

Οδηγός Ενεργειακών Ελέγχων
σε κτίρια, βιομηχανία και μεταφορές

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Αθήνα, Ιανουάριος 2017 (Αναθ. 2)

Πίνακας περιεχομένων

Παράρτημα 1: Βασικές αρχές των ισοζυγίων ενέργειας	219
1.1 Η διατήρηση της μηχανικής ενέργειας δια μία μάζα αναφοράς m	219
1.2 Το 1ο Θερμοδυναμικό αξίωμα και η διατήρηση της θερμικής ενέργειας	220
1.2.1 Κλειστά συστήματα	220
1.2.2 Ανοιχτά συστήματα	221
1.3 Εφαρμογές	222
1.3.1 Εναλλάκτες θερμότητας	222
1.3.2 Λέβητας παραγωγής ζεστού νερού σε μόνιμη κατάσταση	222
1.3.3 Αντλία δια την κίνηση ρευστού	223
1.3.4 Θέρμανση ζεστού νερού σε ηλεκτρικό ταχυθερμοσίφωνα	223
Παράρτημα 2: Στοιχεία μετάδοσης θερμότητας	224
2.1 Μετάδοση θερμότητας με αγωγή	224
2.2 Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή	224
2.2.1 Συντελεστές συναγωγής σε εξαναγκασμένη κυκλοφορία	225
2.2.2 Συντελεστές συναγωγής σε φυσική κυκλοφορία	226
2.2.3 Συναγωγή σε επιφάνειες κτιρίων	226
2.3 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία	226
2.3.1 Γενικά	226
2.3.2 Θερμική αντίσταση μετάβαση θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία	227
2.3.3 Ολικός συντελεστή θερμοπερατότητας U σε διαδοχικές στρώσεις υλικών	228
2.3.4 Οι γραμμικές απώλειες θερμότητας σε σωλήνες	230
2.4 Βιβλιογραφία	233
Παράρτημα 3: Εποχιακός βαθμός απόδοσης συμβατικών λέβητων	234
3.1 Γενικά	234
3.2 Η εκτίμηση του μέσου συντελεστή μερικού φορτίου ϕ	234
3.2.1 Μέθοδος καταναλώσεως καυσίμου	234
3.2.2 Μέθοδος ωρομετρήσεως λειτουργίας καυστήρα	235
3.3 Μέθοδος περιοδικότητας λέβητα (boiler cycling)	235
3.3.1 Παρουσίαση της μεθόδου	235
3.3.2 Αριθμητική εφαρμογή	236
3.4 Μεθοδολογία υπολογισμού απωλειών καυσαερίων	236
3.4.1 Γενικά	236
3.4.2 Η καύση και η περίσσεια αέρα	236
3.4.3 Οι θερμικές απώλειες των καυσαερίων	238
3.5 Θερμικές απώλειες κελύφους του λέβητα	241
3.6 Απώλειες καμινάδας με καυστήρα εκτός λειτουργίας	243
3.6.1 Μετρητική μέθοδος	243
3.7 Εποχιακός βαθμός απόδοσης λέβητα	245
3.7.1 Παράδειγμα υπολογισμού	245
1.1.1 Υπερδιαστασιολόγηση και μέσο εποχιακό φορτίο λειτουργίας λέβητα	245
3.8 Κανονισμοί επισήμανσης και ελάχιστης απόδοσης	245
3.8.1 Επισήμανση της κατανάλωσης ενέργειας	245
3.8.2 Εποχιακός βαθμός απόδοσης	246
3.8.3 Η Οδηγία για τον οικολογικό σχεδιασμό	247
3.9 Λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών και συμπύκνωσης	247
3.9.1 Γενικά	247
3.9.2 Οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών	248
3.9.3 Λέβητες συμπύκνωσης	249
Παράρτημα 4: Εποχιακός βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας	250
4.1 Γενικά	250
4.2 Μέτρηση του βαθμού απόδοσης Αντλίας Θερμότητας (ΑΘ) κατά την ψύξη	251
4.2.1 Λειτουργία τυπικής διάταξης ΑΘ	251
4.2.2 Ο θερμοδυναμικός κύκλος	252
4.2.3 Εφαρμογή	254
4.2.4 Εκτίμηση απόδοσης ΑΘ σταθερών στροφών υπό μερικό φορτίο (διακοπτόμενη λειτουργία)	255
4.2.5 Εκτίμηση εποχιακού βαθμού απόδοσης	256

4.3	Μέτρηση του βαθμού απόδοσης Αντλίας Θερμότητας (ΑΘ) κατά την θέρμανση	258
4.3.1	Λειτουργία τυπικής διάταξης ΑΘ	258
4.3.2	Ο εποχιακός βαθμός απόδοσης υφιστάμενων ΑΘ σταθερών στροφών	258
4.4	Οι Ευρωπαϊκές απαιτήσεις «οικολογικού σχεδιασμού» δια τις νέες ΑΘ.....	260
4.4.1	Γενικά	260
4.4.2	Η υποχρεωτική επισήμανση των ΑΘ του Κανονισμού (ΕΕ) 626/2011	261
4.4.3	Απαιτήσεις εποχιακής απόδοσης ΑΘ για την ψύξη/κλιματισμό	262
4.5	Οι προδιαγραφές της Eurovent για μεγάλα κλιματιστικά και αντλίες θερμότητας	262
Παράρτημα 5: Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ)		264
5.1	Οι προβλέψεις του νόμου 4342/2015.	264
5.1.1	Γενικά	264
5.1.2	Οι τεχνολογίες ΣΗΘ.....	264
5.2	Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας υψηλής απόδοσης ΣΗΘΥΑ	265
5.2.1	Γενικά	265
5.2.2	Οι τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης για την χωριστή παραγωγή	266
5.2.3	Ο χάρτης τεχνολογιών ΣΗΘ υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).....	267
5.2.4	Σύγκριση συμπαραγωγής ΣΥΘΗΑ με αντλία θερμότητας ως τεχνολογία χωριστής θέρμανσης	268
5.3	Εναλλακτικός υπολογισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ	269
5.3.1	Οι διατάξεις του Παραρτήματος Ι του νόμου 4342/2015.....	269
5.3.2	Διατάξεις ΣΗΘ με βοηθητική μη συμπαραγωγική θερμότητα	270
5.3.3	Διατάξεις συμπαραγωγής με συμπληρωματική συμπαραγωγική θερμότητα.....	271
5.3.4	Διάταξη συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης/συμπύκνωσης ατμού	274
5.3.5	Ο έλεγχος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας.....	275
5.3.6	Μεθοδολογικές παρατηρήσεις	275
5.4	Βιώσιμες εφαρμογές ΣΗΘ	277
5.4.1	Γενικά	277
5.4.2	Επέκταση θερμικών φορτίων το θέρος : Ψύξη με παροχή θερμότητας σε ψύκτες απορρόφησης	278
5.4.3	Το θεσμικό πλαίσιο για την στήριξη της ΣΗΘΥΑ με φυσικό αέριο	278
5.4.4	Το θεσμικό πλαίσιο για την στήριξη της ηλεκτροπαραγωγής με βιομάζα	282
5.4.5	Μονάδες καύσης βιομάζας με Οργανικό Κύκλο Ράνκιν	283
5.4.6	ΣΗΘ με αεριοποίηση βιομάζας	285
5.5	Υπολογισμός PES_{εμ} ΣΗΘΥΑ για ψυκτικά φορτία	287
5.5.1	Γενικά	287
5.5.2	Περίπτωση συμπαραγωγικής ψύξης μόνο	287
5.5.3	Περίπτωση συμπαραγωγικής ψύξης και θέρμανσης.....	288
Παράρτημα 6: Ηλιοθερμικά συστήματα		290
6.1	Ηλιακά συστήματα για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.....	290
6.1.1	Τα θερμοσιφωνικά ηλιακά	290
6.1.2	Τα κεντρικά ηλιακά συστήματα.....	290
6.2	Οι ηλιακοί συλλέκτες	291
6.2.1	Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών	291
6.2.2	Τύποι ηλιακών συλλεκτών	293
6.3	Ηλιοθερμικά συνδυασμένης παραγωγής νερού θέρμανσης και ΖΝΧ	294
6.3.1	Γενικά	294
6.3.2	Τύποι Αμφιθερμικών Συστημάτων (Combi)	295
6.3.3	Σύστημα Α : δοχείο στο δοχείο	296
6.3.4	Σύστημα Β : Εμβαπτισμένος εναλλάκτης ΖΝΧ	297
6.3.5	Σύστημα Γ : Εξωτερικός εναλλάκτης ΖΝΧ.....	298
6.3.6	Ο ελεγκτής του ηλιοθερμικού συστήματος.....	299
6.3.7	Γενική περιγραφή συστήματος με ηλιοαμφιθερμικά.....	299
6.4	Το ποσοστό κάλυψης των θερμικών φορτίων : η μέθοδος SFC.....	301
6.4.1	Γενικά	301
6.4.2	Η παράμετρος ΚΗΚ.....	301
6.4.3	Η εκτίμηση του συντελεστή κάλυψης f.....	303
6.5	Ενεργειακή ανάλυση του ηλιοαμφιθερμικού συστήματος	305
6.5.1	Μεθοδολογία υπολογισμού.....	305
6.5.2	Δεδομένα υπολογισμού	306
6.6	Εφαρμογή στον οικιακό τομέα	307
6.6.1	Τα δεδομένα του υπολογισμού	307

6.6.2	Τα αποτελέσματα της ενεργειακής ανάλυσης	308
6.7	Το υποδειγματικό έργο ηλιοθερμίας στο Γενικό Νοσοκομείο Καλαμάτας	309
6.7.1	Γενικά	309
6.7.2	Ηλιοθερμικό σύστημα	309
6.7.3	Η καινοτομία του έργου	311
Παράρτημα 7: Εκτιμήσεις ενεργειακών παραμέτρων		312
7.1	Εκτίμηση ενεργειακών παραμέτρων και μετρήσεις	312
7.1.1	Εισαγωγή	312
7.1.2	Μεθοδολογία εκτίμησης παραμέτρων	312
7.1.3	Ο προσδιορισμός των ενεργειακών παραμέτρων και δεικτών	312
Παράρτημα 8: Ναυτιλία		334
8.1	Νομικές απαιτήσεις	334
8.2	Ορισμοί	335
8.3	Μεθοδολογία προσδιορισμού των εκπομπών CO₂	340
8.4	Τρόποι παρακολούθησης του μεταφορικού έργου και της κατανάλωσης καυσίμων	341
8.4.1	Παρακολούθηση ανά πλοίο	341
8.4.2	Παρακολούθηση ανά έτος	342
8.5	Διαχείριση δεδομένων και έλεγχοι	343
8.5.1	Διαδικασίες επαλήθευσης	343
8.5.2	Διαπίστευση & υποχρεώσεις ελεγκτών	343
8.5.3	Διαχείριση δεδομένων	344
8.6	Τεχνολογίες που προωθούν την ενεργειακή αποδοτικότητα στα πλοία	347
Παράρτημα 9: Θέρμανση με Βιομάζα		349
9.1	Γενικά	349
1.1	Βιομάζα - Πιλίδες (pellets) – Ξυλίδες (wood chips)	349
1.2	Θερμογόνο δύναμη Βιομάζας – Υπολογισμός Ποσότητας	350
9.1.1	Περιεκτικότητα υγρασίας στη βιομάζα	350
1.3	Καύση, Βαθμιαία απόδοσης Λεβήτων Βιομάζας	353
1.4	Οικονομία της Βιομάζας	355
Παράρτημα 10: Αξιολόγηση επεμβάσεων θερμομόνωσης		357
10.1	Εισαγωγή	357
10.2	Οι θερμικές απώλειες κτιρίου	358
10.3	Υπολογισμός ετήσιων απωλειών θερμότητας κατά την περίοδο θέρμανσης	359
10.3.1	Οι μέθοδοι των βαθμοημερών θέρμανσης	359
10.3.2	Απώλειες θερμότητας λόγω αερισμού	360
10.3.3	Συνολικές ετήσιες θερμικές απώλειες κτιρίου	362
10.4	Εσωτερικά και ηλιακά θερμικά κέρδη	363
10.4.1	Γενικά	363
10.4.2	Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη	363
10.4.3	Τα ηλιακά θερμικά κέρδη	363
10.4.4	Θερμική αδράνεια κτιρίου και χρησιμοποίηση κερδών	364
10.5	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας με θερμομόνωση αδιαφανών στοιχείων	366
10.5.1	Γενικά	366
10.5.2	Ενεργειακή θωράκιση και η συμβολή των ηλιακών κερδών	367
10.5.3	Θερμομόνωση τοίχων και στεγών	368
10.5.4	Αντικατάσταση κουφωμάτων	369
10.5.5	Αεροστεγάνωση παλαιών κτιρίων και μείωση αθέλητου αερισμού	369
10.6	Ζήτηση για ζεστό νερό χρήσης (ZNX)	370
10.7	Βιβλιογραφία	371
Προσθήκη I. Ενδεικτικό βιβλίο εργασίας σε excel «Εργαλείο Ενεργειακών Ελέγχων»		
Προσθήκη II. Ενδεικτικό βιβλίο εργασίας σε excel «LCCA παράδειγμα»		
Προσθήκη III. Ενδεικτικό βιβλίο εργασίας σε excel «Gap Analysis παράδειγμα»		

Παράρτημα 1: Βασικές αρχές των ισοζυγίων ενέργειας

1.1 Η διατήρηση της μηχανικής ενέργειας δια μία μάζα αναφοράς m

Από τον νόμο του Νεύτωνα και τις εξισώσεις κινηματικής γνωρίζουμε ότι για ένα υλικό σώμα μάζας m που εκτελεί μία κίνηση, όχι απαραίτητα γραμμική ισχύει ότι :

$$\sum \int \vec{F}_k \cdot d\vec{r} = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \quad (\text{A.1})$$

Η εξίσωση (A.1) συνιστά το θεώρημα της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας και δύναται να διατυπωθεί ως εξής : «*Η μεταβολή της κινητικής ενέργειας ενός σώματος μάζας m (ή γενικεύοντας ενός συστήματος σωμάτων) ισούται με το έργο όλων των δυνάμεων οι οποίες επενεργούν επί του σώματος (ή του συστήματος) αυτού*».

Σε περίπτωση όπου το βάρος του σώματος αποσπαστεί από το άθροισμα των δυνάμεων, τότε ολοκληρώνοντας την εξίσωση (A.1) προκύπτει:

$$mg(z_1 - z_2) + \sum \int \vec{F}_k \cdot d\vec{r} = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \quad (\text{A.2})$$

όπου z είναι το ύψος της θέσεως του σώματος. Συμβολίζοντας το έργο ως W_k το έργο των δυνάμεων πλην βαρύτητας και συγκεντρώνοντας όρους :

$$mgz_1 + \frac{1}{2} mv_1^2 + \sum W_k = mgz_2 + \frac{1}{2} mv_2^2 \quad (\text{A.3})$$

Με τον τύπο (A.3) διατυπώνεται το θεώρημα της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας στην γνωστή του μορφή. Σημειώνεται ότι το έργο W_k είναι θετικό όταν η γωνία ϕ μεταξύ της αντίστοιχης δύναμης και της μετατόπισης είναι οξεία (π.χ. μία ελκτική δύναμη πεδίου) ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι αρνητική (π.χ. μία δύναμη τριβής). Θετικό έργο δυνάμεως αυξάνει ενώ αρνητικό έργο μειώνει την κινητική ενέργεια ενός σωματιδίου.

Μία άλλη διατύπωση της εξίσωσης (A.3), δύναται να γίνει ως εξής :

$$M_2 - M_1 = \sum W_k \quad (\text{A.4})$$

όπου M παριστάνει την συνολική μηχανική ενέργεια ενός σώματος (δυναμική + κινητική) :

$$M = mgz + \frac{1}{2} mv^2 \quad (\text{A.5})$$

Ο τύπος A.4 αποτελεί μία εναλλακτική διατύπωση του θεωρήματος διατήρησης της ενέργειας υπό μορφή ανάλογη του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος και εκφράζει ότι «*η μεταβολή της μηχανικής ενέργειας ενός σώματος ισούται με το άθροισμα των του έργου των δυνάμεων οι οποίες αλληλεπιδρούν με αυτό*».

1.2 Το 1ο Θερμοδυναμικό αξίωμα και η διατήρηση της θερμικής ενέργειας

1.2.1 Κλειστά συστήματα

Η εξίσωση (A.4) δεν περιλαμβάνει όμως την εσωτερική ενέργεια U ή u (ανηγμένη ανά μονάδα μάζας : $u = U/m$). Η εσωτερική ενέργεια αποτελεί ένα είδος αποθηκευμένης θερμότητας στη μάζα ενός υλικού σώματος και σχετίζεται ευθέως με την θερμοκρασία T του σώματος αυτού.

Πρώτος ο JOULE διατύπωσε το νόμο της ισοδυναμίας θερμότητας και έργου με το ομώνυμο πείραμά του. Το πείραμα αυτό κατέληξε στην εξής σχέση ισοδυναμίας θερμότητας και έργου με τις τότε κυρίαρχες μονάδες μέτρησης καθ' ενός εξ' αυτών :

$$1 \text{ kcal (μονάδα θερμότητας)} = 4,187 \text{ kJ (μονάδα έργου)} \quad (\text{A.6})$$

όπου 1 kcal είναι η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας κατά 1 °C μίας ποσότητας καθαρού νερού μάζας 1kg ευρισκόμενου υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες (θερμοκρασία 15°C και πίεση ατμοσφαιρική).

Επομένως το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα δια ένα κλειστό σύστημα το οποίο δεν ανταλλάσσει μάζα με το περιβάλλον του, συνενώνει το έργο και την θερμική ενέργεια σε μία ενιαία διατηρητική εξίσωση της θερμικής ενέργειας ως εξής :

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q + W_Q \quad (\text{A.7})$$

όπου Q είναι η συναλλασσόμενη θερμότητα με το περιβάλλον (θετική όταν προσδίδεται στο κλειστό σύστημα) και W_Q είναι το έργο των δυνάμεων που ασκούνται επί της μάζας του κλειστού συστήματος και μετατρέπονται σε θερμότητα (θετικό όταν προσδίδεται). Η θερμότητα Q προσδίδεται ή αποδίδεται από το σώμα με τρεις κλασσικούς μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας :

- (α) Δια επαφής με άλλα στερεά σώματα και αγωγής θερμότητας (conduction)
- (β) Δια συναγωγής με περιρρέοντα ρευστά (convection)
- (γ) Δια ακτινοβολίας (radiation)

Κλασσική πηγή θερμότητας αποτελούν τα συμβατικά καύσιμα, ενώ μέρος της θερμότητας μπορεί να μεταφέρεται με υγρά ή αέρια μέσα (π.χ. θερμό νερό, θερμός αέρας, ατμός, καυσαέρια).

Για την εύρεση της διατηρητικής εξίσωσης της ολικής ενέργειας (μηχανικής + θερμικής) προσθέτονται κατά μέλη οι εξισώσεις (A.4) και (A.7) :

$$\Delta E = E_2 - E_1 = Q + W \quad (\text{A.8})$$

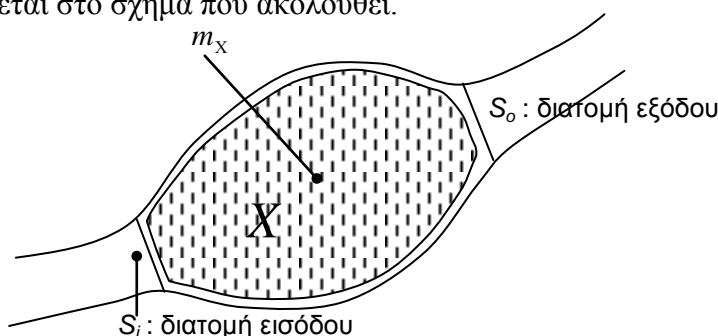
όπου E εκφράζει την ολική ενέργεια της μάζας αναφοράς m του κλειστού συστήματος:

$$E = U + M = mu + mgz + \frac{1}{2}mv^2 = me \quad (\text{A.9})$$

$$\text{καίειναι η ειδική ολική ενέργεια : } e = \frac{E}{m} = u + gz + \frac{1}{2}v^2 \quad (\text{A.10})$$

1.2.2 Ανοιχτά συστήματα

Ως ανοιχτά συστήματα ορίζονται εκείνα που συναλλάσσουν με το περιβάλλον όχι μόνο θερμότητα ή έργο αλλά και μάζα. Στην περίπτωση αυτή ομιλούμε για όγκο αναφοράς X όπως συμβολίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Τότε το 1^ο θερμοδυναμικό δια την ολική ενέργεια του όγκου αναφοράς X λαμβάνει την ακόλουθη μορφή :

$$\dot{Q} + \dot{W}_T + \sum_i (h + gz + \frac{1}{2}v^2)_i \dot{m}_i - \sum_o (h + gz + \frac{1}{2}v^2)_o \dot{m}_o = \frac{dE_X}{dt} \quad (\text{A.11})$$

- όπου Q είναι η συναλλασσόμενη θερμότητα με τον όγκο αναφοράς (kW),
- W_T είναι το συναλλασσόμενο τεχνικό έργο (π.χ. μία πτερωτή που προσδίδει κίνηση στο ρευστό) ή το έργο τριβών το οποίο μετατρέπεται σε θερμότητα (kW),
- ο δείκτης i συμβολίζει όλα τα εισερχόμενα ρεύματα στον όγκο αναφοράς
- ο δείκτης o συμβολίζει όλα τα εξερχόμενα ρεύματα στον όγκο αναφοράς
- h είναι η ενθαλπία του εισερχόμενου/εξερχόμενου ρευστού (kJ/kg) : h = u + pv όπου
- v = 1/ρ είναι ο ειδικός όγκος του ρευστού m³/kg (αντίστροφο της πυκνότητας ρ) και
- ḡ είναι η παροχή μάζας (kg/s) του ρεύματος εισόδου ή εξόδου και
- E_X είναι η συνολική ενέργεια του όγκου αναφοράς (kJ) η οποία δίδεται από τον τύπο:

$$E = m_x \left(u + gz + \frac{1}{2}v^2 \right) \quad (\text{A.12})$$

- m_x είναι η συνολική μάζα του όγκου αναφοράς (kg)

Εάν αγνοηθεί η μηχανική ενέργεια, όπως συμβαίνει συνήθως στην πράξη επειδή είναι συγκριτικά μικρή, τότε η εξίσωση A.11 γράφεται :

$$\dot{Q} + \dot{W}_T + \sum_i h_i \dot{m}_i - \sum_o h_o \dot{m}_o = \frac{dU_X}{dt} \quad (\text{A.13})$$

Για μόνιμες καταστάσεις, δηλαδή για καταστάσεις χωρίς μεταβατικά φαινόμενα η A.13 απλοποιείται περαιτέρω:

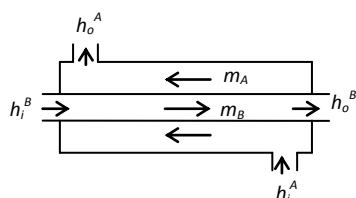
$$\dot{Q} + \dot{W}_T + \sum_i h_i \dot{m}_i - \sum_o h_o \dot{m}_o = 0 \quad (\text{A.14})$$

Η A.14 είναι η συνήθης εξίσωση που εφαρμόζεται στην πράξη για τα ανοιχτά συστήματα, τα οποία καλύπτουν επίσης και το 95% των εξεταζομένων συστημάτων ενδιαφέροντος.

1.3 Εφαρμογές

1.3.1 Εναλλάκτης θερμότητας

Σε ένα εναλλάκτη όπου το ψυχόμενο θερμό ρεύμα συμβολίζεται με A και το θερμαινόμενο ψυχρό ρεύμα με B, εξίσωση ενέργειας A.14 για το κάθε ρεύμα και για τα δύο μαζί γράφεται :



$$\dot{Q} + (h_i^B - h_o^B) \dot{m}_B = 0$$

$$-\dot{Q} + (h_i^A - h_o^A) \dot{m}_A = 0$$

$$\text{και } (h_o^B - h_i^B) \dot{m}_B = (h_i^A - h_o^A) \dot{m}_A$$

όπου Q είναι η συναλασσόμενη ενέργεια μεταξύ των δύο ρευμάτων. Γίνεται η υπόθεση ότι οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον είναι μηδενικές.

1.3.2 Λέβητας παραγωγής ζεστού νερού σε μόνιμη κατάσταση

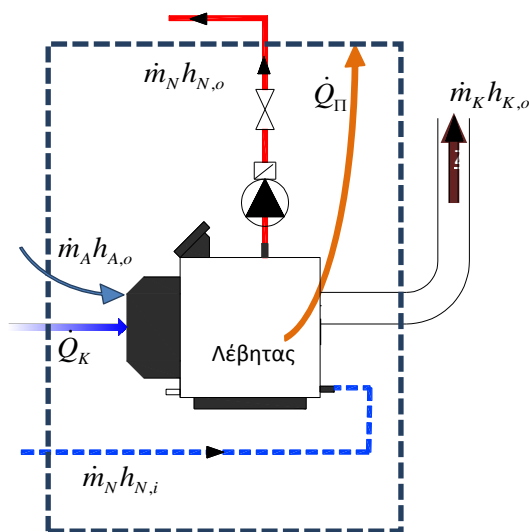
Εφαρμόζοντας την εξίσωση A.14 και αγνοώντας το μηχανικό έργο της περωτής του καυστήρα W_T , το ισοζύγιο ενέργειας προκύπτει ως εξής:

$$\dot{Q}_K = + \sum_o h_o \dot{m}_o - \sum_i h_i \dot{m}_i + \dot{Q}_{\Pi} = \dot{m}_N (h_{N,o} - h_{N,i}) + \dot{m}_K h_{K,o} - \dot{m}_A h_{A,i} + \dot{Q}_{\Pi} \quad (\text{A.14})$$

που \dot{Q}_K είναι η προσδιδόμενη θερμότητα από την καύση του καυσίμου, Q_{Π} είναι οι απώλειες περιβλήματος του λέβητα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας (βλέπε Παράρτημα 2), οι δείκτες N σημαίνουν το θερμαινόμενο νερό, δείκτης K συμβολίζει τα εξερχόμενα καυσαέρια και δείκτης A τον εισερχόμενο αέρα της καύσεως. Εις το Σχήμα A.1 δίδεται γραφικά το ισοζύγιο ενέργειας σε ένα λέβητα γύρω από ένα νοητό όριο που περιβάλλει τον λέβητα (διακεκομμένη γραμμή).

Η προσδιδόμενη θερμότητα συνήθως υπολογίζεται από τον τύπο: $\dot{Q}_K = \dot{m} \cdot (\text{ΚΘΔ})$. Επομένως από την εξίσωση A.14 μπορεί να προσδιοριστεί η απαιτούμενη παροχή καυσίμου με γνωστή την Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη (ΚΘΔ).

Σχήμα A.1 : Ισοζύγιο ενέργειας σε λέβητα



1.3.3 Αντλία δια την κίνηση ρευστού



Εφαρμόζοντας την εξίσωση A.11 σε μόνιμη κατάσταση προκύπτει ότι :

$$\cancel{Q} + \dot{W}_T + \sum_i \cancel{(h + gz + \frac{1}{2}v^2)}_i \dot{m}_i - \sum_o \cancel{(h + gz + \frac{1}{2}v^2)}_o \dot{m}_o = \cancel{\frac{dE_x}{dt}} \implies W_T = \dot{m}(h_o - h_i)$$

Αντικαθιστώντας τον ορισμό της ενθαλπίας $h = u + pv$ και επειδή το ρευστό θεωρείται ασυμπίεστο ($v = 1/\rho = \text{σταθερό}$) και ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας (άρα και της εσωτερικής ενέργειας u) είναι ασήμαντη κατά την διάρκεια της συμπίεσης τότε:

$$W_T = \frac{\dot{m}}{\rho}(p_o - p_i) = \dot{V}(p_o - p_i) \text{ όπου } \dot{V} \text{ είναι ο ογκομετρική παροχή,}$$

δηλαδή το απαιτούμενο έργο της αντλίας είναι ανάλογο της αύξησης Δp της αντλίας.

1.3.4 Θέρμανση ζεστού νερού σε ηλεκτρικό ταχυθερμοσίφωνα

Έστω ηλεκτρικός ταχυθερμοσίφωνα νερού ο οποίος θερμαίνει μία παροχή νερού $m = 10$ λίτρα/μίν από τους 15°C στους 45°C . Αγνοώντας τις απώλειες θερμότητας, η απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας Q δια την θέρμανση του νερού υπολογίζεται ως :

$$\dot{Q}_K = h_o \dot{m} - h_i \dot{m} = \dot{m}(h_o - h_i) = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (\text{A.14})$$

διότι η ενθαλπία h για τα στερεά και τα υγρά καθώς και τα αέρια ε χαμηλή πίεση λαμβάνεται ίση με : $h = c_p T$ όπου c_{op} είναι η θερμοχωρητικότητα (σε $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$) και T η θερμοκρασία (σε $^\circ\text{C}$). Για c_p νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες περίπου ίσο με $4,187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ και πυκνότητα νερού $\rho = 1 \text{ kg/λίτρο}$, τότε :

$$\dot{Q}_K = (10 \text{ λίτρα/μίν}) (1 \text{ kg/λίτρο}) (1/60 \text{ min/s}) 4,187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (30^\circ\text{C}) = 20,9 \text{ kW}$$

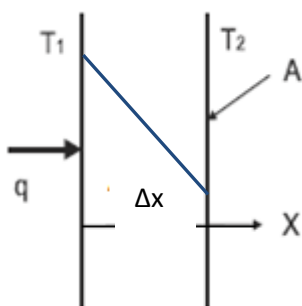
Παράρτημα 2: Στοιχεία μετάδοσης θερμότητας

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας πρέπει πρώτα να παρουσιαστούν μερικές βασικές γνώσεις για την μετάδοση θερμότητας.

2.1 Μετάδοση θερμότητας με αγωγή

Η ροή θερμότητας \dot{q} (W/m^2) μέσω μίας πλάκας, γίνεται με τον νόμο του Φουριέ :

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\lambda}{\Delta x} (T_1 - T_2) \quad (\text{B.1})$$



ήτοι η ροή θερμότητας είναι ανάλογη προς την θερμική αγωγιμότητα του υλικού λ σε $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ και αντιστρόφως ανάλογη με το πάχος της οριζόντιας πλάκας Δx (m)

Η θερμική αγωγιμότητα είναι υψηλή στα υλικά τα οποία αποκαλούνται «θερμικά αγωγιμα», όπως είναι τα μέταλλα και είναι χαμηλή στα υλικά που αποκαλούνται «θερμομονωτικά».

Σε ένα υλικό ομοιογενές, η αγωγιμότητα λ είναι σταθερή. Η εξίσωση B.2 δύναται να γραφεί ως :

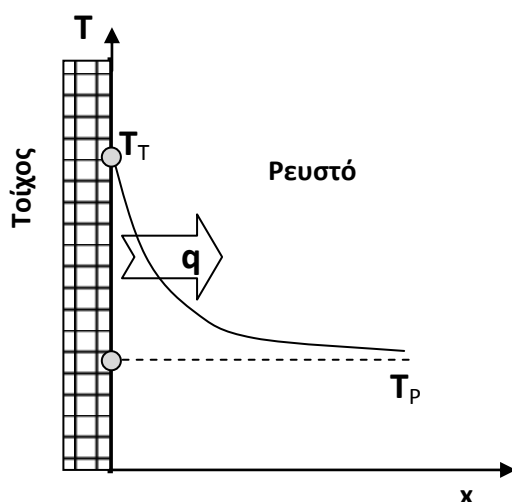
$$\dot{q} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{B.2})$$

Όπου $\Delta T = T_1 - T_2$ (βλέπε σχήμα) και Δx το πάχος του υλικού που αντιστοιχεί στην θερμοκρασιακή μεταβολή ΔT .

Ο ανωτέρω νόμος της εξίσωσης B.2 δύναται να γραφεί κατ' αναλογία με τον νόμο του Ωμ για το συνεχές ρεύμα : πτώση τάσεως (ΔV) = ένταση ρεύματος (I) x Αντίσταση (R) ως ακολούθως :

$$\Delta T = -\dot{q} \frac{\Delta x}{\lambda} = -\dot{q} R \quad (\text{B.3})$$

όπου το R καλείται θερμική αντίσταση και είναι το αντίστροφο της θερμοπερατότητας αγωγής: $R = 1/U_A$ όπου $U_A = \lambda/\Delta x$ η θερμοπερατότητα αγωγής.



2.2 Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή

Η περίπτωση της συναγωγής αφορά την περίπτωση μεταφοράς θερμότητας από ένα στερεό σώμα προς ένα ρευστό σώμα (υγρό ή αέριο) και αντιστρόφως. Όταν ένα ρευστό μέσο (π.χ. αέρας περιβάλλοντος) θερμοκρασίας T_P έρχεται σε επαφή με στερεό μέσο (π.χ. τοίχο) θερμοκρασίας T_T και εάν $T_T > T_P$, τότε θα αρχίσει αμέσως μία μεταφορά θερμότητας q από τον τοίχο προς τον ρευστό. Η θερμοκρασία του ρευστού

πλησίον του τοίχου, θα αρχίσει να μεταβάλλεται σταδιακά από T_P σε T_T .

Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας q είναι ανάλογος της διαφοράς θερμοκρασίας :

$$\dot{q} = \dot{Q} / A = h (T_T - T_P) \quad (\text{B.4})$$

Ο συντελεστής αναλογίας h καλείται συντελεστής συναγωγής και έχει μονάδες $W/(m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται κυρίως από την κίνηση αλλά και την μέση θερμοκρασία του ρευστού πλησίον του τοίχου η οποία λαμβάνεται προσεγγιστικά ίση με $(T_P + T_T)/2$.

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις κίνησης του ρευστού :

α) Η φυσική κυκλοφορία, κατά την οποία ενώ μακριά από τον τοίχο το ρευστό είναι στάσιμο, πλησίον του τοίχου κινείται ελαφρώς προς τα πάνω όταν $T_T > T_P$ λόγω φαινομένων θερμικής άνωσης, ή προς τα κάτω όταν $T_T < T_P$ και το ρευστό ψύχεται από τον τοίχο και κρυσταλλώνει και βαραίνει, διότι η πυκνότητα ενός ρευστού αυξάνει όσο μειώνεται η θερμοκρασία του.

β) Η εξαναγκασμένη κυκλοφορία, κατά την οποία το ρευστό κινείται λόγω εξωτερικών διαφορών πίεσεως.

2.2.1 Συντελεστές συναγωγής σε εξαναγκασμένη κυκλοφορία

Στρωτή ροή

Όταν οι ταχύτητες V του ρευστού είναι χαμηλές, ο συντελεστής συναγωγής πάνω από επίπεδες πλάκες δύναται να υπολογιστεί από τον τύπο :

Για τον αέρα
$$h = 4,0 \left(\frac{V}{L} \right)^{0,5} \quad (\text{B.5})$$

Για τον νερό
$$h = 72,1 \left(\frac{V}{L} \right)^{0,5} \quad (\text{B.6})$$

Όπου V είναι η ταχύτητα του ρευστού (m/s) και L είναι το διανυόμενο μήκος του ρευστού πάνω από την πλάκα (m).

