώσεων του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ

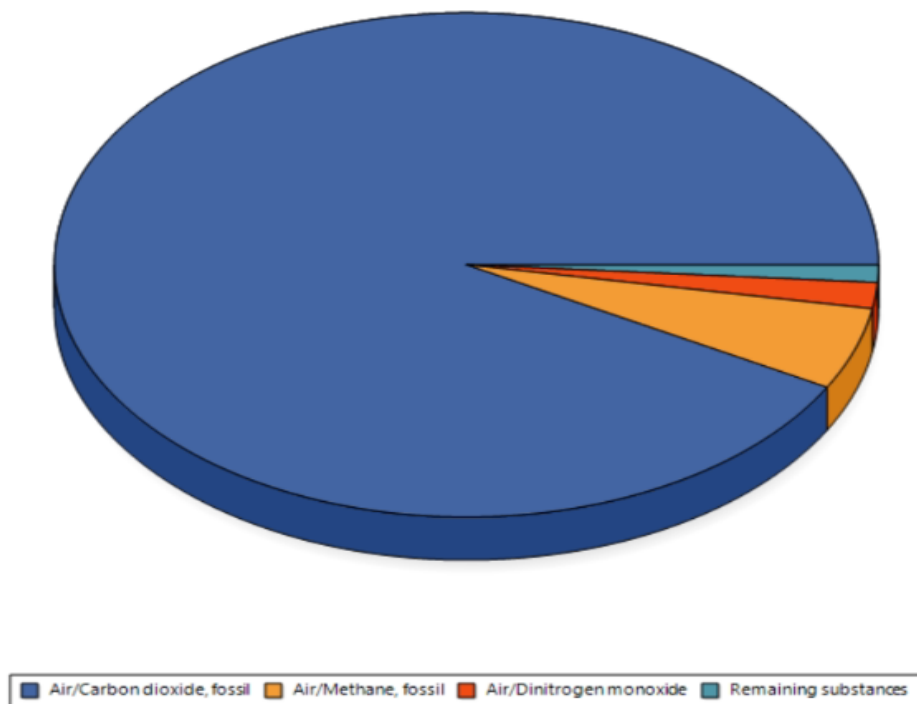
Όπως είναι φανερό από το δέντρο (Σχήμα 109) αλλά και από τα υπόλοιπα αποτελέσματα που απεικονίζονται στα Σχήμα 110, Σχήμα 111 και Σχήμα 112, η ανάμειξη του Disposal scenario στον κύκλο ζωής του λέβητα αερίου, αφαιρεί συνολικά 29,3 Pt από την ολική περιβαλλοντική επιβάρυνση, γεγονός που καθιστά το σενάριο επεξεργασίας απορριμμάτων σε αυτήν την αξιολόγηση ελάχιστα απαραίτητο αν αναλογιστεί κανείς το υψηλό περιβαλλοντικό φορτίο που δημιουργούν τα υπόλοιπα στάδια του κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ (1060 Pt).

6.2.3.2 Αποτελέσματα μέσω της Midpoint εκδοχής της μεθόδου Europe Recipe(H) V1.13

Πίνακας 22. Πίνακας kg CO₂ των ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ

No	Substance	Compartr	Unit	Total	Pellet boiler heating	Disposal scenario for
	Total of all compartments		kg CO2 eq	2,29E3	2,53E3	-240
	Remaining substances		kg CO2 eq	0,000207	0,00188	-0,00168
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	2,1E3	2,32E3	-218
2	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	5,59	5,63	-0,04
3	Carbon dioxide, to soil or biomass stock	Soil	kg CO2 eq	-0,0857	-0,0855	-0,000221
4	Chloroform	Air	kg CO2 eq	0,00283	0,00283	-3,1E-6
5	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	40	40,7	-0,699
6	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	0,0441	0,0441	1,76E-5
7	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	0,177	0,176	0,000279
8	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	0,0366	0,0368	-0,000214
9	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	0,187	0,189	-0,00269
10	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	0,886	0,887	-0,00143
11	Hydrocarbons, chlorinated	Air	kg CO2 eq	0,464	0,464	-1,98E-5
12	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	4,95	4,62	0,33

Ο Πίνακας 22 αλλά και το Σχήμα 113 που ακολουθεί, φανερώνουν την υψηλή μάζα διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στο περιβάλλον και η οποία αποτελεί και ένα από τα βασικά κριτήρια με τα οποία θα συγκριθούν τα συστήματα θέρμανσης της παρούσας ανάλυσης.



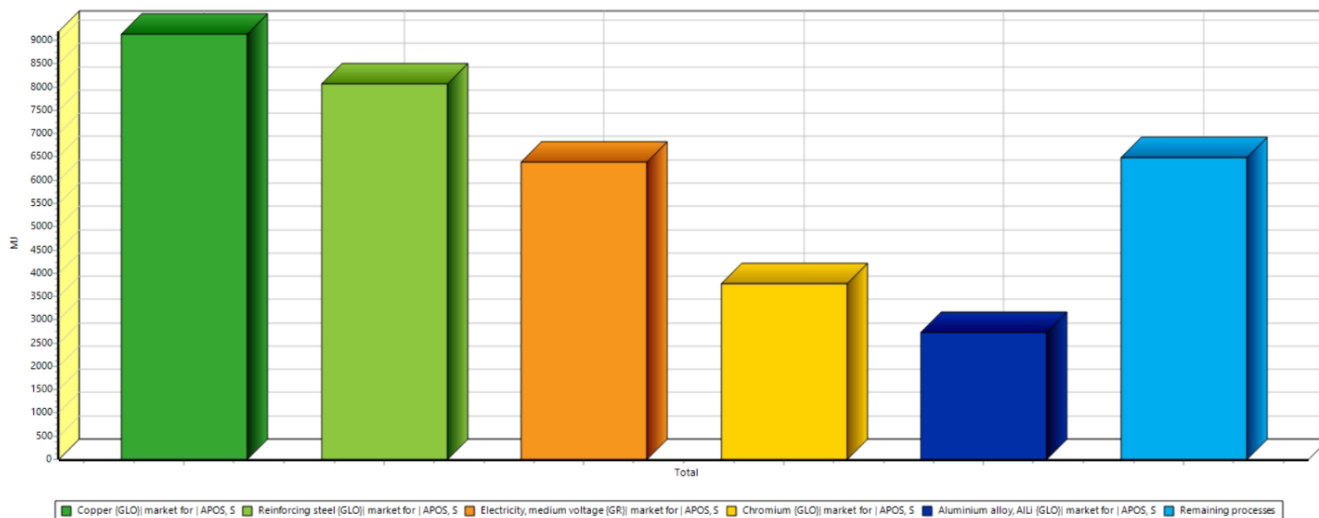
Σχήμα 113. Κυκλικό διάγραμμα kg CO₂ των βασικών ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ.

6.2.4 Embodied energy του λέβητα πέλλετ

Πίνακας 23. Process contribution της embodied energy της ανάλυσης κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ

No	Process /	Project	Unit	Total	Pellet boiler heating	Disposal scenario for
	Total of all processes		MJ	3,66E4	3,88E4	-2,16E3
	Remaining processes		MJ	827	758	69,3
1	Aluminium alloy, AlLi (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	2,72E3	2,72E3	x
2	Chromium (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	3,77E3	3,77E3	x
3	Cleft timber, measured as dry mass (CH) market for A	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	2,13E3	2,13E3	x
4	Copper (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	9,14E3	9,14E3	x
5	Electricity, medium voltage (GR) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	6,39E3	6,39E3	x
6	Electronics, for control units (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	580	580	x
7	Heat, district or industrial, other than natural gas (RER)	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	654	654	x
8	Nickel, 99.5% (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	2,04E3	2,04E3	x
9	Polyvinylidenchloride, granulate (RER) market for polyv	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	333	333	x
10	Reinforcing steel (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	8,08E3	8,08E3	x
11	Steel and iron (waste treatment) (GLO) recycling of steel	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	-2,23E3	x	-2,23E3
12	Tin (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	1,91E3	1,91E3	x
13	Zinc (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	240	240	x

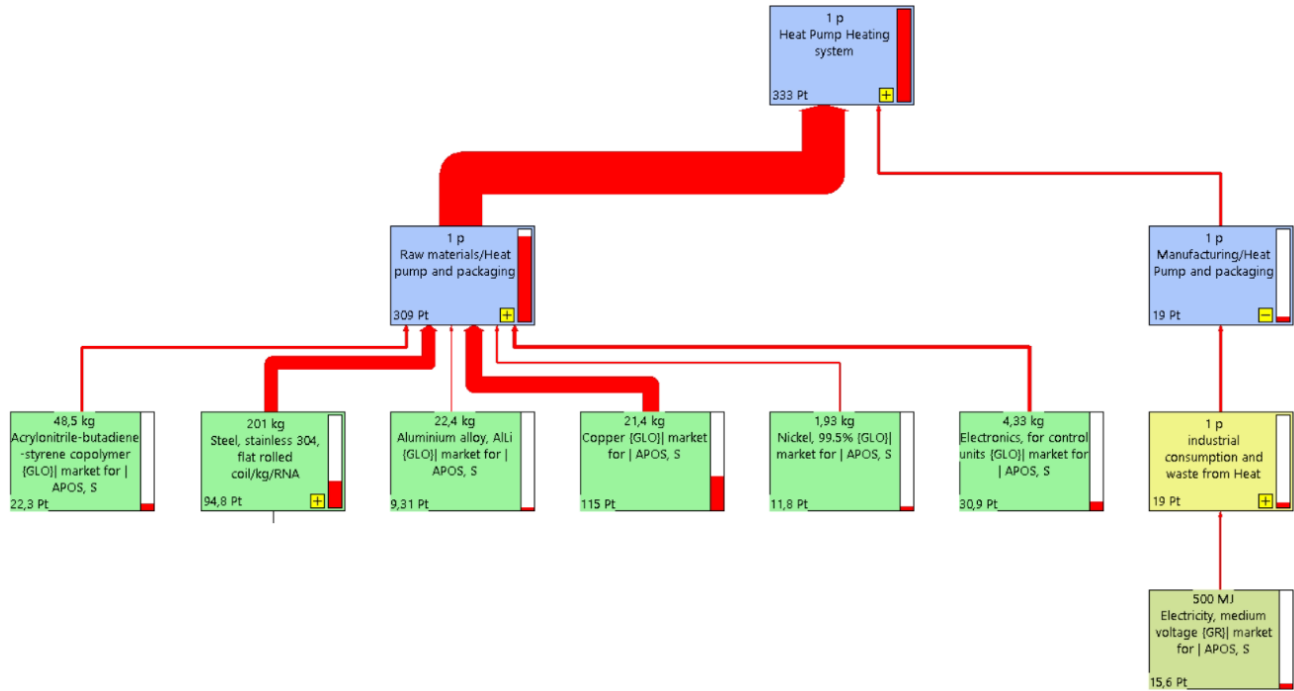
Στον Πίνακα 23 αλλά και στο Σχήμα 114 που ακολουθεί απεικονίζονται οι ενεργειακές σπατάλες των βασικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τον υπό μελέτη κύκλο ζωής. Το ενεργειακό άθροισμα των διαδικασιών αυτών, είναι 36600 MJ, μια αρκετά υψηλή τιμή σχετικά με το ενεργειακό άθροισμα της αξιολόγησης του λέβητα αερίου.



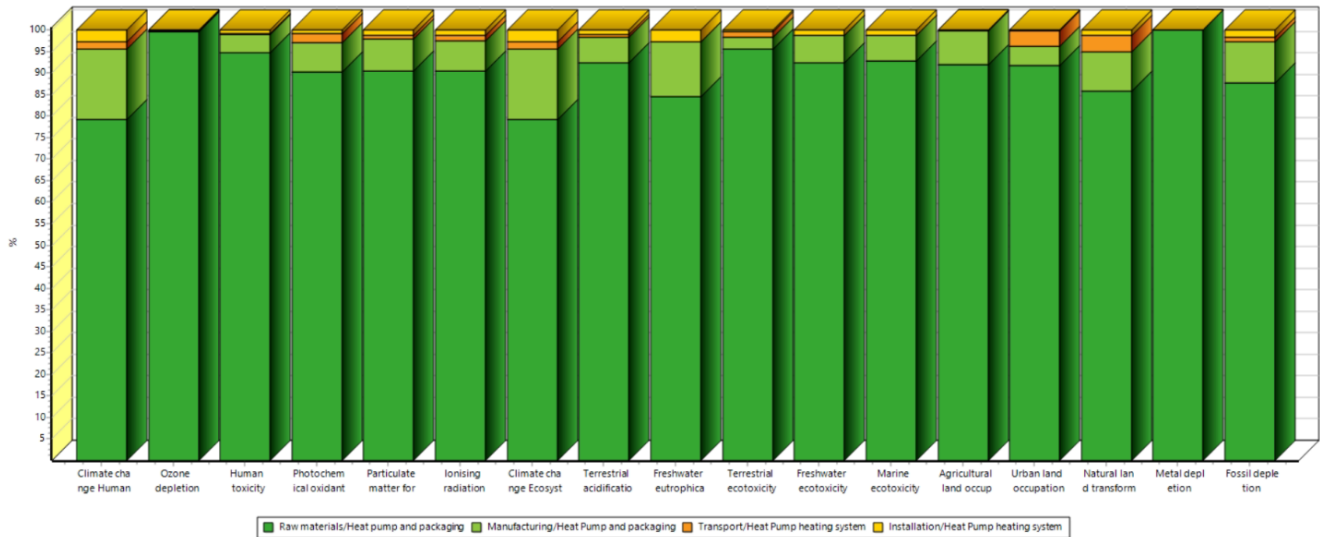
Σχήμα 114. Ραβδόγραμμα με τις ενεργειακές σπατάλες των βασικών διεργασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής του λέβητα πέλλετ

6.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων από την αξιολόγηση της αντλίας θερμότητας

6.3.1 Ανάλυση της αντλίας θερμότητας ως Assembly

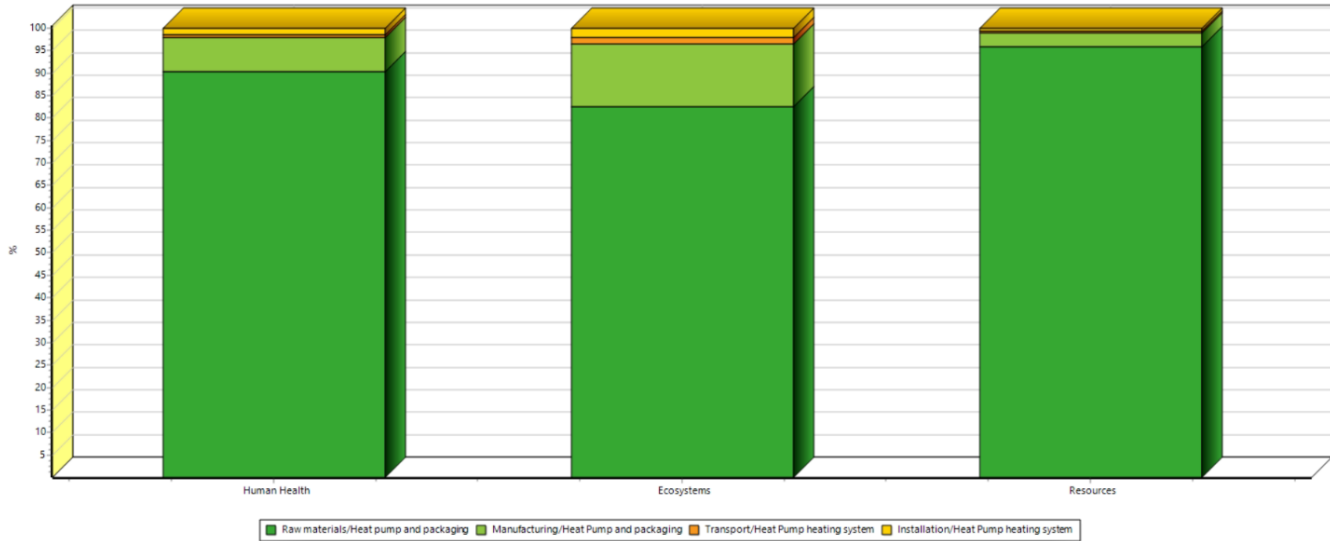


Σχήμα 115. Δέντρο της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly

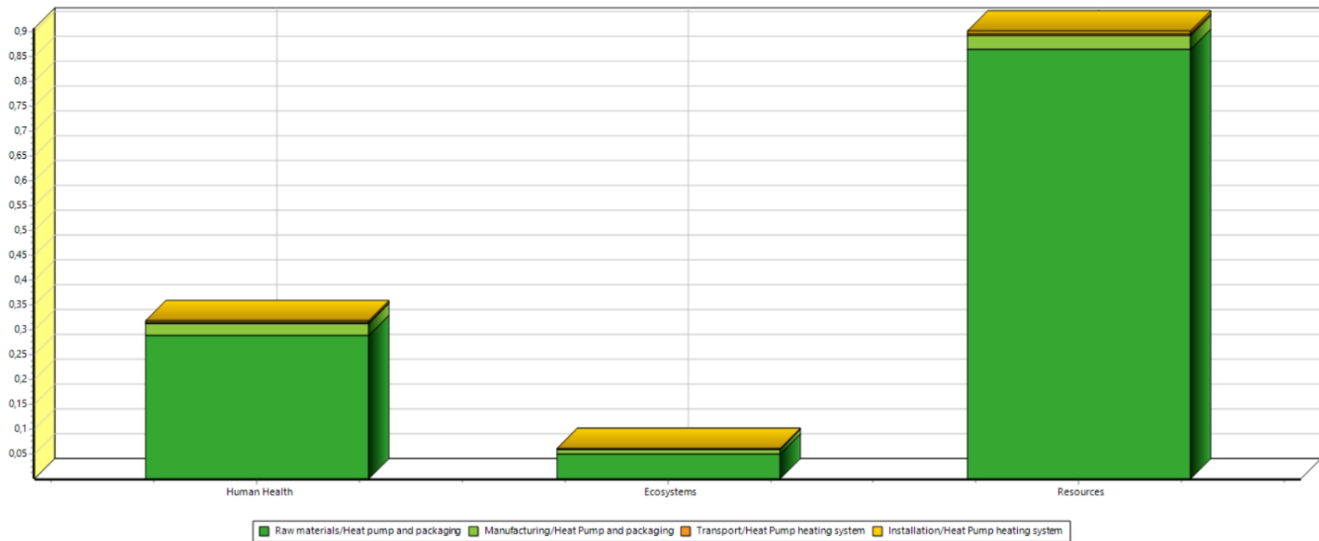


Σχήμα 116. Characterization της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly

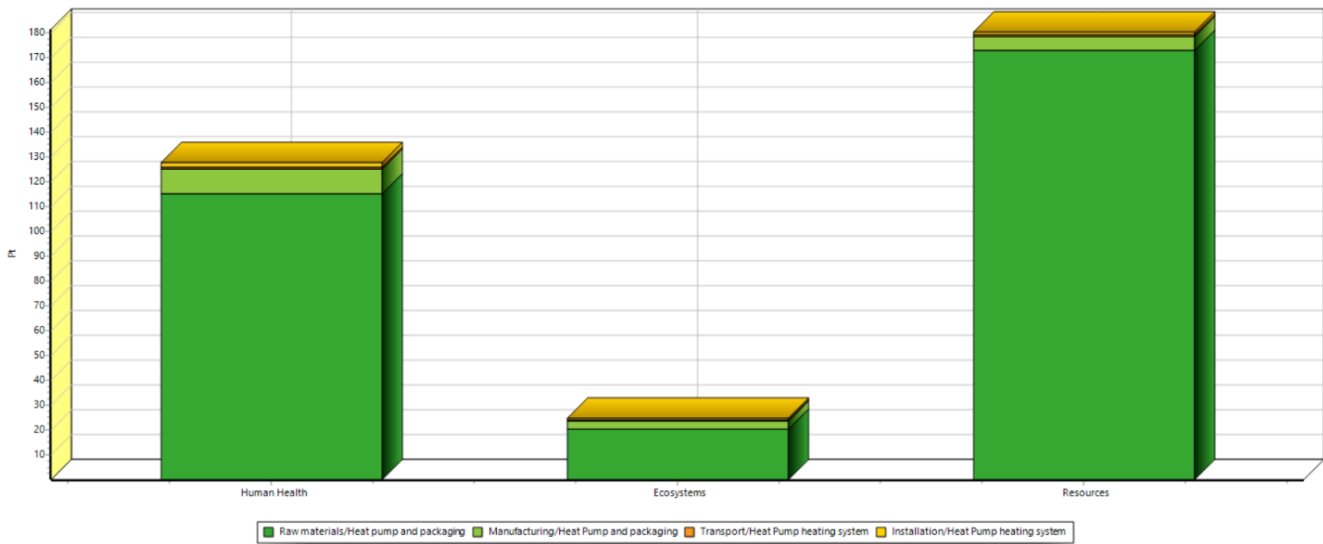
Αφού παρουσιάστηκε το Tree (Σχήμα 115) και το Characterization (Σχήμα 116) της αξιολόγησης του κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας αέρα – νερού, ακολουθούν οι υπόλοιποι μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων μέσω των Σχήμα 117, Σχήμα 118, Σχήμα 119 και Σχήμα 120.



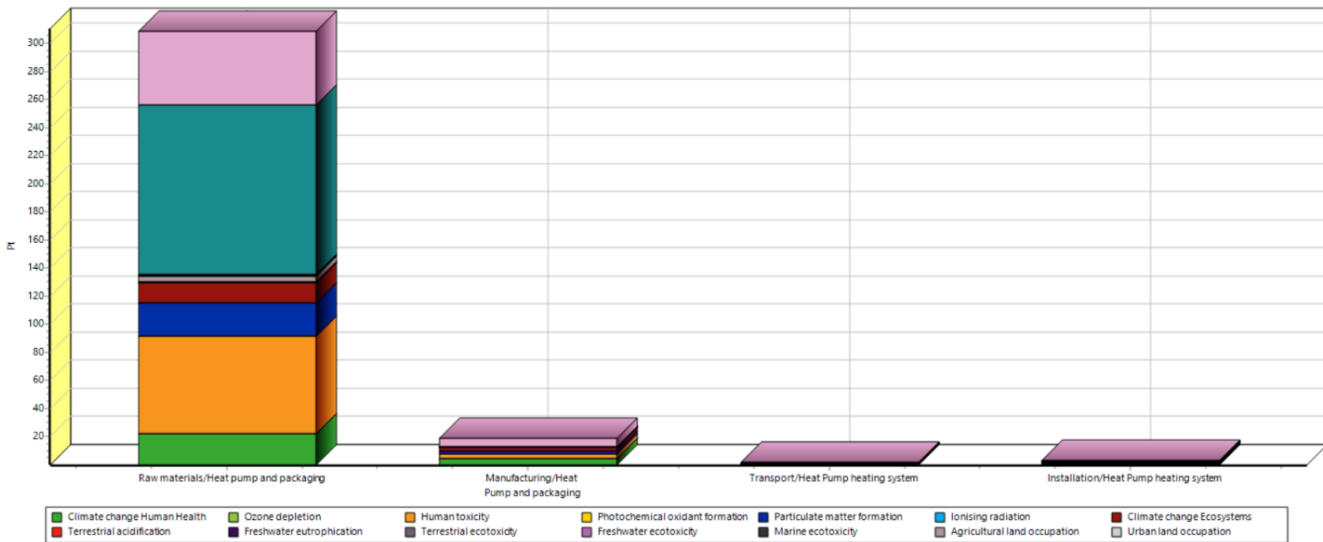
Σχήμα 117. Damage assessment της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly



Σχήμα 118. Normalization της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly



Σχήμα 119. Weighting της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly



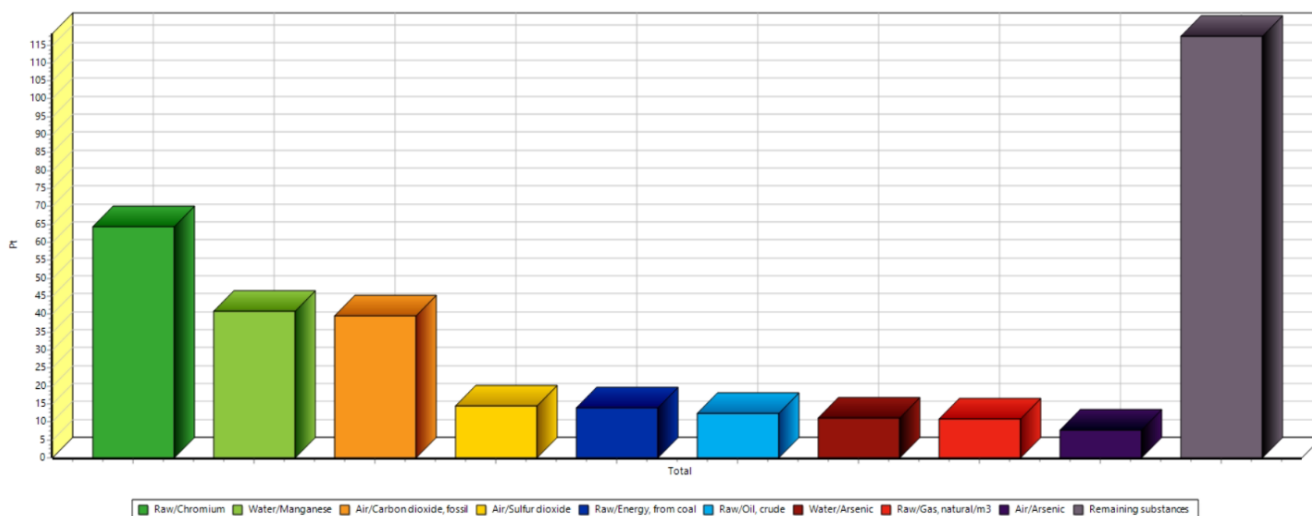
Σχήμα 120. Single score ανά κατηγορία επιπτώσεων της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly

Αφού παρουσιάστηκαν τα βασικά διαγράμματα επιπτώσεων που προκύπτουν από τα στάδια του κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας, στην συνέχεια θα δοθούν σε μορφή πίνακα αλλά και διαγράμματος, οι κατάλογοι με τις ποσότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν και τις ουσίες που απελευθερώθηκαν, καθώς και οι επιπτώσεις αυτών σε μονάδες Pt.

Πίνακας 24. Κατάλογος των κυρίων ουσιών που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας

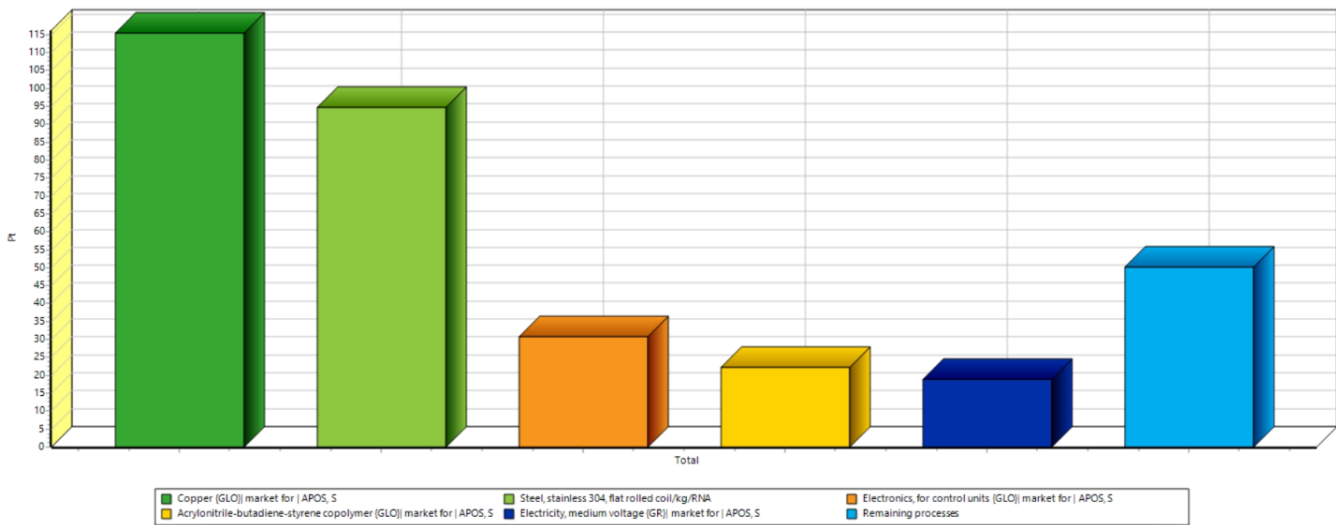
No	Substance	Compartm	Unit	Total	Raw materials/He.	Manufacturin Pump and	Transport/He Pump	Installation/H Pump
	Total of all compartments		Pt	333	309	19	1,73	3,37
	Remaining substances		Pt	73	69,9	2,38	0,299	0,352
1	Chromium	Raw	Pt	64,5	64,5	0,00603	0,00177	0,000928
2	Manganese	Water	Pt	40,8	37,7	2,49	0,0128	0,522
3	Carbon dioxide, fossil	Air	Pt	39,5	30,3	7,28	0,712	1,26
4	Sulfur dioxide	Air	Pt	14,4	13,4	0,81	0,0666	0,137
5	Energy, from coal	Raw	Pt	14	14	x	x	x
6	Oil, crude	Raw	Pt	12,4	10,9	0,894	0,543	0,0978
7	Arsenic	Water	Pt	11	10,7	0,289	0,00326	0,0595
8	Gas, natural/m ³	Raw	Pt	10,9	10,2	0,549	0,0337	0,111
9	Arsenic	Air	Pt	7,81	7,79	0,0185	0,00137	0,00283
10	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude	Raw	Pt	7,6	7,59	0,00377	0,000618	0,000726
11	Copper, Cu 0.38%, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Pb 0.1	Raw	Pt	7,36	7,36	0,00373	0,000721	0,000653
12	Coal, hard	Raw	Pt	6,61	6,02	0,534	0,0348	0,0209
13	Iron	Raw	Pt	6,6	6,57	0,0232	0,012	0,00277
14	Coal, brown	Raw	Pt	5,49	0,971	3,72	0,00641	0,797
15	Energy, from gas, natural	Raw	Pt	5,45	5,45	x	x	x
16	Copper, 0.52% in sulfide, Cu 0.27% and Mo 8.2E-3% in crude	Raw	Pt	5,36	5,36	0,00284	0,000571	0,000531

Ακολουθεί η αναπαράσταση των παραπάνω δεδομένων του Πίνακα 24 με ραβδόγραμμα (Σχήμα 121) με σκοπό την παρουσίαση της συνεισφοράς κάθε ουσίας στις ολικές επιπτώσεις.