Τυρβώδης ροή

Στην περίπτωση όπου οι ταχύτητες του ρευστού είναι μεγάλες, τότε αναπτύσσονται εντός της ροής δίνες και στρόβιλοι, και η ροή καλείται τυρβώδης. Το κριτήριο ότι η ροή περίξ μίας πλάκας είναι τυρβώδης δίδεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

Για τον αέρα
$$V \cdot L \geq 4,6 \text{ m}^2/\text{s}$$

Για τον νερό
$$V \cdot L \geq 0,36 \text{ m}^2/\text{s}$$

Για την τυρβώδη ροή, οι συντελεστές συναγωγής δύναται να ληφθούν ως εξής:

Για τον αέρα
$$h = 6,37 \frac{V^{0,8}}{L^{0,2}} \quad (\text{B.7})$$

Για τον νερό
$$h = 245,5 \frac{V^{0,8}}{L^{0,2}} \quad (\text{B.8})$$

2.2.2 Συντελεστές συναγωγής σε φυσική κυκλοφορία

Στρωτή ροή

Η φυσική κυκλοφορία προκαλείται αποκλειστικά από τις δυνάμεις ανώσεως στα θερμότερα τμήματα του ρευστού.

Στρωτή ροή παρατηρείται όταν : $\Delta T \cdot L^3 < 15 \text{ }^\circ\text{C m}^3$. Τότε ο συντελεστής συναγωγής για τον αέρα εκτιμάται ως :

$$\text{Για τον αέρα} \quad h = 1,64 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4} \quad (\text{B.9})$$

Όπου V είναι η ταχύτητα του ρευστού (m/s) και L είναι το διανυόμενο μήκος του ρευστού πάνω από την πλάκα (m).

Τυρβώδης ροή

Τυρβώδης ροή παρατηρείται όταν : $\Delta T \cdot L^3 > 15 \text{ }^\circ\text{C m}^3$. Τότε ο συντελεστής συναγωγής για τον αέρα εκτιμάται ως :

$$\text{Για τον αέρα} \quad h = 4,6 (\Delta T)^{1/3} \quad (\text{B.10})$$

2.2.3 Συναγωγή σε επιφάνειες κτιρίων

Στην περίπτωση κτιρίων, ο εξωτερικός αέρας κινείται λόγω διαφορών βαρομετρικών πιέσεων με πιέσεων, ενώ ο εσωτερικός είναι σε κατάσταση ηρεμίας. Έτσι ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας στο εξωτερικό ενός τοίχου h_a είναι της τάξεως των $20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C})$ έναντι $h_i = 3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C})$ στο εσωτερικό ενός τοίχου, εκεί που ο αέρας είναι στάσιμος.

Κατ' αναλογία με τον νόμο του Ωμ, η εξίσωση B.5 μπορεί να γραφεί ως :

$$(T_T - T_P) = \dot{q} / h = q \cdot R_\Sigma \quad (\text{B.11})$$

Όπου $R_\Sigma = 1/h$, είναι η αντίστοιχη θερμική αντίσταση συναγωγής

Παράδειγμα B.1: Ένας εξωτερικός τοίχος με θερμοκρασία 15°C μεταδίδει θερμότητα συναγωγής προς τον εξωτερικό αέρα θερμοκρασίας 5°C ίση με : $20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}) \times (15^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) = 200 \text{ W}/\text{m}^2$.

2.3 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

2.3.1 Γενικά

Όταν ένα σώμα είναι θερμό, τότε εκπέμπει θερμότητα προς το περιβάλλον του (τα γύρω σώματα, ή τον αέρα) με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία τόσο στην φάσμα ορατού φωτός με μήκη κύματος από $0,4$ έως $0,7 \mu\text{m}$, στο φάσμα της σχεδόν υπέρυθρης ακτινοβολίας (από $0,7$ έως $25 \mu\text{m}$) ή στην περιοχή της υπέρυθρης (25 έως $1000 \mu\text{m}$).

Όταν ένα σώμα είναι μαύρο καλείται μέλαν σώμα. Αυτό έχει την ιδιότητα να απορροφά όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνειά του, ανεξαρτήτως μήκους κύματος. Το μέλαν σώμα, για ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στην επιφάνειά του T , εκπέμπει θερμική ακτινοβολία, το μέτρο της οποίας για όλα τα εκπεμπόμενα μήκη κύματος εκτιμάται ως εξής :

$$q = Q/A = \sigma T^4 \quad (\text{B.12})$$

όπου η θερμοκρασία T δίδεται σε βαθμούς Κέλβιν :

$$T \text{ (Κέλβιν)} = T \text{ (Κελσίου)} + 273,15$$

και σ είναι ο συντελεστής Stefan Boltzman με τιμή $5,7 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$

Τα περισσότερα σώματα όταν εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία δεν συμπεριφέρονται ακριβώς ως μέλανα σώματα αλλά ως *φαιά σώματα (γκρίζα)* . Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση B.12 τροποποιείται με την εισαγωγή του συντελεστή εκπομπής ε :

$$q = Q/A = \varepsilon \sigma T^4 \quad (\text{B.13})$$

Στην οικοδομική πρακτική οι τιμές του ε κυμαίνονται για τον ασβέστη στους 0,93-0,97, για το κόκκινο οπτόπλινθο (τούβλο) 0,93, για το σκυρόδεμα (τσιμέντο) 0,94, για τον γύψο 0,8-0,9, για το μάρμαρο 0,93 – 0,95, για τις βαφές 0,8-0,95. Στην πράξη λαμβάνουμε 0,9 για συνήθεις δομικό υλικό, 0,8 για το γυαλί, 0,9 , για στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες και 0,2 για το γαρμπίλι.

Παράδειγμα B.2: Ένας εξωτερικός τοίχος τον χειμώνα με θερμοκρασία 10°C , εκπέμπει με ακτινοβολία θερμότητα προς το περιβάλλον ίση με : $0,9 (5,7 \times 10^{-8}) 283,15^4 = 329,75 \text{ W}/\text{m}^2$. Όπως θα εξηγηθεί στο επόμενο παράδειγμα, ο τοίχος εισπράττει θερμότητα από το περιβάλλον και επομένως οι καθαρές θερμικές απώλειες θα είναι κατά πολύ μικρότερες.

Δύο γειτονικά σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες, εκπέμπουν θερμότητα το ένα προς το άλλο με βάση τον νόμο B.8. Η καθαρή μετάδοση θερμότητας από μία θερμή πλάκα θερμοκρασίας T_1 (θερμό σώμα) προς μία ψυχρότερη παράλληλη πλάκα θερμοκρασίας T_2 , (ψυχρό σώμα) αποδεικνύεται ότι ισούται με :

$$\dot{Q}/A = \dot{q} \cong 4 \varepsilon \sigma T_M^3 (T_1 - T_2) = h_A (T_1 - T_2) \quad (\text{B.14})$$

όπου $T_M = (T_1+T_2)/2$ η μέση θερμοκρασία των πλακών και h_A είναι ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας με ακτινοβολία.

Παράδειγμα B.3: Ένας εξωτερικός τοίχος τον χειμώνα με εξωτερική θερμοκρασία 3°C μεταδίδει θερμότητα προς το εξωτερικό περιβάλλον θερμοκρασίας -3°C με μέση εξωτερική θερμοκρασία $T_M = 0^\circ\text{C} = 273,15^\circ\text{K}$. Ο ισοδύναμος συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δι' ακτινοβολίας προς το εξωτερικό περιβάλλον εκτιμάται προσεγγιστικά

$$h_{Aa} = 4 \sigma T_M^3 = 4 \times 5,7 \times 10^{-8} \times 273,15^3 = 4,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Αντίστοιχα για ένα εσωτερικό τοίχο με θερμοκρασία εσωτερικού αέρα στους 22°C και τοίχου στους 18°C , τότε $T_M = 20^\circ\text{C}$, και ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας ακτινοβολίας προκύπτει ως εξής :

$$h_{Ai} = 4 \sigma T_M^3 = 4 \times 5,7 \times 10^{-8} \times 293,15^3 = 5,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.3.2 Θερμική αντίσταση μετάβαση θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία

Με βάση τα ανωτέρω αποτελέσματα, ο συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία σε επίπεδες πλάκες υπολογίζεται ως εξής :

Συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας $h = h_{\text{συν}} + h_{\text{ακτ}}$

Η θερμική αντίσταση μετάβασης θερμότητας R ορίζεται ως $R = 1/h$.

Για τους κατακόρυφους τοίχους ενός κτιρίου, ο συντελεστής αντίστασης μετάβασης R :

Εξωτερικός τοίχος : $= 20 + (0,9) 4,6 = 24,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \rightarrow R = 0,041 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$

Εσωτερικός τοίχος : $= 2,5 + (0,9) 5,7 = 7,63 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \rightarrow R = 0,131 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$

Εις την πράξη τα φαινόμενα συναγωγής και ακτινοβολίας συνυπάρχουν πάντοτε και για τον λόγο αυτό δίδονται στα διεθνή πρότυπα οι ενιαίοι συντελεστές θερμική αντίστασης R για την μετάβαση της θερμότητας από ένα στερεό προς ένα ρευστό με συναγωγή και ακτινοβολία.

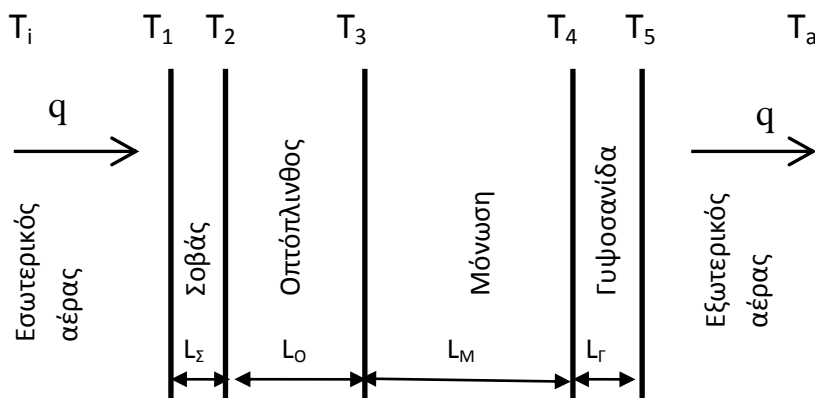
Στο πρότυπο ISO 6946 δίδονται οι ακόλουθες τιμές σχεδιασμού για τις ανωτέρω θερμικές αντιστάσεις επιφανειών :

Πίνακας Β.1 : Αντίσταση μετάβασης θερμότητας από τοίχο σε αέρα και αντιστροφή

Θερμική αντίσταση επιφανείας ($\text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$)	Κατεύθυνση ροής θερμότητας από το στερεό προς τον αέρα		
	Ροή προς τα επάνω – οριζόντια πλάκα	Οριζόντια ροή – κατακόρυφη πλάκα	Ροή προς τα κάτω – οριζόντια πλάκα
R_i (εσωτερικός τοίχος)	0,10	0,13	0,17
R_a (εξωτερικός τοίχος)	0,04	0,04	0,04

2.3.3 Ολικός συντελεστή θερμοπερατότητας U σε διαδοχικές στρώσεις υλικών

Ο νόμος του Φουριέ γενικεύεται ευθέως στην περίπτωση επίπεδης εν σειρά διάστρωσης υλικών, όπως αυτή του σχήματος που ακολουθεί. Στο σχήμα αυτό δίδονται οι θερμοκρασίες σε κάθε επιφάνεια των υλικών διάστρωσης και τα πάχη των υλικών διάστρωσης με το σύμβολο L . Θεωρείται ότι έκαστο υλικό είναι ομοιογενές ως προς την θερμική του αγωγιμότητα και ότι η ροή θερμότητας είναι απολύτως μονοδιάστατη, δηλαδή κινείται σε μία μόνο κατεύθυνση.



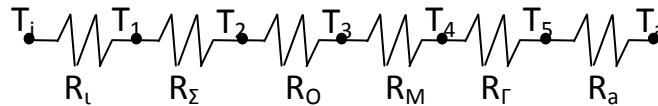
Στην περίπτωση λαμβάνοντας υπ' όψιν τις εξισώσεις 3 και 5 προκύπτει :

$$\begin{aligned} T_i - T_1 &= -q / h_i = -q \cdot R_i \\ T_1 - T_2 &= -q \cdot (L_\Sigma / \lambda_\Sigma) = -q \cdot R_\Sigma \\ T_2 - T_3 &= -q \cdot (L_O / \lambda_o) = -q \cdot R_O \\ T_3 - T_4 &= -q \cdot (L_M / \lambda_M) = -q \cdot R_M \\ T_4 - T_5 &= -q \cdot (L_\Gamma / \lambda_\Gamma) = -q \cdot R_\Gamma \\ T_5 - T_a &= -q / h_a = -q \cdot R_a \end{aligned}$$

Προσθέτοντας τις ανωτέρω εξισώσεις κατά μέλη προκύπτει ότι :

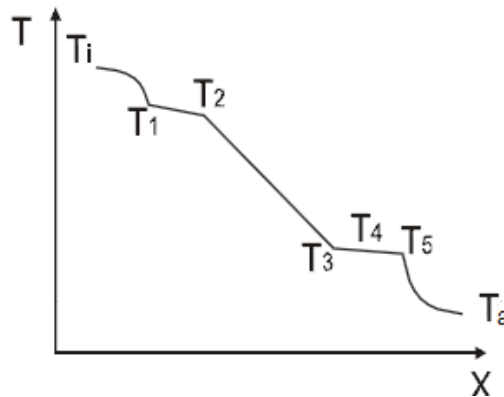
$$T_i - T_a = -q \cdot (R_i + R_\Sigma + R_O + R_M + R_\Gamma + R_a) = -q \cdot R_{o\lambda} \quad (\text{B.15})$$

Η υπολογιζόμενη ολική θερμική αντίσταση $R_{o\lambda}$ ισούται με το άθροισμα των εν σειρά αντιστάσεων σε ομοιογενείς στρώσεις :



$$R_{o\lambda} = R_i + R_\Sigma + R_o + R_M + R_\Gamma + R_a \quad (\text{B.16})$$

Σε σχηματική μορφή, η κατανομή των θερμοκρασιών στην περιοχή του εσωτερικού αέρα, του τοίχου και του εξωτερικού αέρα έχει ως εξής:



Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U ορίζεται ως :

$$U = 1 / R_{o\lambda} \text{ σε } \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}. \quad (\text{B.17})$$

Βάσει του συντελεστού αυτού, η εξίσωση B.15 γράφεται ως εξής :

$$q = U (T_i - T_a) \quad (\text{B.18})$$

Παράδειγμα Β.4: Δίδεται κατακόρυφος τοίχος ο οποίος περιλαμβάνει τις επίπεδες στρώσεις υλικών που δίδονται στην στήλη 1 του πίνακα που ακολουθεί. Στη στήλη 3 δίδεται το πάχος της κάθε στρώσης ενώ η αγωγιμότητα του υλικού κάθε στρώσης δίδεται στην στήλη 4. Στην στήλη 5 υπολογίζεται η θερμική αντίσταση Rκάθε στρώσης .

	1	2	3	4	5 = (3 / 4)
	Στρώσεις δομικού στοιχείου από μέσα προς τα έξω	Πυκνότητα	Πάχος d	Αγωγιμότητα λ	R
		kgf/m ³	m	W/(m °C)	m ² °C/W
1.	Επίχρισμα	1.800	0,025	0,870	0,029
2.	Οπτόπλινθοι διπλή σειρά (τούβλα)	1.500	0,180	0,510	0,353
A.	Πλάκες θερμομονωτικού υλικού	20	0,050	0,039	1,282
7.	Αντίσταση μετάβασης εσωτ. Ri				0,13
8.	Αντίσταση μετάβασης εξωτ Ra				0,040
	Σύνολο πάχους		0,255	Σύνολο R	1,834
	Συνολική θερμοπερατότητα U = 1/R = 0,554W/(m ² °C)				

Το άθροισμα όλων των αντιστάσεων υπολογίζεται σε 1,834 (m².°C)/W. Επομένως ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται ίσος με: U = 1/R = 1/1,804 = 0,545W/(m².°C).

Σημειώνεται ότι εάν ληφθεί μηδενικό πάχος μονωτικού υλικού και επαναληφθούν οι υπολογισμοί, τότε η τιμή του U γι' αυτόν τον αμόνωτο τοίχο προκύπτει 1,81W/(m².°C).

2.3.4 Οι γραμμικές απώλειες θερμότητας σε σωλήνες

Ένας θερμός σωλήνας με θερμοκρασία ανώτερη εκείνης του περιβάλλοντος αποβάλλει θερμότητα προς το περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία. Η θεωρία της μεταδόσεως θερμότητας σε κυλινδρικούς σωλήνες είναι ανάλογη με εκείνη για τις επίπεδες πλάκες στην παράγραφο 3.3.4. Οι απώλειες θερμότητας ανά τρέχον μέτρο σωλήνα είναι συνάρτηση της διαμέτρου του σωλήνα, του πάχους της μονώσεως εξωτερικά του σωλήνα και της θερμικής αγωγιμότητας του υλικού θερμομόνωσης του σωλήνα.

Ένας απλουστευμένος τύπος απωλειών θερμότητας ανά μήκος σωλήνα δίδεται από την σχέση :

$$U'_{\Sigma} = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_{\Sigma}} + \frac{1}{\alpha_{\Sigma} d_o}} \quad (\text{B.19})$$

όπου U_Σ: οι γραμμικές θερμικές απώλειες από τον σωλήνα σε W/(m.°C)

λ : η θερμική αγωγιμότητα του υλικού θερμομόνωσης του σωλήνα

d_o: η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα μαζί με την μόνωση

d_Σ : η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα χωρίς την μόνωση

α_{Σ} : ο συντελεστής συναγωγής-ακτινοβολίας θερμότητας του σωλήνα ο οποίος λαμβάνεται ίσος με $7 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ όταν έχει θερμομόνωση και $10 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ για την περίπτωση χωρίς θερμομόνωση

Μία ακριβέστερη απεικόνιση των απωλειών θερμότητας από θερμούς σωλήνες δίδεται στα Σχήματα B.1, B.2 και B.3. Τα Σχήματα αυτά έχουν κατασκευαστεί με υλικό θερμομόνωσης με αγωγιμότητα $0,04 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ και δίδουν αποτέλεσμα σε $\text{W}/\text{μήτοι}$ σε μονάδες U'_{Σ} (ΔT).

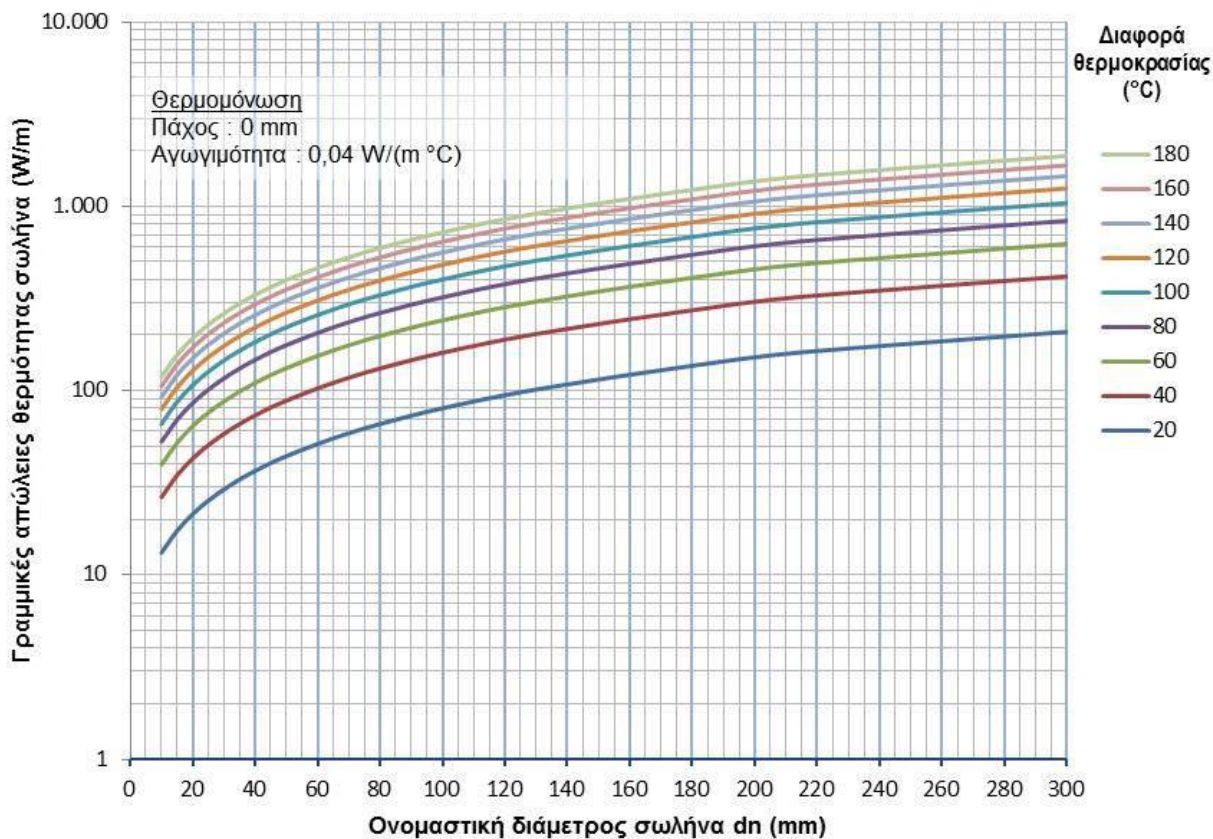
Παράδειγμα B.5 : Σωλήνα νερού θερμάνσεως ονομαστικής διαμέτρου 40mm με θερμοκρασία νερού 70°C και πάχος θερμομόνωσης 20mm διέρχεται μέσα από μη θερμαινόμενο φρεάτιο με εσωτερική θερμοκρασία 10°C . Οι απώλειες θερμότητας ανά τρέχον μέτρο λαμβάνεται από το Σχήμα 3.5 ίση με $19 \text{ W}/\text{m}$. Εάν οι απώλειες θερμότητας υπολογιστούν με την εξίσωση B.19 τότε λαμβάνοντας πάχος σωλήνα περί τα $3,0\text{mm}$ προκύπτει : Εξωτερική διάμετρος σωλήνα : $40 + 2 \times 3 = 46 \text{ mm}$. Εξωτερική διάμετρος σωλήνα με θερμομόνωση : $46 + 2 \times 20 = 86 \text{ mm}$

$$U'_{\Sigma} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \times 0,04} \ln \frac{86}{46} + \frac{1}{7(86)}} = 0,3313 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{C}).$$

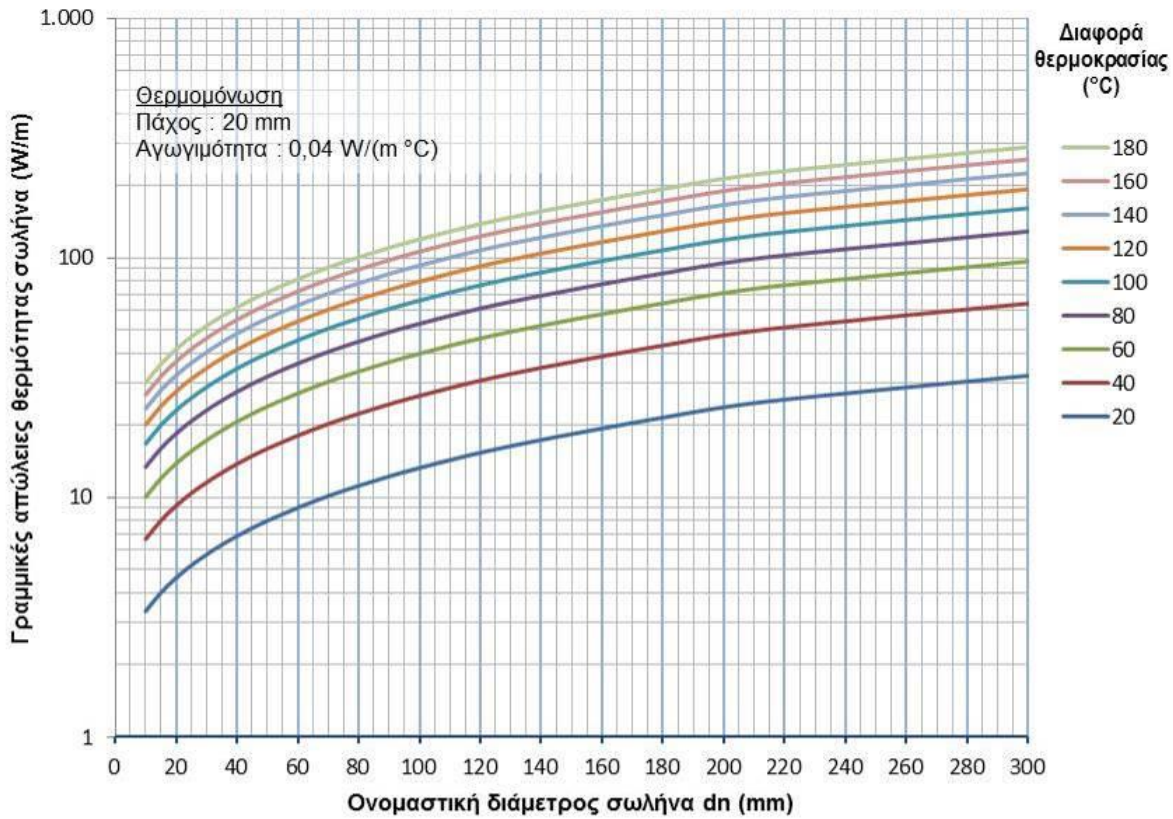
Πολλαπλασιάζοντας με την διαφορά

θερμοκρασίας $(70-10)^{\circ}\text{C}$ λαμβάνεται αποτέλεσμα ίσο με $19,9 \text{ W}/\text{m}$. Η ίδια περίπου τιμή, ήτοι $20 \text{ W}/\text{m}$ λαμβάνεται από το Σχήμα B.2.

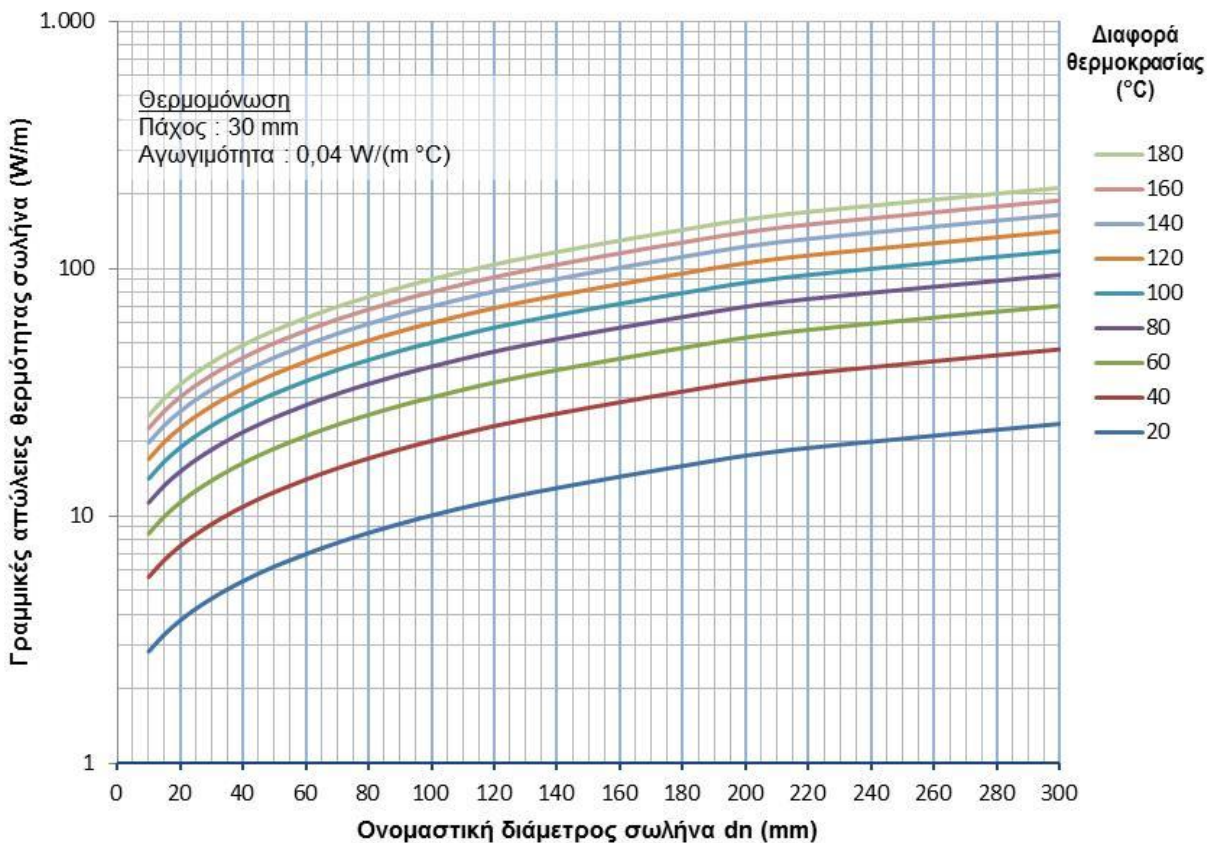
Σχήμα B.1 : Απώλειες θερμότητας σε μη μονωμένους σωλήνες



Σχήμα Β.2 : Απώλειες θερμότητας σε σωλήνες με πάχος μόνωσης 20mm



Σχήμα Β.3 : Απώλειες θερμότητας σε σωλήνες με πάχος μόνωσης 30mm



Τέλος και για λόγους πληρότητας αναφέρεται ότι σε περίπτωση σωληνώσεων εντοιχισμένων ή εγκιβωτισμένων εντός στερεού υλικού, οι θερμικές γραμμικές απώλειες υπολογίζονται από τον τύπο :

$$U'_{ENT} = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda} \left[\frac{1}{\lambda_D} \ln \frac{do}{d_\Sigma} + \frac{1}{\lambda_E} \ln \left(\frac{4 \cdot z}{do} \right) \right]} \quad (\text{B.20})$$

όπου U_{ENT} : οι γραμμικές θερμικές απώλειες από τον σωλήνα σε W/(m.°C)

λ_E : η θερμική αγωγιμότητα του υλικού εγκιβωτισμού

z: το βάθος εγκιβωτισμού του σωλήνα από την εξωτερική επιφάνεια

2.4 Βιβλιογραφία

1. Leon R. Glicksman, Heat Transfer, 2010, Σημειώσεις μαθημάτων MIT
2. John H. Lienhard IV and John H. Lienhard V A Heat Transfer Textbook, Fourth Edition, Phlogiston Press, Cambridge, Massachusetts
3. S M Doran and L Kosmina, «Examples of U-value calculations using BS EN ISO 6946:1997, December 1999 Report No 78129, Building Research Establishment Ltd 1999
4. EN ISO 6946:2007, Building components and building elements- Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method
5. TOTEE 20701-2 /2010, «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων», 1^η έκδοση, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.

Παράρτημα 3: Εποχιακός βαθμός απόδοσης συμβατικών λέβητων

3.1 Γενικά

Εις το παράρτημα αυτό αναλύεται πλήρως ο βαθμός απόδοσης ενός λέβητα με τον έμμεσο τρόπο, δηλαδή με μεθοδολογία για την εκτίμηση των επιμέρους απωλειών θερμότητας από τα καυσάερια και από το κέλυφος του λέβητα.

Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται επίσης και ο εποχιακός βαθμός απόδοσης ενός λέβητα λαμβάνοντας υπ' όψιν τον τρόπο λειτουργίας και ιδίως την διακοπτόμενη θέρμανση του λέβητα, η οποία συντελεί εις την δραματική μείωση της απόδοσης ενός λέβητα.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15378 παρέχει τρεις τουλάχιστον εναλλακτικές μεθόδους για τον υπολογισμό του ολικού βαθμού αποδόσεως λέβητων (ΟΒΑΛ) οι οποίες εφαρμόζονται αναλόγως των διαθέσιμων στοιχείων.

α) Μέθοδος βάσει των στοιχείων λέβητων της Οδηγίας

β) Μέθοδος περιοδικότητας λέβητα (boiler cycling method)

γ) Μέθοδος ολικών απωλειών αναμονής

Η πρώτη μέθοδος στηρίζεται στα στοιχεία τα οποία διαθέτουν υποχρεωτικώς οι λέβητες οι οποίοι κυκλοφορούν στην αγορά μετά την έκδοση της Οδηγίας 92/42/ΕΚ περί της ενεργειακής αποδόσεως Λεβήτων. Με την μέθοδο αυτή εκτιμάται ο ΟΒΑΛ χωρίς την χρήση του συντελεστή υπερδιαστασιολογήσεως.

Ο συντελεστής αυτής λαμβάνεται υπ' όψιν κατά την δεύτερη μέθοδο ανωτέρω, η οποία ισχύει τόσο για τους νέους όσο και για τους παλαιότερους λέβητες. Εναλλακτικά της β) μεθόδου δύναται να εφαρμοστεί η μέθοδος των ολικών απωλειών αναμονής.

Στην συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση της δεύτερης εξ αυτών των μεθόδων, αφού πρώτα γίνει παρουσίαση της μεθόδου προσδιορισμού του συντελεστή μερικού φορτίου ϕ .

3.2 Η εκτίμηση του μέσου συντελεστή μερικού φορτίου ϕ

Προτείνονται δύο εναλλακτικοί τρόποι για την εκτίμηση του συντελεστή μερικού φορτίου ϕ :

3.2.1 Μέθοδος καταναλώσεως καυσίμου

Αφού ο λέβητας αφηθεί να λειτουργήσει αρχικά για μία περίοδο μίας έως δύο ωρών προκειμένου να σταθεροποιηθεί η λειτουργία του, τότε αρχίζει ο δοκιμή μετρήσεων για μία χρονική περίοδο δοκιμής t_{gn} κατά την οποία προσδιορίζονται τα ακόλουθα:

- η πραγματική κατανάλωση καυσίμου V_f , είτε ευθέως με μετρητή ροής καυσίμου, είτε εμμέσως μέσω της καταγραφής των ωρών λειτουργίας του καυστήρα και πολλαπλασιασμού με την μέγιστη ισχύ λειτουργίας καυστήρα Φ_{cn}
- η μέγιστη θερμική ισχύς καυστήρα Φ_{cn} μέσω της μετρήσεως της πραγματική ποσότητας ροής καυσίμου εντός της περιόδου δοκιμής και πολλαπλασιασμού με την κατωτέρω θερμογόνο δύναμη

Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία προσδιορίζεται ο συντελεστής ϕ ως εξής :

$$\phi = \frac{V_f \cdot \text{ΚΘΔ}}{\Phi_{cn} \cdot t_{gn}} \quad (\Gamma.1)$$

Σημειώνεται ότι ο ωρομετρητής για την μέτρηση του χρόνου δοκιμής t_{gn} θα συνδέεται στην εντολή λειτουργίας του λέβητα και όχι του καυστήρα

3.2.2 Μέθοδος ωρομετρήσεως λειτουργίας καυστήρα

Κατά την μέθοδο αυτή τοποθετείται ωρομετρητής στην εντολή λειτουργίας του καυστήρα και μετράται ο χρόνος λειτουργίας αυτού t_{op}

Ο συντελεστής μερικού φορτίου ϕ υπολογίζεται ως εξής :

$$\phi = t_{op}/t_{gn} \quad (\Gamma.2)$$

3.3 Μέθοδος περιοδικότητας λέβητα (boiler cycling)

3.3.1 Παρουσίαση της μεθόδου

Η μέθοδος αυτή εξετάζει τον περιοδικό τρόπο λειτουργίας ενός λέβητα-καυστήρα (cycling) και λαμβάνει υπ' όψιν τις απώλειες τόσο κατά τον χρόνο λειτουργίας του καυστήρα, όσο και τις απώλειες του λέβητα όταν ο καυστήρας είναι κλειστός. Οι απώλειες αυτές του λέβητα περιλαμβάνουν :

- A τις απώλειες καυσαερίων, οι οποίες προσδιορίζονται από τον εσωτερικό βαθμό αποδόσεως της καύσεως
- B τις απώλειες θερμότητας μέσω ακτινοβολίας και συναγωγής από το κέλυφος του λέβητα προς το περιβάλλον.
- Γ τις απώλειες θερμότητας μέσω του εξαερισμού της καμινάδος όταν ο καυστήρας είναι κλειστός.