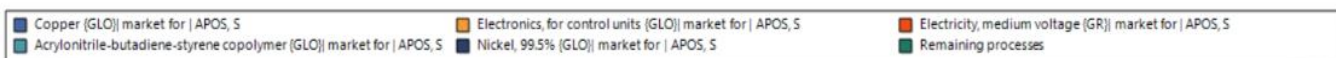
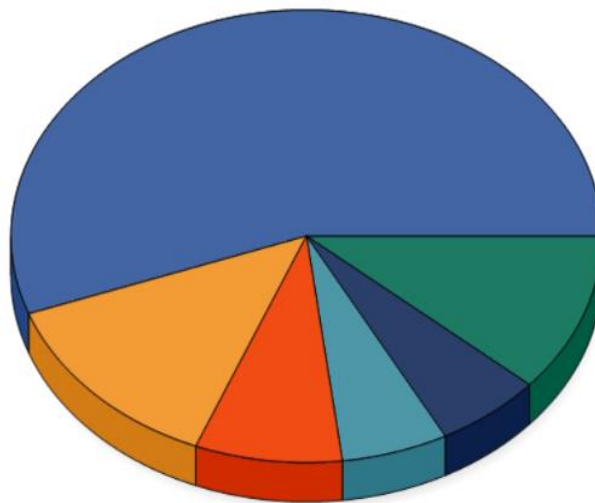


Σχήμα 121. Ραβδόγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση

Τέλος, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των βασικών διαδικασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής του λέβητα φυσικού αερίου (Σχήμα 104 και Σχήμα 105).



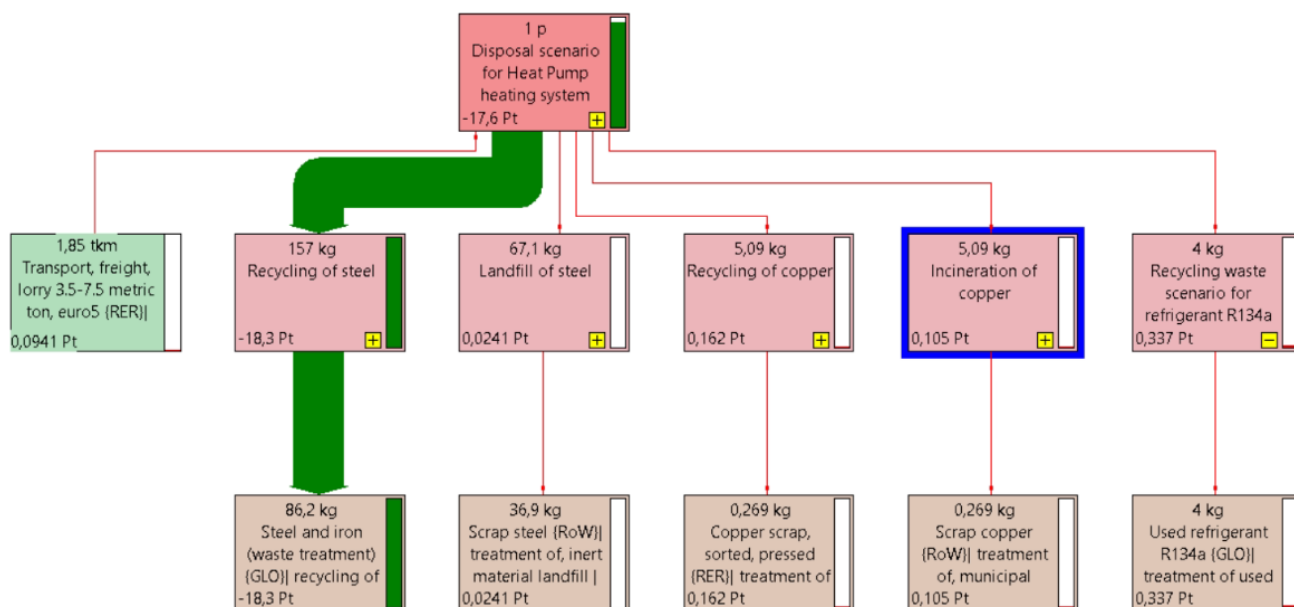
Σχήμα 122. Ραβδόγραμμα με τις βασικές διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας



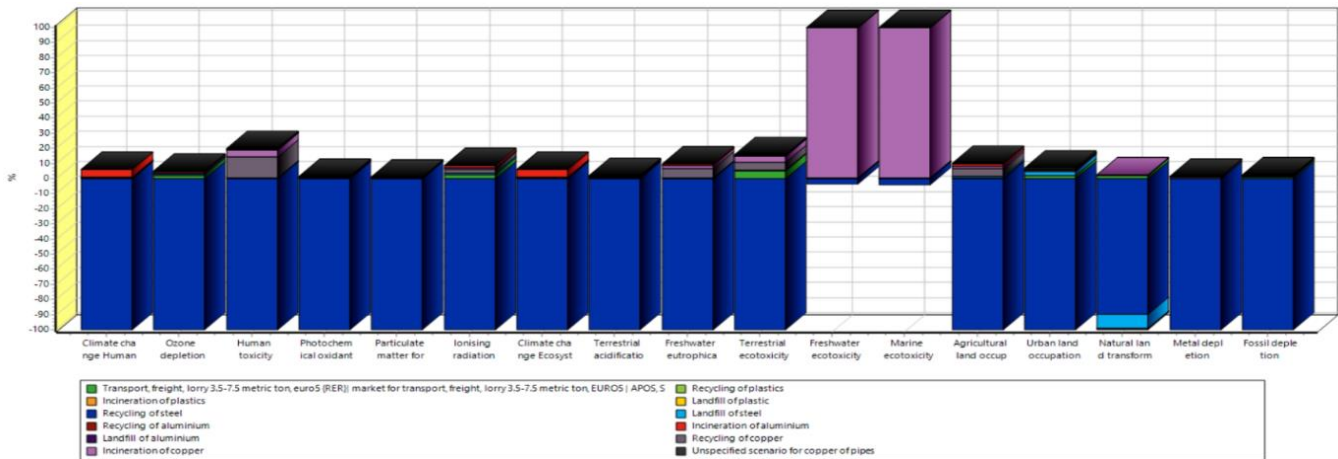
Σχήμα 123. Κυκλικό διάγραμμα με τις βασικές διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας

6.3.2 Το Disposal scenario της αντλίας θερμότητας

Για να είναι εφικτό να αποφανθεί ένας αναλυτής σχετικά με το επίπεδο της συνεισφοράς ενός Disposal scenario στον ενιαίο κύκλο ζωής που απευθύνεται, πρέπει να συγκρίνει τις μονάδες Pt που εξοικονομεί σε σχέση με τις ολικές μονάδες Pt του υπόλοιπου κύκλου. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζεται αρχικά το Tree του Disposal scenario μέσω του Σχήμα 124 και ακολουθεί το Characterization (Σχήμα 125) και το ραβδόγραμμα με τις ουσίες που τελικά δεν διαφεύγουν στο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του Disposal scenario στον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας (Σχήμα 126).

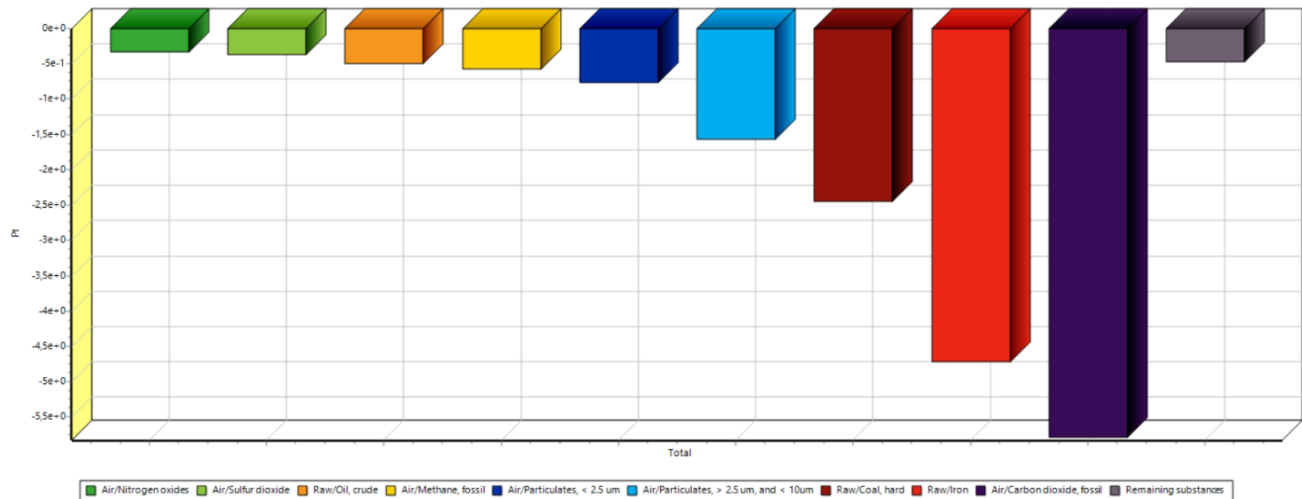


Σχήμα 124. Δέντρο του Disposal scenario της αντλίας θερμότητας στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario.



Σχήμα 125. Characterization του Disposal scenario της αντλίας θερμότητας στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario

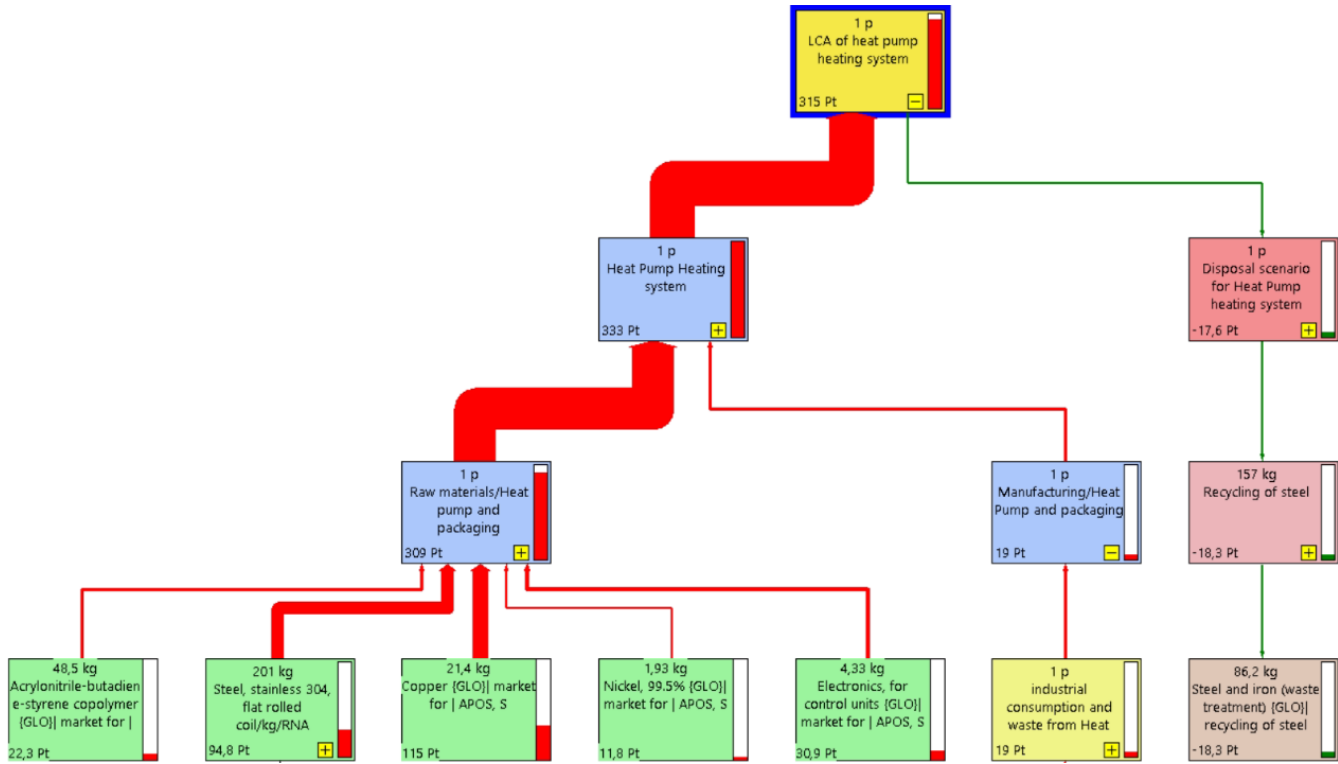
Από το Σχήμα 125 είναι φανερό ότι τον ανώτατο λόγο στην συνεισφορά του Disposal scenario στον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας, τον έχουν τα waste scenario του χαλκού και του χάλυβα, όπως και στα προηγούμενα δύο σενάρια που μελετήθηκαν. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους. Ο πρώτος είναι οι υψηλές ποσότητες χαλκού και χάλυβα από τις οποίες αποτελούνται και τα τρία συστήματα θέρμανσης που μελετώνται. Ο δεύτερος λόγος είναι η ιδιομορφία που υπάρχει στις βιβλιοθήκες του λογισμικού Simapro, καθώς όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, έχουν χρησιμοποιηθεί έτοιμα σενάρια επεξεργασίας τα οποία διέθετε το ίδιο το λογισμικό.



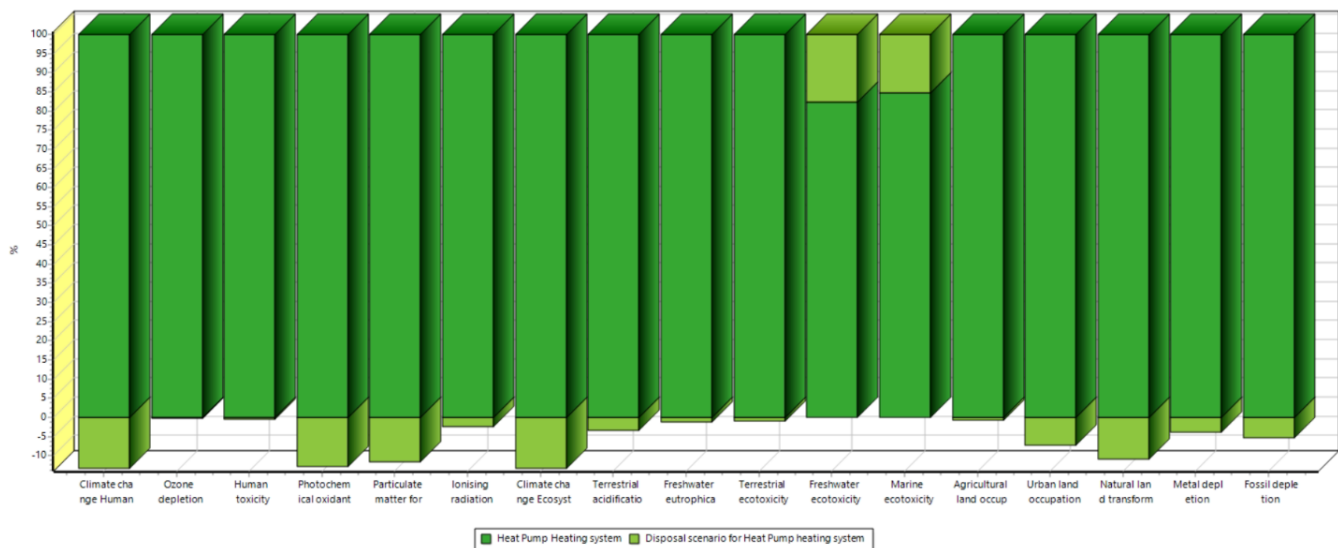
Σχήμα 126. Ραβδόγραμμα με τις ουσίες που τελικά δεν διαφεύγουν στο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του Disposal scenario

6.3.3 Ανάλυση κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας

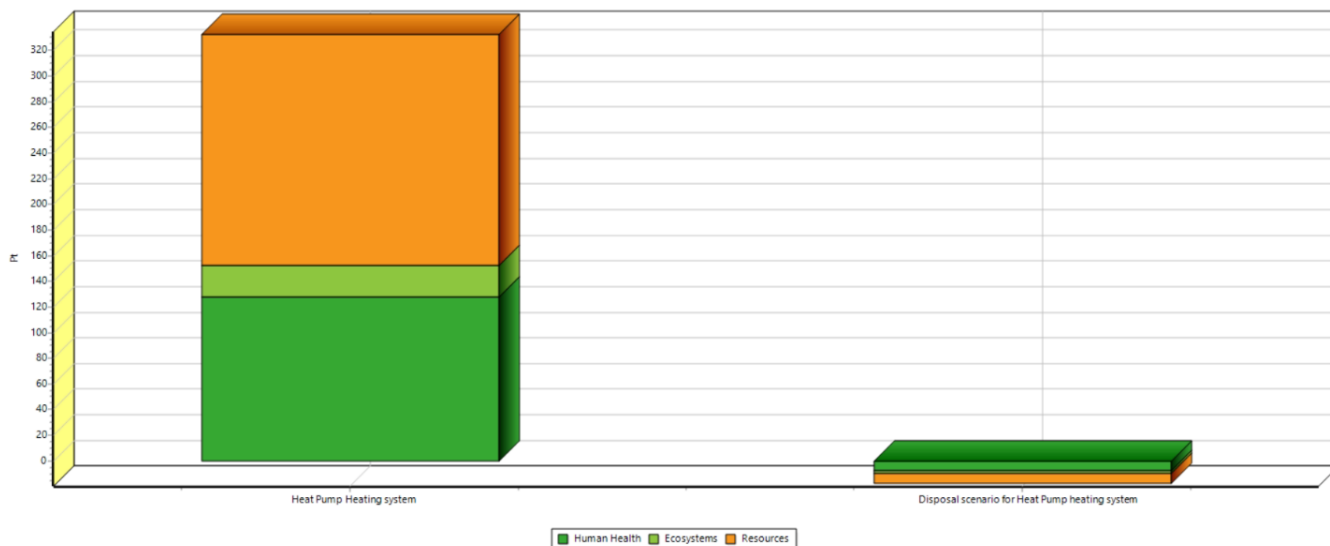
6.3.3.1 Αποτελέσματα μέσω της Endpoint εκδοχής της μεθόδου Europe Recipe(H) V1.13



Σχήμα 127. Δέντρο του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας



Σχήμα 128. Characterization του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας



Σχήμα 129. Single score του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας

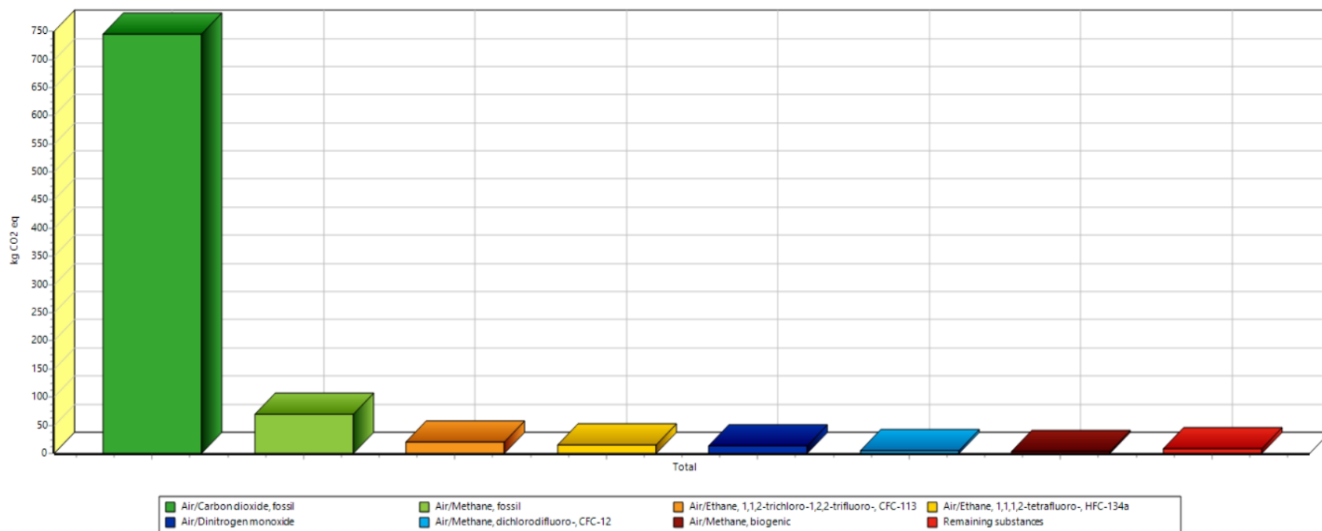
Από το Σχήμα 127 αλλά και από τα Σχήμα 128 και Σχήμα 129, φαίνεται το επίπεδο της ανάμειξης του Disposal scenario στον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας. Το Disposal scenario εξοικονομεί 17,6 μονάδες Pt. Η τιμή αυτή, είναι αρκετά μικρή αν αναλογιστεί κανείς ότι τα υπόλοιπα στάδια του κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας αέρα – νερού προσδίδουν στο περιβάλλον συνολικά φορτίο ίσο με 333 Pt. Το συμπέρασμα αυτό οδηγεί σε δύο σκέψεις. Αφενός ότι θα μπορούσε να γίνει μια καλύτερη επεξεργασία της αντλίας θερμότητας με πιο φιλικές στο περιβάλλον και πιο σύγχρονες μεθόδους, και αφετέρου ότι ακόμα και αυτή η μικρή εξοικονόμηση είναι πολύ πιο ασφαλής κατάσταση, από το να οδηγούνταν η αντλία θερμότητας σε κάποια χωματερή χωρίς να υποστεί την παραμικρή επεξεργασία.

6.3.3.2 Αποτελέσματα μέσω της Midpoint εκδοχής της μεθόδου Europe Recipe(H) V1.13

Πίνακας 25. Πίνακας kg CO₂ των ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ

No	Substance	Compartm	Unit	Total	Heat Pump Heating	Disposal scenario for
	Total of all compartments		kg CO2 eq	881	1,02E3	-135
	Remaining substances		kg CO2 eq	0,106	0,219	-0,113
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	745	873	-128
2	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	2,14	2,16	-0,0256
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	13,7	14,1	-0,428
4	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	15,6	9,89	5,72
5	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	20,7	20,7	-0,000139
6	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	Air	kg CO2 eq	2,05	2,05	-1,17E-5
7	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	1,69	1,69	-0,000911
8	Hydrocarbons, chlorinated	Air	kg CO2 eq	0,192	0,192	-1,53E-5
9	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	2,68	2,53	0,15
10	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	5,67	5,67	-0,000224
11	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	68,9	81,7	-12,8
12	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	1,13	1,14	-0,00802
13	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	0,16	0,16	-0,00013
14	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	1,54	1,59	-0,0441

Ο Πίνακας 25 Πίνακας 22 αλλά και το Σχήμα 130 που ακολουθεί, φανερώνουν την υψηλή μάζα διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στο περιβάλλον, όπως παρατηρήθηκε και στις δύο προηγούμενες αξιολογήσεις του λέβητα αερίου και του λέβητα πέλλετ.



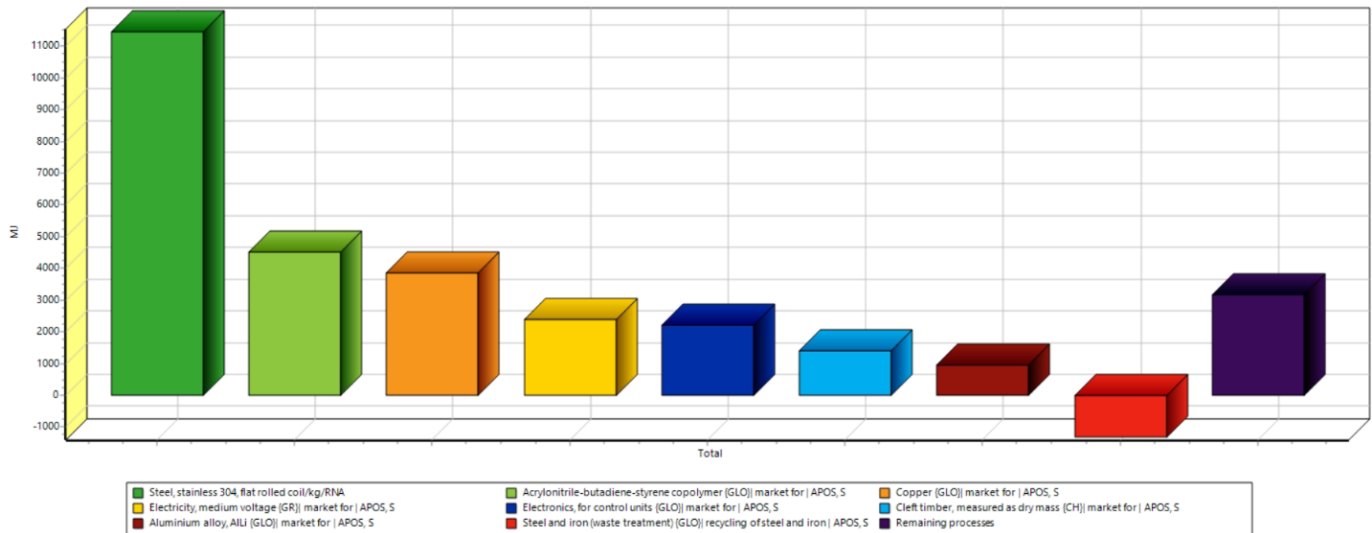
Σχήμα 130. Ραβδόγραμμα των kg CO₂ των βασικών ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας

6.3.4 Embodied energy της αντλίας θερμότητας

Πίνακας 26. Process contribution της embodied energy της ανάλυσης κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας

No	Process	Project	Unit	Total	Heat Pump Heating	Disposal scenario for
	Total of all processes		MJ	2,86E4	2,99E4	-1,28E3
	Remaining processes		MJ	75,8	40,3	35,4
1	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	4,5E3	4,5E3	x
2	Aluminium alloy, ALI (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	954	954	x
3	Chromium (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	773	773	x
4	Cleft timber, measured as dry mass (CH) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	1,42E3	1,42E3	x
5	Copper (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	3,84E3	3,84E3	x
6	Electricity, medium voltage (GR) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	2,39E3	2,39E3	x
7	Electronics, for control units (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	2,22E3	2,22E3	x
8	Heat, district or industrial, other than natural gas (RER) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	431	431	x
9	Nickel, 99.5% (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	287	287	x
10	Packaging film, low density polyethylene (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	35,5	35,5	x
11	Polyethylene, low density, granulate (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	166	166	x
12	Polyvinylidenechloride, granulate (RER) market for poly. (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	65	65	x
13	Refrigerant R134a (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	451	451	x
14	Reinforcing steel (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	502	502	x
15	Steel and iron (waste treatment) (GLO) recycling of steel (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	-1,32E3	x	-1,32E3
16	Steel, stainless 304, flat rolled coil/kg/RNA (GLO) market for APOS, S	USLCI	MJ	1,15E4	1,15E4	x
17	Synthetic rubber (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	54,4	54,4	x
18	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 (RER) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	43,5	43,5	x
19	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 (RER) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	191	191	x
20	Transport, freight, sea, transoceanic ship (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	57,8	57,8	x
21	Zinc (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	34,8	34,8	x

Στον Πίνακα 26 αλλά και στο Σχήμα 131 που ακολουθεί απεικονίζονται οι ενεργειακές σπατάλες και συνεισφορές των βασικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τον κύκλο ζωής της μονοblock αντλίας θερμότητας αέρα - νερού. Το ενεργειακό άθροισμα των διαδικασιών αυτών, είναι 28600 MJ.



Σχήμα 131. Ραβδόγραμμα με τις ενεργειακές σπατάλες και συνεισφορές των βασικών διεργασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής της αντλίας θερμότητας

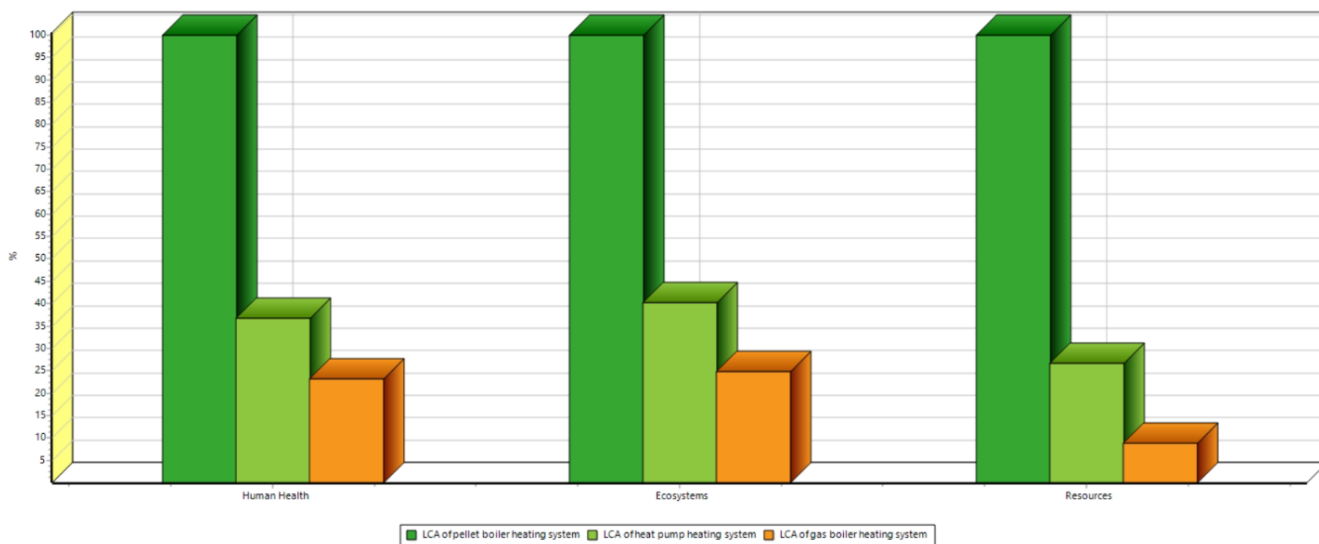
6.4 Σύγκριση των κύκλων ζωής των συστημάτων θέρμανσης

Τα κριτήρια με τα οποία μπορούν να συγκριθούν τα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης είναι αρκετά. Οι αναλύσεις κύκλου ζωής όμως τέτοιων συστημάτων συγκρίνονται με περιβαλλοντικά κριτήρια καθώς απώτερος σκοπός των αξιολογήσεων αυτών είναι η μείωση των ρύπων και της ενεργειακής κατανάλωσης που δημιουργεί η παραγωγή τους. Στην συνέχεια θα γίνει η σύγκριση των τριών συστημάτων θέρμανσης που μελετήθηκαν, με τα εξής κριτήρια:

- Μονάδες Pt που απελευθερώνει κάθε σύστημα θέρμανσης κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής του.
- Μάζα διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνει κάθε σύστημα κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής του.
- Συνολική καταναλισκόμενη ενσωματωμένη ενέργεια κάθε συστήματος κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής του.