Οι απώλειες A υφίσταται μόνο κατά την διάρκεια λειτουργίας του καυστήρα ενώ αντιθέτως οι απώλειες Γ μόνο όταν ο καυστήρας είναι κλειστός. Οι απώλειες B ισχύουν καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του λέβητα, δηλαδή καθ' όσον ο λέβητας λειτουργεί η παραμένει σε ετοιμότητα λειτουργίας (θερμή εφεδρεία).

Για την εκτίμηση του εποχιακού βαθμού αποδόσεως ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Μέτρηση του εσωτερικού βαθμού αποδόσεως της καύσεως η_{cn} όπως προκύπτει από την ανάλυση των καυσαερίων
2. Εκτίμηση του συντελεστή απωλειών κελύφους του λέβητα $P_{gn,env}$, σύμφωνα με τα κατωτέρω
3. Εκτίμηση των απωλειών αναμονής (standby) καμινάδος $P_{ch,off}$, δηλαδή όταν ο καυστήρας είναι κλειστός, σύμφωνα με τα κατωτέρω
4. Εκτίμηση του ποσοστού μερικού φορτίου $\phi\%$, το οποίο ορίζεται κατωτέρω

Εάν υπάρχουν στοιχεία για τις τρέχουσες θερμοκρασίες του λέβητα και του αέρα του περιβάλλοντος χώρου του λεβητοστασίου, τότε οι ανωτέρω απώλειες στο 2 και το 3 διορθώνονται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 15316-4-1, § 5.3.3.

Σημειώνεται ότι οι απώλειες του κελύφους του λέβητα καθώς και οι απώλειες αναμονής της καμινάδας θεωρούνται ότι είναι ανάλογες της μέσης θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας του λέβητα και του χώρου του λεβητοστασίου.

Βάσει των ανωτέρω εκτιμάται ο εποχιακός βαθμός αποδόσεως ηgen από τον ακόλουθο τύπο:

$$\eta_{gen} = \eta_{cn} - \left(\frac{1}{\phi} - 1 \right) P_{ch,off} - \frac{1}{\phi} P_{gn,env} \quad (\Gamma.3)$$

3.3.2 Αριθμητική εφαρμογή

Με βάση το ισοζύγιο του τύπου 2 ανωτέρω, καταρτίζεται ο πίνακας που ακολουθεί. Τα στοιχεία με κίτρινο χρώμα δίδονται από τον χρήστη. Βάσει των στοιχείων αυτών υπολογίζονται όλα τα στοιχεία του πίνακα με την βοήθεια του ενεργειακού ισοζυγίου ανωτέρω. Οι τύποι υπολογισμού κατά γραμμή δίδονται εις την τελευταία στήλη με τίτλο «Σχόλια».

Εις την τελευταία γραμμή (10) του πίνακα αυτού δίδεται ο υπολογιζόμενος εποχιακός βαθμός αποδόσεως ως συνάρτηση του μέσου μερικού φορτίου λειτουργίας του λέβητα.

η_{gn} $P_{gn,env}$ $P_{ch,off}$	83% 3% 1%	Μερικό φορτίο ϕ						Γραμμή	Σχόλιο
		100%	75%	50%	30%	20%	15%		
Καύσιμο	K	100	75	50	30	20	15	1	
Απώλειες καυσαερίων	S	17	12,75	8,5	5,1	3,4	2,55	2	100.(1)
	S%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	3	(2) (1- η_{gn})
Απώλειες εξαερισμού	E	0	0,25	0,5	0,7	0,8	0,85	4	(3)/(1)
	E%	0%	0,3%	1%	2%	4%	6%	5	{100-(1)} $P_{ch,of}$
Απώλειες κελύφους	T	3	3	3	3	3	3	6	(6) / (1)
	T%	3%	4%	6%	10%	15%	20%	7	100. $P_{gn,env}$
Αποδιδόμενη θερμότητα		80	59	38	21,2	12,8	8,6	8	(7) / (1)
	η_{gm}	80%	79%	76%	71%	64%	57%	9	(2) -(3) -(5) -(6)
								10	(9) / (2)

3.4 Μεθοδολογία υπολογισμού απωλειών καυσαερίων

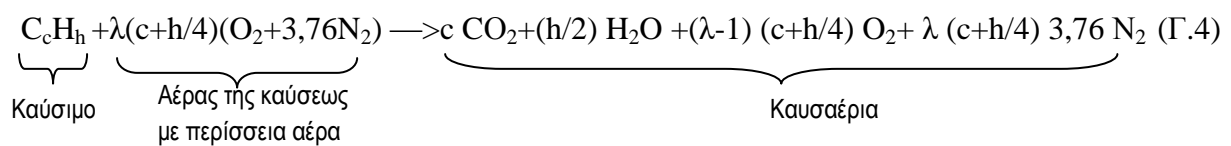
3.4.1 Γενικά

Οι απώλειες καυσαερίων του λέβητα είναι η σπουδαιότερη μορφή απωλειών και δια τούτο είναι το πρώτο που εξετάζεται για την βελτίωση της απόδοσης ενός λέβητα. Εξαρτώνται από δύο παράγοντες : την περίσσεια αέρα και την θερμοκρασία των καυσαερίων. Δηλαδή οι απώλειες αυξάνονται δραματικά όσο περισσότερος είναι ο αέρας της καύσεως ή όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων.

3.4.2 Η καύση και η περίσσεια αέρα

Ο συντελεστής περίσσειας αέρα λ ορίζεται ως ο λόγος του παρεχόμενου αέρα της καύσεως ως προς τον θεωρητικά απαιτούμενο αέρα (στοιχειομετρική καύση).

Π.χ. μία γενική μορφή της εξίσωσης της καύσεως έχει ως ακολούθως :



- όπου οι δείκτες c και h συμβολίζουν τον αριθμό των ατόμων άνθρακος και υδρογόνου εις τον χημικό τύπον του καυσίμου $C_c H_h$. Για το φυσικό αέριο οι δείκτες αυτοί είναι 1 και 4 αντιστοίχως ενώ για το πετρέλαιο δύναται ληφθούν με μεγάλη ακρίβεια ίσοι με 16 και 28,72 αντιστοίχως.
- η καύση γίνεται όχι καθαρό οξυγόνο αλλά με αέρα και διά τούτο ένας όγκος οξυγόνου (21% κατ' όγκο στον αέρα) στον αέρα της καύσεως συνοδεύεται από $79/21 = 3,76$ όγκους αζώτου
- δια κάθε στοιχείο της αντίδρασης, ο αριθμός των ατόμων του στα προϊόντα είναι ίσος με εκείνον στα αντιδρώντα.

Εάν τεθεί στην εξίσωση της καύσεως $\lambda = 1$, τότε έχουμε την θεωρητική (στοιχειομετρική) καύση. Το λ συνήθως λαμβάνεται >1 δια λόγους αποφυγής ατελούς καύσεως, δηλαδή φλόγα χωρίς πλήρη καύση όλων των μορίων του καυσίμου.

Ο συντελεστής περίσσειας αέρα λ , μπορεί να υπολογιστεί εάν γνωρίζουμε την κατ' όγκο σύσταση του οξυγόνου ή του διοξειδίου του άνθρακα στα ξηρά καυσαέρια (δηλαδή στα καυσαέρια χωρίς τους υδρατμούς H_2O). Π.χ. με βάση τον ανωτέρω τύπο η κ.ο. σύσταση των ξηρών καυσαερίων σε οξυγόνο ισούται με :

$$O_2 \% = \frac{(\lambda - 1)(c + h/4)}{c + (\lambda - 1)(c + h/4) + \lambda (c + h/4) 3,76} \quad (\Gamma.5)$$

Επιλύοντας την εξίσωση $\Gamma.5$ λαμβάνεται ο συντελεστής περίσσειας ως συνάρτηση της κατ' όγκο συστάσεως του οξυγόνου στα ξηρά καυσαέρια:

$$\lambda = 1 + \left[\frac{c}{3,76(c + h/4)} + 1 \right] \left[\frac{3,76 O_2 \%}{1 - 4,76 O_2 \%} \right] \quad (\Gamma.6)$$

Η μέτρηση της σύστασης του οξυγόνου στα ξηρά καυσαέρια γίνεται πλέον εύκολα με σύγχρονες διαθέσιμες διατάξεις μετρητών καυσαερίων.

Από την εξίσωση $\Gamma.6$ διαπιστώνεται ότι όταν η σύσταση O_2 στα καυσαέρια είναι μηδενική, τότε ο συντελεστής περίσσειας λ ισούται με 1, δηλαδή έχουμε στοιχειομετρική καύση.

Η σχέση $\Gamma.6$ δίδεται σε γραφική παράσταση στα Σχήματα $\Gamma.1$ και $\Gamma.2$ για το πετρέλαιο και φυσικό αέριο αντιστοίχως με την καμπύλη ιώδους χρώματος. Από την παράσταση αυτή όταν έχουμε την μέτρηση της κατ' όγκο σύστασης του οξυγόνου στα ξηρά καυσαέρια, προκύπτει ευθέως ο συντελεστής περίσσειας λ .

Εάν αντί της μέτρησης οξυγόνου, έχουμε μέτρηση της κατ' όγκο σύστασης του CO_2 στα ξηρά καυσαέρια, ο συντελεστής περίσσειας λ εκτιμάται από την ερυθρά καμπύλη.

3.4.3 Οι θερμικές απώλειες των καυσαερίων

Έχοντας προσδιορίσει τον συντελεστή περίσσειας αέρα λ , τότε με βάση την εξίσωση της καύσεως Γ.4, μπορούμε πλέον να προσδιορίσουμε ακριβώς την παροχή εκάστου συστατικού των καυσαερίων όταν γνωρίζουμε την παροχή καυσίμου. Γνωρίζοντας επίσης την θερμοκρασία των καυσαερίων, είναι πλέον δυνατόν να προσδιορίσουμε τις απώλειες θερμότητας κάθε ενώσεως στα καυσαέρια. Π.χ. οι απώλειες του διοξειδίου του άνθρακα με βάση τον γνωστό τύπο :

$$\dot{Q}_{CO_2} = \dot{m}_{CO_2} c_{CO_2} (T_K - Ta) \quad (\Gamma.7)$$

όπου c_{CO_2} η θερμοχωρητικότητα του διοξειδίου του άνθρακα σε kJ/(kg.°C).

\dot{m}_{CO_2} Η παροχή μάζας CO₂ σε kg/h, η οποία ισούται με $\dot{m}_{CO_2} = \dot{m}_K \frac{44c}{12c+h}$

\dot{m}_K : Η παροχή μάζας καυσίμου (kg/h) η οποία σε περίπτωση αερίου καυσίμου ισούται με: $\dot{m}_K = \rho_N \dot{V}_N$, σε περίπτωση αερίου καυσίμου όπου

\dot{V}_N Η παροχή όγκου καυσίμου (Nm³/h) σε κανονικές συνθήκες (0 °C, 1atm) και

ρ_N η πυκνότητα καυσίμου σε kg/Nm³.

Διαιρώντας την Γ.7 με την ισχύ του καυσίμου $\dot{m}_K \text{ΚΘΔ}$, όπου η ΚΘΔ σε kJ/kg, τότε προκύπτει ο ποσοστό απώλειας θερμότητας από το CO₂:

$$\dot{A}_{CO_2} = \frac{\dot{Q}_{CO_2}}{\dot{Q}_K} = \frac{\dot{m}_{CO_2} c_{CO_2} (T_K - Ta)}{\dot{m}_K \text{ΚΘΔ}} = \frac{44c}{12c+h} \frac{c_{CO_2} (T_K - Ta)}{\text{ΚΘΔ}} \quad (\Gamma.8)$$

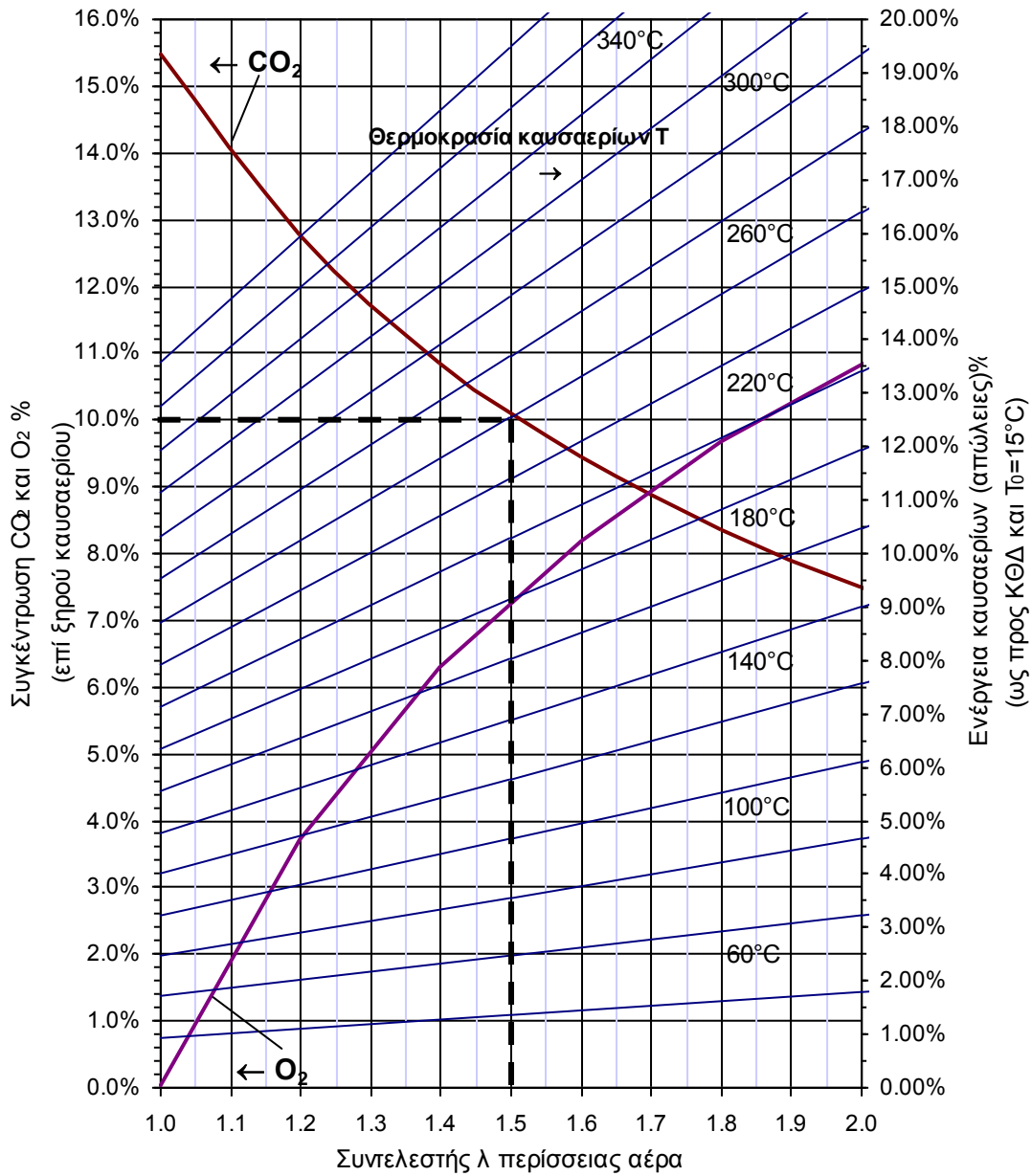
$$\text{Ομοίως } \dot{A}_{N_2} = \frac{\dot{Q}_{N_2}}{\dot{Q}_K} = \frac{\dot{m}_{N_2} c_{N_2} (T_K - Ta)}{\dot{m}_K \text{ΚΘΔ}} = \frac{28\lambda (c+h/4) 3,76}{12c+h} \cdot \frac{c_{N_2} (T_K - Ta)}{\text{ΚΘΔ}} \quad (\Gamma.9)$$

Αντίστοιχα υπολογίζονται και οι απώλειες των άλλων αερίων στοιχείων των καυσαερίων και στη συνέχεια κατασκευάζονται τα νομογραφήματα των Σχημάτων Γ.1 και Γ.2.

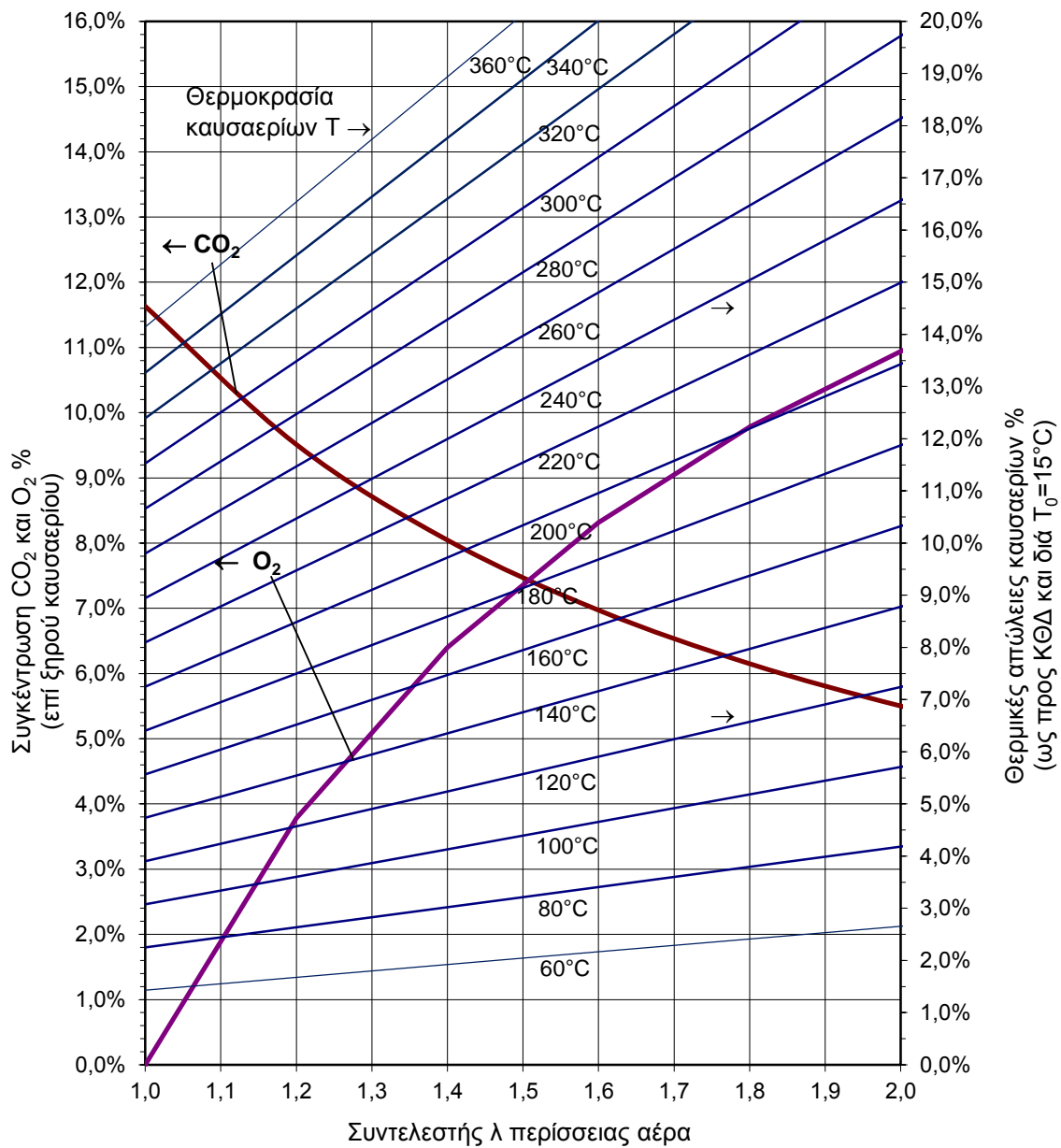
Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης του λέβητα $\eta_{\Lambda,E}$ υπολογίζεται ως ακολούθως :

$$\eta_{\Lambda,E} = 1 - \frac{\dot{A}_K}{\dot{Q}_K} \quad (\Gamma.10)$$

Σχήμα Γ.1 : Νομογράφημα πετρελαίου ντήζελ (Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος 15°C και υγρασία φ=60%, ψύξη καυσαερίων κατά την έξοδο έως τους 15°C)



Σχήμα Γ.2 : Νομογράφημα καύσεως φυσικού αερίου (Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος 15°C και υγρασία φ=60%, ψύξη καυσαερίων κατά την έξοδο έως τους 15°C)



Παράδειγμα 4.2: Σε λέβητα πετρελαίου μετρήθηκαν : α) η κατ' όγκο σύσταση $\text{CO}_2\%$ στα ξηρά καυσαέρια ίση με 10%, β) η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων ίση με 240°C. Τότε βάσει του Νομογραφήματος 4.2. προσδιορίζεται ο συντελεστής περίσσειας $\lambda = 1,5$ και στη συνέχεια οι θερμικές απώλειες καυσαερίων ίσες με 11,5%. Επομένως ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της καύσεως $\eta_{\lambda,E}$ ισούται με $1 - 0,115 = 88,5\%$

3.5 Θερμικές απώλειες κελύφους του λέβητα

Πέραν των απωλειών καυσαερίων, η δεύτερη πιο σημαντική απώλεια είναι η θερμική απώλεια του κελύφους του λέβητα μέσω μετάδοσης θερμότητας στο περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15378 προτείνει δύο μεθόδους υπολογισμού των απωλειών ακτινοβολίας κελύφους : την μέθοδο επιφανειακής θερμοκρασίας λέβητα και την μέθοδο των πινακοποιημένων τιμών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η πρώτη μέθοδος.

Ως απώλειες $\Pi_{\Lambda, \text{ΚΕΛ}}$ (%) ορίζεται το ποσοστό των θερμικών απωλειών του κελύφους του λέβητα $\Phi_{\Lambda, \text{ΚΕΛ}}$ (σε W) λόγω μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία, ως προς την παρεχόμενη ενέργεια καυσίμου στον καυστήρα του λέβητα $\Phi_{\text{ΚΛ}}$. Οι απώλειες αυτές να υπολογιστούν μετά από αυτοψία με βάση την ακόλουθη διαδικασία:

α) Υποδιαίρεση του κελύφους του λέβητα σε ένα αριθμό στοιχειωδών επιφανειών, ο αριθμός των οποίων κατ' ελάχιστον θα είναι :

- 2 για μη θερμομονωμένα μέρη
- 6 για θερμομονωμένα μέρη

β) Σε κάθε στοιχειώδη επιφάνεια i προσδιορίζονται με μετρήσεις:

- η επιφάνεια A_i
- η μέση θερμοκρασία επιφάνειας θ_N

γ) Για κάθε στοιχειώδη επιφάνεια N , προσδιορίζεται ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας ασύμφωνα με τον Πίνακα Γ.3 του προτύπου ΕΛΟΤ EN 15378.

Πίνακας Γ.3 του προτύπου για τον συντελεστή μεταδόσεως θερμότητας α_i

Θερμοκρασία επιφάνειας	(°C)	30	80	150
Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας α_i	(W/m ² .°C)	9	12	15

δ) Υπολογισμός των απολύτων τιμών απωλειών από το κέλυφος με την εξίσωση :

$$\Phi_{gn,env} = \sum_i A_i \cdot \alpha_i \cdot (\theta_i - \theta_{int}) \quad (\Gamma.11)$$

όπου θ_{int} είναι η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα λεβητοστασίου και N ο αριθμός των επιφανειών του λέβητα.

ε) Υπολογισμός των απωλειών κελύφους ως ποσοστό της μεγίστης ισχύος καυστήρα :

$$P_{gn,env} = \frac{100 \Phi_{gn,env}}{\Phi_{cn}} \quad (\Gamma.12)$$



όπου Φ_{KL} είναι η μέγιστη θερμική ισχύς του καυστήρα η οποία μπορεί επίσης να εκτιμηθεί μέσω της μετρήσεως της πραγματική ποσότητας ροής καυσίμου εντός της περιόδου δοκιμής και πολλαπλασιασμού με την κατωτέρω θερμογόνο δύναμη

Η δοκιμή πρέπει να γίνεται για μέση θερμοκρασία νερού λέβητα στου 70°C. Εάν η θερμοκρασία νερού θ_N δεν είναι τόση όπως επίσης και εάν η θερμοκρασία του λεβητοστασίου δεν είναι ίση με 20°C, τότε το ανωτέρω ποσοστό διορθώνεται ως εξής:

$$P_{gn,env} = P_{gn,env,μέτρηση} \cdot \frac{50}{\theta_{gn,w,μέση} - \theta_{int}} \quad (\Gamma.13)$$

Παράδειγμα Γ.1: Υπολογίζονται οι απώλειες κελύφους σε λέβητα ονομαστικής ισχύος καυστήρα 25 kW

Στοιχεία λέβητα	Ύψος	Μήκος ή πλάτος	A	$\theta_{\text{επιφάνειας}}$	$\theta_{\text{χώρου}}$	$\Delta\theta$	A. $\Delta\theta_{\text{Επιφάνειας}}$
	m	m	m ²	°C	°C	°C	m ² °C
πρόσθια πλευρά	0,95	0,60	0,57	35	11	24	13,68
πίσω πλευρά	0,95	0,60	0,57	32	11	21	11,97
αριστερή πλευρά	0,95	0,77	0,73	29	11	18	13,14
δεξιά πλευρά	0,95	0,77	0,73	29	11	18	13,14
πάνω πλευρά προστατεύεται από κάλυμμα							0,00
Βάση με δεξαμενή θερμού νερού κάτωθεν							0,00
Σύνολο (A . $\Delta\theta_{\text{Επιφάνειας}}$)							51,93

Με συντελεστή μεταδόσεως θερμότητας $\alpha_i=10\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$ οι απώλειες κελύφους προκύπτουν:

$$P_{gn,env} = \frac{\sum_i A_i \cdot a_i \cdot (\theta_i - \theta_{int})}{\Phi_{cn}}$$

$$= \frac{51,93(\text{m}^2 \text{K}) \cdot 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}}{24.000 \text{W}} = 2,2\%$$

Εναλλακτικά και ένα δεν υπάρχουν περιθώρια μέτρησης, οι απώλειες κελύφους δύναται να εκτιμηθούν προσεγγιστικά από την εξίσωση:

$$P_{gn,env} = A - B \log \Phi_{cn} [\%] \quad (\Gamma.14)$$

όπου A, B είναι παράμετροι που δίδονται στον πίνακα που ακολουθεί, και Φ_{KL} είναι η ονομαστική ισχύς καυστήρα του λέβητα σε kW



Τύπος μόνωσης λέβητα	A	B
Καλή μόνωση, λέβητας υψηλής αποδόσεως	1,72	0,44
Καλά μονωμένος και συντηρημένος	3,45	0,88
Παλιός λέβητας με μέση μόνωση	6,90	1,76
Παλιός λέβητας, πτωχή μόνωση	8,36	2,2
Χωρίς μόνωση	10,35	2,64

Π.χ. για παλιό λέβητα με καυστήρα ισχύος 100 kW και με μέση μόνωση:
 $\Pi_{\Delta, \text{KEA}} = 6,9 - 2 \times 1,76 = 3,4\%$

3.6 Απώλειες καμινάδας με καυστήρα εκτός λειτουργίας

3.6.1 Μετρητική μέθοδος

Η μετρητική μέθοδος δεν είναι μέρος του προτύπου ΕΛΟΤ EN 15378 αλλά προτείνεται από τον Γερμανικό Οργανισμό VDZ: FORUM für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται ιδιαίτερος για παλαιούς λέβητες, όπου οι απώλειες εξαερισμού του λέβητα είναι συνήθως μεγαλύτερες από 1%.

Απαιτούνται τα ακόλουθα δεδομένα:

Σύμβολο	Παράμετρος	Μονάδα	Εκτίμηση
d	Διάμετρος του απαγωγού καυσαερίων	m	Μέτρηση
AV	Διατομή του απαγωγού καυσαερίων	m ²	Υπολογισμός
v (30 s)	Ταχύτητα ροής αέρα στον απαγωγό	m/s	Μέτρηση
ρ _a	Πυκνότητα του αέρα	1,2 kg/m ³	Μέτρηση στους 20°C
c _{p,a}	Ειδική θερμοχωρητικότητα	0,279 Wh/kgK	Ονομαστική τιμή
θ _a	Θερμοκρασία αέρα μετά από 30s	°C	Μέτρηση
θ _χ	Θερμοκρασία αέρα λεβητοστάσιου	°C	Μέτρηση
θ _π	Εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος	°C	Μέτρηση
θ _{π,α}	Εξωτερική θερμοκρασία αναφοράς για τυπικές συνθήκες λειτουργίας	°C	Ονομαστική τιμή
Q`	Ονομαστική θερμική ισχύ λέβητα	kW	Από πινακίδα ή υπολογισμό

Η ταχύτητα και η θερμοκρασία καυσαερίων εις την πυρήνα της ροής των καυσαερίων μετράται με μία συσκευή διαφορικές πιέσεως, 30s μετά την διακοπή του καυστήρα. Η μετρητική ακίδα του διαφορικού πιεσόμετρου Pitot φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (δεξιά). Παρατηρείται ότι η ακίδα έχει διπλή ή τριπλή κεφαλή ώστε να μετρά ταυτόχρονα τόσο την στατική πίεση (p) όσο και την ολική ($p_o = p + \frac{1}{2} \rho v^2$) έτσι ώστε η ταχύτητα να προκύπτει εκ της διαφοράς: $v = \sqrt{2(p_o - p) / \rho}$



Από τα ανωτέρω δεδομένα υπολογίζονται οι απώλειες εξαερισμού λέβητα με τον καυστήρα εκτός. Ο τύπος υπολογισμού των απωλειών εξαερισμού του λέβητα με καυστήρα εκτός είναι:

$$P_{gn,env} = \frac{A \cdot v(30\text{sec}) \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \cdot (\theta_a - \theta_z)}{\Phi_{cn}} \cdot \frac{273 + \theta_{\pi}}{273 + \theta_{\pi,\alpha}} \quad (\Gamma.15)$$

Ως παράδειγμα δίδονται τα ακόλουθα δεδομένα :

$$P_{gn,env} = \frac{0,018\text{m}^2 \cdot 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,279\text{Wh} \cdot (120 - 11)\text{K}}{25000\text{W}} \cdot \frac{273 + 5}{273 + 15} = 4,7\%$$

Τέλος μία άλλη απώλεια του λέβητα είναι η θερμική απώλεια από την καμινάδα του λέβητα όταν ο καυστήρας είναι κλειστός και ορίζεται ως ποσοστό $\Pi_{\kappa, \text{ΕΚΤΟΣ}}\%$ επί της παρεχόμενης ενέργειας καυσίμου στον καυστήρα $\Phi_{\kappa\lambda}$. Η απώλεια αυτή εμφανίζεται ενώ η λειτουργία του καυστήρα έχει σταματήσει αλλά ο αέρας του χώρου του λεβητοστασίου εισέρχεται με φυσική κυκλοφορία μέσα στον λέβητα και εξέρχεται από την καμινάδα. Ο αερισμός αυτός κρύνει τον λέβητα και συμβάλει στις θερμικές απώλειές του. Τυπικές τιμές των απωλειών $\Pi_{\kappa, \text{ΕΚΤΟΣ}}\%$ είναι :

- 0,2% για σύγχρονα λεβητοστάσια με αυτόματο διάφραγμα στην καμινάδα που κλείνει όταν ο καυστήρας σταματά,
- 0,4% για τους σύγχρονους επιτοίχιους λέβητες φυσικού αερίου
- 1,2% για παλαιούς πιεστικούς λέβητες, δηλαδή λέβητες με ανεμιστήρα αναρρόφησης του αέρα στον καυστήρα γ
- 1,6% για παλαιούς ατμοσφαιρικούς λέβητες, δηλαδή λέβητες χωρίς ανεμιστήρα αναρρόφησης αέρα στον καυστήρα.

3.7 Εποχιακός βαθμός απόδοσης λέβητα.

3.7.1 Παράδειγμα υπολογισμού

Παράδειγμα 4.4: Σε ένα λέβητα μετρήθηκαν ή εκτιμήθηκαν τα ακόλουθα μεγέθη : α) εσωτερικός βαθμός απόδοσης της καύσεως $\eta_{\Lambda,E} = 88\%$, β) απώλειες κελύφους 5% και γ) απώλειες κλειστού καυστήρα 1,2%. Τότε ο εποχιακός βαθμός απόδοσης του λέβητα για $\phi = 38\%$, υπολογίζεται από την 4.17:

$$\eta_{\Lambda,ΕΠΟΧ} = 88\% - \left(\frac{1}{38\%} - 1 \right) 1,2\% - \frac{1}{38\%} 5\% = 76,8\%$$

Στους υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης πρέπει να εφαρμόζεται ο εποχιακός βαθμός αποδόσεως του τύπου 4.17 και όχι ο στιγμιαίος βαθμός αποδόσεως του τύπου 4.2.

1.1.1 Υπερδιαστασιολόγηση και μέσο εποχιακό φορτίο λειτουργίας λέβητα

Ένας απλός τρόπος για τον προσεγγιστικό προσδιορισμό της υπερδιαστασιολόγησης Y ενός υφιστάμενου λέβητα προκύπτει ως εξής : Αφήνουμε τον λέβητα να λειτουργεί συνεχώς για δύο 24-ωρα και μετά αρχίζουμε την δοκιμή. Δια τα επόμενα 60 λεπτά μετράμε α) την μέση εξωτερική θερμοκρασία T_a και β) τον συνολικό χρόνο λειτουργίας του καυστήρα t .

Η υπερδιαστασιολόγηση Y υπολογίζεται ως εξής :

$$Y = \frac{60}{t} \left(\frac{16^{\circ}\text{C} - T_a}{20^{\circ}\text{C}} \right) \quad (\Gamma.16)$$

Βάσει του Y εκτιμάται το μέσο εποχιακό φορτίο λειτουργίας ϕ ενός λέβητα ως :

$$\phi = (38\%)/Y \quad (\Gamma.17)$$

Εναλλακτικά εάν είναι διαθέσιμη η μελέτη θέρμανσης του κτιρίου, τότε ο συντελεστής υπερδιαστασιολόγησης μπορεί να προσδιορίζεται από τα στοιχεία της μελέτης αυτής.