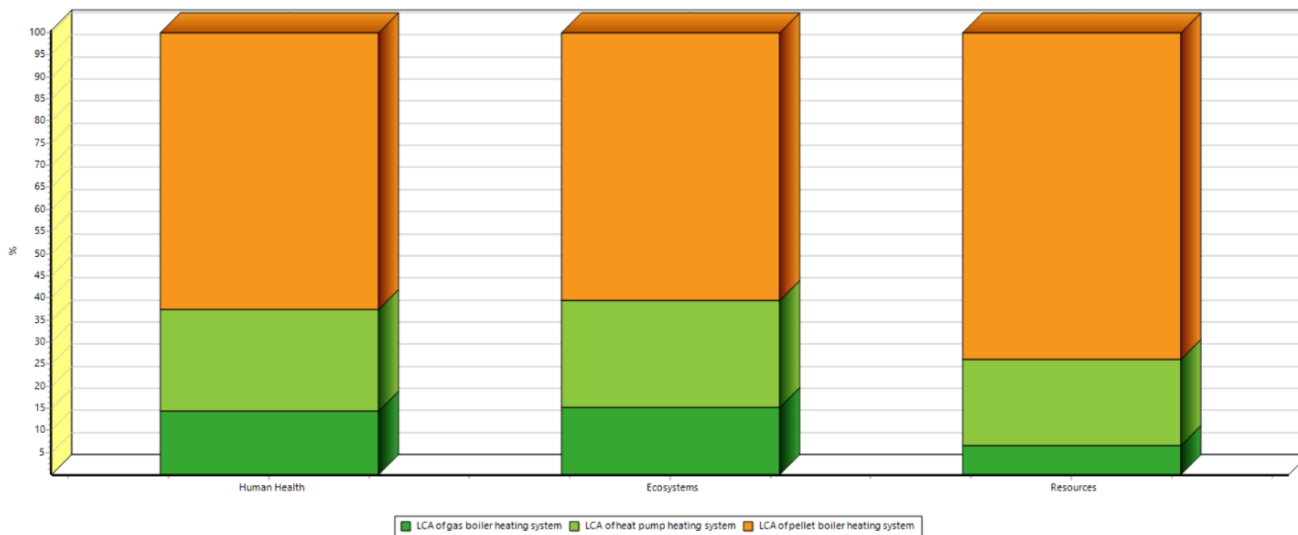
6.4.1 Μονάδες Pt που απελευθερώνει κάθε σύστημα θέρμανσης κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής του

Οι μονάδες Points αντικατοπτρίζουν το περιβαλλοντικό αντίκτυπο ενός προϊόντος με έμμεσο τρόπο. Δεδομένου ότι 1 Point αντιστοιχεί στο μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο ενός ατόμου, ο προσδιορισμός της ζημίας που προκαλεί μια διαδικασία στο περιβάλλον δεν είναι άμεσα φανερό. Για τον λόγο αυτό, σκοπός της μονάδας μέτρησης αυτής είναι αποκλειστικά η σύγκριση διαδικασιών με στόχο την ανάδειξη της περιβαλλοντικά ασφαλέστερης.



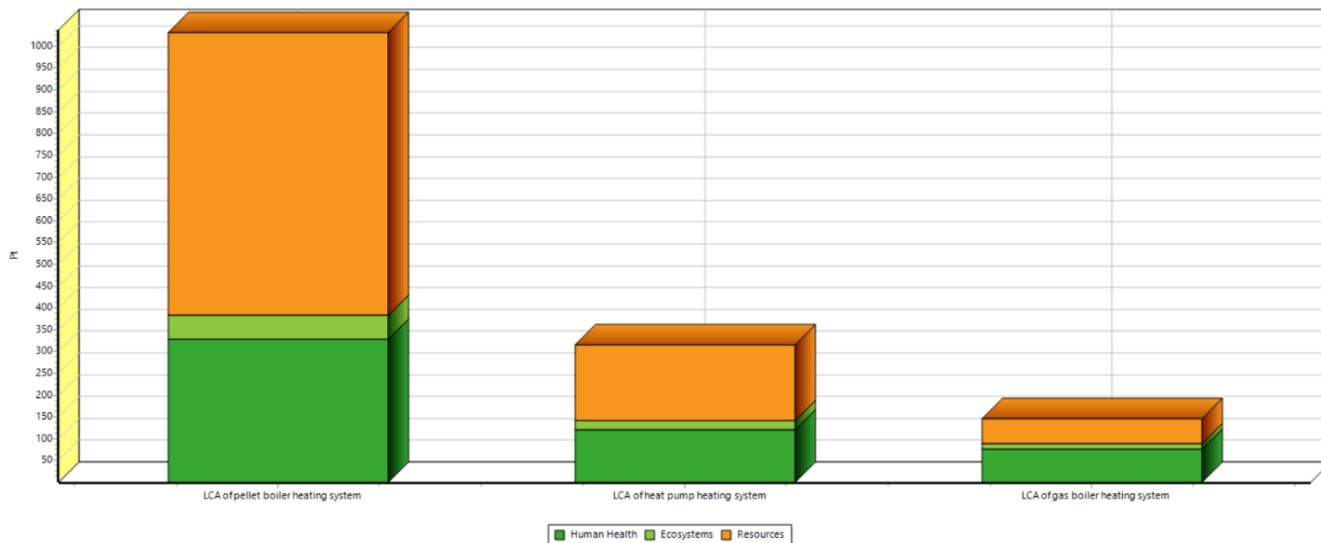
Σχήμα 132. Συγκριτικό διάγραμμα τύπου Characterization των υπό μελέτη συστημάτων θέρμανσης

Στο Σχήμα 132 παρουσιάζεται ένα ποσοστιαίο διάγραμμα της μορφής Characterization, όπου το 100% διαμορφώνεται από το σύστημα θέρμανσης με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το σύστημα αυτό είναι με συντριπτική διαφορά ο λέβητας πέλλετ, και το συμπέρασμα αυτό διαπιστώνεται και από το Σχήμα 133 που ακολουθεί, το οποίο αντιμετωπίζει τις τρεις αναλύσεις σαν υποκατηγορίες ενός ενιαίου κύκλου ζωής στον οποίο το κάθε σύστημα προσδίδει ποσοστιαία την δική του περιβαλλοντική ζημία.



Σχήμα 133. Συγκριτικό διάγραμμα τύπου Characterization των υπό μελέτη συστημάτων θέρμανσης όταν αυτά δημιουργούν έναν ενιαίο κύκλο ζωής

Αφού έγινε μια πρώτη ποσοστιαία σύγκριση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου κάθε συστήματος θέρμανσης, ακολουθεί το Σχήμα 134 το οποίο διευκρινίζει τις συνολικές μονάδες Pt που δημιουργούνται από τον ενιαίο κύκλο ζωής των συστημάτων αυτών. Όπως είναι φανερό, οι παρακάτω τιμές καθιστούν αδιαμφισβήτητα τον λέβητα πέλλετ σε μειονεκτική θέση σε σχέση με τον λέβητα αερίου και την αντλία θερμότητας.



Σχήμα 134. Συγκριτικό διάγραμμα τύπου Single score των υπό μελέτη συστημάτων θέρμανσης

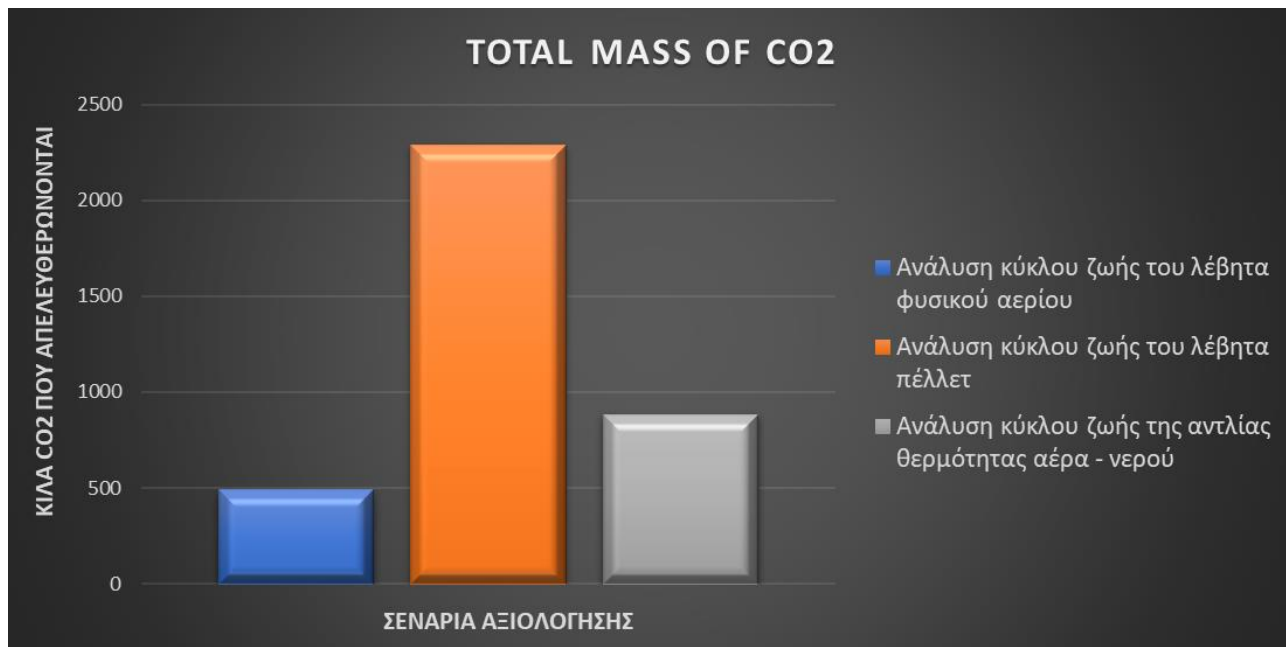
6.4.2 Μάζα διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνει κάθε σύστημα κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής του.

Το λογισμικό Simapro έχει την δυνατότητα να υπολογίζει την συνολικές μάζες βλαβερών ουσιών οι οποίες απελευθερώνονται κατά την εκτέλεση διάφορων διαδικασιών. Η κλιματική αλλαγή που οδηγεί σε υπερθέρμανση του πλανήτη, επηρεάζεται από την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Ακολουθεί λοιπόν ο Πίνακας 27, ο οποίος παρουσιάζει την μάζα διοξειδίου του άνθρακα που ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, όταν διενεργούνται οι βασικές διαδικασίες από τις οποίες αποτελούνται οι κύκλοι ζωής των συστημάτων θέρμανσης.

Πίνακας 27. Μάζα CO₂ που απελευθερώνεται από τις βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους κύκλους ζωής των συστημάτων θέρμανσης

No	Process	Project	Unit	LCA of gas boiler	LCA of heat pump	LCA of pellet boiler
	Total of all processes		kg CO2 e	488	881	2,29E3
	Remaining processes		kg CO2 e	1,09	364	520
1	Steel, low-alloyed (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	357	x	x
2	Copper (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	122	176	418
3	Electricity, medium voltage (GR) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	78,7	162	433
4	Heat, district or industrial, other than natural gas (RER)	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	23,7	31,1	47,3
5	Electronics, for control units (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	20,5	148	38,6
6	Polyvinylidenchloride, granulate (RER) market for polyv.	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	16	4,25	21,8
7	Reinforcing steel (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	13,9	52,5	844
8	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 (RER) n	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	6,95	12,3	9,24
9	Aluminium alloy, A1Li (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	6,69	62,3	178
10	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 (RER) ma	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	3,6	2,7	1,8
11	Polyethylene, low density, granulate (GLO) market for	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	2,18	4,79	6,1
12	Cleft timber, measured as dry mass (CH) market for A	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	2,17	2,21	3,31
13	Transport, freight, sea, transoceanic ship (GLO) market f	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	0,938	3,92	9,03
14	Steel and iron (waste treatment) (GLO) recycling of ste	Ecoinvent 3 - allocati	kg CO2 e	-167	-144	-245

Παρατηρώντας τον Πίνακα 27 αλλά και το Σχήμα 135 που ακολουθεί, γίνεται αντιληπτό ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ. Η ολική μάζα διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται εξ' αιτίας του συστήματος αυτού, κρίνεται υπερβολικά υψηλή συγκριτικά με τα άλλα δύο συστήματα που μελετώνται.



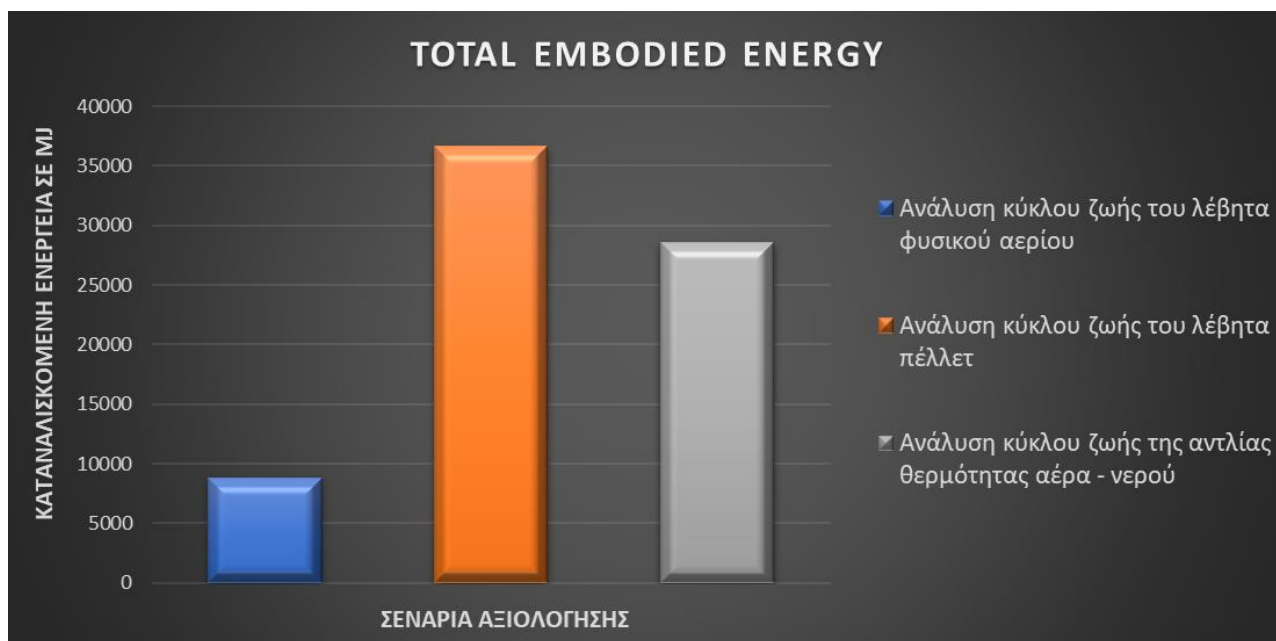
Σχήμα 135. Συνολική Μάζα CO₂ που απελευθερώνεται από τους κύκλους ζωής των συστημάτων θέρμανσης

6.4.3 Συνολική καταναλισκόμενη ενσωματωμένη ενέργεια των συστημάτων θέρμανσης κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής τους