3.8 Κανονισμοί επισήμανσης και ελάχιστης απόδοσης

3.8.1 Επισήμανση της κατανάλωσης ενέργειας

Τον Μάιο 2010 εκδόθηκε η Οδηγία 2010/30/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ένδειξη της κατανάλωσης ενέργειας και λοιπών πόρων από τα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα μέσω της επισήμανσης και της παροχής ομοιόμορφων πληροφοριών σχετικά με αυτά

Τον Φεβρουάριο 2013 εκδόθηκε ο ΚΑΤ' ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΗΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) αριθ. 812/2013 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 18ης Φεβρουαρίου 2013 «για τη συμπλήρωση της οδηγίας 2010/30/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά την επισήμανση της κατανάλωσης ενέργειας των θερμαντήρων νερού, των δεξαμενών αποθήκευσης ζεστού νερού και των συγκροτημάτων θερμαντήρα νερού και ηλιακής συσκευής»

Βάσει του Κανονισμού αυτού καθορίστηκε η διαδικασία υπολογισμού του εποχιακού βαθμού απόδοσης λεβήτων και θερμαντήρων χώρων η_s καθώς και η κλίμακα διαβάθμισης ή τάξη ενεργειακής απόδοσης των λεβήτων ως προς την απόδοση αυτή η οποία δίδεται στον Πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας Γ.4 : Τάξεις εποχιακής ενεργειακής απόδοσης θερμαντήρα χώρων

Τάξη ενεργειακής απόδοσης	η_s
A+++	$\eta_s \geq 150\%$
A++	$125\% \leq \eta_s < 150\%$
A+	$98\% \leq \eta_s < 125\%$
A	$90\% \leq \eta_s < 98\%$
B	$82\% \leq \eta_s < 90\%$
C	$75\% \leq \eta_s < 82\%$
D	$36\% \leq \eta_s < 75\%$
E	$34\% \leq \eta_s < 36\%$
F	$30\% \leq \eta_s < 34\%$
G	$\eta_s < 30\%$

3.8.2 Εποχιακός βαθμός απόδοσης

Για τον υπολογισμό του εποχιακού βαθμού απόδοσης καθορίστηκαν τρεις τυπικές εποχές θέρμανσης για όλη την Ευρώπη: η μέση, η θερμότερη και η ψυχρότερη, όπως δίδονται στον Πίνακα Δ.2 του επομένου Παραρτήματος Δ. Όπως φαίνεται στον Πίνακα αυτό για κάθε εποχή θέρμανσης καθορίστηκαν τα κλιμάκια εξωτερικών θερμοκρασιών και η ετήσια συχνότητα εμφάνισης των κλιμακίων αυτών σε κάθε εποχή θέρμανσης. Με αυτή την πληροφορία είναι πλέον δυνατόν να υπολογιστεί αναλυτικά ο εποχιακός βαθμός απόδοσης ενός λέβητα αντί της ανωτέρω απλουστευτικής μεθόδου όπου αυτός υπολογίζεται για μερικό φορτίο λειτουργίας $\phi = 38\%$.

Η εκλογή του αντιπροσωπευτικού μερικού φορτίου $\phi = 38\%$ ανωτέρω, έγινε μετά από αναλυτικό υπολογισμό του εποχιακού βαθμού απόδοσης με κλιματολογικά στοιχεία Αθηνών και στην συνέχεια εκτιμήθηκε ότι ο εποχιακός βαθμός απόδοσης ϕ ο οποίος αντιστοιχεί στον υπολογισθέντα εποχιακό βαθμό απόδοσης. Τώρα με τα τυποποιημένα κλιματικά στοιχεία θερμοκρασιών σε τρεις εποχές θέρμανσης, είναι δυνατόν να υπολογιστεί ευθέως ο εποχιακός βαθμός απόδοσης με τον τύπο :

$$\eta_s = \frac{\sum_{j=1}^n H_j \times P_{\Theta}(T_j)}{\sum_{j=1}^n H_j \times \frac{P_{\Theta}(T_j)}{\eta_j(T_j)}} \quad (\Gamma.18)$$

όπου $P_{\Theta}(T_j)$ είναι η ζήτηση θερμότητας του χώρου για εξωτερική θερμοκρασία T_j και $\eta_j(T_j)$ είναι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα όπως υπολογίζεται από τον τύπο Γ.3 για συντελεστή μερικού φορτίου ϕ_j :

$$\phi_j = \frac{(16 - T_j)}{Y \cdot (16 - T_d)} \quad (\Gamma.19)$$

T_j είναι η θερμοκρασία του κλιμακίου, T_d είναι η θερμοκρασία σχεδιασμού του λέβητα η οποία συνήθως είναι 0°C και Y ο συντελεστής υπερδιαστασιολόγησης.

$$H P_{\Theta} (T_j) \text{ υπολογίζεται ως : } P_{\Theta} (T_j) = P_d \frac{(16 - T_j)}{(16 - T_d)} \quad (G.20)$$

όπου P_d είναι η θερμική ικανότητα σχεδιασμού του λέβητα.

3.8.3 Η Οδηγία για τον οικολογικό σχεδιασμό

Τον Οκτώβριο του 2009 θεσπίστηκε η Οδηγία 2009/125/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ «για τη θέσπιση πλαισίου για τον καθορισμό απαιτήσεων οικολογικού σχεδιασμού όσον αφορά τα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα»

Ειδικότερα για τους λέβητες εκδόθηκε Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 813/2013 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 2ας Αυγούστου 2013 «για την εφαρμογή της οδηγίας 2009/125/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά τις απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού των θερμαντήρων χώρου και των θερμαντήρων συνδυασμένης λειτουργίας»

Ο Κανονισμός αυτός έθεσε κατώτατα όρια για την απόδοση των νέων λεβήτων που κυκλοφορούν στην αγορά μετά τις 26 Σεπτεμβρίου 2015 ως εξής :Για λέβητες πετρελαίου ή αερίου με ονομαστική θερμαντική ικανότητα $> 70 \text{ kW}$ και $\leq 400 \text{ kW}$, πρέπει να ικανοποιούν την απαίτηση ωφέλιμης ενεργειακής απόδοσης τουλάχιστον 86% σε πλήρες φορτίο και τουλάχιστον 94% για μερικό φορτίο $\phi=30\%$. ενώ για τους μικρότερους λέβητες έως 10 Kw έθεσε ως απαίτηση ελάχιστη εποχιακή απόδοση 86%.

Ο Κανονισμός όρισε ως ωφέλιμη απόδοση τον βαθμό απόδοσης που υπολογίζεται από την εξίσωση Γ.3 με δύο διορθώσεις :

- α) Η ωφέλιμη απόδοση υπολογίζεται βάσει της Ανωτέρας και όχι της Κατωτέρας Θερμογόνου Δύναμης
- β) Στην κατανάλωση ενέργειας συνυπολογίζεται όχι μόνο το καύσιμο αλλά και η κατανάλωση βοηθητικής ηλεκτρικής ενέργειας επί τον συντελεστή 2,5.

Σε κάθε περίπτωση όμως η βοηθητική ηλεκτρική ενέργεια είναι μικρή και δια τούτο συχνά παραλείπεται σε μετρήσεις πεδίου για τον υπολογισμό του εποχιακού βαθμού απόδοσης υφιστάμενων λεβήτων.

Πάντως οι ανωτέρω απαιτήσεις και ειδικότερα η απαίτηση για επίτευξη βαθμού απόδοσης 94% υπό μερικό φορτίο 30%, οδηγούν αναγκαστικά στην τεχνολογία των λεβήτων συμπίκνωσης οι οποίοι εκμεταλλεύονται την ανωτέρα θερμογόνο δύναμη του καυσίμου επειδή εξάγουν τα καυσαέρια σε χαμηλές θερμοκρασίες (50°C) και έτσι συμπυκνώνονται οι υδρατμοί στο καυσαέριο.

Λόγω της σημασίας τους στην επόμενη παράγραφο δίδεται μία γενικότερη θεώρηση της τεχνολογίας λεβήτων χαμηλών θερμοκρασιών και συμπίκνωσης

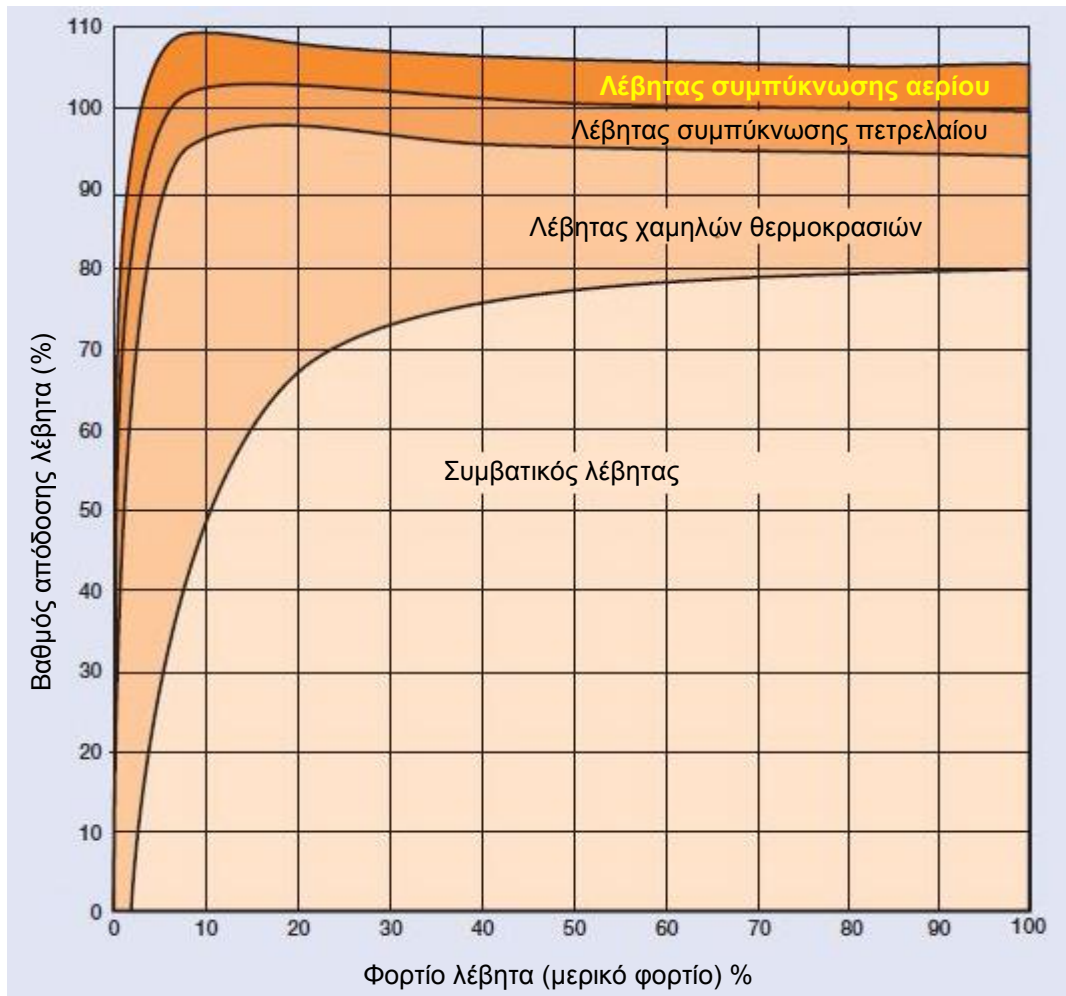
3.9 Λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών και συμπίκνωσης

3.9.1 Γενικά

Με την αύξηση των τιμών του πετρελαίου, έχουν πλέον αναπτυχθεί διεθνώς νέες τεχνολογίες λεβήτων τόσο για το πετρέλαιο όσο και το φυσικό αέριο ή υγραέριο. Οι λέβητες αυτοί εμφανίζουν πολύ χαμηλές απώλειες κελύφους ή καμινάδας ενώ ο βαθμός απόδοσης της καύσης είναι πολύ υψηλός. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξαγωγή των καυσαερίων σε χαμηλές θερμοκρασίες προκειμένου να γίνει πλήρης εκμετάλλευση της θερμικής τους ενέργειας.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν και το γεγονός ότι οι παλαιοί λέβητες είναι υπερδιαστασιολογημένοι ενώ συχνά αυτοί έχουν θερμαντική ισχύ διπλάσια της απαιτούμενης, η αντικατάσταση του λέβητα με νέο λέβητα μικρότερης θερμαντικής ικανότητας και νέας τεχνολογίας αποτελεί συχνά την πρώτη επιλογή εξοικονόμησης ενέργειας στην θέρμανση.

Τυπικοί βαθμοί απόδοσης όλων των τεχνολογιών λεβήτων δίδονται στο σχήμα που ακολουθεί. Συγκεκριμένα οι νέοι λέβητες συμπύκνωσης εμφανίζουν πολύ υψηλή απόδοση ακόμα και σε μερικό φορτίο λειτουργίας ενώ αντίστοιχη συμπεριφορά έχουν και οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών.



Σημειώνεται ότι στο ανωτέρω σχήμα ο βαθμός απόδοσης στους λέβητες συμπύκνωσης συχνά υπερβαίνει το 100% διότι έχει κατασκευαστεί με βάση την ΚΘΔ των καυσίμων. Δια την αποφυγή αυτού του φαινομένου, στον Κανονισμό 813/2013 ορίζεται ότι οι βαθμοί απόδοσης λεβήτων ορίζονται βάσεις της ΑΘΔ και όχι της κατωτέρας.

3.9.2 Οι λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών

Ένας λέβητας χαμηλών θερμοκρασιών πετρελαίου μπορεί να εξάγει τα καυσαέρια στους 65°C έως 70°C και με περίσσεια αέρα λ περί το 1,1. Με τα στοιχεία αυτά και από τον

νομογράφημα του Σχήματος 4.2. προκύπτει ότι οι απώλειες των καυσαερίων είναι της τάξεως του 2,0 με 2,5%, ήτοι ο βαθμός απόδοσης της καύσεως είναι της τάξεως του 98%.

Με απώλειες κελύφους της τάξεως του 1% και αντίστοιχες απώλειες θερμότητας από την καμινάδα κατά την διάρκεια διακοπής της λειτουργίας του καυστήρα προκύπτει ότι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα για φορτίο $\phi = 100\%$ ισούται με $98\% - 1\% = 97\%$ ενώ για μερικό φορτίο $\phi = 38\%$ ο εποχιακός βαθμός απόδοσης του λέβητα προκύπτει από τον τύπο Γ.3 :

$$\eta_{\Lambda, \text{ΕΠΟΧ}} = \eta_{\Lambda, \text{Ε}} - \left(\frac{1}{\phi} - 1 \right) \Pi_{\text{Κ, ΕΚΤΟΣ}} - \frac{1}{\phi} \Pi_{\Lambda, \text{ΚΕΛ}} = 98\% - (1/0,38 - 1) 1\% - 1/0,38 (1\%) = 93,7\%$$

Ο εποχιακός αυτός βαθμός αποδόσεως είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από τους συνήθεις εποχιακούς βαθμούς αποδόσεως των παλαιών λεβήτων οι οποίοι κυμαίνονται από 65% έως 70% λόγω της συχνής υπερδιαστασιολόγησής τους και της επακόλουθης λειτουργίας τους σε πολύ χαμηλό μέσο εποχιακό φορτίο ϕ (~25%). Σημειώνεται ότι κατά την αντικατάσταση ο νέος λέβητας, δεν θα πρέπει να είναι πλέον υπερδιαστασιολογημένος αλλά να έχει μελετηθεί σωστά βάσει μελέτης μηχανικού.

Επομένως η αντικατάσταση ενός παλαιού λέβητα με νέο λέβητα χαμηλών θερμοκρασιών έχουμε μία εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του $(93,7\% - 70\%)/70\% = 33,8\%$. Με μία τόσο μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας, η αντικατάσταση ενός παλαιού λέβητα με νέο χαμηλών θερμοκρασιών εμφανίζει πολύ υψηλούς οικονομικούς δείκτες και ταχεία οικονομική απόσβεση της τάξεως των 3 ετών.

3.9.3 Λέβητες συμπύκνωσης

Οι λέβητες συμπύκνωσης λειτουργούν με καύσιμο το φυσικό αέριο ή πετρέλαιο και εμφανίζουν όλα τα πλεονεκτήματα των λεβήτων χαμηλών θερμοκρασιών. Επιπροσθέτως όμως οι λέβητες συμπύκνωσης εκμεταλλεύονται και την θερμότητα του υδρατμού των καυσαερίων ο οποίος συμπυκνώνεται και αποδίδει την θερμότητά του όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων πέσει κάτω από τους 52 °C. Στην πράξη η συμπύκνωση δεν είναι πλήρης αλλά ανέρχεται σε ένα ποσοστό 50% έως 70% . Τούτο συμβαίνει διότι ο λέβητας συμπύκνωσης είναι ενίοτε αναγκασμένος να λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα η συμπύκνωση να μειώνεται ή/και να μηδενίζεται. Αντίθετα όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη των 10°C, ο λέβητας λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες και η συμπύκνωση είναι σχεδόν πλήρης.

Η αποδιδόμενη ενέργεια των υδρατμών που συμπυκνώνονται μπορεί να υπολογιστεί από την διαφορά μεταξύ ανωτέρας και κατωτέρας θερμογόνου δύναμης. Από την παράγραφο 1.3.3 γνωρίζουμε ότι η ΑΘΔ του φυσικού αερίου είναι περίπου 1,11 ΚΘΔ. Άρα σε ποσοστό επί της ΚΘΔ η ενέργεια του υδρατμού ισούται με $(\text{ΑΘΔ} - \text{ΚΘΔ})/\text{ΚΘΔ} = (1,11 - 1)/1 = 11,0\%$

Επομένως με μία μέση συμπύκνωση των υδρατμών κατά 50% τότε ο βαθμός απόδοσης της καύσης αυξάνεται κατά $50\% \times 11\% = 5,5\%$ και τελικά θα ανέλθει στο $98\% + 5,5\% = 103,5\%$.

Με μία τέτοια απόδοση, οι λέβητες συμπύκνωσης αποτελούν συχνά ένα από τα πρώτα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που λαμβάνεται στην θέρμανση.

Παράρτημα 4: Εποχιακός βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας

4.1 Γενικά

Όπως και στην περίπτωση των λεβήτων, η αντλία θερμότητας αποτελεί πλέον μία από τις κύριες τεχνολογικές επιλογές για θέρμανση ή ψύξη/κλιματισμό στις κτιριακές εγκαταστάσεις ιδίως του τριτογενούς τομέα στην χώρα μας. Το πλεονέκτημα της αντλίας θερμότητας είναι η δυνατότητα παραγωγής θερμικής ή ψυκτικής ισχύος, από την ίδια εγκατάσταση και με ένα σχετικά υψηλό βαθμό αποδόσεως, γεγονός το οποίο την καθιστά ανταγωνιστική έναντι της παραδοσιακής τεχνικής δύο χωριστών εγκαταστάσεων κεντρικής θέρμανσης με λέβητες και ψύξης με ψύκτες. Επίσης αποτελεί μία από τις κύριες επιλογές εκσυγχρονισμού των εγκαταστάσεων θέρμανσης/ψύξης/κλιματισμού.

Τα ενεργειακά ισοζύγια μίας αντλίας θερμότητας δίδονται στην παράγραφο 6.5. Το βασικό πλεονέκτημα της νέας τεχνολογίας αντλιών θερμότητας είναι η δυνατότητα διατήρησης ή ακόμα και αύξησης του βαθμού απόδοσης υπό μερικό φορτίο, διότι με την τεχνολογία ρύθμισης στροφών του συμπιεστή που διαθέτουν, έχουν την δυνατότητα να προσαρμόζουν την παραγωγή θερμικής ή ψυκτικής ισχύος στα βέλτιστα επίπεδα αναλόγως της ζήτησης, χωρίς να καταφεύγουν στην παραδοσιακή τεχνική αφής/σβέσης (on/off) η οποία εφαρμόζεται στις συμβατικές μονάδες ψυκτών ή αντλιών θερμότητας. Με την τεχνολογία αυτή μεγιστοποιείται ο βαθμός απόδοσης μίας αντλίας θερμότητας κατά την ψύξη (EER – Energy Efficiency Ratio) ή κατά την θέρμανση (COP – Coefficient of Performance) σε εποχιακή βάση και είναι μεγαλύτερος του ονομαστικού βαθμού απόδοσης, ο οποίος προκύπτει μετά από δοκιμές σε τυπικές θερμοκρασίες λειτουργίας μίας αντλίας θερμότητας.

Ο εποχιακός βαθμός απόδοσης στην θέρμανση καλείται SCOP (Seasonal COP) και κατά την ψύξη SEER (Seasonal EER). Τυπικοί βαθμοί απόδοσης για συμβατικές αντλίες θερμότητας και σύγχρονες με Inverter (ρυθμιστή στροφών) δίδονται στον Πίνακα Δ.1 που ακολουθεί.

Πίνακας Δ.1 : Ενδεικτικές τιμές εποχιακών βαθμών απόδοσης αντλίας θερμότητας και ψύκτη

Τρόπος ψύξης συμπυκνωτή	Συμβατική ΑΘ ή ψύκτης (SEER μόνο)		ΑΘ Ρυθμιζόμενων στροφών	
	SCOP	SEER	SCOP/	SEER
αερόψυκτος	1,8 – 2,3	2,0 – 2,8	3,5 – 4,0	3,7 – 4,5
υδρόψυκτος	3,0 – 3,5	3,5 – 4,0	4,0 – 4,5	4,2 – 4,7
με γεω-εναλλάκτη	3,5 – 4,5	3,8 – 4,7	4,5 – 5,5	5,5 – 6,0

Για υφιστάμενους συμβατικούς ψύκτες οι ανωτέρω τιμές για το EER μειώνονται περαιτέρω εάν ληφθεί υπ' όψιν το φαινόμενο της υποβάθμισης της ποιότητας των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας στον Εξατμιστήρα και τον Συμπυκνωτήρα.

Παρατηρείται ότι εάν αντικατασταθεί ένας παλιός αερόψυκτος ψύκτης με $SEER_1=2,2$ με ένα νέο με $SEER_2=4,0$ τότε η ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με :

$$(W_1 - W_2) / W_1 = \{Q/SEER_1 - Q/SEER_2\} / (Q/SEER_1) = 1 - SEER_1/SEER_2 = 45\%$$

όπου Q είναι η απαιτούμενη ενέργεια ψύξεως σε ετήσια βάση.

4.2 Μέτρηση του βαθμού απόδοσης Αντλίας Θερμότητας (ΑΘ) κατά την ψύξη

4.2.1 Λειτουργία τυπικής διάταξης ΑΘ

Η απλούστερη τυπική διάταξη αντλίας θερμότητας δίδεται στο Σχήμα Δ.1. Η διάταξη περιλαμβάνει ένα ψυκτικό υγρό το οποίο κυκλοφορεί και λειτουργεί σε κλειστό κύκλο.

Το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον Εξατμιστήρα (σημείο 6) ως υγρό που περιέχει ένα μικρό ποσοστό ατμού σε θερμοκρασία περί τους 5 με 7°C. Στα συνήθη γνωστά οικιακά κλιματιστικά διαιρούμενου τύπου, η συσκευή αυτή είναι το εσωτερικό τμήμα του κλιματιστικού που βρίσκεται εντός του κλιματιζόμενου χώρου. Κατά την ροή του εντός του Εξατμιστήρα, το ψυκτικό υγρό εξατμίζεται πλήρως και εξέρχεται υπό μορφή ατμού σε θερμοκρασία ίση ή ελαφρώς μεγαλύτερη των 7 °C (σημείο 8). Δια την εξάτμισή του το ψυκτικό υγρό λαμβάνει θερμότητα Q_E από τον κλιματιζόμενο χώρο συντελώντας έτσι στον κλιματισμό του.

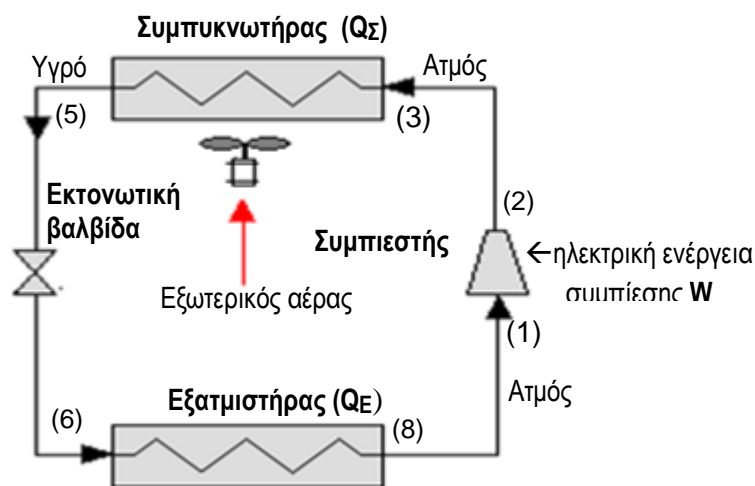
Το ψυκτικό υγρό ως ατμός (σημείο 1) εισέρχεται στην συνέχεια στον συμπιεστή όπου συμπιέζεται σε πίεση 15 έως 20 bar. Κατά την συμπίεση προσδίδεται ηλεκτρική ενέργεια W στο συμπιεστήρα. Λόγω της συμπίεσης αυτής η θερμοκρασία αυξάνεται σημαντικά, έως τους 75°C (σημείο 2).

Στη συνέχεια ο συμπιεσμένος ατμός οδεύει προς τον Συμπυκνωτήρα εντός του σωλήνα καταθλίψεως (γραμμή 2 – 3). Κατά την όδευση εντός του σωλήνα κατάθλιψης ο συμπιεσμένος ατμός υφίσταται συχνά μια πτώση πίεσης και θερμοκρασίας (της τάξεως των 2 έως 3 °C) και εισέρχεται στον Συμπυκνωτήρα στο σημείο 3.

Εντός του Συμπυκνωτήρα ο συμπιεσμένος ατμός συμπυκνώνεται σε υγρό και ψύχεται περαιτέρω με την βοήθεια του εξωτερικού αέρα, θερμοκρασίας από 30 έως 38°C. Κατά την συμπύκνωση ο συμπυκνωτήρας αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον Q_S (εξωτερική μονάδα).

Τέλος ο κύκλος ολοκληρώνεται με την εκτονωτική βαλβίδα στραγγαλισμού, όπου το ψυκτικό υγρό υποχρεώνεται να διέλθει μέσω ενός τριχοειδή σωλήνα με αποτέλεσμα κατά την έξοδό του στο σημείο 6: α) η πίεσή του να έχει πέσει στα 5 bar περίπου και λόγω ακριβώς του στραγγαλισμού του υγρού και β) Η θερμοκρασία να έχει πέσει στους 7°C.

Σχήμα Δ.1 Τυπικό σχηματικό διάγραμμα αντλίας θερμότητας



4.2.2 Ο θερμοδυναμικός κύκλος

Ο ανωτέρω ψυκτικός κύκλος και μάλιστα σε τυπικές συνθήκες λειτουργίας μία αντλίας θερμότητας με ψυκτικό υγρό R407C και ψυκτική ικανότητα 12 kW, παριστάνεται γραφικά στο Σχήμα Δ.2. Σημειώνεται ότι το R407C είναι ένα σύνηθες ψυκτικό μέσο το οποίο χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές αντλιών θερμότητας.

Για την ανάλυση του ψυκτικού κύκλου μπορεί να γίνει χρήση ελεύθερου λογισμικού όπως είναι το πρόγραμμα Coolpack το οποίο αναπτύχθηκε από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πολυτεχνείου της Δανίας.

Οι μετρήσεις πίεσεως και θερμοκρασίας του ψυκτικού κύκλου μίας αντλίας θερμότητας, όπως αυτός περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο, μπορούν να γίνουν από το εξουσιοδοτημένο συνεργείο συντήρησης της αντλίας θερμότητας.

Οι μετρήσεις αυτές εισάγονται στο πρόγραμμα Coolpack με το οποίο σχεδιάζεται αυτομάτως ο ψυκτικός κύκλος των μετρήσεων στον χάρτη φυσικών ιδιοτήτων του ψυκτικού μέσου επιλογής του χρήστη όπως γίνεται στο Σχήμα Δ.2 για τα ακόλουθα δεδομένα :

Ιδιότητα	τιμή	Ιδιότητα	τιμή
Ψυκτικό μέσο	R407C	Δp Συμπυκνωτήρα [Bar]	-2,08
T_E [°C]	3,00	Δp Εξατμιστήρα [Bar]	0,00
T_Σ [°C]	40,00	Δp γραμμής αναρρόφησης [Bar]	0,49
ΔT υπόψυξη [K]	5,00	Δp γραμμής κατάθλιψης [Bar]	2,10
ΔT υπερθέρμανση [K]	5,00	Ισεντροπική απόδοση συμπίεστή	0,70

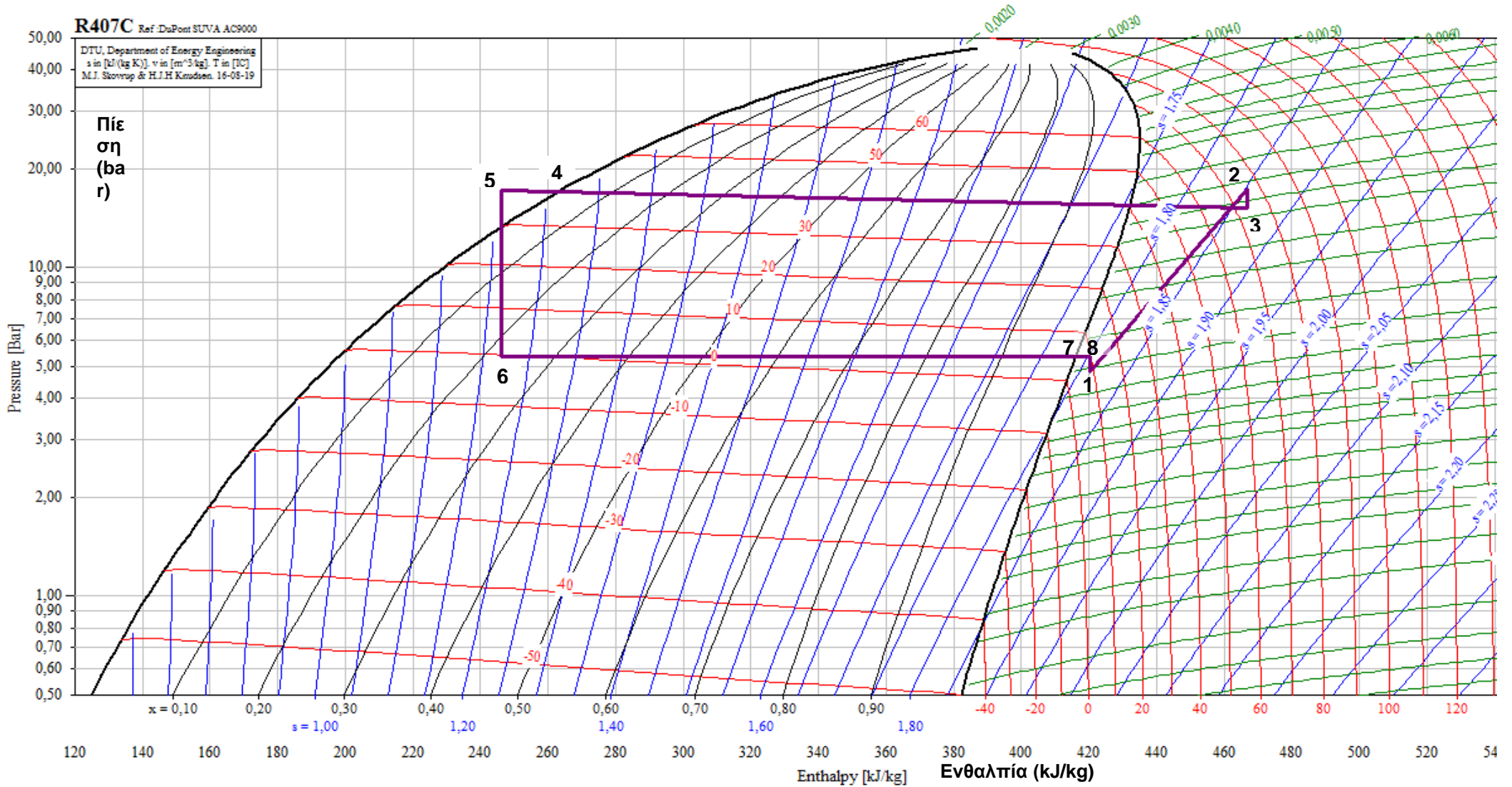
Δp = πτώση πίεσης, ΔT : μεταβολή θερμοκρασίας, η ισεντροπική απόδοση του συμπίεστή συνήθως λαμβάνεται 0,7.

Εις τον χάρτη υπάρχουν οι ανωτέρω μεταβολές ΔT και Δp , απεικονίζονται ως εξής:

- απόσταση 7-8 = υπερθέρμανση,
- απόσταση 4-5 = υπόψυξη,
- απόσταση 8-1 : πτώση πίεσης στην γραμμή αναρρόφησης,
- απόσταση 2-3 : πτώση πίεσης στην γραμμή κατάθλιψης

Σημειώνεται ότι το πρόγραμμα επιτρέπει αντί για την εισαγωγή μετρήσεων Δp , μπορεί να γίνει εισαγωγή μετρήσεων για την αντίστοιχη πτώση της θερμοκρασίας όπως αυτή μετράται επιτόπου.

Σχήμα Δ.2 : Τυπική γραφική παράσταση ψυκτικού κύκλου σε διάγραμμα ιδιοτήτων ψυκτικού μέσου (Πρόγραμμα Coolpack)



4.2.3 Εφαρμογή

Η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα του δεν υπολογίζεται ούτε ζητείται από το πρόγραμμα αλλά δύναται να προσεγγιστεί με βάση την θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού μέσου από τον Συμπυκνωτήρα των 34,6°C. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα θα πρέπει να είναι περί τους 7°C χαμηλότερη προκειμένου να έχει την ικανότητα να ψύξει το ψυκτικό μέσο σε αυτή την θερμοκρασία, ήτοι να είναι περίπου στους 27 °C.

Εάν η θερμοκρασία σχεδιασμού του εξωτερικού αέρα είναι της τάξεως των 35°C, αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού υγρού από τον Συμπυκνωτήρα θα είναι της τάξεως των 42 °C. Για την θερμοκρασία αυτή ο Συμπυκνωτήρας πρέπει να λειτουργεί σε υψηλότερη θερμοκρασία (π.χ. 45°C) και έχει υπόψυξη περί τους 3°C (ώστε 45-3 = 42°C). Επομένως σε μία τυπική περίπτωση εφαρμογής τα δεδομένα έχουν ως εξής :

Ιδιότητα	τιμή	Ιδιότητα	τιμή
Ψυκτικό μέσο	R407C	Δρ Συμπυκνωτήρα [Bar]	0
T _E [°C]	7,00	Δρ Εξατμιστήρα [Bar]	0,00
T _Σ [°C]	45,00	Δρ γραμμής αναρρόφησης [Bar]	0,19
ΔT υπόψυξη [K]	3,00	Δρ γραμμής κατάθλιψης [Bar]	0,45
ΔT υπερθέρμανση [K]	3,00	Ισεντροπική απόδοση συμπιεστή	0,70

Με το πρόγραμμα υπολογίζονται αυτομάτως οι ενθαλπίες του ψυκτικού μέσου σε όλες τις φάσεις του κύκλου (όπου νείναι ο ειδικός όγκος και η ενθαλπία):

Σημείο	T	P	v	h
	°C	bar	m ³ /kg	kJ/kg
1	9,47	5,5	0,044	419,871
2	71,44	17,7	0,015	461,28
3	70,9	17,3	0,016	461,28
5	41,6	19,5	-	266,96
6	3	5,73	-	266,96
8	9,8	5,73	0,042	419,87

Επίσης υπολογίζονται τα συναλλασσόμενα ποσά ενέργειας:

Εξατμιστήρας	q _E [kJ/kg]	152,91	= (h ₈ - h ₆)
Συμπυκνωτήρας	q _Σ [kJ/kg]	194,32	= (h ₃ - h ₅)
Συμπιεστής	w [kJ/kg]	41,4	= (h ₁ - h ₂)
Κύκλος	EER	3,69	= (h ₈ - h ₆) / (h ₁ - h ₂)

Λαμβάνοντας μία τιμή για την επιθυμητή ψυκτική απόδοση Q_E τότε προκύπτει:

Εξατμιστήρας	Q _E [kW]	12,000	Λαμβανόμενο
Παροχή ψυκτικού	m [kg/s]	0,0785	= Q _E / q _E
Συμπυκνωτήρας	Q _Σ [kW]	15,25	= m . q _Σ
Συμπιεστής	W [kW]	3,250	= m . w

4.2.4 Εκτίμηση απόδοσης ΑΘ σταθερών στροφών υπό μερικό φορτίο (διακοπτόμενη λειτουργία)

Ο βαθμός απόδοσης όπως προσδιορίζεται στην προηγούμενη παράγραφο είναι στιγμιαίος με βάση της κρατούσες συνθήκες (εξωτερική θερμοκρασία, μέγεθος φορτίου) και όχι εποχιακός. Ο υπολογισμός αυτός δεν λαμβάνει υπ' όψιν τις πρόσθετες απώλειες μίας ΑΘ σταθερών στροφών οι οποίες οφείλονται στην διακοπτόμενη λειτουργία, όταν η ΑΘ έχει μεγαλύτερη ψυκτική ικανότητα P_{Ψ} από τις ψυκτικές απαιτήσεις του χώρου P_X , για μία συγκεκριμένη μέση εξωτερική θερμοκρασία.

Ο λόγος των ψυκτικών αυτών ισχύων καλείται μέσος λόγος ψυκτικής ικανότητας $\psi = P_{\Psi}/P_X$ και είναι υπεύθυνος για την διακοπτόμενη λειτουργία ΑΘ με σταθερές στροφές η οποία προκαλείται από τον θερμοστάτη της ΑΘ. Ο λόγος αυτός μπορεί να μετρηθεί με απλή μέτρηση των χρονικών διαστημάτων t_{Δ} κατά τα οποία η ΑΘ διακόπτει την λειτουργία της έναντι του συνολικού χρόνου λειτουργίας της ΑΘ t_o , δηλαδή του χρόνου που αυτή παραμένει ενεργοποιημένη και εντός λειτουργίας:

$$\psi = \Sigma (t_{\Delta}) / t_o \quad (\Delta.1)$$

Κατά την διάρκεια της διακοπής λειτουργίας, είτε λόγω θερμοστατικού ελέγχου είτε λόγω διακοπής λειτουργίας, η ΑΘ έχει ακόμα κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρονικά ελέγχου, ανεμιστήρας συμπυκνωτήρα, κλπ). Πρόσθετη κατανάλωση ρεύματος προκαλείται κατά την επανεκκίνηση της ΑΘ διότι μετά την διακοπή επέρχεται εξισορρόπηση των πιέσεων στο ψυκτικό κύκλωμα και χρειάζεται επιπρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια στον συμπιεστή για την αποκατάσταση της διαφοράς πίεσης και συνεπώς, της ψυκτικής ικανότητας της ΑΘ.

Το θέμα της εποχιακής απόδοσης αντιμετωπίζεται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN14825/2013 «*Airconditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling — Testing and rating a part load conditions and calculation of seasonal performance*» δηλαδή «*Κλιματιστικά, συσκευές ψύξεως υγρών και αντλίες θερμότητας – Δοκιμή και βαθμονόμηση σε συνθήκες μερικού φορτίου και υπολογισμός της εποχιακής επίδοσης*»

Για κλιματιστικά και ΑΘ σταθερών στροφών σε λειτουργία αφής/σβέσης (on/off) το πρότυπο αυτό προτείνει τον ακόλουθο τύπο για την εκτίμηση του μέσου EER_M κατά την διακοπτόμενη λειτουργία έναντι του μετρούμενου EER_{on} με την συνεχή λειτουργία δια την ίδια μέση εξωτερική θερμοκρασία :

$$EER_M = EER_{on} (1 - Cd \times (1 - \psi)) \quad (\Delta.2)$$

όπου Cd είναι ο συντελεστής υποβάθμισης (degradation) ο οποίος δίδεται από τους κατασκευαστές και εφ' όσον δεν είναι διαθέσιμος λαμβάνεται ίσος με 0,25.

Επομένως με την εξίσωση $\Delta.2$ είναι δυνατόν να προσεγγιστεί ο πραγματικός βαθμός απόδοσης μίας ΑΘ για μία συγκεκριμένη εξωτερική θερμοκρασία.

Η μέτρηση αυτή είναι πολύ σημαντική δια την εκτίμηση της οικονομικότητας μίας επεμβάσεως αντικατάστασης μίας υφιστάμενης αντλίας θερμότητας, ψύκτη ή κλιματιστικού με νέα ΑΘ διότι δείχνει την τάξη μεγέθους διαφορά στην απόδοση της υφιστάμενης από μία νέα ΑΘ. Όταν όμως αυτή η διαφορά δεν είναι ικανοποιητική, και κατά την κρίση του

ενεργειακού ελεγκτή, θα χρειαστεί η διενέργεια περισσότερων μετρήσεων δια την εύρεση του εποχιακού βαθμού απόδοσης μίας υφιστάμενης εγκατάστασης ψύξεως/κλιματισμού.

4.2.5 Εκτίμηση εποχιακού βαθμού απόδοσης

Η εκτίμηση για τον EER_M δεν ταυτίζεται με τον εποχιακό βαθμό απόδοσης της ΑΘ ο οποίος πρέπει να ληφθεί ως σταθμισμένος μέσος όρος των επιμέρους βαθμών απόδοσης σε διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες.

Για την εκτίμηση του εποχιακού βαθμού απόδοσης SEER γίνεται χρήση του τυποποιημένου πίνακα συχνοτήτων των κλιμακίων (bins) θερμοκρασιών κατά την εποχή ψύξεως/κλιματισμού, που δίδεται στον Πίνακα Δ.2 ο οποίος ελήφθη από τον Πίνακα 1 του Κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 206/2012 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ο οποίος καθορίζει τα κλιμάκια των μέσων εξωτερικών θερμοκρασιών δια τα οποία πρέπει να γίνονται δοκιμές μέτρησης των EER και COP στις νέες ΑΘ.

Ο εποχιακός βαθμός απόδοσης για ΑΘ σε εποχή θέρμανσης ή ψύξης προσδιορίζεται βάσει του προτύπου ΕΛΟΤΕΝ14825/2013. Τα ανωτέρω κλιμάκια αυτές συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα Α, Β, C, D για την ψύξη και Α, Β, C, D, E, F για την θέρμανση και δίδονται στον Πίνακα Δ.2 εντός των παραλληλογράμμων

Ακολουθώντας τα βήματα του προτύπου ΕΛΟΤΕΝ14825/2013 για τις νέες ΑΘ, η μεθοδολογία για την εκτίμηση του εποχιακού βαθμού απόδοσης των υφιστάμενων ΑΘ κατά την περίοδο της ψύξης έχει ως εξής :

1. Μέτρηση των EER_{on} στις συνθήκες μέσων εξωτερικών θερμοκρασιών Α(35°C), Β(30°C), C(25°C) και D(20°C), σύμφωνα με την παράγραφο Δ.3.3. Η ακριβής τήρηση των μέσων θερμοκρασιών δεν είναι δυνατή μια και οι δοκιμές γίνονται σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και όχι σε ελεγχόμενες συνθήκες εργαστηρίου. Δια τούτο μπορεί να γίνονται δοκιμές σε θερμοκρασίες που διαφέρουν κατά $\pm 1^\circ\text{C}$ έναντι των θερμοκρασιών αναφοράς των συνθηκών Α, Β, C και D.
2. Μέτρηση του λόγου ψυκτικής ικανότητας ΨΙ κατά την διάρκεια όλων των δοκιμών με βάση την εξίσωση Δ.1.
3. Υπολογισμός του μέσου βαθμού απόδοσης EER_M όλων των δοκιμών της διακοπτόμενης θέρμανσης βάσει της εξίσωσης Δ.2.
4. Εκτίμηση των βαθμών απόδοσης EER_K για όλα τα άλλα Κλιμάκια θερμοκρασιών του Πίνακα Δ.1 (εποχής ψύξης/κλιματισμού) ως εξής : α) για $T_j > 35^\circ\text{C}$ τότε $EER_K = EER_{35}$, β) $T_j < 20^\circ\text{C}$ τότε $EER = EER_{20}$ γ) για όλες τις άλλες θερμοκρασίες με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις εγγύτερες τιμές EER_M .
5. Υπολογισμός του εποχιακού βαθμού απόδοσης SEER βάσει του τύπου Δ.3

$$SEER = \frac{\sum_{j=1}^n H_j \times P_\Psi(T_j)}{\sum_{j=1}^n H_j \times \frac{P_\Psi(T_j)}{EER_K(T_j)}} \quad (\Delta.3)$$

όπου $P_\Psi(T_j)$ είναι η ζήτηση ψυκτικής ισχύος του κλιματιζόμενου χώρου η οποία προσδιορίζεται για κάθε κλιμάκιο εξωτερικής θερμοκρασίας ως εξής:

Πίνακας Δ.2: Κλιμάκια θερμοκρασιών των εποχών θέρμανσης και ψύξης/κλιματισμού (Πίνακας 1 του Κανονισμού 206/2012/ΕΕ), j = δείκτης κλιμακίου, T_j = θερμοκρασία εξωτερικού χώρου, H_j = διάρκεια κλιμακίου σε ώρες ανά έτος) όπου $\xi\beta$ = θερμοκρασία ξηρού βολβού

ΕΠΟΧΗ ΨΥΞΗΣ/ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ			ΕΠΟΧΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ				
j	T_j	H_j	j	T_j	H_j (ώρες/έτος)		
#	(°C $\xi\beta$)	(ώρες/έτος)	#	(°C $\xi\beta$)	μέση	θερμότερη	ψυχρότερη
1	17	205	1 έως 9	-30 έως -23	0	0	0
2	18	227	E 9	-22	0	0	1
3	19	225	10	-21	0	0	6
D 4	20	225	11	-20	0	0	13
5	21	216	12	-19	0	0	17
6	22	215	13	-18	0	0	19
7	23	218	14	-17	0	0	26
8	24	197	15	-16	0	0	39
C 9	25	178	16	-15	0	0	41
10	26	158	17	-14	0	0	35
11	27	137	18	-13	0	0	52
12	28	109	19	-12	0	0	37
13	29	88	20	-11	0	0	41
B 14	30	63	E 21	-10	1	0	43
15	31	39	22	-9	25	0	54
16	32	31	23	-8	23	0	90
17	33	24	A, F 24	-7	24	0	125
18	34	17	25	-6	27	0	169
A 19	35	13	26	-5	68	0	195
20	36	9	27	-4	91	0	278
21	37	4	28	-3	89	0	306
22	38	3	29	-2	165	0	454
23	39	1	30	-1	173	0	385
24	40	0	31	0	240	0	490
			32	1	280	0	533
			B,F,E 33	2	320	3	380
			34	3	357	22	228
			35	4	356	63	261
			36	5	303	63	279
			37	6	330	175	229
			C,F 38	7	326	162	269
			39	8	348	259	233
			40	9	335	360	230
			41	10	315	428	243
			42	11	215	430	191
			D 43	12	169	503	146
			44	13	151	444	150
			45	14	105	384	97
			46	15	74	294	61
Σύνολο ωρών		2602	Σύνολο ωρών		4910	3590	6446

$$P_{\Psi}(T_j) = P_{\Psi,N} \frac{(T_j - 16)}{(35 - 16)} \quad (\Delta.4)$$

όπου $P_{\Psi,N}$ είναι η ονομαστική ψυκτική ικανότητα του υπό εξέταση μηχανήματος.

Ο λόγος $(T_j-16)/(35-16)$ αντιστοιχεί στον λόγο μερικού φορτίου καθ' όσον για εξωτερική θερμοκρασία 35°C τα κλιματιστικά έχουν την μέγιστη ονομαστική επίδοση σχεδιασμού και για 16°C η ζήτηση του φορτίου μηδενίζεται (μηδενική απαίτηση ισχύος).

4.3 Μέτρηση του βαθμού απόδοσης Αντλίας Θερμότητας (ΑΘ) κατά την θέρμανση

4.3.1 Λειτουργία τυπικής διάταξης ΑΘ

Όταν η αντλία θερμότητας λειτουργεί για θέρμανση, ο τυπικός κύκλος παραμένει ο ίδιος του Σχήματος Δ.1 με την διαφορά ότι τώρα ο Συμπυκνωτής είναι η εσωτερική μονάδα και ο Εξατμιστής η εξωτερική. Δια την επίτευξη της αντιστροφής αυτής χωρίς να αλλάξει η διάταξη των επιμέρους συσκευών, οι ΑΘ διαθέτουν διάταξη βαλβίδων με την οποία αντιστρέφεται ο κύκλος και ο συμπιεστής αντί να καταθλίβει το ψυκτικό υγρό στην εξωτερική μονάδα, το καταθλίβει προς την εσωτερική μονάδα με αποτέλεσμα ο εναλλάκτης θερμότητας στην εσωτερική μονάδα να καθίσταται πλέον ως ο Συμπυκνωτής του κυκλώματος.

Κατά τα άλλα η θερμοδυναμική ανάλυση του θερμικού κύκλου της ΑΘ παραμένει η ίδια με εκείνη της παραγράφου Δ.2.2. Με την μέτρηση θερμοκρασιών και πιέσεων στα διάφορα σημεία του κυκλώματος της ΑΘ είναι δυνατόν να σχεδιαστεί ο θερμοδυναμικός κύκλος διάγραμμα ιδιοτήτων του εργαζόμενου ψυκτικού μέσου και να εξαχθούν έτσι τα βασικά ενεργειακά χαρακτηριστικά και οι αποδόσεις της ΑΘ κατά την θέρμανση.

4.3.2 Ο εποχιακός βαθμός απόδοσης υφιστάμενων ΑΘ σταθερών στροφών

Η διαδικασία υπολογισμού του SCOP ακολουθεί σε γενικές γραμμές τα ίδια βήματα με εκείνη που αναπτύσσεται στις παραγράφους Δ.2.4 και Δ.2.5 δια την περίπτωση της ψύξης/κλιματισμού. Μία σημαντική παραλλαγή στην διαδικασία υπολογισμού οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την θέρμανση υπάρχουν τρία επιμέρους κλιμάκια θερμοκρασιών όπως φαίνεται στον Πίνακα Δ.1 : *μέση, ψυχρότερη και θερμότερη περίοδος θέρμανσης* έναντι του ενός κλιμακίου της περιόδου ψύξης/κλιματισμού.

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤΕΝ14825/2013, δια τα τρία αυτά υποκλιμάκια θερμοκρασιών λαμβάνονται διαφορετικές θερμοκρασίες σχεδιασμού $T_{σχ}$ έναντι της μοναδικής θερμοκρασίας σχεδιασμού των 35°C η οποία προβλέπεται για την περίοδο ψύξης/κλιματισμού.

Οι σχετικές θερμοκρασίες $T_{σχ}$ για την περίοδο θέρμανσης ορίζονται ως εξής :

- $T_{σχ}$ για μέσες εξωτερικές θερμοκρασίες στους -10°C (-11°C υγρού βολβού)
- $T_{σχ}$ για ψυχρότερες εξωτερικές θερμοκρασίες στους -22°C (-23°C υγρού βολβού)
- $T_{σχ}$ για θερμότερες εξωτερικές θερμοκρασίες στους +2°C (+1°C υγρού βολβού)

Επίσης ορίζονται δύο ακόμα θερμοκρασίες σχεδιασμού :

- Η θερμοκρασία TOL κατά την οποία και σύμφωνα με δήλωση του κατασκευαστή, η ΑΘ διαθέτει ακόμα θερμαντική ικανότητα. Η θερμοκρασία αυτή είναι ίση ή μικρότερη από την θερμοκρασία σχεδιασμού της ΑΘ T_E (συνθήκη E)
- Η δισθενής θερμοκρασία T_{ΔΣ} (Tbivalent), η οποία ορίζεται ως η χαμηλότερη εξωτερική θερμοκρασία κατά την οποία η ΑΘ (κατά δήλωση του κατασκευαστή), διαθέτει θερμική ικανότητα η οποία καλύπτει κατά 100% την ζήτηση (συνθήκη F).
 - για τη μέση εποχή θέρμανσης : $T_{ΔΣ} \leq +2 \text{ } ^\circ\text{C}$ (ξβ) ή χαμηλότερη
 - για τη ψυχρότερη εποχή θέρμανσης: $T_{ΔΣ} \leq -7^\circ\text{CDB}$ ή χαμηλότερη
 - για τη θερμότερη εποχή θέρμανσης: $T_{ΔΣ} \leq +7^\circ\text{CDB}$ ή χαμηλότερη

Κατά την λειτουργία με εξωτερική θερμοκρασία κάτω της T_{ΔΣ}, τότε η ΑΘ συμπληρώνει την θερμική της ικανότητα με ηλεκτρικές αντιστάσεις ή με άλλη πηγή θερμότητας μέχρι την θερμοκρασία σχεδιασμού (TOL).

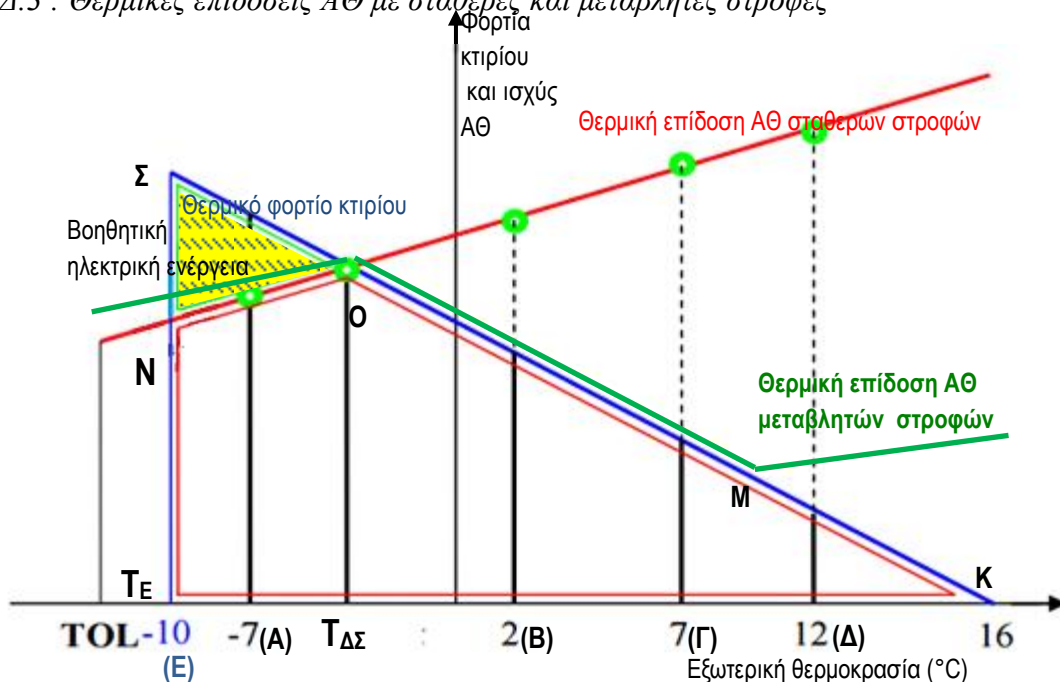
Το μερικό φορτίο λειτουργίας της ΑΘ υπολογίζεται κατ' αναλογία με την Δ.4 :

$$\text{Μερικό φορτίο} = \mu.φ. = \frac{(T_j - 16)}{(T_E - 16)} \quad (\Delta.5)$$

Όπως και στην περίπτωση του κλιματισμού, η θερμοκρασία των 16°C θεωρείται ως η εξωτερική θερμοκρασία δια την οποία μηδενίζονται πρακτικά τα φορτία θέρμανσεως. Αντίθετα τα φορτία σχεδιασμού εμφανίζονται όταν η εξωτερική θερμοκρασία φθάσει στα όρια της θερμοκρασίας σχεδιασμού (T_E = -10°C) για το κλιμάκιο μέσης θερμοκρασίας.

Τα φορτία θέρμανσης για το μέσο εποχιακό κλιμάκιο παριστάνονται γραφικά στο Σχήμα Δ.3 με την κυανή γραμμή. Στο ίδιο σχήμα εμφανίζονται και οι θερμικές επιδόσεις ΑΘ με σταθερές ή μεταβλητές στροφές. Η ΑΘ σταθερών στροφών εμφανίζει μέγιστες επιδόσεις στις υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίας (ερυθρά γραμμή) ενώ για θερμοκρασίες κάτω της δισθενούς θερμοκρασίας T_{ΔΣ} ενεργοποιείται η ηλεκτρική αντίσταση για την συμπληρωματική θέρμανση (κίτρινη διαγραμμισμένη περιοχή).

Σχήμα Δ.3 : Θερμικές επιδόσεις ΑΘ με σταθερές και μεταβλητές στροφές



Η ΑΘ μεταβλητών στροφών έχει την δυνατότητα να προσαρμόζει την επίδοσή της στις χαμηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες με την αύξηση των στροφών του συμπιεστή (πράσινη γραμμή και αριστερά από το σπάσιμο στο σημείο Μ). Το σημείο Μ αντιπροσωπεύει το σημείο των ελάχιστων στροφών λειτουργίας του συμπιεστή, αριστερότερα του οποίου ο συμπιεστής λειτουργεί με μεταβλητές στροφές. Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από το ύψος του σημείου Μ, η ΑΘ λειτουργεί με σταθερές στροφές (τις ελάχιστες) και ανταποκρίνεται στο μερικό φορτίο λειτουργίας με διακοπτόμενη θέρμανση.

Βάσει της εξίσωσης Δ.5 προκύπτουν οι ακόλουθοι συντελεστές μερικού φορτίου δια τα τρία διαφορετικά κλιμάκια θερμοκρασιών :

Κλιμάκιο \ T _j (°C) =	-22 (E)	-10 (E)	-7 (A,F)	2 (B,E,F)	7 (C,F)	12 (D)
Ψυχρότερο (-22°C)	100%	68%	61%	37%	24%	11%
Μέσο (-10°C)		100%	88%	54%	35%	15%
Θερμότερο (2°C)				100%	64%	29%

Στον Πίνακα Δ.2 δίδονται με αντίστοιχη έγχρωμη σκίαση οι καταστάσεις Α,Β, C, D, E και F δια τις τρεις εποχές θέρμανσης.

Στο πρότυπο ΕΛΟΤΕΝ14825/2013 προτείνεται ο υπολογισμός δύο διαφορετικών εποχιακών βαθμών αποδόσεως της ΑΘ SCOP_{NET} και SCOP με ή χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν η συμπληρωματική κατανάλωση από την βοηθητική ηλεκτρική πηγή (buck up heater) αντιστοίχως:

$$SCOP = \frac{\sum_{j=1}^n H_j \times P_{\Theta}(T_j)}{\sum_{j=1}^n H_j \times \left(\frac{P_{\Theta}(T_j) - elbu(T_j)}{COP_K(T_j)} + elbu(T_j) \right)} \quad (\Delta.6)$$

$$SCOP_{NET} = \frac{\sum_{j=1}^n H_j \times (P_{\Theta}(T_j) - elbu(T_j))}{\sum_{j=1}^n H_j \times \left(\frac{P_{\Theta}(T_j) - elbu(T_j)}{COP_K(T_j)} \right)} \quad (\Delta.7)$$

όπου $elbu(T_j)$ είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από την βοηθητική πηγή για $T_j < T_{\Delta\Sigma}$. Κατά τα άλλα η μεθοδολογία υπολογισμού ακολουθεί μεθοδολογία ανάλογη της παραγράφου Δ.2.5.η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο ΕΛΟΤΕΝ14825/2013

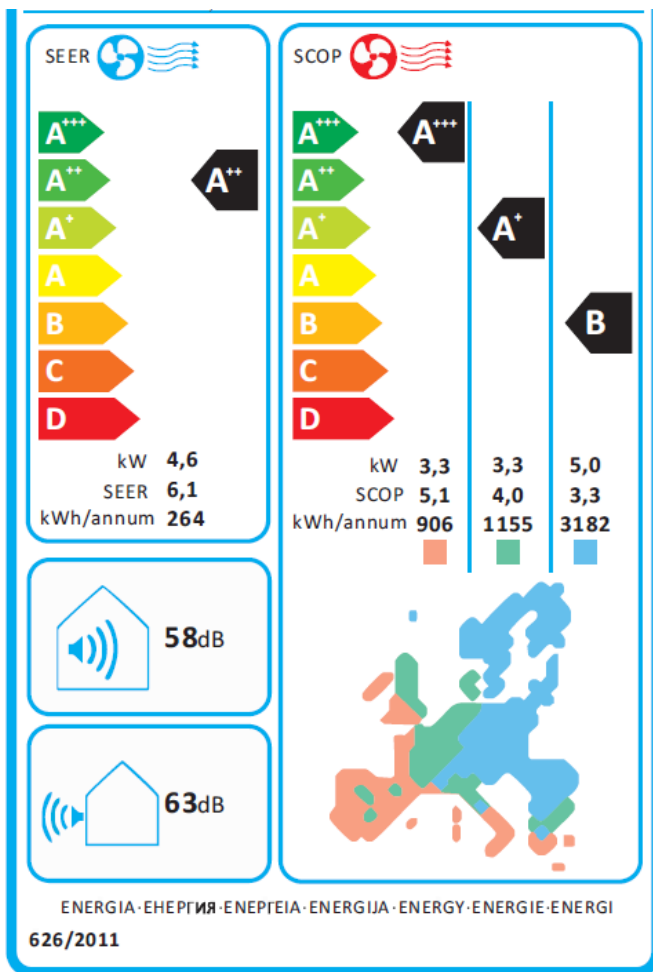
4.4 Οι Ευρωπαϊκές απαιτήσεις «οικολογικού σχεδιασμού» δια τις νέες ΑΘ

4.4.1 Γενικά

Με την Οδηγία 2009/125/ΕΚ της 21ης Οκτωβρίου 2009 για θεσπίστηκε το πλαίσιο για τον καθορισμό απαιτήσεων οικολογικού σχεδιασμού (eco-design) όσον αφορά τα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα. Ειδικότερα για τις αντλίες θερμότητας και τα κλιματιστικά θεσπίστηκε ο Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 206/2012 της 6ης Μαρτίου 2012 «για την εφαρμογή της οδηγίας 2009/125/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά τις απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού κλιματιστικών και ανεμιστήρων δροσισμού». Ο

κανονισμός αυτός περιορίζεται μόνο στις ΑΘ μέχρι 12 kW όπου είτε ο Εξατμιστήρας είτε ο Συμπυκνωτήρας ή και οι δύο, συναλλάσσουν επ' ευθείας θερμότητα με αέρα.

4.4.2 Η υποχρεωτική επισήμανση των ΑΘ του Κανονισμού (ΕΕ) 626/2011



Σύμφωνα με τον κατ' εξουσιοδότηση Κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 626/2011 της Επιτροπής της 4ης Μαΐου 2011, ο οποίος συμπληρώνει την Οδηγία 2010/30/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά την επισήμανση της κατανάλωσης ενέργειας των κλιματιστικών, από 1^η Ιανουρίου 2013, όλες οι ΑΘ και τα κλιματιστικά που κυκλοφορούν στην αγορά θα φέρουν επισήμανση (label) αναφορικά με τους εποχιακούς βαθμούς απόδοσης τόσο κατά την εποχή ψύξης όσο και της θέρμανσης (εφ' όσον διαθέτουν αυτή την ικανότητα). Μία τυπική επισήμανση μίας πωλούμενης ΑΘ δίδεται στο παράπλευρο σχήμα.

Η Οδηγία 2010/30 και ο Κανονισμός 626/2011 έθεσαν τις βάσεις για την διαμόρφωση της μεθοδολογίας υπολογισμού των εποχιακών βαθμών απόδοσης, τις οποίες όμως ολοκλήρωσε το πρότυπο ΕΛΟΤΕΝ 14825/2013.

Οι τάξεις επισήμανσης της ενεργειακής απόδοσης δίδονται στον Πίνακα Δ.4 που

ακολουθεί. Όπως φαίνεται ανωτέρω στο πιστοποιητικό, η επισήμανση των αποδόσεων δίδεται χωριστά δια την εποχή ψύξης και για τις τρεις εποχές θέρμανσης : ψυχρότερη με γαλάζιο χρώμα, την μέση με πράσινο χρώμα και την θερμότερη με πορτοκαλόχρουν χρώμα.

Πίνακας Δ.4 : Τάξεις εποχιακής ενεργειακής απόδοσης ΑΘ

Τάξη ενεργειακής απόδοσης	SEER	SCOP
A+++	SEER ≥ 8,50	SCOP ≥ 5,10
A++	6,10 ≤ SEER < 8,50	4,60 ≤ SCOP < 5,10
A+	5,60 ≤ SEER < 6,10	4,00 ≤ SCOP < 4,60
A	5,10 ≤ SEER < 5,60	3,40 ≤ SCOP < 4,00
B	4,60 ≤ SEER < 5,10	3,10 ≤ SCOP < 3,40
C	4,10 ≤ SEER < 4,60	2,80 ≤ SCOP < 3,10
D	3,60 ≤ SEER < 4,10	2,50 ≤ SCOP < 2,80
E	3,10 ≤ SEER < 3,60	2,20 ≤ SCOP < 2,50
F	2,60 ≤ SEER < 3,10	1,90 ≤ SCOP < 2,20
G	SEER < 2,60	SCOP < 1,90

4.4.3 Απαιτήσεις εποχιακής απόδοσης ΑΘ για την ψύξη/κλιματισμό

Σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΕ) 206/2012, από την 1η Ιανουαρίου 2014 τα κλιματιστικά και οι ΑΘ που κυκλοφορούν στην Ευρωπαϊκή αγορά, και πιστοποιούνται βάσει του Κανονισμού (ΕΕ) 626/2011, θα πρέπει να πληρούν κατ' ελάχιστον τις απαιτήσεις κατά τον κατωτέρω πίνακα, σύμφωνα με τους υπολογισμούς κατά το παράρτημα ΙΙ του Κανονισμού :

Πίνακας Δ.5 : Ελάχιστοι εποχιακοί βαθμοί απόδοσης ΑΘ κατά την ψύξη

Κλιματιστικά, πλην των κλιματιστικών δύο αεραγωγών και ενός αεραγωγού	SEER	SCOP (εποχή θέρμανσης: μέση)
Εάν το GWP του ψυκτικού μέσου είναι > 150 για ισχύ < 6 kW	4,6	3,8
Εάν το GWP του ψυκτικού μέσου είναι ≤ 150 για ισχύ < 6 kW	4,14	3,42
Εάν το GWP του ψυκτικού μέσου είναι > 150 για ισχύ 6 – 12kW	4,3	3,8
Εάν το GWP του ψυκτικού μέσου είναι ≤ 150 για ισχύ 6 – 12kW	3,87	3,42

Ο δείκτης GWP χαρακτηρίζει τα φθοριούχα ψυκτικά μέσα των ΑΘ και το δυναμικό τους για την θέρμανση του πλανήτη στον κύκλο ζωής του προϊόντος, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. GWP = δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (global warming potential, GWP).

Ορίζεται ως το μέτρο του κατά πόσον 1 kg ψυκτικού μέσου στον κύκλο συμπίεσης ατμού θεωρείται ότι συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη, το οποίο εκφράζεται σε χιλιόγραμμα ισοδύναμου CO₂ για χρονικό ορίζοντα 100 ετών.

Οι τιμές GWP ορίζονται στο παράρτημα Ι του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 842/2006. Από τον Κανονισμό αυτό προκύπτει ότι η συντριπτική πλειοψηφία των εν χρήσει ψυκτικών ουσιών έχουν GWP >> 150.

Επομένως και βάσει των ανωτέρω απαιτήσεων, στην αγορά κυκλοφορούν μόνο ΑΘ και κλιματιστικά μεταβλητών στροφών και όχι σταθερών τύπου αφής/σβέσης με τάξη ενεργειακής απόδοσης από C και επάνω.

4.5 Οι προδιαγραφές της Eurovent για μεγάλα κλιματιστικά και αντλίες θερμότητας

Τα μεγάλα κλιματιστικά και αντλίες θερμότητας άνω των 12 kW καθώς οι ψύκτες ή αντλίες θερμότητας νερού-νερού πιστοποιούνται σήμερα από τον οργανισμό EUROVENT με βάση τον δείκτη ESEER (European SEER)

$$ESEER = 0,03 \cdot EERA + 0,33 \cdot EERB + 0,41 \cdot EERC + 0,23 \cdot EERD \quad (\Delta.8)$$

όπου οι επιμέρους δείκτες EER προσδιορίζονται με μετρήσεις για τις συνθήκες A, B, C και D που δίδονται στον Πίνακα Δ.6 που ακολουθεί.

Στον πίνακα αυτό η στήλη «θερμοκρασία εξωτερικού αέρα» αφορά τους αερόψυκτους ψύκτες ή ΑΘ ενώ η στήλη «θερμοκρασία νερού» αφορά τους υδρόψυκτους.

Επομένως για τα μεγάλα κλιματιστικά είναι δυνατόν να γίνει εκτίμηση του εποχιακού βαθμού απόδοσης SEER λαμβάνοντας μετρήσεις σε συνθήκες του Πίνακα Δ.6 και χρησιμοποιώντας τον τύπο Δ.8.

Για τις αντλίες θερμότητας σταθερών στροφών, η διαδικασία μετρήσεων των επιμέρους EER γίνεται με βάση μέθοδο των παραγράφων Δ.2.3 και Δ.2.4

Πίνακας Δ.6 : Συνθήκες μέτρησης των επιμέρους βαθμών απόδοσης EER

Συνθήκες μέτρησης EER	Λόγος μερικού φορτίου	Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα (°C)	Θερμοκρασία νερού (°C)	Συντελεστές βαρύτητας
A	100%	35	30	3%
B	75%	30	26	33%
C	50%	25	22	41%
D	25%	20	18	23%

Οι ελάχιστες απαιτήσεις απόδοσης της Eurovent για την περίοδο ψύξεως δίδονται στον Πίνακα Δ.7.

Πίνακας Δ.7 : Ελάχιστες απαιτήσεις απόδοσης κατά την ψύξη

Προϊόν	Κατηγορία	Ψυκτική ικανότητα	Υποκατηγορία	Ελάχιστο SEER
Μικρές αντλίες θερμότητας και κλιματιστικά εμπορικού τομέα	Αερόψυκτα	<65.000 Btu/h (19 kW)	Διαιρούμενα, Ενιαία	2,93 2,84
	Υδρόψυκτα, εξατμιστική ψύξη	<17.000 Btu/h (5kW)	Κλιματιστικά ΑΘ	3,55 3,28
		> 65.000 Btu/h και< 135.000 Btu/h (40 kW)	Κλιματιστικά ΑΘ	3,37 3,52
Μεγάλες αντλίες θερμότητας και κλιματιστικά εμπορικού τομέα	Αερόψυκτα	> 135.000 Btu/h και< 240.000 Btu/h (70 kW)	Όλα	2,5
	Υδρόψυκτα, εξατμιστική ψύξη	>135.000 Btu/h και<240.000 Btu/h (70kW)	Όλα	2,8

Παράρτημα 5: Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ)

5.1 Οι προβλέψεις του νόμου 4342/2015.