Πίνακας 28. Ενεργειακές δαπάνες των βασικών διεργασιών που διέπουν τους κύκλους ζωής των συστημάτων θέρμανσης

No	Process	Project	Unit	LCA of gas boiler	LCA of heat pump	LCA of pellet boiler
	Total of all processes		MJ	8,83E3	2,86E4	3,66E4
	Remaining processes		MJ	3,72	1,76E4	8,25E3
1	Steel, low-alloyed (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	3,75E3	x	x
2	Copper (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	2,66E3	3,84E3	9,14E3
3	Cleft timber, measured as dry mass (CH) market for A	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	1,39E3	1,42E3	2,13E3
4	Electricity, medium voltage (GR) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	1,16E3	2,39E3	6,39E3
5	Heat, district or industrial, other than natural gas (RER)	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	327	431	654
6	Electronics, for control units (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	308	2,22E3	580
7	Polyvinylidenchloride, granulate (RER) market for polyv	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	245	65	333
8	Reinforcing steel (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	133	502	8,08E3
9	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 (RER) n	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	108	191	143
10	Aluminium alloy, AlLi (GLO) market for APOS, S	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	102	954	2,72E3
11	Polyethylene, low density, granulate (GLO) market for	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	75,5	166	211
12	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 (RER) ma	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	58	43,5	29
13	Transport, freight, sea, transoceanic ship (GLO) market i	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	13,8	57,8	133
14	Scrap steel (RoW) treatment of, inert material landfill	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	6,99	6,04	10,2
15	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 (RER) i	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	6,9	14,2	12,3
16	Steel and iron (waste treatment) (GLO) recycling of stei	Ecoinvent 3 - allocati	MJ	-1,52E3	-1,32E3	-2,23E3

Από τον Πίνακα 28 αλλά και από το Σχήμα 136 που ακολουθεί, δίνονται τα ολικά ποσά ενέργειας που καταναλώνουν τα υπό μελέτη συστήματα θέρμανσης κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής τους. Φυσικά, σε αυτή την αξιολόγηση δεν έχει ληφθεί υπόψιν η φάση χρήσης τους, μια φάση στην οποία καταναλώνονται τεράστια ποσά ενέργειας. Από τα δεδομένα λοιπόν αυτά, προκύπτει ότι ο λέβητας πέλλετ έχει την μεγαλύτερη ενσωματωμένη ενέργεια, και ακολουθεί με αισθητή διαφορά η αντλία θερμότητας. Τέλος, ο λέβητας αερίου καταναλώνει την λιγότερη ενέργεια σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του, γεγονός που του δίνει μεγάλο προβάδισμα δεδομένου ότι η ενεργειακή κρίση στον πλανήτη βρίσκεται σε κρίσιμο σημείο.



Σχήμα 136. Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια των συστημάτων θέρμανσης κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής τους

6.5 Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω μελέτη

6.5.1 Συμπεράσματα αξιολόγησης

Ο κτιριακός τομέας στον οποίο ανήκουν τα συστήματα θέρμανσης επηρεάζει στον μέγιστο βαθμό την βιωσιμότητα του πλανήτη και την υγεία του ίδιου του ανθρώπου. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται αυτή η συγκριτική αξιολόγηση κύκλου ζωής. Η μελέτη, η ανάλυση και ο επανασχεδιασμός των συστημάτων παραγωγής ενέργειας για θέρμανση σε αυτόν τον τομέα, θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές τους και τελικά να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. Αφού διεκπεραιώθηκε μια συγκριτική ανάλυση κύκλου ζωής με πρωταγωνιστές τα τρία σύγχρονα συστήματα θέρμανσης για την κάλυψη των θερμικών αναγκών ενός υποθετικού χώρου 100 τ.μ. στο κέντρο της Αθήνας, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

1. Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης που έλαβε χώρα στην προηγούμενη ενότητα, παρατηρείται υψηλή παραγωγή ρύπων σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων και αυξημένη κατανάλωση ενέργειας από τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ, με συντριπτική διαφορά από τα άλλα δύο συστήματα. Το γεγονός αυτό, καθιστά τον λέβητα πέλλετ επικίνδυνη επιλογή με κριτήριο το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα.
2. Ο λέβητας πέλλετ, είναι ένα αρκετά αποδοτικό σύστημα θέρμανσης. Αυτό σημαίνει ότι κατά την φάση χρήσης του, μπορεί να ανταγωνιστεί αρκετά συστήματα των οποίων η κατασκευή τους να μην ήταν τόσο ρυπογόνος. Για παράδειγμα το τζάκι, έχει σχετικά χαμηλή παραγωγή ρύπων κατά την κατασκευή του, με αποτέλεσμα να μοιάζει ασφαλέστερο περιβαλλοντικά από έναν λέβητα πέλλετ. Οι επιπτώσεις όμως που προκαλεί ένα τζάκι κατά την φάση χρήσης του, καθιστά τον λέβητα πέλλετ ως μια πολύ πιο οικολογική επιλογή.
3. Ο λόγος που ο υπό μελέτη λέβητας πέλλετ είχε τόσο υψηλούς δείκτες ενέργειας και ρύπων, είναι η μεγάλη μάζα του και η πληθώρα των υλικών του. Αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι για την κάλυψη των ίδιων θερμικών αναγκών, μελετήθηκε ένας λέβητας αερίου βάρους 35 kg, και από την άλλη ένας λέβητας πέλλετ βάρους 230 kg ο οποίος μαζί με τον συσσωρευτή του και την συνδεσμολογία του αγγίζει τα 335 kg. Είναι λοιπόν λογικό να παρατηρούνται τόσο υψηλοί ρύποι στον κύκλο ζωής του συγκεκριμένου συστήματος. Η παρατήρηση αυτή γεννά την ιδέα κατασκευής πιο σύγχρονων καυστήρων πέλλετ οι οποίοι θα σπαταλούν λιγότερες πρώτες ύλες για την κατασκευή τους.
4. Στα Assembly των τριών συστημάτων θέρμανσης, παρατηρήθηκε ότι σχεδόν ολόκληρο το ποσοστό των επιπτώσεων, δημιουργείται από τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για την κατασκευή του κάθε συστήματος. Αν και το συμπέρασμα αυτό είναι λογικό, η επισήμανσή του δίνει την δυνατότητα στους κατασκευαστές να στραφούν σε αυτόν τον τομέα προκειμένου να βελτιώσουν τα προϊόντα τους με γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος.

5. Η αντλία θερμότητας αέρα – νερού, έρχεται δεύτερη στην κλίμα ρύπων στην ατμόσφαιρα καθώς και στην κλίμακα καταναλισκόμενης ενέργειας. Το γεγονός αυτό καθιστά τον λέβητα αερίου το πιο φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα θέρμανσης στην παρούσα αξιολόγηση, με κριτήριο βέβαια την κατασκευή του την μεταφορά και την λειτουργία του. Το πλεονέκτημά του αυτό, το χρωστάει στην λιτή κατασκευή του και στην απλή συνδεσμολογία του με το δίκτυο φυσικού αερίου.
Πρέπει όμως να γίνει σαφές, ότι τα δύο δημοφιλέστερα συστήματα θέρμανσης που μελετήθηκαν, δεν έχουν συγκριθεί με κριτήριο τον βαθμό απόδοσής τους κατά την φάση χρήσης τους, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει απόλυτη απάντηση στο ερώτημα: ποιο σύστημα επιφέρει περισσότερη εξοικονόμηση ενέργειας και τελικά λιγότερες επιπτώσεις κατά την λειτουργία του. Αν για παράδειγμα ο μέσος βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας είναι τετραπλάσιος του λέβητα αερίου, η αντλία καταναλώνει θεωρητικά πολύ λιγότερο φυσικό αέριο (από το οποίο δημιουργείται το ηλεκτρικό ρεύμα) για να λειτουργήσει, συγκριτικά με τον λέβητα.
6. Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ένας σύγχρονος μικρού μεγέθους λέβητας αερίου και μια αντλία θερμότητας με καλό βαθμό απόδοσης, είναι δύο αξιολογες επιλογές συστήματος θέρμανσης με γνώμονα το περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο.

6.5.2 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη

Όπως είναι φυσιολογικό, μια μεμονωμένη μελέτη δεν μπορεί να αναδείξει την βέλτιστη επιλογή για θέρμανση σε έναν χώρο. Είναι πολλοί οι παράγοντες που επηρεάζουν μια αξιολόγηση, και πολλά τα κριτήρια με τα οποία καλείται κάποιος να επιλέξει. Ίσως να μην υπάρχει κιόλας ακόμη, αυτή η εν λόγω βέλτιστη επιλογή, αν αναλογιστεί κανείς την πληθώρα των απαιτήσεων που οφείλει να καλύπτει ένα υποθετικό βέλτιστο σύστημα θέρμανσης. Το σίγουρο όμως είναι, ότι κάθε νέα τεκμηριωμένη και καινοτόμα μελέτη, συμπληρώνει, διορθώνει και αναπτύσσει οποιαδήποτε υπάρχουσα, και έχει ως απώτερο σκοπό την βελτιστοποίηση ενός κλάδου από κάθε σκοπιά. Για τον λόγο αυτόν, προτού ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική, παρατίθενται ορισμένες ιδέες για περαιτέρω μελέτη, οι οποίες σύμφωνα με την κρίση του συγγραφέα μπορούν να εξελίξουν τον κτιριακό τομέα.

1. Οι αξιολογήσεις που σχετίζονται με την φάση λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης είναι σημαντικό εφόδιο για την ανάδειξη των βέλτιστων επιλογών θέρμανσης. Για τον λόγο αυτόν προτείνεται μια μελέτη που θα στηρίζεται στην παρούσα, αλλά θα συμπεριλαμβάνει και το στάδιο λειτουργίας των συστημάτων ώστε να δημιουργείτε μια ολοκληρωμένη εικόνα γύρω από τις επιπτώσεις που προκαλεί ένα σύστημα θέρμανσης.
2. Μιας και ο κτιριακός τομέας καλύπτει μεγάλο ποσοστό της περιβαλλοντικής ρύπανσης, προτείνεται μια ανάλυση κύκλου ζωής που θα συμπεριλαμβάνει την κατασκευή εξ ολοκλήρου ενός κτιρίου όπως αυτό που μελετήθηκε, το σύστημα θέρμανσής του καθώς και την επίπλωσή του.

3. Μια συγκριτική ανάλυση συστημάτων ψύξης και θέρμανσης κατά την φάση λειτουργίας τους, θα έδινε μια σαφή εικόνα σχετικά με τον κλάδο εκείνον που πρέπει να στραφούν οι βελτιστοποιήσεις.
4. Προτείνονται οι αξιολογήσεις του κύκλου ζωής και άλλων σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα συνδυαστικά συστήματα όπως μια αντλία θερμότητας με ηλιακή υποβοήθηση, τα οποία έχουν αυξημένες επιπτώσεις κατά την κατασκευή και τοποθέτησή τους, όμως κατά την λειτουργία τους γίνονται οι καλύτεροι φίλοι του περιβάλλοντος.
5. Μια καλή ιδέα μελέτης, είναι η σύγκριση συστημάτων θέρμανσης με κριτήριο την οικονομική τους απαίτηση σε συνδυασμό με τους ρύπους που παράγει ο κύκλος ζωής τους. Μέσω των δύο αυτών κριτηρίων και με ορισμένους δείκτες βαρύτητας που θα ορίζουν την αξία κάθε κριτηρίου στην τελική αξιολόγηση, θα προκύψουν συμπεράσματα για ασφαλή προς το περιβάλλον συστήματα, τα οποία ταυτόχρονα θα επιφέρουν εξοικονόμηση χρημάτων στον αγοραστή.
6. Τέλος, κατά την χρήση του λογισμικού Simapro παρατηρήθηκε μια ελλιπή εικόνα στην κατηγορία των waste scenario, χωρίς ιδιαίτερα περιθώρια προσαρμογής των σεναρίων επεξεργασίας στις ανάγκες του χρήστη. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται μια μελέτη κατά την οποία ο χρήστης θα βασίζεται σε ένα έτοιμο κύκλο ζωής ενός προϊόντος, και στόχος του θα είναι η βελτιστοποίηση των σεναρίων επεξεργασίας του με απώτερο σκοπό την μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των ρύπων του.

7. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδας λέβητα φυσικού αερίου	115
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά σωλήνων χαλκού αποξειδωμένων με φώσφορο (DHP-Cu)	116
Πίνακας 3. Προσεγγιστικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών κατασκευής.....	121
Πίνακας 4. Τελικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών.....	122
Πίνακας 5. Τεχνικά χαρακτηριστικά λέβητα πέλλετ.....	124
Πίνακας 6. Υλικά κατασκευής λέβητα πέλλετ	125
Πίνακας 7. Υλικά κατασκευής σιλό	125
Πίνακας 8. Υλικά κατασκευής συστήματος τροφοδότησης του λέβητα πέλλετ.....	126
Πίνακας 9. Μάζες των υλικών που μεταφέρονται από την Ιταλία στον υπό μελέτη χώρο.....	129
Πίνακας 10. Προσεγγιστικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών κατασκευής.....	132
Πίνακας 11. Τελικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών.....	133
Πίνακας 12. Τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας αέρα- νερού	135
Πίνακας 13. Υλικά κατασκευής αντλίας θερμότητας	136
Πίνακας 14. Υλικά κατασκευής των περιφερειακών συσκευών της αντλίας θερμότητας	137
Πίνακας 15. Υλικά κατασκευής της αντλίας θερμότητας και της συσκευασίας της.....	140
Πίνακας 16. Προσεγγιστικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών κατασκευής.....	143
Πίνακας 17. Τελικά ποσοστά επεξεργασίας των υλικών.....	144
Πίνακας 18. Κατάλογος των κυρίων ουσιών που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση του λέβητα φυσικού αερίου	151
Πίνακας 19. Πίνακας kg CO ₂ των ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	158
Πίνακας 20. Process contribution της embodied energy της ανάλυσης κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	160
Πίνακας 21. Κατάλογος των κυρίων ουσιών που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση του λέβητα πέλλετ	164
Πίνακας 22. Πίνακας kg CO ₂ των ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ.....	170
Πίνακας 23. Process contribution της embodied energy της ανάλυσης κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ.....	171
Πίνακας 24. Κατάλογος των κυρίων ουσιών που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας.....	175
Πίνακας 25. Πίνακας kg CO ₂ των ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ.....	180
Πίνακας 26. Process contribution της embodied energy της ανάλυσης κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας	181
Πίνακας 27. Μάζα CO ₂ που απελευθερώνεται από τις βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους κύκλους ζωής των συστημάτων θέρμανσης	185
Πίνακας 28. Ενεργειακές δαπάνες των βασικών διεργασιών που διέπουν τους κύκλους ζωής των συστημάτων θέρμανσης.....	186

8. Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Ποσοστιαία κατανομή περιβαλλοντικών επιπτώσεων	12
Σχήμα 2. Το παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα το 1990 και ο στόχος για το 2035, προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας μικρότερης των 2 °C.	13
Σχήμα 3. Κατανομή ορυκτών καυσίμων ανά τον κόσμο	14
Σχήμα 4. Προτεινόμενα συστήματα θέρμανσης μαζί με την πηγή ενέργειάς τους	16
Σχήμα 5. Τα στάδια της ανάλυσης κύκλου ζωής	17
Σχήμα 6. Ταξινόμηση κλίματος των Köppen-Geiger.....	19
Σχήμα 7. Ενεργειακά δεδομένα της Ευρώπης από το 1990 έως το 2050	22
Σχήμα 8. Απεικόνιση του ενεργειακού κύκλου ενσωματωμένης ενέργειας (embodied)	23
Σχήμα 9. Σύστημα υποδαπέδιας θέρμανσης κατά την Ρωμαϊκή αυτοκρατορία.....	24
Σχήμα 10. Μια σύγχρονη σόμπα τοιχοποιίας εμπνευσμένη από τον Μεσαίωνα	25
Σχήμα 11. Σχηματική περιγραφή λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας με Πηγή Αέρα.....	28
Σχήμα 12. Βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας με πηγή αέρα.....	29
Σχήμα 13. Σχηματική περιγραφή μια αντλίας θερμότητας split system (σχήμα αριστερά) και μιας packaged (σχήμα δεξιά).....	32
Σχήμα 14. Τυπική διάταξη αντλίας θερμότητας με πηγή νερού.....	35
Σχήμα 15. Σχηματική περιγραφή συστήματος αντλίας θερμότητας με πηγή νερού σε λίμνη-ποτάμι	36
Σχήμα 16. Συγκριτικό διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας του θερμοδυναμικού κύκλου για αντλία θερμότητας με πηγή αέρα, με πηγή νερού 15 °C και πηγή νερού 8 °C.....	37
Σχήμα 17. Σχηματική περιγραφή γεωθερμικής αντλίας θερμότητας σε λειτουργία ψύξης και θέρμανσης.....	39
Σχήμα 18. Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού βρόγχου και οριζόντιου προσανατολισμού .	40
Σχήμα 19. Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού βρόγχου και κάθετου προσανατολισμού	41
Σχήμα 20. Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού βρόγχου σε λίμνη	41
Σχήμα 21. Γεωθερμική αντλία θερμότητας ανοιχτού βρόγχου.....	42
Σχήμα 22. Σχηματική αναπαράσταση συστήματος ηλιακής αντλίας θερμότητας	43
Σχήμα 23. Εγκατάσταση ηλιακής αντλίας θερμότητας	44
Σχήμα 24. Σχηματική αναπαράσταση συστήματος υβριδικής αντλίας θερμότητας	46
Σχήμα 25. Λειτουργία μόνο του λέβητα, υβριδική λειτουργία και λειτουργία της αντλίας θερμότητας, σε ένα εύρος θερμοκρασιών, για ένα μέσο ευρωπαϊκό κλίμα.....	47
Σχήμα 26. Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας Boiler	48
Σχήμα 27. Διάφοροι τύποι καλοριφέρ.....	51
Σχήμα 28. Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας καλοριφέρ.....	52
Σχήμα 29. Παράδειγμα λέβητα αερίου οικιακής χρήσης.....	53
Σχήμα 30. Δεξαμενή πετρελαίου θέρμανσης οικιακή χρήση	55
Σχήμα 31. Λέβητας Pellet σε τομή	56
Σχήμα 32. Λέβητας Pellet.....	57
Σχήμα 33. Θέρμανση οικίας με λέβητα pellet	58
Σχήμα 34. Λειτουργία υδρονικού συστήματος θέρμανσης με ηλιακούς συλλέκτες.....	59
Σχήμα 35. Ηλιακός συλλέκτης για θέρμανση νερού	60

Σχήμα 36. Σχηματική αναπαράσταση τηλεθέρμανσης	61
Σχήμα 37. Σύγχρονο δίκτυο και πηγές τηλεθέρμανσης	62
Σχήμα 38. Μονωμένες σωληνώσεις τηλεθέρμανσης.....	63
Σχήμα 39. Χαρακτηριστικά των τεσσάρων πρώτων γενιών τηλεθέρμανσης, μαζί με τις θερμοκρασίες ροής και επιστροφής για καθεμία.....	65
Σχήμα 40. Τηλεθέρμανση και ψύξη πέμπτης γενιάς.....	66
Σχήμα 41. Σχηματική αναπαράσταση τηλεθέρμανσης με ηλιακή πηγή.....	69
Σχήμα 42. Λειτουργία τηλεθέρμανσης με αντλίες θερμότητας.....	70
Σχήμα 43. Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας, αριστερά οι σωληνώσεις και δεξιά ο ΑΗΣ.....	72
Σχήμα 44. Λειτουργία παραδοσιακού τζακιού.....	74
Σχήμα 45. Παράδειγμα σόμπας ξύλου	75
Σχήμα 46. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα επιλεγμένων καυσίμων βιομάζας σε σχέση με το χρόνο μετά την ανάφλεξη.....	78
Σχήμα 47. Σύγκριση μεταξύ boiler άνθρακα, boiler φυσικού αερίου και αντλία θερμότητας CO ₂ , ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.....	80
Σχήμα 48. Τα στάδια ενός κύκλου ζωής	84
Σχήμα 49. Μορφές ανάλυσης κύκλου ζωής	85
Σχήμα 50. Τα στάδια κύκλου ζωής.....	88
Σχήμα 51. Εισροές και εκροές της ανάλυσης κύκλου ζωής μιας διαδικασίας.....	90
Σχήμα 52. Γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Simapro κατά το ξεκίνημά του	94
Σχήμα 53. Κατάλογος ελέγχου του λογισμικού Simapro.....	95
Σχήμα 54. Περιγραφή του στόχου και του πεδίου εφαρμογής σε κάθε νέο project	96
Σχήμα 55. Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του λογισμικού Simapro.....	97
Σχήμα 56. Το περιβάλλον της υποκατηγορίας Product Stages	99
Σχήμα 57. Το περιβάλλον της υποκατηγορίας Processes	100
Σχήμα 58. Γραφικό περιβάλλον ενός κενού αρχείου διαδικασίας	102
Σχήμα 59. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου Assembly	103
Σχήμα 60. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου κύκλου ζωής	104
Σχήμα 61. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου Disposal scenario.....	105
Σχήμα 62. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου Dissassembly.....	106
Σχήμα 63. Παράδειγμα δημιουργίας ενός νέου σεναρίου επαναχρησιμοποίησης	106
Σχήμα 64. Παράδειγμα δενδροειδούς γραφήματος που περιγράφει έναν ολοκληρωμένο κύκλο ζωής.....	107
Σχήμα 65. Σχηματική επεξήγηση της μονάδας μέτρησης DALY.....	109
Σχήμα 66. Παράδειγμα αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης αβεβαιότητας με την μέθοδο Monte Carlo	111
Σχήμα 67. Μονάδα φυσικού αερίου Daikin Altherma C Gas W - EHOBG-A.....	114
Σχήμα 68. Εσωτερικό μέρος μιας μονάδας φυσικού αερίου	114
Σχήμα 69. Χαρακτηριστικά θερμαντικών σωμάτων	117
Σχήμα 70. Ξύλινο κουτί και ξύλινες παλέτες για την μεταφορά του λέβητα αερίου	118
Σχήμα 71. Μονάδα λέβητα πέλλετ PALAZZETTI JP 15 KW	123
Σχήμα 72. Κινητήρας vacuum 600W.....	126
Σχήμα 73. Αντλία θερμότητας αέρα- νερού ενιαίου τύπου MITSUBISHI ELECTRIC.....	134

Σχήμα 74. Περιφερειακές συσκευές λειτουργίας αντλίας θερμότητας.....	137
Σχήμα 75. Δέντρο της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly.....	147
Σχήμα 76. Characterization της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly.....	147
Σχήμα 77. Damage assessment της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly	148
Σχήμα 78. Normalization της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly	148
Σχήμα 79. Normalization ανά κατηγορία επιπτώσεων της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly	149
Σχήμα 80. Weighting της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly.....	149
Σχήμα 81. Single score της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly	150
Σχήμα 82. Single score ανά κατηγορία επιπτώσεων της αξιολόγησης του λέβητα αερίου ως Assembly	150
Σχήμα 83. Ραβδόγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση του λέβητα φυσικού αερίου	152
Σχήμα 84. Κυκλικό διάγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται κατά την παραγωγή, συσκευασία, μεταφορά και εγκατάσταση του λέβητα φυσικού αερίου.....	152
Σχήμα 85. Ραβδόγραμμα με τις διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	153
Σχήμα 86. Κυκλικό διάγραμμα με τις διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	153
Σχήμα 87. Δέντρο του Disposal scenario του λέβητα φυσικού αερίου στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario.....	154
Σχήμα 88. Characterization του Disposal scenario του λέβητα φυσικού αερίου στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario.....	155
Σχήμα 89. Ραβδόγραμμα με τις ουσίες που τελικά δεν διαφεύγουν στο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του Disposal scenario	155
Σχήμα 90. Δέντρο του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	156
Σχήμα 91. Damage assessment του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου .	157
Σχήμα 92. Characterization του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	157
Σχήμα 93. Single score ανά κατηγορία επιπτώσεων του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	158
Σχήμα 94. Διάγραμμα kg CO ₂ των βασικών ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα φυσικού αερίου	159
Σχήμα 95. Ραβδόγραμμα με τις ενεργειακές σπατάλες και συνεισφορές των βασικών διεργασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής του λέβητα φυσικού αερίου.....	160
Σχήμα 96. Δέντρο της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly	161
Σχήμα 97. Characterization της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly	161
Σχήμα 98. Damage assessment της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly.....	162
Σχήμα 99. Normalization της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly.....	162
Σχήμα 100. Weighting της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly	163
Σχήμα 101. Single score της αξιολόγησης του λέβητα πέλλετ ως Assembly	163
Σχήμα 102. Ραβδόγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση του λέβητα πέλλετ	164

Σχήμα 103. Κυκλικό διάγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται κατά την παραγωγή, συσκευασία, μεταφορά και εγκατάσταση του λέβητα πέλλετ	165
Σχήμα 104. Ραβδόγραμμα με τις βασικές διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ.....	165
Σχήμα 105. Κυκλικό διάγραμμα με τις βασικές διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ.....	166
Σχήμα 106. Δέντρο του Disposal scenario του λέβητα πέλλετ στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario.....	166
Σχήμα 107. Characterization του Disposal scenario του λέβητα πέλλετ στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario.....	167
Σχήμα 108. Ραβδόγραμμα με τις ουσίες που τελικά δεν διαφεύγουν στο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του Disposal scenario	167
Σχήμα 109. Δέντρο του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ.....	168
Σχήμα 110. Damage assessment του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ	168
Σχήμα 111. Characterization του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ	169
Σχήμα 112. Single score ανά κατηγορία επιπτώσεων του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής του λέβητα πέλλετ.....	169
Σχήμα 113. Κυκλικό διάγραμμα kg CO ₂ των βασικών ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής του λέβητα πέλλετ	170
Σχήμα 114. Ραβδόγραμμα με τις ενεργειακές σπατάλες των βασικών διεργασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής του λέβητα πέλλετ.....	171
Σχήμα 115. Δέντρο της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly.....	172
Σχήμα 116. Characterization της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly	172
Σχήμα 117. Damage assessment της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly	173
Σχήμα 118. Normalization της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly	173
Σχήμα 119. Weighting της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly	174
Σχήμα 120. Single score ανά κατηγορία επιπτώσεων της αξιολόγησης της αντλίας θερμότητας ως Assembly	174
Σχήμα 121. Ραβδόγραμμα με τις κύριες ουσίες που απελευθερώνονται με την παραγωγή, την συσκευασία, την μεταφορά και την εγκατάσταση.....	175
Σχήμα 122. Ραβδόγραμμα με τις βασικές διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας	176
Σχήμα 123. Κυκλικό διάγραμμα με τις βασικές διαδικασίες που διέπουν τον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας	176
Σχήμα 124. Δέντρο του Disposal scenario της αντλίας θερμότητας στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario.....	177
Σχήμα 125. Characterization του Disposal scenario της αντλίας θερμότητας στο οποίο απεικονίζονται τα πιο βασικά waste scenario.....	178
Σχήμα 126. Ραβδόγραμμα με τις ουσίες που τελικά δεν διαφεύγουν στο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του Disposal scenario	178
Σχήμα 127. Δέντρο του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας	179
Σχήμα 128. Characterization του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας.....	179
Σχήμα 129. Single score του ολοκληρωμένου κύκλου ζωής της αντλίας θερμότητας	180

Σχήμα 130. Ραβδόγραμμα των kg CO ₂ των βασικών ουσιών που απελευθερώνονται κατά τον κύκλο ζωής της αντλίας θερμότητας.....	181
Σχήμα 131. Ραβδόγραμμα με τις ενεργειακές σπατάλες και συνεισφορές των βασικών διεργασιών από τις οποίες αποτελείται ο κύκλος ζωής της αντλίας θερμότητας	182
Σχήμα 132. Συγκριτικό διάγραμμα τύπου Characterization των υπό μελέτη συστημάτων θέρμανσης	183
Σχήμα 133. Συγκριτικό διάγραμμα τύπου Characterization των υπό μελέτη συστημάτων θέρμανσης όταν αυτά δημιουργούν έναν ενιαίο κύκλο ζωής	184
Σχήμα 134. Συγκριτικό διάγραμμα τύπου Single score των υπό μελέτη συστημάτων θέρμανσης.....	185
Σχήμα 135. Συνολική Μάζα CO ₂ που απελευθερώνεται από τους κύκλους ζωής των συστημάτων θέρμανσης.....	186
Σχήμα 136. Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια των συστημάτων θέρμανσης κατά τον ενιαίο κύκλο ζωής τους.....	187

9. Κατάλογος Αναφορών

- [1] Karla García Gil, (August 30, 2021). "The importance of saving energy". <https://www.bbva.ch/en/news/the-importance-of-saving-energy/>
- [2] [Jacopo Famiglietti](#); [Tommaso Toppi](#); [Lorenzo Pistocchini](#); [Rossano Scoccia](#); [Mario Motta](#); (March 25, 2021). "A comparative environmental life cycle assessment between a condensing boiler and a gas driven absorption heat pump", Volume 762.
doi: [10.1016/j.scitotenv.2020.144392](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144392)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720379237>
- [3] [Tullio de Rubeis](#); [Serena Falasca](#); [Gabriele Curci](#); [Domenica Paoletti](#); [Dario Ambrosini](#); (October, 2020). "Sensitivity of heating performance of an energy self-sufficient building to climate zone, climate change and HVAC system solutions", Volume 61.
doi: [10.1016/j.scs.2020.102300](https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102300)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720305217>
- [4] [A. John Arnfield](#), (November 11, 2020). "Climate Classification: Empirical Classifications". <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>
- [5] Master Company, "A brief history of heating systems". <https://www.master.ca/professional/a-brief-history-of-heating-systems>
- [6] AAA Heating and Cooling Company, "The History behind home heating systems". <https://www.aaaheatingandcoolinginc.com/the-history-behind-home-heating-systems/>
- [7] Energieforschung, (September, 2021). "Energieforschung und Innovation" <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energieforschung-und-innovation.html>
- [8] [Jie Ji](#); [Gang Pei](#); [Tin-tai Chow](#); [Keliang Liu](#); [Hanfeng He](#); [Jianping Lu](#); [Chongwei Han](#); (January, 2008). "Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system". *Solar Energy*. Volume 82 (1): pp.43 - 52.
Bibcode:[2008SoEn...82...43J](https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.04.006). **doi:**[10.1016/j.solener.2007.04.006](https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.04.006)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X07000837>
- [9] Kuang, Y.H.; Wang, R.Z.; (July, 2006). "Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system". *Solar Energy*. Volume 80 (7): pp.795–803.
Bibcode:[2006SoEn...80..795K](https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.003). **doi:**[10.1016/j.solener.2005.06.003](https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.003)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X05002215>
- [10] Huang, B.J.; Chyng, J.P.; (December, 2001). "Performance characteristics of integral type solar-assisted heat pump". *Solar Energy*. Volume 71 (6): pp. 403–414.
Bibcode:[2001SoEn...71..403H](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(01)00076-7). **doi:**[10.1016/S0038-092X\(01\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(01)00076-7)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X01000767>
- [11] [Fabian Levihn](#), (October, 2017). "CHP and heat pumps to balance renewable power production: Lessons from the district heating network in Stockholm". Volume 137: pp. 670-678. **doi:** [10.1016/j.energy.2017.01.118](https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.118)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421730124X>
- [12] Haas Arlene, (April 12, 2018). "[The Overlooked Benefits of District Energy Systems](https://www.burnhamnationwide.com/final-review-blog/-benefits-of-district-energy-systems)". Burnham Nationwide. Retrieved 2019-09-28. <https://www.burnhamnationwide.com/final-review-blog/-benefits-of-district-energy-systems>