5.1.1 Γενικά

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ) καταλαμβάνει σημαντικό μέρος των διατάξεων του νέου νόμου 4342/2015. Το άρθρο 15 του νόμου καλεί για αξιολόγηση του δυναμικού συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) με ή χωρίς δίκτυα τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης.

Με το άρθρο αυτό προβλέπεται ότι σε περίπτωση νέων ή ανακαινιζόμενων μεγάλων εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής ηλεκτροπαραγωγικής θερμικής ισχύος >20MW, διενεργείται υποχρεωτικά ανάλυση κόστους-οφέλους «από τους φορείς λειτουργίας των εγκαταστάσεων» «προκειμένου να αξιολογηθεί το κόστος και τα οφέλη από τη λειτουργία της εγκατάστασης ως εγκατάσταση συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης».

Το ίδιο προβλέπεται όταν σχεδιάζεται ή ανακαινίζεται :

- μία βιομηχανική μονάδα θερμικής ισχύος >20MW «που παράγει απορριπτόμενη θερμότητα σε χρήσιμα επίπεδα θερμοκρασίας».
- ένα νέο δίκτυο τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης ή όταν σε υφιστάμενο δίκτυο προβλέπεται νέα εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας με συνολική ονομαστική θερμική ισχύ άνω των είκοσι μεγαβάτ (20 MW)

Από την άλλη πλευρά μέσα στα καθήκοντα του ενεργειακού ελέγχου μεγάλων επιχειρήσεων συνήθως περιλαμβάνεται και η ανασκόπηση του δυναμικού της συμπαραγωγής ως εναλλακτική τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας. Επομένως σε είναι απαραίτητο να δοθεί ένας σε αυτό τον Οδηγό μία συνοπτική μεθοδολογία αξιολόγησης του δυναμικού αυτού τόσο από ενεργειακής όσο και από οικονομικής άποψης.

5.1.2 Οι τεχνολογίες ΣΗΘ

Ως συμπαραγωγή ορίζεται από τον νόμο «η ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας στο πλαίσιο μίας μόνο διαδικασίας». Με τον ορισμό αυτό περιλαμβάνεται ένας πολύ μεγάλος συνδυασμός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής με τεχνολογίες ανάκτησης θερμότητας από τις μηχανές ηλεκτροπαραγωγής. Ειδικότερα όμως ο νόμος καλύπτει μόνο τις τεχνολογίες που δίδονται στον Πίνακα Ε.1. (Παράρτημα Ι του νόμου) Ειδικότερα για τις πέντε πρώτες κλάσεις τεχνολογίας ΣΗΘ δίδεται και ο τυπικός λόγος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς θερμότηταςC, ο οποίος είναι χαρακτηριστικός σε κάθε τεχνολογία συμπαραγωγής.

Η παραγόμενη θερμότητα από την ΣΗΘ είναι «ωφέλιμη θερμότητα» όταν ικανοποιεί μία οικονομικά δικαιολογημένη ζήτηση για θέρμανση ή ψύξη. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ΣΗΘ καταναλώνεται είτε στις εγκαταστάσεις του φορέα της μονάδας συμπαραγωγής (αυτοπαραγωγή) είτε διοχετεύεται στο δίκτυο.

Η συμπαραγωγή καλείται υψηλής απόδοσης όταν εξοικονομεί πρωτογενή ενέργεια κατά τουλάχιστον 10% έναντι της χωριστής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από το ίδιο καύσιμο, όπως ορίζεται στο Παράρτημα ΙΙ του νόμου.

Η μεθοδολογία υπολογισμού της απόδοσης της συμπαραγωγής δίδεται στο Παράρτημα Ι .

Στη συνέχεια δίδονται αναλυτικά τα βασικά βήματα της μεθοδολογίας υπολογισμού.

Πίνακας E.1 : Τεχνολογίες συμπαραγωγής του Παραρτήματος I του Ν.4342/2015

Τύπος μονάδας	Προκαθορισμένος λόγος ηλεκτρικής ενέργειας προς θερμότητα, C
α) Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου με ανάκτηση θερμότητας	0,95
β) Ατμοστρόβιλος με αντίθλιψη	0,45
γ) Ατμοστρόβιλος συμπύκνωσης-απομάστευσης	0,45
δ) Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	0,55
ε) Κινητήρας εσωτερικής καύσης	0,75
στ) Μικροστρόβιλοι	--
ζ) Μηχανές Stirling	--
η) Κυψέλες καυσίμου	--
θ) Ατμομηχανές	--
ι) Κύκλοι Rankine για βιομάζα	--

5.2 Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας υψηλής απόδοσης ΣΗΘΥΑ

5.2.1 Γενικά

Το ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται με τον συντελεστή PESR: Primary Energy Savings Ratio) = Λόγος Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας ή αλλιώς PES, ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$PES = \frac{F_X - F_\Sigma}{F_X} = 1 - \frac{F_\Sigma}{F_X} \quad (E.1)$$

όπου

F_X είναι το καύσιμο που απαιτείται για την χωριστή παραγωγή Q_E μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας και Q_H μονάδων θερμότητας.

F_Σ είναι το καύσιμο της μονάδας Συμπαραγωγής για την παραγωγή ακριβώς των ιδίων ποσοτήτων ωφέλιμης ηλεκτρικής Q_E και θερμικής Q_H .

Εάν ληφθεί ότι :

$\eta_{X,E}$ ο βαθμός απόδοσης μίας συμβατικής μονάδας σύγχρονης τεχνολογίας η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια με το ίδιο καύσιμο με εκείνο της μονάδας συμπαραγωγής

$\eta_{X,H}$ ο βαθμός απόδοσης του συμβατικού λέβητα παραγωγής θερμότητας (νερό, ατμός) σύγχρονης τεχνολογίας με το ίδιο καύσιμο με εκείνο της μονάδας συμπαραγωγής και

$\eta_{\Sigma,E}$ και $\eta_{\Sigma,H}$ είναι οι βαθμοί απόδοσης της μονάδας συμπαραγωγής για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας αντιστοίχως, τότε :

$$F_X = Q_E / \eta_{X,E} + Q_H / \eta_{X,H} \text{ και } F_\Sigma = Q_E / \eta_{\Sigma,E} + Q_H / \eta_{\Sigma,H}$$

$$\text{καθώς και} \quad Q_E = F_\Sigma \cdot \eta_{\Sigma,E} \quad \text{και} \quad Q_H = F_\Sigma \cdot \eta_{\Sigma,H} \quad (\text{E.2})$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση E.1 προκύπτει :

$$PES = 1 - \frac{F_\Sigma}{F_X} = 1 - \frac{F_\Sigma}{\frac{Q_E}{\eta_{X,E}} + \frac{Q_H}{\eta_{X,H}}} = 1 - \frac{F_\Sigma}{\frac{F_\Sigma \cdot \eta_{\Sigma,E}}{\eta_{X,E}} + \frac{F_\Sigma \cdot \eta_{\Sigma,H}}{\eta_{X,H}}} \quad (\text{E.3})$$

$$\text{ή απαλείφοντας το } F_\Sigma: \quad PES = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{\Sigma,E}}{\eta_{X,E}} + \frac{\eta_{\Sigma,H}}{\eta_{X,H}}} \quad (\text{E.4})$$

Αυτός είναι ο τύπος δια το ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας που δίδεται στο Παράρτημα II του νόμου με τις ακόλουθες διαφορές στα σύμβολα :

Σύμβολο εδώ	$\eta_{X,E}$	$\eta_{X,H}$	$\eta_{\Sigma,E}$	$\eta_{\Sigma,H}$
Σύμβολο στον νόμο 4342/2015	Ref Eη	Ref Hη	CHP Eη	CHP Hη

Στο νόμο αντί του συμβόλου «X» (χωριστή παραγωγή) δίδεται το σύμβολο Ref (αναφοράς). Κατά τα άλλα τα σύμβολα για την ηλεκτρική ενέργεια 'E', την θερμότητα 'H' (Heat) καθώς και το σύμβολο για τον βαθμό απόδοσης η είναι κοινά αλλά σε ανεστραμμένη διάταξη.

5.2.2 Οι τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης για την χωριστή παραγωγή

Οι τιμές αναφοράς για τα $\eta_{X,E}$ και $\eta_{X,H}$ δίδονται από τον ΚΑΤ' ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΗΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2015/2402 της Επιτροπής της 12ης Οκτωβρίου 2015 με τον οποίο αναθεωρούνται οι εναρμονισμένες τιμές αναφοράς ως προς την απόδοση για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας κατ' εφαρμογή της οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και καταργείται η εκτελεστική απόφαση 2011/877/ΕΕ της Επιτροπής.

Με την απόφαση αυτή προβλέπεται ότι από το 2016 και μετά και για καύσιμο το φυσικό αέριο $\eta_{X,E} = 53\%$ και $\eta_{X,H} = 92\%$ (για παραγωγή ζεστού νερού).

Ο βαθμός απόδοσης αναφοράς για την χωριστή ηλεκτροπαραγωγή του 53% είναι πολύ υψηλός και προφανώς αντιστοιχεί σε μονάδα ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου. Στην ανωτέρω απόφαση προβλέπονται διορθωτικοί συντελεστές για τον $\eta_{X,E}$ όταν η μέση ετησία εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη των 15°C με μία διόρθωση ίση με $\pm 0,1\%$ αύξηση της απόδοσης ανά βαθμό της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κάτω ή άνω των 15°C.

Επίσης προβλέπονται συντελεστές διόρθωσης ως το ύψος της τάσης του δικτύου με το οποίο συνδέεται η μονάδα συμπαραγωγής.

Π.χ. εάν μία μονάδα συμπαραγωγής συνδέεται με το δίκτυο υψηλής τάσης των 150 kV και εξάγει το 30% της παραγόμενης ισχύος στο δίκτυο ενώ η υπόλοιπη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ιδιοκαταναλώνεται εντός της εγκατάστασής τότε βάσει του Πίνακα του Παραρτήματος IV της ανωτέρω απόφασης, ο χωριστός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης γίνεται ίσος με : $53\% (0,951 \times 70\% + 0,963 \times 30\%) = 53\% (0,9546) = 50,6\%$

5.2.3 Ο χάρτης τεχνολογιών ΣΗΘ υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ)

Για την γραφική απεικόνιση των εναλλακτικών τεχνολογιών συμπαραγωγής όπως αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα E.1 η εξίσωση E.4 επιλύεται ως προς τον θερμικό βαθμό απόδοσης της συμπαραγωγής :

$$\pi = \frac{1}{1 - PES} = \left(\frac{\eta_{\Sigma,E}}{\eta_{X,E}} + \frac{\eta_{\Sigma,H}}{\eta_{X,H}} \right) \Rightarrow \eta_{\Sigma,H} = \pi \cdot \eta_{X,H} - \frac{\eta_{X,H}}{\eta_{X,E}} \eta_{\Sigma,E} \quad (E.5)$$

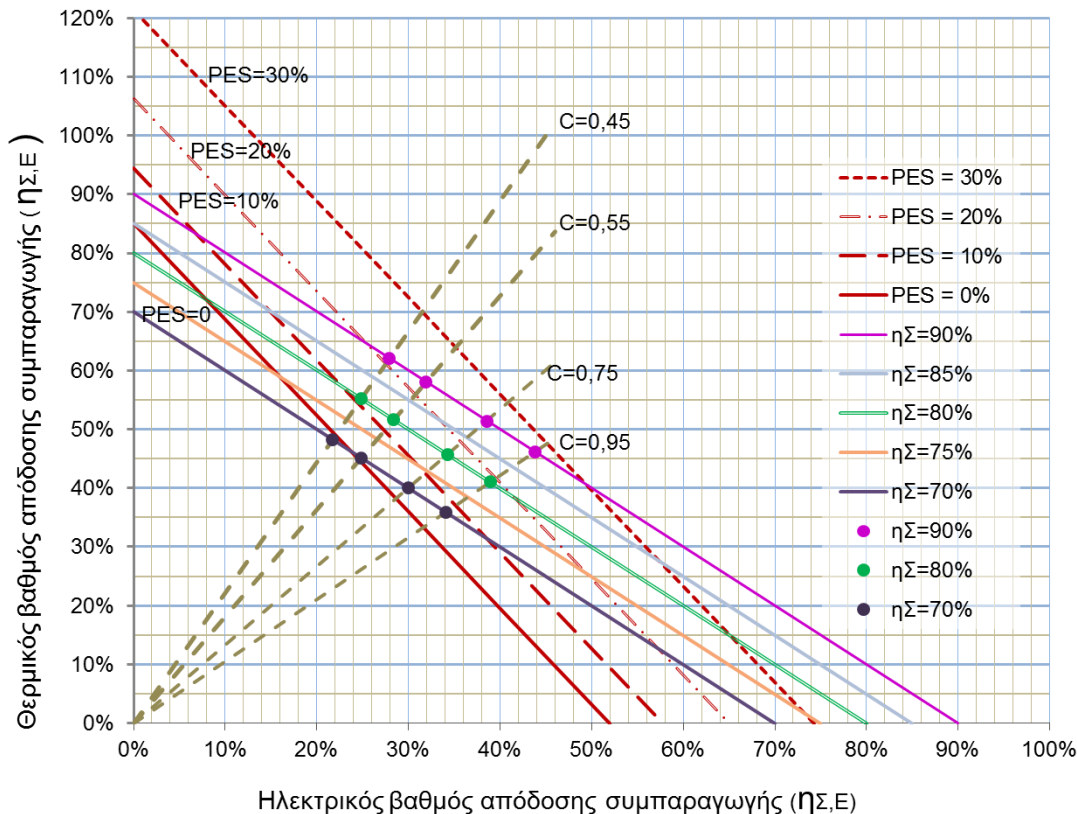
όπου π είναι μία αριθμητική παράμετρος που συνδέεται ευθέως με τον συντελεστή PES. Από την εξίσωση E.5 παρατηρείται ότι εφ' όσον οι τιμές για τον χωριστό ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης είναι γνωστές, τότε για κάθε τιμή του PES δηλαδή του π , προκύπτει μία γραμμική σχέση μεταξύ του ηλεκτρικού και του θερμικού βαθμού απόδοσης της συμπαραγωγής, οι οποίες έχουν όλες το ίδιο PES, όπως φαίνεται στο Σχήμα E.1, το οποίο έχει κατασκευαστεί με : $\eta_{X,E} = 52\%$ και $\eta_{X,H} = 85\%$

Η εξίσωση E.5 δίδεται με τις ερυθρές παράλληλες γραμμές με την συνεχή γραμμή δια PES=0, την έντονη διακεκομμένη για PES = 0,1 για την αξονική διακεκομμένη για PES=0,2 και την ψιλή διακεκομμένη για PES =0,3.

Οι τεχνολογίες ΣΗΘ παριστάνονται με κύκλους οι οποίοι ευρίσκονται εις τα σημεία τομής των γραμμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα C(γκρίζες διακεκομμένες) και των γραμμών ολικού βαθμού απόδοσης της συμπαραγωγής : $\eta_{\Sigma} = \eta_{\Sigma,E} + \eta_{\Sigma,H}$

Παρατηρείται ότι οι τεχνολογίες με χαμηλό συνολικό βαθμό απόδοσης 70% (κύκλοι με βαθύ κυανό χρώμα) κείται κατακορύφως κάτω της γραμμής PES=10% και επομένως δεν συνιστούν ΣΗΘΥΑ.

Σχήμα E.1 : Χάρτης απόδοσης τεχνολογιών ΣΗΘ βάσει του Παραρτήματος II



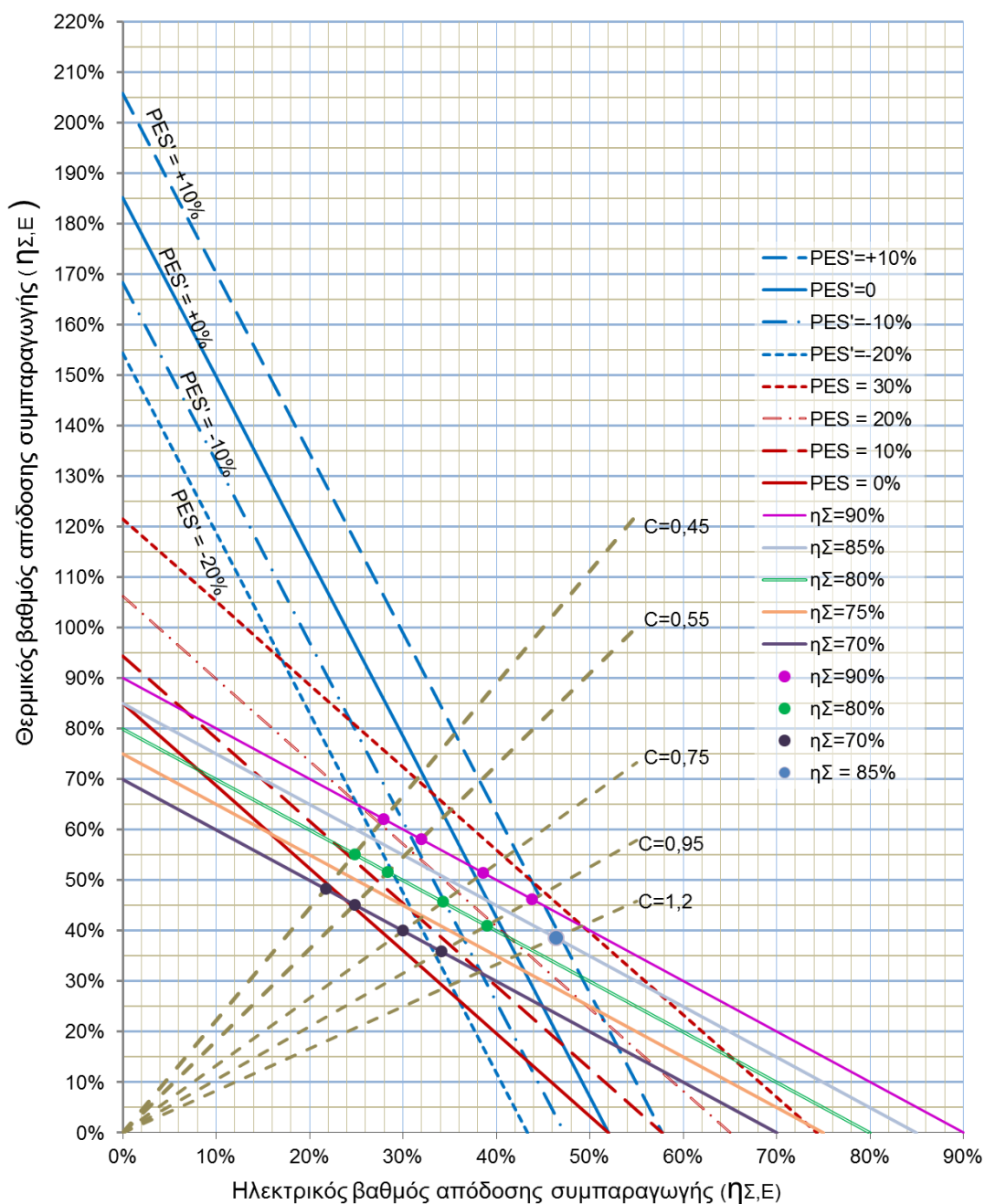
Αντίθετα οι τεχνολογίες ΣΗΘ με ολικό βαθμό απόδοσης 80% (πράσινοι κύκλοι) και 90% (κύκλοι με ανοιχτό ιώδες χρώμα) είναι όλες ΣΗΘΥΑ ενώ εκείνες με ολικό βαθμό απόδοσης 90% (ανοιχτό ιώδες χρώμα) εμφανίζουν εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργεια άνω του 20% έως και 30% όπως προκύπτει από κατακόρυφη γραμμική παρεμβολή μεταξύ των γραμμών.

5.2.4 Σύγκριση συμπαραγωγής ΣΥΘΗΑ με αντλία θερμότητας ως τεχνολογία χωριστής θέρμανσης

Στο Σχήμα E.2 έχουν προστεθεί με γαλάζιες γραμμές οι αποδόσεις PES' οι οποίες έχουν κατασκευαστεί με αντλία θερμότητας ως τεχνολογία χωριστής θέρμανσης με εποχιακό βαθμό απόδοσης SCOP= 3,56 άρα με πρωτογενή βαθμό απόδοσης $\eta_{A\theta}$ ίσο με :

$$\eta_{X,H} = \eta_{A\theta} = \eta_{X,E} \cdot SCOP = 52\% (3,56) = 1,85 = 185\%$$

Σχήμα E.2: Συγκριτικός χάρτης απόδοσης PES' τεχνολογιών ΣΗΘ με $\eta_{X,H} = 185\%$



Από τον χάρτη αυτό διαπιστώνεται ότι από τις 12 τεχνολογίες ΣΗΘ εκ των οποίων οι 8 είναι ΣΗΘΥΑ, μόνο δύο τεχνολογίες (με $\eta_S=90\%$ και υψηλές τιμές του λόγου C) μπορούν να επιφέρουν εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργεια έναντι χωριστής παραγωγής με $\eta_{X,E}=52\%$ και $\eta_{X,H}=185\%$ από μία αντλία θερμότητας με COP = 3,65. Και τούτο διότι θέρμανση με μία σύγχρονη αντλία θερμότητας έχει πρωτογενή απόδοση 185% έναν του 85% ενός λέβητα!

Για αντλίες θερμότητας με υψηλότερους εποχιακούς βαθμούς απόδοσης κλάσεως A ή μεγαλύτερης (βλέπε Πίνακα Δ.4) τότε μόνο η μονάδα ΣΗΘΥΑ με ολικό βαθμό απόδοσης ίσο με 90% και λόγω ηλεκτρισμού προς θερμότητα 0,95 είναι σε θέση να προσφέρει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Επίσης στο Σχέδιο E.2 έχει προστεθεί με γαλάζιο κύκλο μία μονάδα ΣΗΘΥΑ με C= 1,2 και ολικό βαθμό απόδοσης 85%. Η μονάδα αυτή έχει ιδιαιτέρως καλή απόδοση και επιφέρει εξοικονόμηση περί τα 10% της χωριστής παραγωγής με ηλεκτρικό και θερμικό βαθμό απόδοσης ίσους με 52% και 185% αντιστοίχως. Σήμερα η τεχνολογία ΣΗΘΥΑ είναι διαθέσιμη, ακόμα και σε μικρότερη κλίμακα παραγωγής, διότι σήμερα διατίθενται στην αγορά μηχανές εσωτερικής καύσεως ισχύος από 1 έως 5 MWe με ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 46%. Σε μεγαλύτερα μεγέθη (≥ 15 MWe) τέτοιους βαθμούς αποδόσεως έχουν μονάδες συνδυασμένου κύκλου (αεριστροβίλου + αμμοστροβίλου) με ανάκτηση θερμότητας.

Το συμπέρασμα του χάρτη του σχήματος E.2 είναι ότι με την διάδοση της τεχνολογίας της αντλίας θερμότητας, είναι συνήθως προτιμότερο δια την θέρμανση χώρων να καίγεται το φυσικό αέριο σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής υψηλού βαθμού απόδοσης, και το παραγόμενο ρεύμα να διοχετεύεται στη συνέχεια σε αντλίες θερμότητας παρά να καίγεται το φυσικό αέριο απ' ευθείας στον καυστήρα του λέβητα.

Εξαιρέση σε αυτό τον κανόνα αποτελούν οι σύγχρονες μονάδες συμπαραγωγής με πολύ υψηλό ηλεκτρικό (>46%) αλλά και ολικό βαθμό απόδοσης (~85%) διότι αυτές επιφέρουν μία εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 25% έναντι της νέας υψηλής τεχνολογίας λέβητα και κατά 10% έναντι της νέας τεχνολογίας αντλιών θερμότητας.

Οι ανωτέρω προτάσεις ισχύουν μόνο στην περίπτωση όπου τα θερμικά φορτία δύνανται να ικανοποιηθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες (έως 45°C). Στην περίπτωση συστημάτων θέρμανσης υψηλότερων θερμοκρασιών (περί τους 70°C) ο εποχιακός βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας μειώνεται σημαντικά και μειώνεται ακόμα περισσότερο όσο υψηλότερες είναι η θερμοκρασιακές απαιτήσεις των θερμικών φορτίων. Επομένως στις περιπτώσεις αυτές ισχύουν μόνο τα συμπεράσματα του σχήματος E.1.

5.3 Εναλλακτικός υπολογισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ

5.3.1 Οι διατάξεις του Παραρτήματος I του νόμου 4342/2015

Στο μέρος 1 του Παραρτήματος I ο νόμος επικεντρώνεται στις τεχνολογίες του Πίνακα E.1. και ορίζει την μεθοδολογία υπολογισμού της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Προκειμένου ο νομοθέτης να αποτρέψει την χρήση των μηχανών συμπαραγωγής μόνο για ηλεκτροπαραγωγή χωρίς την παράλληλη αξιοποίηση των θερμικών απορρίψεων των μηχανών αυτών, στο Παράρτημα I προβλέπεται ότι η ηλεκτροπαραγωγή από ΣΗΘ λαμβάνεται ίση με την πραγματική ή την αναμενόμενη μόνον όταν ο συνολικός βαθμός απόδοσης της ΣΗΘ είναι >75% για τις τεχνολογίες β), δ), ε), στ), ζ) και η) και >80% για τις τεχνολογίες α) και γ). Στην περίπτωση αυτή ισχύουν τα αναφερόμενα εις την προηγούμενη

παράγραφο 6.2. Οι ανωτέρω βαθμοί απόδοσης του 75% και 80% συνιστούν ένα Κατώφλι Απόδοσης. Για ολικές αποδόσεις ΣΗΘ κάτω του Κατωφλίου αυτού, ο νόμος προβλέπει εναλλακτική μέθοδο υπολογισμού κατά την οποία η ηλεκτροπαραγωγή της μονάδας ΣΗΘ λαμβάνεται λογιστικά ως εξής:

$$E'_{\Sigma} = H_{\Sigma}C \quad (E.6)$$

όπου E'_{Σ} είναι η λαμβανόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή, C ο λόγος ηλεκτρικής ενέργειας προς θερμότητα της μονάδας και H_{Σ} η ποσότητα ωφέλιμης θερμότητας από συμπαραγωγή (υπολογιζόμενη για τον σκοπό αυτό ως η συνολική παραγωγή θερμότητας μείον τη θερμότητα που παράγεται ενδεχομένως από χωριστούς λέβητες ή από την απομάστευση ζωντανού ατμού του ατμολέβητα από τον ατμαγωγό πριν από την άφιξή του στον ατμοστρόβιλο.

Ο λόγος C είναι ο πραγματικός λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ της μονάδας συμπαραγωγής όπως δίδεται από τον κατασκευαστή για πλήρες φορτίο και εφ' όσον δεν είναι διαθέσιμος, τότε λαμβάνεται η προεπιλεγμένη από τον Νόμο τιμή του Πίνακα Ε.1.

Όταν $E'_{\Sigma} \geq E_{\Sigma}$, δηλαδή όταν E'_{Σ} είναι μεγαλύτερη ή ίση από την πραγματικώς παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια E_{Σ} από την μονάδα συμπαραγωγής τότε λαμβάνεται $E'_{\Sigma} = E_{\Sigma}$.

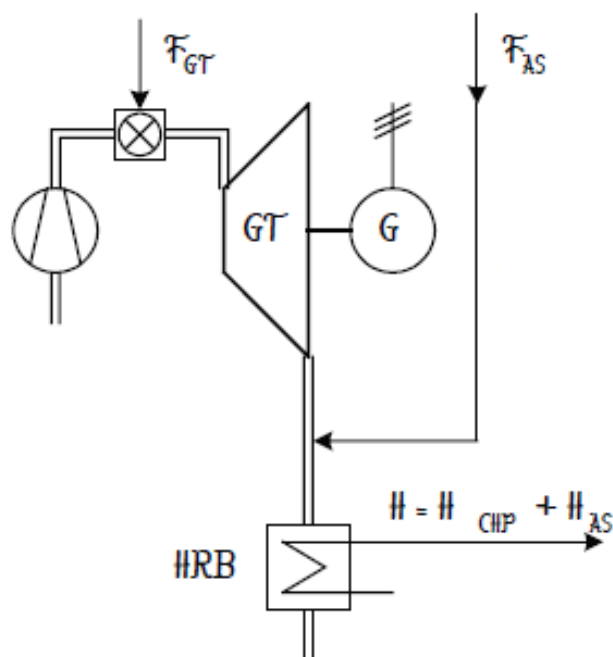
5.3.2 Διατάξεις ΣΗΘ με βοηθητική μη συμπαραγωγική θερμότητα

Το Σχήμα Ε.3 είναι χαρακτηριστική περίπτωση ανάμειξης συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητα με μεμονωμένη θερμική παραγωγή (μη συμπαραγωγική) και ελήφθη από την Υπουργική Απόφαση Αριθμ. Δ5-ΗΛ/Γ/Φ 1/οικ.15641/Ιούλιος 2009 «Καθορισμός λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή και της αποδοτικότητας συμπαραγωγής»

Στο σχήμα αυτό δίδεται μονάδα αεριοστροβίλου (Gas Turbine) ανοιχτού κυκλώματος εις τον οποίο προσδίδεται καύσιμο συμπαραγωγής F_{GT} στον θάλαμο καύσης του ΑεριοΣτροβίλου (GT) με αποτέλεσμα τα παραγόμενα καυσαέρια να κινούν τον αεριοστροβίλο (Α/Σ) και συνεπώς την συνδεδεμένη γεννήτρια στον ίδιο άξονα με τον Α/Σ εις την οποία παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια τα καυσαέρια εξέρχονται σε θερμοκρασία $T = 450$ έως 550°C δηλαδή περιέχουν ωφέλιμη θερμότητα H_{Σ} (H_{CHP} στο Σχήμα) και οδηγούνται εις τον Λέβητα Ανάκτησης θερμότητας (ΛΑΘ ή HRB-Heat Recovery Boiler). Η θερμότητα αυτή ισούται με $H_{\Sigma} = m_K \cdot c_p \cdot (T_i - T_o)$ όπου m_K είναι η παροχή μάζας των εξερχόμενων καυσαερίων από τον Α/Σ, T_i είναι η θερμοκρασία εισαγωγής στον ΛΑΘ και T_o είναι η θερμοκρασία εξαγωγής των καυσαερίων από τον ΛΑΘ. Το c_p είναι η μέση θερμοχωρητικότητα των καυσαερίων σε θερμοκρασία $\sim (T_i + T_o)/2$.

Παράλληλα και μετά την έξοδό τους, προστίθεται στα καυσαέρια βοηθητική ποσότητα καυσίμου F_{AS} (AS = Auxiliary Supply) το οποίο αναφλέγεται με το οξυγόνο που υπάρχει στα καυσαέρια (περίπου 11 με 12% κατ. όγκο) και παράγει θερμότητα $H_{AS} = F_{AS}(K\Theta\Delta_{AS}) \cdot \eta_{\Lambda\Lambda\Theta}$, όπου $K\Theta\Delta_{AS}$ είναι η κατώτερο θερμογόνος δύναμη του προσδιδόμενου καυσίμου και $\eta_{\Lambda\Lambda\Theta}$ είναι ο βαθμός απόδοσης του Λέβητα Ανάκτησης Θερμότητας (ΛΑΘ). Η ποσότητα αυτή δεν θεωρείται συμπαραγωγική διότι δεν συμβάλει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά μόνο θερμότητας.

Σχήμα Ε.3: Μονάδα ΣΗΘΥΑ-ΑΚ (ανοιχτού κύκλου Α/Σ) με βοηθητική ή συμπληρωματική καύση που χρησιμοποιείται για παραγωγή θερμότητας μόνο.



Επομένως το σύνολο της θερμότητας H που φθάνει στον ΛΑΘ ισούται με $H = H_{\Sigma} + H_{AS}$ και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμική ικανότητα του συστήματος. Η θερμότητα H_{Σ} υπολογίζεται ως η διαφορά : $H_{\Sigma} = H - H_{AS}$, όπου $H_{AS} = F_{AS} \cdot \eta_{\Lambda\Lambda\Theta}$ και $\eta_{\Lambda\Lambda\Theta}$ είναι ο βαθμός απόδοσης του Λέβητα Ανάκτησης Θερμότητας.

Η ολική θερμότητα H υπολογίζεται συνήθως με την μέτρηση της ωφέλιμης παραγόμενης θερμότητας Q στον ΛΑΘ είτε ως παραγωγή Ζεστού Νερού είτε ως παραγωγή ατμού με τον τύπο : $Q = H = m_{N,A} (h_o - h_i)$, όπου m είναι η παροχή μάζας του παραγόμενου ζεστού νερού ή ατμού και h_i και h_o είναι οι ενθαλπίες εισόδου και εξόδου από τον ΛΑΘ. Βάσει του τύπου αυτού και με συνεχείς μετρήσεις υπολογίζεται συνεχώς η ωφέλιμη παραγόμενη ενέργεια.

Συνεπώς συμπαραγωγική θερμότητα υπολογίζεται από τον τύπο : $H_{\Sigma} = H - H_{AS}$

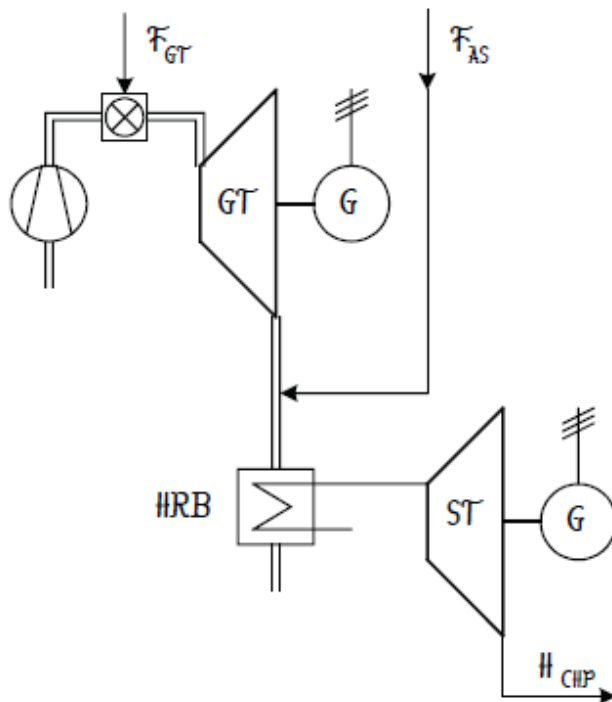
5.3.3 Διατάξεις συμπαραγωγής με συμπληρωματική συμπαραγωγική θερμότητα

Μια τέτοια διάταξη δίδεται στο Σχήμα Ε.4 όπου το συμπληρωματικό καύσιμο F_{AS} προσδίδεται όπως και πριν στα καυσαέρια τα οποία οδηγούνται στον ΛΑΘ προς παραγωγή ατμού ο οποίος στη συνέχεια εκτονώνεται σε ατμοστρόβιλο (Steam Turbine) προς παραγωγή ρεύματος στην γεννήτρια του ατμοστροβίλου. Στην περίπτωση αυτή το βοηθητικό καύσιμο θεωρείται και αυτό ως καύσιμο της συμπαραγωγής και επομένως η πραγματική ηλεκτροπαραγωγή από τις δύο γεννήτριες του αεριοστροβίλου και του ατμοστροβίλου προστίθεται δια να δώσει την συνολική ηλεκτροπαραγωγής της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής.

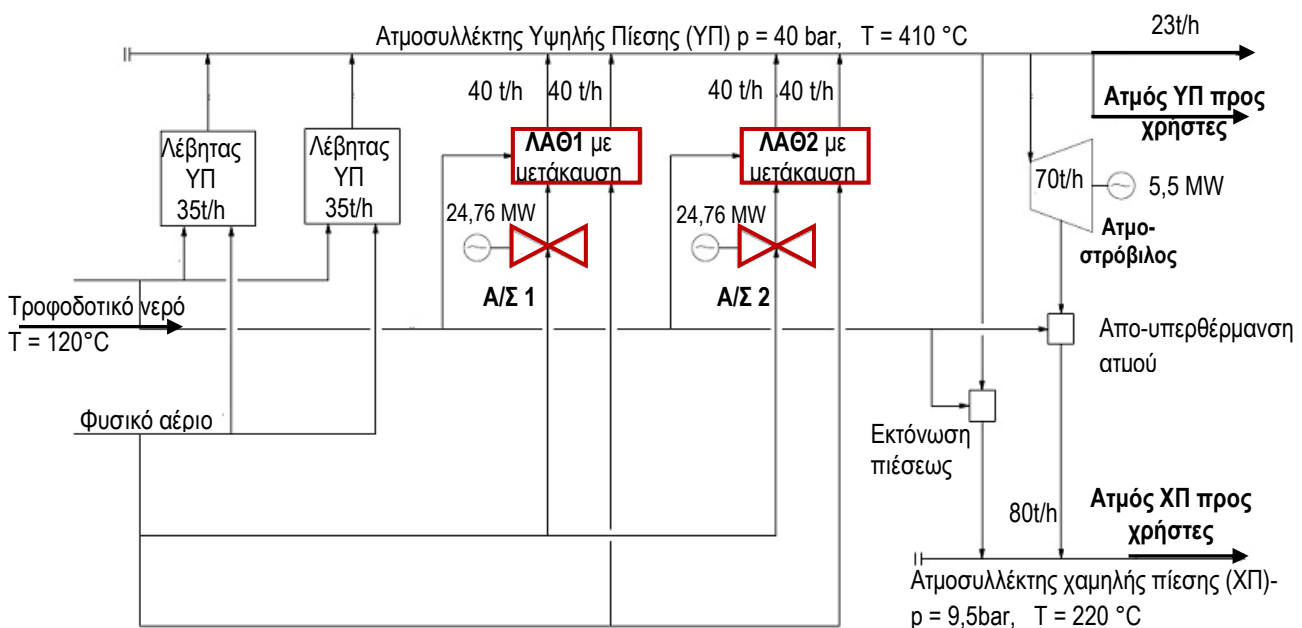
Η περίπτωση του Σχήματος Ε.5 είναι πιο πολύπλοκη. Πρόκειται για μία μεγάλη βιομηχανική μονάδα με συνεχή ζήτηση ατμού Υψηλής και Χαμηλής Πίεσης. Προτείνεται η εγκατάσταση δύο νέων μονάδων Αεριοστροβίλων με συμπληρωματική καύση (μετάκαυση) για την

ικανοποίηση τόσο της ζήτησης σε ατμό όσο και μίας μονάδας ατμοστρόβιλου η οποία καταναλώνει 70 t/ατμού ΥΠ σε πλήρες φορτίο.

Σχήμα E.4 : Μονάδα ΣΗΘΥΑ-ΣΚ (συνδυασμένου κύκλου) με βοηθητική ή συμπληρωματική καύση που χρησιμοποιείται για συμπαραγωγή.



Σχήμα E.5 : Βιομηχανική μονάδα συμπαραγωγής ανοιχτού και συνδυασμένου κύκλου με βοηθητική μη συμπαραγωγική θερμότητα



Καύσιμο τροφοδοτείται στις δύο μονάδες αεριοστροβίλων (Α/Σ1 και Α/Σ2) τόσο εις τους καυστήρες των αεριοστροβίλων όσο και στους καυστήρες της μετάκαυσης (Μετακαυστήρες) οι οποίες ευρίσκονται στους δύο Λέβητες Ανάκτησης Θερμότητας (ΛΑΘ1 και ΛΑΘ2) . Το καύσιμο της μετάκαυσης είναι μέχρι σε ένα σημείο συμπαραγωγικό αφού συμβάλει εις την παραγωγή ατμού για την τροφοδοσία του Ατμοστροβίλου (Ατμ/Σ) και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην γεννήτρια αυτού και εν μέρει μη συμπαραγωγικό αφού συμβάλει στην παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης για τροφοδοσία της κατανάλωσης.

Συνήθως οι μονάδες αυτές συμπαραγωγής έχουν υψηλό ολικό βαθμό απόδοσης περί το 83% και σίγουρα άνω του 80% ακόμα και εάν όλο το καύσιμο της μετάκαυσης θεωρηθεί ως συμπαραγωγικό. Ως εκ τούτου κατά κανόνα δεν απαιτείται η ανάλυση βάσει της εναλλακτικής μεθόδου της εξισώσεως Ε.6. Όμως σε ορισμένες τέτοιες διατάξεις όπου λειτουργούν οι μετακαυστήρες σε πλήρες φορτίο είναι δυνατόν ο βαθμός απόδοσης της ΣΗΘ να πέσει κάτω από το 80%.

Στην περίπτωση αυτή διαχωρίζεται το καύσιμο στους μετακαυστήρες ως συμπαραγωγικό και μη συμπαραγωγικό. Συμπαραγωγικό είναι το καύσιμο που οδεύει προς τους καυστήρες των αεριοστροβίλων ($F_{A\Sigma}$) και το μέρος του καυσίμου που οδεύει προς τους Μετακαυστήρες ($F_{M\Sigma}$) το οποίο αντιστοιχεί μέχρι την κάλυψη των απαιτήσεων παραγωγής ατμού στον ατμοστροβίλο.

Δηλαδή το καύσιμο της συμπαραγωγής ισούται με $F_{\Sigma} = F_{A\Sigma} + F_{M\Sigma}$. Το υπόλοιπο καύσιμο στους μετακαυστήρες θεωρείται ως μη συμπαραγωγικό ($F_{M,M\Sigma}$) όπως και το καύσιμο που οδεύει προς τους βοηθητικούς λέβητες (F_B). Το $F_{M\Sigma}$ υπολογίζεται από την προσδιδόμενη θερμότητα στον ατμοστροβίλο υπό την μορφή ατμού υψηλής πίεσης $Q_{ATM/\Sigma}$ και τον βαθμό απόδοσης του ΛΑΘ : $F_{M\Sigma} = Q_{ATM/\Sigma} / \eta_{\Lambda\Lambda\Theta}$ όπου $Q_{ATM/\Sigma} = m_{ATM} \cdot h_{A,YII}$ (=παροχή μάζας ατμού στον ατμοστροβίλο επί την ενθαλπία ατμού ΥΠ).

Στην συνέχεια υπολογίζεται η συμπαραγόμενη θερμότητα από τους αεριοστροβίλους $H_{\Sigma,A/\Sigma}$ ως εξής : πρώτα υπολογίζεται η συνολική παραγόμενη θερμότητα $H = H_{YII} + H_{XII}$ της μονάδας βάσει των καταναλώσεων ατμού ΥΠ και ΧΠ. Μετά αφαιρείται η παραγωγή θερμότητας από τους βοηθητικούς λέβητες H_B καθώς και η θερμότητα προερχόμενη από τους μετακαυστήρες H_M όπου $H_B = F_B \eta_B$ (η_B είναι ο βαθμός απόδοσης των βοηθητικών λεβήτων) και $H_M = (F_M) \cdot \eta_{\Lambda\Lambda\Theta}$ όπου F_M είναι το συνολικό καύσιμο στους μετακαυστήρες. Τελικά η συνολικώς συμπαραγόμενη θερμότητα στους αεριοστροβίλους είναι :

$$\text{Συμπαραγόμενη θερμότητα στους Α/Σ : } H_{\Sigma,A/\Sigma} = H_{YII} + H_{XII} - H_B - H_M$$

Η συμπαραγόμενη θερμότητα στον ατμοστροβίλο $H_{\Sigma,ATM/\Sigma}$ προκύπτει ευθέως από την παροχή ατμού και την ενθαλπία ατμού χαμηλής πίεσης : $H_{\Sigma,ATM/\Sigma} = m_{ATM} \cdot h_{A,XII}$

Συνεπώς η ηλεκτροπαραγωγή της συμπαραγωγής E_{Σ} προκύπτει από τον τύπο Ε.6 ως εξής :

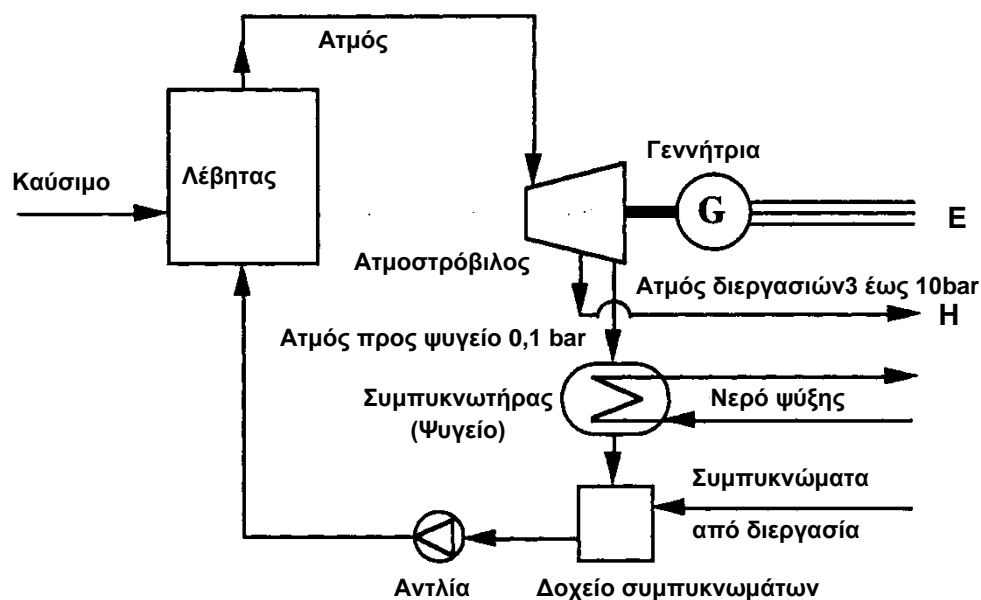
$$E_{\Sigma} = E_{\Sigma,A/\Sigma} + E_{\Sigma,ATM/\Sigma} = C_{A/\Sigma} \cdot H_{\Sigma,A/\Sigma} + C_{ATM/\Sigma} \cdot H_{\Sigma,ATM/\Sigma}$$

5.3.4 Διάταξη συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο απομάστευσης/συμπύκνωσης ατμού

Στο Σχήμα E.6 δίδεται μία τυπική διάταξη μονάδας συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο απομάστευσης ατμού και συμπύκνωσης του υπόλοιπου ατμού. Ο απομαστευόμενος ατμός οδηγείται προς ικανοποίηση θερμικών αναγκών της παραγωγής H ενώ ο υπόλοιπος ατμός συμπυκνώνεται στο ψυγείο (Συμπυκνωτήρας) προς παραγωγή συμπυκνώματος το οποίο επανατροφοδοτείται στον ατμολέβητα. Ηλεκτρική ενέργεια E παράγεται στην Γεννήτρια του Αμοστροβίλου.

Μέγιστη E_{max} παράγεται στην Γεννήτρια όταν η απομάστευση ατμού είναι μηδενική και επομένως όταν $H = 0$. Αυτό μπορεί να συμβαίνει π.χ. κατά τους θερινούς μήνες όπου δεν υπάρχουν θερμαντικά φορτία στο σύστημα.

Σχήμα E.6 : Διάταξη Συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο απομάστευσης/συμπύκνωσης



Όταν υπάρχει κάποια απομάστευση ατμού και παραγωγή θερμότητας H_{Σ} αυτό γίνεται εις βάρος της ηλεκτροπαραγωγής E με μία χαρακτηριστική σχέση : $\Delta E_{\Sigma} = -\beta \cdot H_{\Sigma}$, δηλαδή όσο αυξάνεται η παραγωγή θερμότητας H_{Σ} , μειώνεται η ηλεκτροπαραγωγή E_{Σ} κατά $\beta \cdot H_{\Sigma}$. Στην περίπτωση αυτή ο λόγος C γίνεται :

$$C = (E_{max} - \beta \cdot H_{\Sigma}) / H_{\Sigma} = E_{max} / H_{\Sigma} - \beta.$$

Επομένως κατά την εναλλακτική μέθοδο του τύπου E.6 :

- μετράται η κατανάλωση ωφέλιμης ενέργειας H από την παροχή (m), πίεση και θερμοκρασία του ατμού διεργασιών, $H = H_{\Sigma} = m \cdot h$, όπου h είναι η ενθαλπία ατμού
- είναι γνωστή η E_{max} από προηγούμενες μετρήσεις με μηδενική παροχή ατμού, ή από στοιχεία του κατασκευαστή του αμοστροβίλου
- εκτιμάται ο συντελεστής β είτε από προηγούμενες μετρήσεις ως $\beta = (E_{max} - E) / H$ είτε από στοιχεία του κατασκευαστή του αμοστροβίλου

τότε η ηλεκτρική ενέργεια E'_{Σ} προκύπτει από την εναλλακτική μέθοδο από την σχέση E.6.

5.3.5 Ο έλεγχος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας

Δια την εκτίμηση της πρωτογενούς εξοικονόμησης ενέργειας με την εναλλακτική μέθοδο υπολογισμού, γίνεται χρήση του τύπου E.4 με την διαφορά ότι αντί των βαθμών αποδόσεως της συμπαραγωγής $\eta_{\Sigma,E}$ και $\eta_{\Sigma,H}$ γίνεται χρήση των $\eta'_{\Sigma,E}$ (Eη στον νόμο) και $\eta'_{\Sigma,H}$ (Hη στον νόμο) οι οποίοι υπολογίζονται ως εξής:

$$\eta'_{\Sigma,H} = H_{\Sigma}/F_{\Sigma} \text{ και } \eta'_{\Sigma,E} = E_{\Sigma}/F_{\Sigma} \quad (\text{E.7})$$

όπου H_{Σ} , E_{Σ} και F_{Σ} υπολογίζονται με την εναλλακτική μέθοδο όπως στις προηγούμενες παραγράφους. Εφ' όσον η παράμετρος PES είναι μεγαλύτερη του 10% τότε η διάταξη συμπαραγωγής χαρακτηρίζεται και ως Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).

5.3.6 Μεθοδολογικές παρατηρήσεις

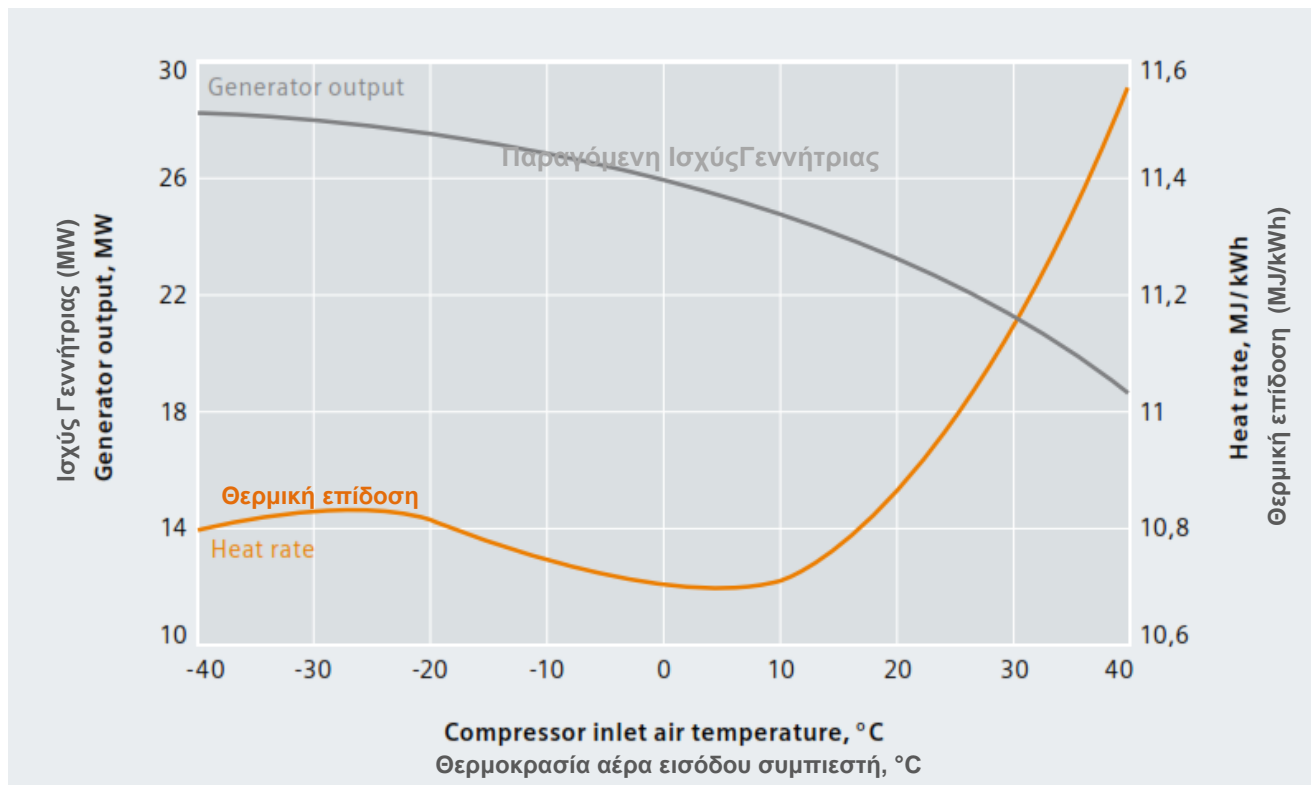
Η ανωτέρω ανάλυση δια την εναλλακτική μέθοδο στηρίζεται σε ένα κομβικό σημείο : εις την εύρεση του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Ο λόγος αυτός όμως δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται τόσο από την εξωτερική θερμοκρασία $T_{εξ}$ όσο και από το βαθμό φόρτισης μίας μονάδας συμπαραγωγής $\varphi(\%)$. Μία τυπική καμπύλη της εξάρτησης από την εξωτερική θερμοκρασία για ένα αεριοστρόβιλο ανοιχτού κυκλώματος τύπου SGT-600 της Siemens δίδεται στο Σχήμα E.6.

Εκ του σχήματος αυτού λαμβάνονται η ισχύς και ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της ηλεκτροπαραγωγής $\eta_{\Sigma,E}$ ως συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Σημειώνεται ότι $\eta_{\Sigma,E}$ υπολογίζεται από τον τύπο $\eta_{\Sigma,E} = 3,6/(\text{θερμική επίδοση})$.

Βάσει του Σχήματος E.6 κατασκευάζονται τα στοιχεία του Πίνακα E.2. Οι δύο πρώτες γραμμές για την ισχύ της γεννήτριας και την θερμική επίδοση λαμβάνονται από το Σχήμα E.6. Τα υπόλοιπα μεγέθη υπολογίζονται ως εξής :

- Ηλεκτρική απόδοση συμπαραγωγής ως $\eta_{\Sigma,E} = 3,6/(\text{θερμική επίδοση})$.
- Καύσιμο συμπαραγωγής ως $\text{Ισχύς}/\eta_{\Sigma,E}$
- Λόγος C1 : γίνεται η υπόθεση ότι η θερμική απόδοσης $\eta_{\Sigma,H}$ είναι σταθερή (40%)
- Λόγος C1 : γίνεται η υπόθεση ότι η ολική απόδοση η_{Σ} είναι σταθερή (78%)
- Λόγος C1 : γίνεται η υπόθεση ότι η ολική απόδοση η_{Σ} είναι 78% στους 0°C και αυξάνεται κατά το ίδιο ποσοστό όσο μειώνεται η ηλεκτρική απόδοση σε κάθε θερμοκρασία.

Σχήμα E.6 : Καμπύλες τυπικής αποδόσεως A/Σ της Siemens τύπου SGT-600



Πίνακας E.2 : Παραγωγικά στοιχεία A/Σ τύπου SGT-600 της Siemensως συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας

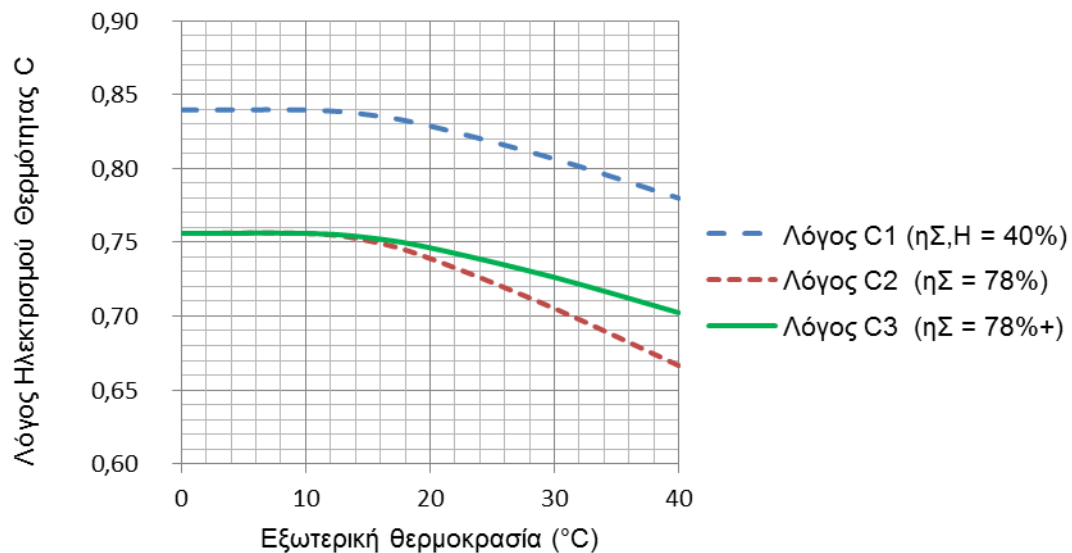
Μέγεθος	Μονάδα	Τιμές παραμέτρων					
		0	10	15	20	30	40
Θερμοκρασία	°C	0	10	15	20	30	40
Ισχύς Γεννήτριας	MW	26	24,8	24,2	23,4	20,4	18,8
Θερμική επίδοση	MJ/kWh	10,72	10,72	10,76	10,86	11,16	11,54
Ηλεκτρική απόδοση	%	33,58%	33,58%	33,46%	33,15%	32,26%	31,20%
Καύσιμο (FΣ)	MW	77,4	73,8	72,3	70,6	63,2	60,3
Λόγος C1 (ηΣ,H = 40%)		0,84	0,84	0,84	0,83	0,81	0,78
Λόγος C2 (ηΣ = 78%)		0,756	0,756	0,751	0,739	0,705	0,667
Λόγος C3 (ηΣ = 78%+)		0,756	0,756	0,753	0,746	0,726	0,702

Τα αποτελέσματα του Πίνακα E.2 δίδονται γραφικά στο Σχήμα E.7. Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο λόγος Cεμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις με την εξωτερική θερμοκρασία και ως εκ τούτου στις μελέτες έργων συμπαραγωγής πρέπει να γίνεται η ανάλυση σε ωριαία ανάλυση, 24-ωρη ανάλυση ή σε επίπεδο ομάδων ωρών που χαρακτηρίζονται από την ίδια εξωτερική θερμοκρασία και το ίδιο φορτίο, διότι όπως ελέχθη, το μερικό φορτίο λειτουργίας φ(%) επηρεάζει επίσης τους βαθμούς απόδοσης της συμπαραγωγής και τον λόγο C.

Η ανωτέρω σύσταση ισχύει επίσης και για την μέθοδο της παραγράφου E.2 καθώς και γενικότερα σε όλες τις περιπτώσεις συμπαραγωγής, αφού οι βαθμοί απόδοσης της

συμπαραγωγής και ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας αλλά και του βαθμού φόρτισης της μονάδας συμπαραγωγής.

Σχήμα Ε.7 : Γραφική παράσταση του λόγου C ως προς την εξωτερική θερμοκρασία



5.4 Βιώσιμεςεφαρμογές ΣΗΘ

5.4.1 Γενικά

Οι επενδύσεις συμπαραγωγής είναι σημαντικές επενδύσεις εντάσεως κεφαλαίου και ως εκ τούτου πρέπει να σχεδιάζονται με την μέγιστη ενεργειακή και οικονομική απόδοση καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους ώστε να καταστούν οικονομικά βιώσιμες. Τρία είναι τα βασικά σχεδιαστικά κριτήρια βιωσιμότητας η ικανοποίηση των οποίων πρέπει να επιδιώκεται εξ αρχής σε μία τέτοιου είδους επένδυση έχουν ως εξής :

Κριτήριο 1^ο : Ώρες λειτουργίας ετησίως

Η επένδυση αυτή ως εντάσεως κεφαλαίου πρέπει να αξιοποιείται για πολλές ώρες λειτουργίας σε ισοδύναμο πλήρες φορτίο της τάξεως των 5500 ωρών και άνω. Αυτό σημαίνει δια την διασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας, πρέπει πρώτα να διασφαλιστούν ετήσια θερμικά φορτία τα οποία να εκτείνονται σε τουλάχιστον 9 μήνες τα οποία μάλιστα δεν εμφανίζουν εποχιακές διακυμάνσεις.

Κριτήριο 2^ο : Εξασφάλιση «φθηνού» καυσίμου συμπαραγωγής

Αυτός ο κανόνας είναι ίσως ο πλέον σημαντικός διότι η συμπαραγωγή ευνοείται από υψηλές τιμές ρεύματος και χαμηλές τιμές καυσίμου. Όσο κλείνει αυτή η ψαλίδα, όπως συμβαίνει σήμερα, τόσο μειώνεται η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης και ως εκ τούτου η εξασφάλιση φθηνού καυσίμου είναι συχνά ο καθοριστικότερος παράγοντας ο οποίος τελικώς θα επηρεάσει την λήψη αποφάσεων

Κριτήριο 3^ο : Ικανό μέγεθος μονάδας συμπαραγωγής

Η συμπαραγωγή στα μικρότερα μεγέθη είναι ακριβότερη έναντι των μεγαλύτερων. Π.χ. μία μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στα 100 kW

μπορεί να στοιχίζει περί τα 5.000 €/kW ενώ στα 1000 kW μία μονάδα ίδιας τεχνολογίας στοιχίζει περί τα 1.500 €/kW.

5.4.2 Επέκταση θερμικών φορτίων το θέρος : Ψύξη με παροχή θερμότητας σε ψύκτες απορρόφησης

Τα θερμικά φορτία λειτουργίας επηρεάζουν τα κριτήρια 1 και 3. Τα φορτία αυτά στη χώρα μας διακρίνονται για τις έντονες εποχιακές διακυμάνσεις και υπάρχουν μόνο λίγες μεγάλες βιομηχανίες (διύλιστήρια, χημικές βιομηχανίες, χάρτου, κλπ) οι οποίες έχουν συνεχή ζήτηση ατμού καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Επομένως για την εξεύρεση θερμικών φορτίων ιδίως την διάρκεια της θερινής περιόδου, πρέπει στα θερμικά φορτία της συμπαραγωγής να περιληφθούν τα φορτία ψύξης και κλιματισμού τα οποία δύναται να ικανοποιούν από ψύκτες τεχνολογίας απορρόφησης.

Σήμερα η τεχνολογία ψυκτών απορρόφησης παρέχει την δυνατότητα παραγωγής ψυχρού νερού θερμοκρασίας 7 °C για εφαρμογές ψύξης θέρμανσης με πρόσδοση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας είτε σε μορφή νερού (από 80 έως 120°C) είτε ατμού χαμηλών πιέσεων (π.χ. 3 έως 5 bar και θερμοκρασίας 140 έως 160°C. Ο βαθμός απόδοσης του ψύκτη απορρόφησης ($\eta_{\Psi A}$) κυμαίνεται από 0,85 έως 1,2.

Με την τεχνολογία αυτή είναι δυνατόν να παραταθούν τα θερμικά φορτία μίας μονάδας συμπαραγωγής καθ' όλη την διάρκεια του έτους και ιδίως στα μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα τα οποία συχνά χρειάζονται ψύξη για 9 μήνες τον χρόνο λόγω υψηλών εσωτερικών φορτίων. Στην περίπτωση αυτή ομιλούμε για Τριπαραγωγή αντί για Συμπαραγωγή αν και ο όρος αυτός δεν έχει αποκτήσει ακόμα νόημα από πλευράς νομοθεσίας διότι ο νομοθεσία αναγνωρίζει μόνο θερμικά φορτία μεταξύ των οποίων βεβαίως περιλαμβάνονται και τα θερμικά φορτία της ψύξης με απορρόφηση.

5.4.3 Το θεσμικό πλαίσιο για την στήριξη της ΣΗΘΥΑ με φυσικό αέριο

Η πολιτεία αναγνωρίζοντας την δυνατότητα της συμπαραγωγής να συμβάλει στον εθνικό στόχο για εξοικονόμηση ενέργειας και της μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου, έχει θεσπίσει θεσμικό πλαίσιο για την οικονομική υποστήριξη των επενδύσεων σε μονάδες συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης και με καύσιμο το φυσικό αέριο.

Με τον νέο νόμο 4414/2016 με τίτλο «*Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης - Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις*» η πολιτεία παρέχει μία Τ.Α. «τιμή αναφοράς» σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (€/MWh) στη βάση της οποίας υπολογίζεται μηνιαίως η λειτουργική ενίσχυση, με τη μορφή Διαφορικής Προσαύξησης έναντι μίας σταθερής τιμής, για την αποζημίωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α.

Η Τ.Α. δια τις μονάδες ΣΗΘΥΑ δίδεται στον Πίνακα Ε.3 ως συνάρτηση του Παράγοντα ΠΤ (προσαρμογή τιμής φυσικού αερίου) ο οποίος υπολογίζεται ως εξής :

$$ΠΤ = (ΜΤΦΑ_t - 26) \frac{1 - (\eta - \eta_e) / \eta_{hr}}{\eta_e} \quad (Ε.8)$$

όπου ΜΤΦΑ_t είναι η ανά μήνα μέση μοναδιαία μικτή τιμή του Φυσικού Αερίου σε €/MWh Ανωτέρας Θερμογόνου Δύναμης (ΑΘΔ), η οποία περιλαμβάνει την τιμή πώλησης με το κόστος μεταφοράς και τυχόν φόρους ή τέλη που σύμφωνα με την εκάστοτε νομοθεσία

εφαρμόζονται (ΜΤΦΑμ ή ΜΤΦΑη) στην οποία προστίθεται και το μέσο κόστος CO₂ που αντιστοιχεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

η_e : Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής,

η_{th} : Ο θερμικός βαθμός απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής,

$\eta = \eta_e + \eta_{th}$: Ο ολικός βαθμός απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής

η_{hr} : Η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή θερμικής ενέργειας, όπως ορίζεται στην ΥΑ Δ5-ΗΛ/Γ/Φ1/749/21.3.2012 (ΦΕΚ 889 Β'/2012), όπου οι βαθμοί απόδοσης είναι σε Ανώτερη Θερμογόνο Δύναμη (ΑΘΔ) όπως στον πίνακα 2 του νόμου 4414/2016 και έχουν ενσωματωθεί στον Πίνακα Ε.3.

Τέλος στον Πίνακα Ε.3 έχει υπολογιστεί και ο κλασματικός πολλαπλασιαστής του τύπου Ε.8 καθώς και μία ενδεικτική Τιμή Αναφοράς όταν η μέση μηνιαία τιμή ΜΤΦΑ_t = 45 €/MWh. Π.χ. εάν η ΜΤΦΑ_t είναι για ένα μήνα 45 €/MWh τότε η αποζημίωση ΠΤ για μία τεχνολογία τύπου α) και μικρότερη του ενός kW: ΠΤ = (45-26) · 1,571 = 29,85 €/MWh. Επομένως η Τ.Α. για την κατηγορία αυτή θα είναι : Τ.Α. = 88 + 29,85 = 117,85 €/MWh. Η τιμή αυτή στήριξης αναμένεται να συμβάλει στην επίτευξη της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης και επομένως υπάρχει σοβαρό κίνητρο οι μελετητές να σχεδιάζουν τις νέες μονάδες συμπαραγωγής με καύσιμο το φυσικό αέριο ως ΣΗΘΥΑ.

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα Ε.3, την μεγαλύτερη στήριξη απολαμβάνουν οι λοιπές τεχνολογίες μεγέθους ηλεκτροπαραγωγής από 1 έως 5 MW και εκεί αναμένεται να επικεντρωθεί ένα μεγάλο μέρος των επενδύσεων. Μία τυπική σχηματική διάταξη μίας μονάδας τριπαραγωγής για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ψύξης και με καύσιμο το φυσικό αέριο δίδεται στο Σχήμα Ε.8.

Στο σχήμα αυτό φαίνεται η μηχανή εσωτερικής καύσης (MEK) μαζί με τον στρόβιλο υπερπλήρωσης ο οποίος συμπιέζει το μείγμα αέρα καυσίμου εντός του θαλάμου καύσεως αφού ψυχθεί πρώτα από τους ενδιάμεσους ψύκτες (INTERCOOLERS). Η MEK παράγει ρεύμα στην Γεννήτρια και τα καυσαέρια οδηγούνται σταδιακά από τον υπερπληρωτή και τον ατμολέβητα ανάκτησης θερμότητας προς παραγωγή ατμού υψηλής θερμοκρασίας και στη συνέχεια από ένα υπερθερμαντήρα νερού πριν οδηγηθούν στην καμινάδα.