- [13] Dunne, Eimear. "[Infographic explaining District Heating Systems](#)". Frontline Energy & Environmental. Archived from [the original](#) on 5 May 2014. Retrieved 5 May 2014. https://xn--lif-dma.vn/en/District_heating-8680202844
- [14] Henrik Lunda; Poul Alberg Østergaard; David Connolly; Brian Vad Mathiesen; (October, 2017). "Smart energy and smart energy systems". Volume 137: pp.556-565 [doi: 10.1016/j.energy.2017.05.123](#)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217308812>
- [15] Scott Nichols, (May 15, 2013). "Using Pellet Boilers with Thermal Storage".
<https://woodboilers.com/using-pellet-boilers-with-thermal-storage/>
- [16] Stefan Döring, (2013). "Power from Pellets: Technology and Applications". ISBN: 978-3-642-1996-2 (eBook)
https://books.google.gr/books?id=WUsMSjMaY94C&pg=PA158&lpg=PA158&dq=power+range+of+pellet+heating&source=bl&ots=GIJzT1R6h_&sig=lvGLMSrT-3Pyhm4UK5ZCHHquzBQ&hl=de&sa=X&ei=y5UJVLqtH8TC7AbS64GoCw&redir_esc=y#v=onepage&q=power%20range%20of%20pellet%20heating&f=false
- [17] Bennett George; Elwell Cliff; Oreszczyn Tadj (August 20, 2018). "Space heating operation of combination boilers in the UK: The case for addressing real-world boiler performance". Building Services Engineering Research and Technology. [doi:10.1177/0143624418794552](#)
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0143624418794552>
- [18] [Montaser Mahmoud](#); [Mohamad Ramadan](#); [Sumsun Naher](#); [Keith Pullen](#); [Abdul-Ghani Olabi](#); (October, 2021). "The impacts of different heating systems on the environment: A review". [doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142625](#) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33077224/>
- [19] Iyyanki V. Muralikrishna, Valli Manickam, (2017). "Environmental Management". pp. 57-75 [doi: 10.1016/B978-0-12-811989-1.00005-1](#)
https://www.researchgate.net/publication/313019970_Life_Cycle_Assessment
- [20] Nawshad Haque, (2020). "Future Energy" (Third Edition). pp. 633-647 [doi: 10.1016/B978-0-08-102886-5.00029-3](#)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081028865000293>
- [21] Frances Wall; Robert Pell; (2020). "Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths". Volume 58: pp. 155-194 [doi: 10.1016/bs.hpcre.2020.10.001](#)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168127320300167>
- [22] Shahjadi Farjana; M. A. Parvez Mahmud; Nazmul Huda; (2021). "Life Cycle Assessment for Sustainable Mining" (First Edition). ISBN: 9780323854528 (eBook)
- [23] Subramanian Senthilkannan Muthu, (2020). "Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain" (Second Edition). ISBN: 9780128197844 (eBook)
- [24] Farschad Torabi; Pouria Ahmadi; (2019). "Simulation of Battery Systems" (First Edition). ISBN: 9780128165959 (eBook)
- [25] Mikaela Algren; Amy E. Landis; Wendy Fisher; (2021). "Data Science Applied to Sustainability Analysis, Chapter 8-Machine learning in life cycle assessment". pp. 167-190. ISBN: 978-0-12-817976-5 [doi: 10.1016/B978-0-12-817976-5.00009-7](#)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128179765000097>

- [26] Golsteijn Laura, (March 15, 2016). “Interpretation of metrics: DALYs and damage to human health”. <https://pre-sustainability.com/articles/metrics-interpretation-daly-and-damage-to-human-health/>
- [27] “The Monte Carlo method” Tutorial, (2015). <http://www.to-be.it/wp-content/uploads/2015/07/Tutorial-the-Monte-Carlo-method.pdf>
- [28] “SimaPro Flow” Tutorial, (2021). <https://simapro.com/wp-content/uploads/2021/03/Flow-Tutorial.pdf>
- [29] “SimaPro database manual” Methods Library, (2021). <https://simapro.com/wp-content/uploads/2021/12/DatabaseManualMethods930.pdf>
- [30] “SimaPro Tutorial- Pre’s Sustainability” Tutorial, (2016). <https://pre-sustainability.com/legacy/download/SimaPro8Tutorial.pdf>
- [31] “Introduction to LCA with SimaPro-Pre’s Sustainability” Manual, (2016). [SimaPro9IntroductionToLCA.pdf](https://simapro.com/wp-content/uploads/2021/12/DatabaseManualMethods930.pdf)
- [32] WAR PRODUCTION BOARD, (1945). “Products & Priorities” https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=D_j2BwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=design+of+a+gas+boilers&ots=ckemiXMImp&sig=6s9-hdONni5t1bRcfpaWQCN2dms&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [33] Minbox, (October 29, 2019). “BOILER CONSTRUCTION MATERIALS”. <https://marineinbox.com/marine-exams/boiler-construction-materials/>
- [34] DAIKIN, Company. “Μπόιλερ συμπύκνωσης αερίου”. https://www.daikin.gr/el_gr/products/ehobg-a.html
- [35] Ντάσιου Σάντυ, (Ιουλίου 6, 2020). “Τι Σώματα Καλοριφέρ να Βάλω; 7 Είδη για να Επιλέξεις το Κατάλληλο”. <https://www.douleutaras.gr/bsdir/autonomi-thermansis/symvoules/ti-somata-kalorifer-na-valo/>
- [36] Sea distances, Calculator. <https://sea-distances.org/>
- [37] ElvalHalcor A.E, Company. <https://www.halcor.com/el/>
- [38] ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ Α.Ε, Company. “Χαλύβδινα θερμοκρασιακά σώματα καλοριφέρ” <http://metalourgia-kalorifer.gr/>
- [39] [Jacopo Famiglietti](#); [Tommaso Toppi](#); [Lorenzo Pistocchini](#); [Rossano Scoccia](#); [Mario Motta](#); (March 25, 2021). “A comparative environmental life cycle assessment between a condensing boiler and a gas driven absorption heat pump”, Volume 762. [doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144392](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144392)
- [40] STARFIRE, Company. <https://www.starfire.gr/%CE%B8%CE%AD%CF%81%CE%BC%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D/%CE%BB%CE%AD%CE%B2%CE%B7%CF%84%CE%B5%CF%82-pellet-palazzetti/JP-14-levitas-%CE%BB%CE%AD%CE%B2%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82-pellet-palazzetti>

-
- [41] United States Environmental Protection Agency. “Facts and figures about materials waste and recycling”. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/z-directory-facts-and-figures-report-about#N>
- [42] José Adolfo; Lozano Miralles; Rafael López García; José Manuel Palomar Carnicero; Francisco Javier Rey Martínez; (June, 2020). “Comparative study of heat pump system and biomass boiler system to a tertiary (LCA) building using the Life Cycle Assessment (LCA)”, Volume 152. doi: [10.1016/j.renene.2019.12.148](https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.148)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119320270>
- [43] B. Monteleone; M. Chiesa; R. Marzuoli; V. K. Verma; M. Schwarz; E. Carlon; C. Schmid; A. Ballarin Denti; (October, 2015). “Life cycle analysis of small scale pellet boilers characterized by high efficiency and low emissions”, Volume 155, pp. 160-170. doi: [10.1016/j.apenergy.2015.05.089](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.089)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915007229>
- [44] Nickel INSTITUTE. “Nickel recycling”.
<https://nickelinstitute.org/policy/nickel-life-cycle-management/nickel-recycling/>
- [45] INTERNATIONAL ASSOCIATION. “Tin Recycling”. <https://www.internationaltin.org/recycling/>
- [46] American Galvanizers Association. “Zinc Recycling”.
<https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing/what-is-zinc/zinc-recycling>
- [47] ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ, Company. “ECODAN Monoblock 11.2KW PUHZ-W 112VAA / Hydrobox EHPX - VM2C Αντλία θερμότητας R410A (μονοφασική)”.
<https://papagiannis.gr/ecodan-compact-inverter-monoblock-puhz-w-112vaa-hydrobox-ehpx-vm2c-antlia-thermotitas-aera-nerou-psuksi-10kw-thermans-11.2kw-r410a-monofasiki.html>
- [48] ELEKTRONIKA S.A, Company. <https://www.elektronika-sa.com.pl/tctypes.php?LID=2>
- [49] Assaad Saoud; Hassan Harajli; Rima Manneh; (December, 2021). “Cradle-to-grave life cycle assessment of an air to water heat pump: Case study for the Lebanese context and comparison with solar and conventional electric water heaters for residential application”, Volume 44. doi: [10.1016/j.jobe.2021.103253](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103253)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221011116>

10. Βιβλιογραφία σχημάτων

- [1] «<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11804/htm>».
- [2] «<https://www.planete-energies.com/en/medias/infographics/world-energy-mix-1990-2035-2degc-target>».
- [3] «<https://www.weforum.org/agenda/2017/09/these-3-maps-show-whats-powering-the-world>».
- [4] «<https://yourairexperts.com/article/whats-efficient-heating-system-homes-needs>».
- [5] «<https://www.enkas.gr/drastiriotites/anakoinoseis/89-analysi-kyklou-zois-kai-energeiaki-simanski-koufomaton>».
- [6] «<https://www.quora.com/What-does-The-Koppen-Climate-Classification-System-look-like-in-a-century>».
- [7] «<https://www.roadmap2050.eu/attachments/files/EnergySavings2020-FullReport.pdf>».
- [8] «<https://www.yourhome.gov.au/materials/embodied-energy>».
- [9] «<https://www.qssupplies.co.uk/roman-heating-systems.htm>».
- [10] «<https://insteading.com/blog/masonry-heaters-with-ovens/>».
- [11] «<https://greenbusinesswatch.co.uk/how-does-an-air-source-heat-pump-actually-work>».
- [12] «<https://mechanicalboost.com/>».
- [13] «<https://www.petro.com/resource-center/hvac-packaged-unit-vs-split-system>».
- [14] «https://www.viessmann.com.tr/tr/blog/su_kaynakli_bir_isi_pompasi_nasil_calisir.html».
- [15] «<https://dandelionenergy.com/resources/water-air-heat-pump>».
- [16] «https://www.researchgate.net/figure/P-h-diagram-for-R410A-with-single-port-flash-tank-vapor-injection-system_fig5_298807476».
- [17] «<https://www.geoexchange.org/geothermal-101/>».
- [18] «<https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>».
- [19] «https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-solar-heat-pump-system_fig2_276097115».
- [20] «<https://www.ukalternativeenergy.co.uk/projects/ashp-solar-pv-battery-storage-beeston/>».
- [21] «https://www.researchgate.net/figure/Hybrid-gas-heat-pump-system-schematic_fig2_335138049».

-
- [22] «https://mmc.bg/en_Hybrid-Altherma-heat-pump-by-MMC-Inc-pid71.html».
- [23] «<https://www.hvacinvestigators.com/webinars/boiler-claims-101-the-basics-of-a-residential-boiler/>».
- [24] «<http://www.aimradiantheating.com/store/PanelRadiators.html>».
- [25] «<https://www.barilga.mn/n/12897/>».
- [26] «<https://www.boilerguide.co.uk/articles/gas-boiler>».
- [27] «<https://www.commtank.com/services/oil-tank-replacement/>».
- [28] «https://www.wikiwand.com/en/Pellet_boiler».
- [29] «<http://www.greenheatpod.com/wood-pellet-boilers>».
- [30] «<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/02/pros-and-cons-of-wood-pellet-boiler>».
- [31] «<https://www.which.co.uk/reviews/solar-panels/article/solar-water-heating-with-solar-thermal-panels-aFNiM0I472jL>».
- [32] «<https://panneau-solaire.ooreka.fr/comprendre/comparatif-panneaux-solaires>».
- [33] «<http://detepa.gr/texnika-stoixeia/>».
- [34] «<https://www.engie.com/en/businesses/district-heating-cooling-systems>».
- [35] «<https://www.pipelife.com/buildings/heating-and-cooling/district-heating-and-cooling.html>».
- [36] «https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Generations_of_district_heating_systems_EN.svg».
- [37] «<https://adgeo.copernicus.org/articles/49/129/2019/>».
- [38] «<https://www.iea.org/reports/system-integration-of-renewables-in-moldova-a-roadmap/mapping-a-pathway-towards-system-integration-of-renewables-in-moldova>».
- [39] «<https://www.iea.org/articles/heat-pumps-in-district-heating-and-cooling-systems>».
- [40] «<https://e-ptolemeos.gr/tilethermansiptolema-das-pos-to-kain/>».
- [41] «<https://fireplaceuniverse.com/how-to-use-a-fireplace/>».
- [42] «https://www.stovesonline.co.uk/wood_burning_stoves/Pellet-stoves.html».
- [43] M. Mahmoud, M. Ramadan, S. Naher, K. Pullen και A.-G. O. Olabi, «The impacts of different heating systems on the environment: A review,» April 2021.
- [44] «<https://canvas.jmu.edu/courses/1847082/pages/10-dot-2-life-cycle-thinking>».
-

- [45] «<https://ecochain.com/hub/life-cycle-assessment-hub/>».
- [46] «<https://docplayer.gr/71254466-l-analysi-kykloy-zois-lca-i-akz.html>».
- [47] «<https://www.nuffieldtrust.org.uk/resource/using-dalys-to-understand-young-people-s-health>».
- [48] «https://www.daikin.gr/el_gr/products/ehobg-a.html».
- [49] «<https://eshop.krinisa.gr/en/>».
- [50] «<https://www.charakidas-store.gr/ell/product/Soma-distilo-905-me-16-fetes>».
- [51] «<https://www.wealdenheartwood.co.uk/category/woodland/woodland-management/coppicing/cleft-wood-coppicing/>».
- [52] «<https://www.starfire.gr/en/heating-air-conditioning-solutions/pellet-boilers/pellets-boilers-palazzetti/JP-14-levitas-caldaia-pellet-palazzetti>».
- [53] «<https://rtb-uk.co.uk/product/vacuum-motor-600w/>».
- [54] «<https://papagiannis.gr/ecodan-compact-inverter-monoblock-puhz-w-112vaa-hydrobox-ehpx-vm2c-antlia-thermotitas-aera-nerou-psuksi-10kw-thermans-11.2kw-r410a-monofasiki.html>».