Από την άλλη πλευρά όλες οι θερμικές απορρίψεις της MEK από τους ενδιάμεσους ψύκτες, τα λάδια της μηχανής, τον μανδύα της MEK, την απόρριψη από τους συμπιεστές του μείγματος καυσίμου-αέρα και από τα καυσαέρια πριν την έξοδό τους στην ατμόσφαιρα, ανακτώνται διαδοχικά από ένα κλειστό κύκλωμα νερού το οποίο αποτελεί την δεύτερη πηγή θερμότητας μετά τον ατμό θερμοκρασίας από 80 έως 90°C

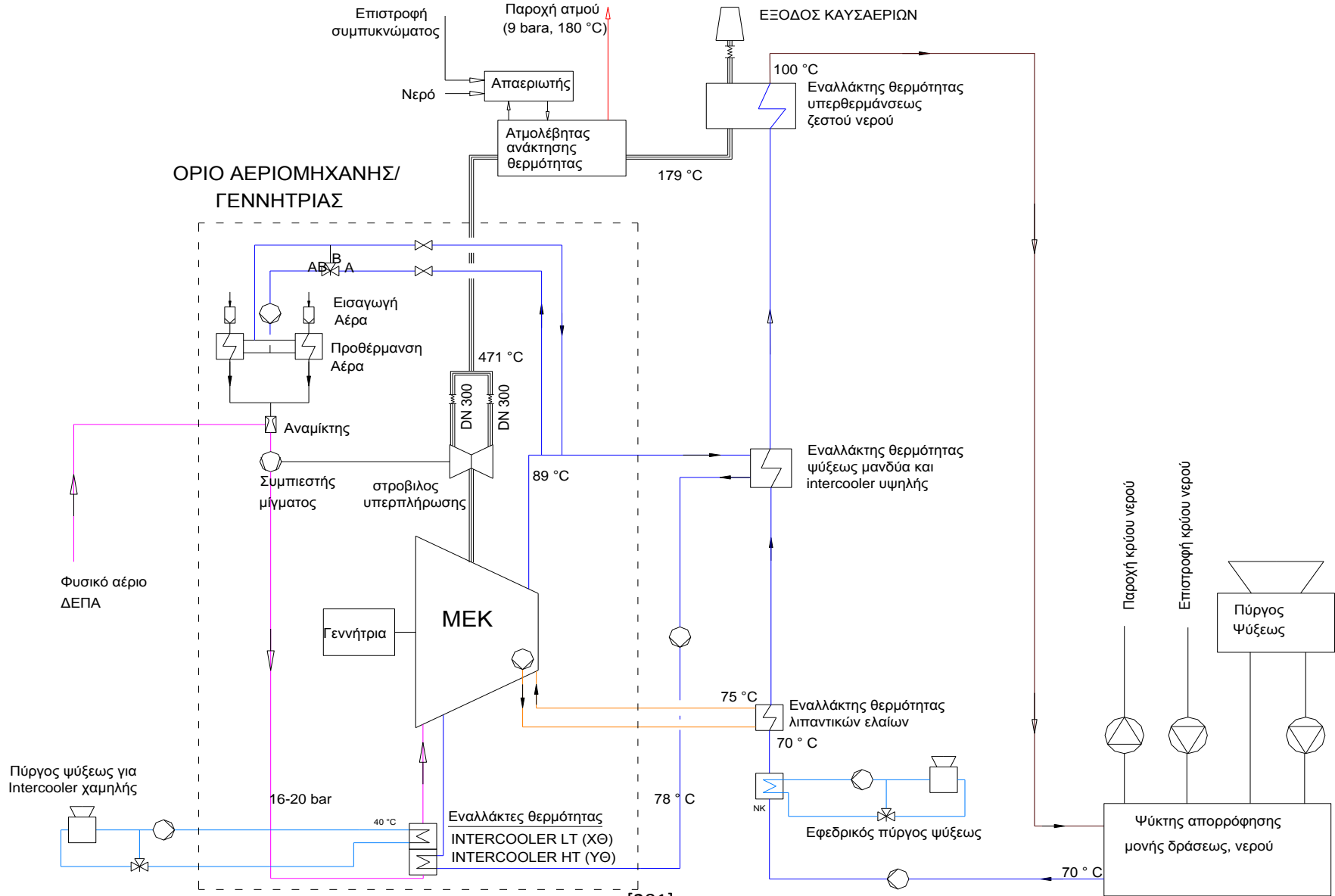
Το παραγόμενο ζεστό νερό αλλά και ο ατμός μπορεί να οδηγηθούν στον ψύκτη απορρόφησης προς παραγωγή ψυχρού νερού με βαθμό απόδοσης της τάξεως του 80 με 85%.

Από το σχήμα αυτό απουσιάζουν τα τυχόν δοχεία αποθήκευσης του νερού θέρμανσης (στους 90°C) ή κρύου νερού του ψύκτη απορρόφησης θερμοκρασίας 7 με 9 °C. Τα δοχεία αυτά είναι συνήθως απαραίτητα προκειμένου να εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις της ζήτησης σε ζεστό και κρύο νερό, αποφεύγοντας έτσι στην έναρξη και την στάση της MEK πολλές φορές κατά την διάρκεια της ημέρας.

Πίνακας Ε.3. Τιμή αναφοράς για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ με φυσικό αέριο (απόσπασμα από τους Πίνακες 1 και 2 του Ν.4414/2006

A/A	Τεχνολογία σταθμού συμπαραγωγής με καύσιμο φυσικό αέριο	Όρια Ισχύος ηλεκτροπαραγωγής	Τ.Α. (€/MWh)	η	η_e	η_{hr}	$[1-(\eta-\eta_e)/\eta_{hr}]/\eta_e$	Τ.Α. (€/MWh) για ΜΤΦAt = 45
1	(α) «Συνδυασμένος κύκλος αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας» (γ) «Ατμοστρόβιλος συμπίκνωσης – απομάστευσης»	≤ 1 MW	88 + ΠΤ	72%	33%	81%	1,571	117,854
2	Λοιπές κατηγορίες (β), (δ), (ε), (στ), (ζ), (η), (θ), (ι), (ια) του άρθρου 3 της Υ.Α. Δ5-ΗΛΓ/Φ1/οικ.15641/14.07.2009 (Β' 1420))	≤ 1 MW	92 + ΠΤ	67%	33%	81%	1,758	125,408
3	(α) «Συνδυασμένος κύκλος αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας» (γ) «Ατμοστρόβιλος συμπίκνωσης – απομάστευσης»	≤ 1 MW και ≤ 5 MW	80 + ΠΤ	72%	35%	81%	1,552	109,489
4	Λοιπές κατηγορίες (β), (δ), (ε), (στ), (ζ), (η), (θ), (ι), (ια) του άρθρου 3 της Υ.Α. Δ5-ΗΛΓ/Φ1/οικ.15641/14.07.2009 (Β' 1420))	≤ 1 MW και ≤ 5 MW	94 + ΠΤ	67%	35%	81%	1,728	126,840
5	(α) «Συνδυασμένος κύκλος αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας» (γ) «Ατμοστρόβιλος συμπίκνωσης – απομάστευσης»	≤ 5 MW και ≤ 10 MW	74 + ΠΤ	72%	35%	81%	1,552	103,489
6	Λοιπές κατηγορίες (β), (δ), (ε), (στ), (ζ), (η), (θ), (ι), (ια) του άρθρου 3 της Υ.Α. Δ5-ΗΛΓ/Φ1/οικ.15641/14.07.2009 (Β' 1420))	≤ 5 MW και ≤ 10 MW	78 + ΠΤ	67%	35%	81%	1,728	110,840
7	(α) «Συνδυασμένος κύκλος αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας» (γ) «Ατμοστρόβιλος συμπίκνωσης – απομάστευσης»	≤ 10 MW και ≤ 35 MW	68 + ΠΤ	72%	35%	81%	1,552	97,489
8	Λοιπές κατηγορίες (β), (δ), (ε), (στ), (ζ), (η), (θ), (ι), (ια) του άρθρου 3 της Υ.Α. Δ5-ΗΛΓ/Φ1/οικ.15641/14.07.2009 (Β' 1420))	≤ 10 MW και ≤ 35 MW	72 + ΠΤ	67%	35%	81%	1,728	104,840
9	(α) «Συνδυασμένος κύκλος αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας» (γ) «Ατμοστρόβιλος συμπίκνωσης – απομάστευσης»	≤ 35 MW	61 + ΠΤ	72%	35%	81%	1,552	90,489
10	Λοιπές κατηγορίες (β), (δ), (ε), (στ), (ζ), (η), (θ), (ι), (ια) του άρθρου 3 της Υ.Α. Δ5-ΗΛΓ/Φ1/οικ.15641/14.07.2009 (Β' 1420))	≤ 35 MW	65 + ΠΤ	67%	35%	81%	1,728	97,840
11	Λοιπές Σ.Η.Θ.Υ.Α.		85 + ΠΤ					

Σχήμα E.8 : Μονάδα συμπαραγωγής με Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) με λέβητα ανάκτησης θερμότητας και ψύκτη απορρόφησης



5.4.4 Το θεσμικό πλαίσιο για την στήριξη της ηλεκτροπαραγωγής με βιομάζα

Η ηλεκτροπαραγωγή με την πάσης φύσεως βιομάζα συνεχίζει να απολαμβάνει της στήριξης στον νέο νόμο 4414/2016 ανάλογα με τον τρόπο εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης βιομάζας: :

Πίνακας Ε.4. Τιμή αναφοράς για τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με βιομάζα του νόμου

A/A	Τεχνολογία σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και επεξεργασία βιομάζας	Ισχύς σταθμού	T.A. (€/MWh)
1	Θερμικές διεργασίες (καύση, πυρόλυση) εκτός αεριοποίησης, (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	≤1MW	184
2	Θερμική διεργασία αεριοποίησης αεριοποίησης, (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	≤1MW	193
3	Θερμικές διεργασίες (καύση, αεριοποίηση πυρόλυση) (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	1 MW έως 5 MW	162
4	Θερμικές διεργασίες (καύση, αεριοποίηση πυρόλυση) (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	>5 MW	140
5	Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων και την οργανική ιλύ/λάσπη βιολογικών καθαρισμών	≤2 MW	129
6	Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων και την οργανική ιλύ/λάσπη βιολογικών καθαρισμών	≥2 MW	106
7	Βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση βιομάζας (ενεργειακών καλλιιεργειών, ενσιρωμάτων χλωρής νομής γεωργικών καλλιιεργειών, κτηνοτροφικών και αγροτοβιομηχανικών οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων, αποβλήτων βρώσιμων ελαίων και λιπών, ληγμένων τροφίμων)	≤3 MW	225
8	Βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση βιομάζας (ενεργειακών καλλιιεργειών, ενσιρωμάτων χλωρής νομής γεωργικών καλλιιεργειών, κτηνοτροφικών και αγροτοβιομηχανικών οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων, αποβλήτων βρώσιμων ελαίων και λιπών, ληγμένων τροφίμων)	>3 MW	204

Γενικότερα η βιομάζα ως καύσιμο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- χαμηλή σχετικά τιμή προμήθειας
- πρόσθετες δαπάνες διακίνησης, επεξεργασίας και αποθήκευσης ώστε να καταστεί ενεργειακά αποδοτική
- σχεδόν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Λόγω ακριβώς αυτού του λόγου, η ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα δεν πρέπει να είναι συμπαραγωγική όπως συμβαίνει με το φυσικό αέριο ώστε να λάβει την υποστήριξη του νόμου. Πάντως η ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα έχει θερμικές απορρίψεις τις οποίες ο ελεγκτής οφείλει να εξετάζει για περαιτέρω αξιοποίηση εν είδη συμπαραγωγής.

Δια τις τεχνολογίες από 1 έως 4 του Πίνακα Ε.4, δύο είναι οι βασικές τεχνολογίες για την εκμετάλλευση της βιομάζας:

5.4.5 Μονάδες καύσης βιομάζας με Οργανικό Κύκλο Ράνκιν

Η αρχή λειτουργίας του κύκλου ORC (Organic Rankine Cycle—Οργανικός Κύκλος Rankine) είναι η ίδια με τον κλασσικό κύκλο του ατμοστρόβιλου. Η ουσιαστική διαφορά έγκειται στο εργαζόμενο μέσο (υδρογονάνθρακας όπως ισο-πεντάνιο, ισοοκτάνιο, τουλουένη, πυριτούχο έλαιο) το οποίο έναντι του νερού του συμβατικού κύκλου, διαθέτει ευνοϊκές θερμοδυναμικές ιδιότητες για κύκλο Rankine σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Η τεχνολογία ORC για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας από βιομάζα έχει ήδη αναπτυχθεί σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Η ονομαστική ηλεκτροπαραγωγική ισχύς κυμαίνεται από 200 έως 2000 kW. Ο κύκλος ORC υιοθετήθηκε για την καύση της βιομάζας λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας της καύσεως της βιομάζας έναντι των συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κλπ).

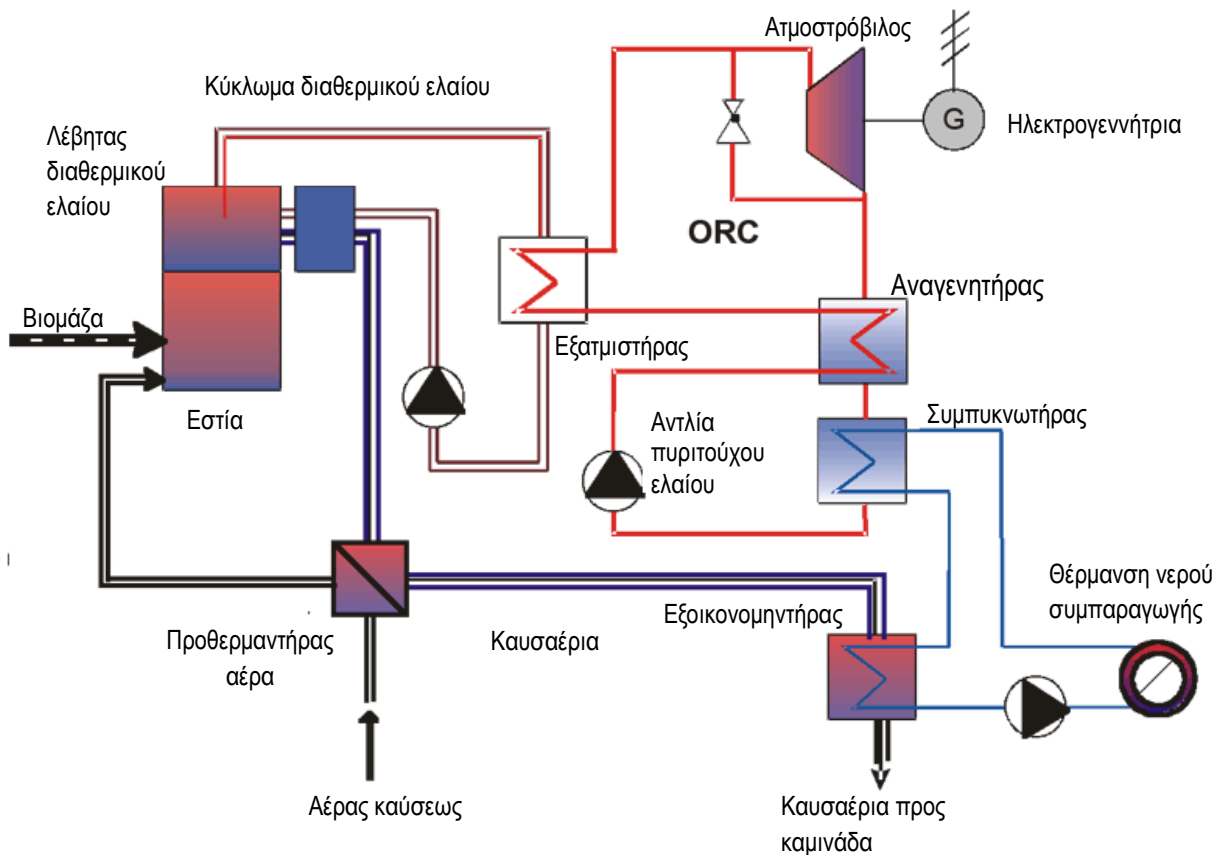
Η βασική αρχή λειτουργίας δίδεται διαγραμματικά στο Σχήμα Ε.9. Ο κύκλος ORC συνδέεται με ένα λέβητα ενός διαθερμικού ελαίου μέσω ενός διαθερμικού κυκλώματος. Η μονάδα ORC λειτουργεί ως μία πλήρως κλειστή διαδικασία κάνοντας χρήση ενός πυριτούχου ελαίου ως οργανικό εργαζόμενο μέσο. Αυτό το υπό πίεση οργανικό μέσο εξατμίζεται και υπερθερμαίνεται ελαφρώς με το διαθερμικό έλαιο στον εξατμιστήρα. Ο ατμός του οργανικού μέσου εκτονώνεται σε ένα αξονικό ατμοστρόβιλο ο οποίος είναι ευθέως συνδεδεμένος με μία ασύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια. Στη συνέχεια, ο εκτονωθείς ατμός του πυριτούχου ελαίου διέρχεται μέσω ενός αναγεννητήρα για ανάκτηση θερμότητας και προθέρμανση του οργανικού μέσου και τέλος οδηγείται στον συμπυκνωτήρα. Εκεί συμπυκνώνεται σε μία θερμοκρασία ωφέλιμη για περαιτέρω χρήση (80 έως 100°C).

Ο βαθμός απόδοσης ενός κύκλου ORC κυμαίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις θερμοκρασίας των θερμικών φορτίων. Η καθαρός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης γενικά κυμαίνεται στο 15% με μία θερμοκρασία θερμού νερού συμπαραγωγής 80°C το οποίο επιστρέφει στους 60°C.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των τριών μικρότερων τύπων μίας μηχανής ORC δίδονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Ισχύς προσδιδόμενης θερμότητας	KW	3339	3910	5135
Θερμοκρασία νερού συμπαραγωγής (προσαγωγή/επιστροφή)	°C	60/80	60/80	60/80
Θερμική ισχύς νερού συμπαραγωγής	kW	2689	3146	4095
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς	kW	619	729	1000
Μικτός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	kW	18.5%	18.6%	19.5%
Ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	kW	32	40	51
Καθαρή παραγόμενη ισχύς	kW	587	689	949
Καθαρός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης		17.6%	17.6%	18.5%

Σχήμα E.9 : Τυπική μονάδα ORC για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση βιομάζας



Από τα ανωτέρω διαπιστώνεται ότι η τεχνολογία ORC έχει σχετικά χαμηλό ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης και επομένως έχει μεγάλες θερμικές απορρίψεις. Επομένως η τεχνολογία αυτή είναι ιδανική για εφαρμογές ΣΗΘ.

Οι εφαρμογές ΣΗΘ με τεχνολογία ORC είναι ιδιαίτερα αποδοτικές και βιώσιμες σε περιπτώσεις εργοστασίων επεξεργασίας ή γεωργικών καλλιεργειών και την απόρριψη παραπροϊόντων βιομάζας όπως είναι

- παραπροϊόντα επεξεργασίας βάμβακος, φλοιών ρυζιού,
- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται από φυσικά οικοσυστήματα, αυτοφυή φυτά και δάση
- Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, π.χ. άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.
- Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι
- Οι ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος, Μίσχανθος, Αγριαγκινάρα

Η συνήθης μορφή επεξεργασίας της βιομάζας είναι η **ξυλίδες** (woodchips) και οι **πιλίδες** (pellets). Η παραγωγή ξυλίδων ή πιλίδων είναι σήμερα μία ευχερής διαδικασία η οποία μπορεί να γίνεται επιτόπου ακόμα και σε απομακρυσμένα γεωγραφικά σημεία. Επομένως η συνήθως μορφή καυσίμου των μονάδων ΟCΕ είναι οι πιλίδες ή οι ξυλίδες.

5.4.6 ΣΗΘ με αεριοποίηση βιομάζας

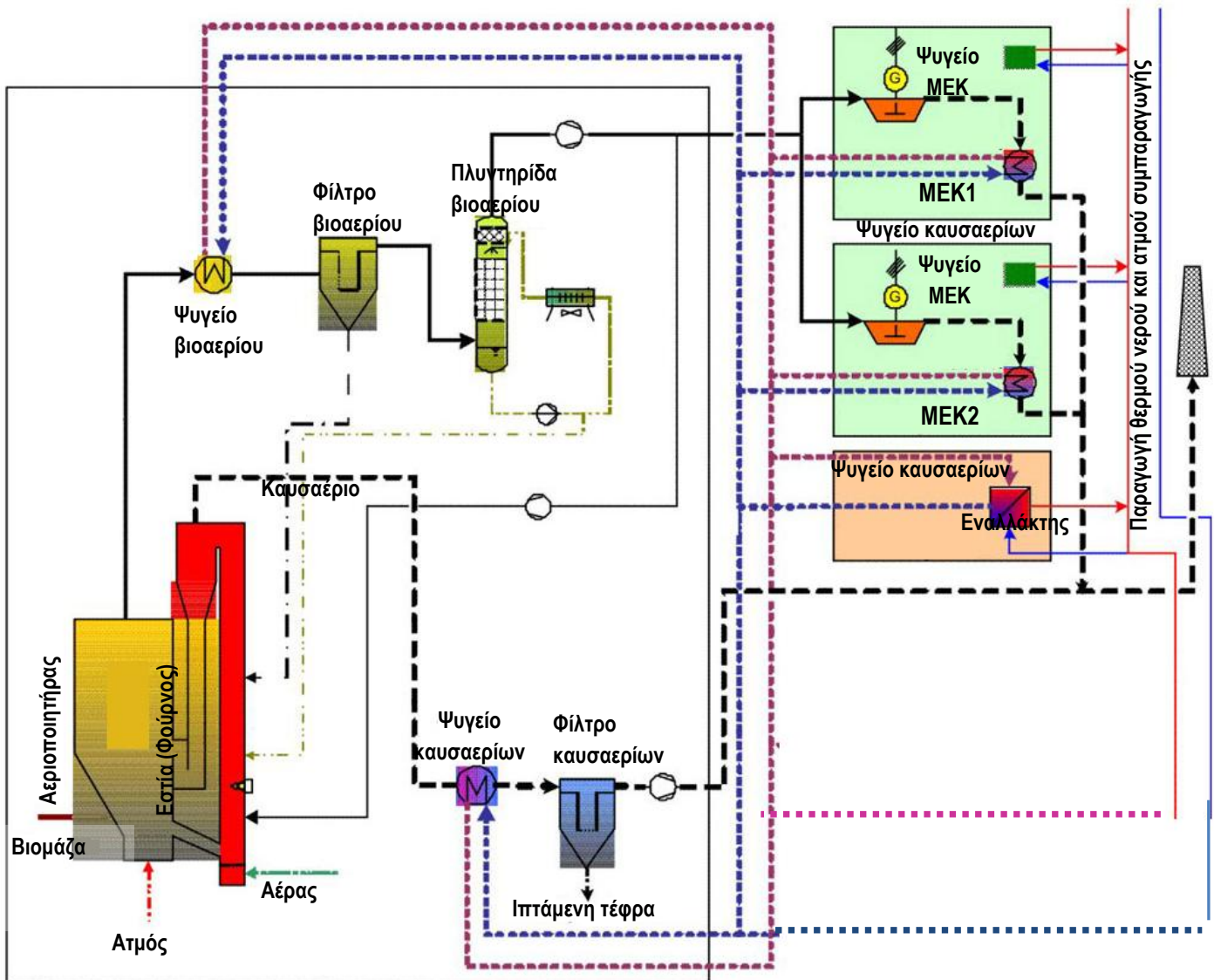
Στη συνέχεια δίδονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά μίας μικρής μονάδος ΣΗΘ με αεριοποίηση δασικής βιομάζας, περιγραφή της οποίας δίδεται στο Σχήμα Ε.10 και στον Πίνακα Ε.5

Πίνακας Ε.5: Βασικά χαρακτηριστικά μονάδας μικρής ΣΗΘ με αεριοποίηση ξηρών ξυλίδων ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος 45kW και παρεχόμενης θερμότητας 108 kW

Παραγομένη ηλεκτρική ισχύς	45	kW
Παραγομένη θερμική ισχύς σε θερμοκρασία 85°C/65°C	108	kW
	92.880	kcal/kg
Ήλεκτρικός βαθμός αποδόσεως	24,3%	
Θερμικός βαθμός αποδόσεως	58,3%	
Όλικός βαθμός αποδόσεως	82,6%	
Θερμική ισχύς καυσίμου	185,1	kW
Μέση θερμογόνος δύναμις ξυλίδων	4,8	kWh/kg
Παροχή ξηρών ξυλίδων με ύγρασία < 12%	38,6	kg/h
Παροχή ξυλίδων με ύγρασία 40%	56,6	kg/h
Ώρες λειτουργίας έτησίως	7000	h
Έτήσια κατανάλωση βιομάζας αποξηραμένων ξυλίδων	270	τόνοι

Από τον Πίνακα Ε.5 διαπιστώνεται ότι οι προτεινόμενες μονάδες ΣΗΘ με αεριοποίηση ξηρής βιομάζας (σε μορφή ξυλίδων), έχουν ιδανικό μέγεθος δια μικρές εφαρμογές στον κτιριακό τομέα. Με δύο τέτοιες μονάδες καλύπτονται τα νέα αυξημένα ηλεκτρικά φορτία ενός κτιριακού συγκροτήματος καθώς επίσης καλύπτεται και ένα σημαντικό ποσοστό των αναγκών θέρμανσης χώρων και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ).

Σχήμα Ε.10 : Ηλεκτροπαραγωγή με αεριοποίηση βιομάζας



Εις τον αεριοποιητήρα παρέχεται με συνεχή ροή βιομάζα, θερμός αέρας και ατμό. Με την πρώτη θέρμανση της βιομάζας και πριν την έναρξη της θερμικής διασπάσεως, εκλύονται πτητικά αέρια τα οποία αναφλέγονται και θερμαίνουν περαιτέρω την βιομάζα.

Η ανάφλεξη αυτή γίνεται σε συνθήκες ελλείψεως οξυγόνου ώστε να μη επεκτείνεται η καύση στο σύνολο της βιομάζας. Το παραγόμενο βιοαέριο ψύχεται και στη συνέχεια οδηγείται στο σύστημα καθαρισμού με φίλτρα και πλυντηρίδες. Μετά την επεξεργασία αυτή, το βιοαέριο οδηγείται στις σε μηχανές εσωτερικής καύσεως (MEK) προς παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος και συμπαράγωγής θερμότητας.

5.5 Υπολογισμός PES_C με ΣΗΘΥΑ για ψυκτικά φορτία

5.5.1 Γενικά

Όταν τα ψυκτικά φορτία κυριαρχούν σε μία εγκατάσταση, η διαστασιολόγηση μίας μονάδας συμπαραγωγής αρχίζει από αυτά και επικουρικός υπολογίζονται και τα τυχόν φορτία θέρμανσης. Υπάρχουν περιπτώσεις κτιρίων τα οποία αντιμετωπίζουν ψυκτικά φορτία ακόμα και τον χειμώνα λόγω αυξημένων εσωτερικών θερμικών κερδών από μηχανές και εργαζομένους.

Υπάρχουν ακόμα περιπτώσεις κτιρίων όπως τα Κέντρα Δεδομένων (Data Centers) τα οποία αντιμετωπίζουν αποκλειστικά ψυκτικά φορτία καθ' όλη την διάρκεια του έτους δια την απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας από τον εξοπλισμό IT (Information Technology-Τεχνολογίες Πληροφορικής).

Στη συνέχεια ακολουθεί ανάλυση για την βέλτιστη σχεδίαση μίας μονάδας ΣΗΘ σε ένα Κέντρο Δεδομένων, η οποία δύναται να χρησιμεύσει ως παράδειγμα ανάλυσης ανάλογων περιπτώσεων όπου κυριαρχούν τα ψυκτικά φορτία.

5.5.2 Περίπτωση συμπαραγωγικής ψύξης μόνο

Έστω ότι η μονάδα συμπαραγωγής καλείται να ικανοποιήσει πλήρως Q_C ψυκτικά φορτία (σε kW) με μία μονάδα συμπαραγωγής η οποία διοχετεύει το παραγόμενο ρεύμα σε ηλεκτρικούς ψύκτες ικανότητας Q_b και την παραγόμενη θερμότητα σε ψύκτες απορρόφησης ψυκτικής ικανότητας Q_a.

Τότε ισχύει η εξίσωση :

$$Q_C = Q_a + Q_b = H_\Sigma \text{COP}_a + E_\Sigma \text{COP}_b = (F_\Sigma / \eta_{\Sigma,H}) \text{COP}_a + (F_\Sigma / \eta_{\Sigma,E}) \text{COP}_b \quad (\text{E.9}\alpha)$$

$$Q_C = F_\Sigma \left(\frac{\text{COP}_a}{\eta_{\Sigma,H}} + \frac{\text{COP}_b}{\eta_{\Sigma,E}} \right) \Rightarrow F_\Sigma = \frac{Q_C}{\left(\frac{\text{COP}_a}{\eta_{\Sigma,H}} + \frac{\text{COP}_b}{\eta_{\Sigma,E}} \right)} \quad (\text{E.9}\beta)$$

Εάν το φορτίο Q_C εξυπηρετείται μόνο από ένα χωριστό ηλεκτρικό ψύκτη τότε θα καταναλώνει πρωτογενή ενέργεια ίση με :

$$F_X = \frac{Q_C}{\eta_{X,E} \text{COP}_b} \quad (\text{E.10})$$

Επομένως η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας από την συμπαραγωγική ψύξη PES_C θα είναι ως εξής :

$$\text{PES}_C = \frac{F_X - F_\Sigma}{F_X} = 1 - \frac{F_\Sigma}{F_X} = \frac{\eta_{X,E} \text{COP}_b}{\left(\frac{\text{COP}_a}{\eta_{\Sigma,H}} + \frac{\text{COP}_b}{\eta_{\Sigma,E}} \right)} \quad (\text{E.11})$$

Εφαρμογή : Εάν ληφθεί ότι $\eta_{X,E} = 51\%$, $\eta_{\Sigma,H} = 45\%$, $\eta_{\Sigma,E} = 42\%$, $\text{COP}_a = 85\%$ και $\text{COP}_b = 3,56$ τότε από την E.11 λαμβάνεται ότι : $\text{PES}_C = 7,3\%$. Δηλαδή η συμπαραγωγική ψύξη

εξασφαλίζει μία εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 7,3% έναντι της χωριστής ψύξης με συμβατικούς ηλεκτρικούς ψύκτες της ίδιας απόδοσης.

Βέβαια εάν υπολογιστεί η εξοικονόμηση πρωτογενούς καυσίμου από την εξίσωση E.4 υποθέτοντας ότι στον ψύκτη απορρόφησης αντί για συμπαραγωγική θερμότητα H_{Σ} προσδίδεται ίδια ποσότητα θερμότητας από χωριστό λέβητα σύγχρονης τεχνολογίας με $\eta_{\Sigma,H} = 85\%$ τότε υπολογίζεται PESίσο με 27,3%. Δηλαδή η προτεινόμενη διάταξη συμπαραγωγής χαρακτηρίζεται ως ΣΗΘΥΑ με βάση το κριτήριο του Παραρτήματος II του Ν.4342/2015. Όμως το υπολογιζόμενο PES_C με την εξίσωση E.11 είναι πιο κοντά στην συνήθη πρακτική και επομένως η προτεινόμενη λύση υπερτερεί επίσης και έναντι της συνήθους πρακτικής από πλευράς εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας.

Παρατηρείται ότι με μηχανής συμπαραγωγής με $\eta_{\Sigma,E}$ ίσο με 41% τότε η PES_C μηδενίζεται ενώ για μικρότερες τιμές γίνεται η PES_C < 0. Δια τούτο και προκειμένου να επιτευχθεί κάποια οικονομία πρωτογενούς ενέργειας έναντι της συνήθους πρακτικής, είναι πολύ σημαντικό να επιλέγονται μηχανές συμπαραγωγής με ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης > 43% και ολικό βαθμό ~86%. Τέτοιες μηχανές είναι διαθέσιμες στην πράξη σε μεγέθη άνω των 800kW.

Τέλος παρατηρείται από την εξίσωση E.9α ότι ο λόγος ψυκτικής ικανότητας ψ του ηλεκτρικού ψυκτη έναντι του ψύκτη απορρόφησης ισούται με :

$$\psi = \left(\frac{COP_b}{\eta_{\Sigma,E}} \right) / \left(\frac{COP_a}{\eta_{\Sigma,H}} \right) = \frac{COP_b \eta_{\Sigma,H}}{COP_a \eta_{\Sigma,E}} \quad (E.12)$$

Αντικαθιστώντας της τιμές της Εφαρμογής λαμβάνεται ότι $\psi = 4,49$ δηλαδή ο ψύκτης απορρόφησης καλύπτει μόλις το 18% του ψυκτικού φορτίου.

Βάσει του λόγου αυτού προσδιορίζεται το απαιτούμενο μέγεθος της ΣΗΘΥΑ ως εξής :

Η ψυκτική ικανότητα του ηλεκτρικού ψύκτη θα ισούται με $Q_b = Q_c \cdot \psi / (1 + \psi)$. Επομένως η ηλεκτρική ισχύς της μονάδας συμπαραγωγής E_{Σ} θα είναι ίση με :

$$E_{\Sigma} = Q_b \cdot COP_b = Q_c \cdot COP_b \cdot \psi / (1 + \psi)$$

Η θερμική ισχύς της μονάδας H_{Σ} προσδιορίζεται με τον λόγο $C = \eta_{\Sigma,E} / \eta_{\Sigma,H}$:

$$H_{\Sigma} = E_{\Sigma} / C = E_{\Sigma} \eta_{\Sigma,H} / \eta_{\Sigma,E}$$

Δηλαδή με βάση το παράδειγμα ανωτέρω προκύπτει ότι : $E_{\Sigma} = 0,82 Q_c$ και $H_{\Sigma} = 0,74 Q_c$

5.5.3 Περίπτωση συμπαραγωγικής ψύξης και θέρμανσης

Εάν εκτός των ψυκτικών φορτίων Q_c υπάρχουν επίσης σε μία εγκατάσταση και θερμικά φορτία Q_H , και εάν είναι επιθυμητό η συμπαραγωγή να καλύψει πλήρως και αυτά τα φορτία, τότε η διαστασιολόγηση της απαιτούμενης μηχανής συμπαραγωγής μπορεί να γίνει ευθέως με βάση την ανάλυση της παραγράφου E.5.2, πολλαπλασιάζοντας την ανωτέρω υπολογιζόμενη ηλεκτρική και θερμική ισχύ της μονάδας με τον λόγο : $\lambda = (H_{\Sigma} + Q_H) / H_{\Sigma}$.

Με την αύξηση αυτή η νέα συμπαραγωγική ισχύς θα ισούται με $H_{\Sigma-\Psi,\Theta} = \lambda \cdot H_{\Sigma}$ είναι σε θέση να καλύψει τόσο τα θερμικά φορτία ψύξης του κύκλου απορρόφησης H_{Σ} όσο και τα νέα θερμικά φορτία Q_H .

Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται επίσης και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς κατά τον ίδιο λόγο. Εδώ πλέον θα πρέπει να εξετάζεται και η διάθεση αυτής της περίσσειας ηλεκτρικής ισχύος.

Συχνά περίσσεια αυτή είναι δυνατόν να καλυφθεί από την ίδια την εγκατάσταση, διότι αυτή κατά κανόνα διαθέτει ηλεκτρική ζήτηση και για άλλες χρήσεις. Εάν πάλι η περίσσεια αυτή δεν μπορεί να απορροφηθεί στο σύνολό της από την εγκατάσταση, τότε η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να πωλείται στο σύστημα με τους όρους του νόμου 4414/2016.

Από ενεργειακής απόψεως η νέα μονάδα θα έχει ακριβώς την ίδια ενεργειακή απόδοση με την μονάδα αμιγούς συμπαραγωγικής ψύξης. Η οικονομική απόδοση όμως θα διαφέρει ως προς το τίμημα της πωλούμενης κιλοβατώρας στο σύστημα έναντι του τιμήματος αγοράς μίας κιλοβατώρας από την εγκατάσταση. Επειδή όπως φάνηκε από τον Πίνακα Ε.3 η τιμή πώλησης είναι περίπου συγκρίσιμη με την τιμή αγοράς σε μία μικρομεσαία επιχείρηση, η πώληση της περίσσειας αυτής στο σύστημα δεν αναμένεται να ανατρέψει τα οικονομικά της επένδυσης.

Όμως μελλοντικά η συμπαραγωγή θα προστατεύσει τις επιχειρήσεις από τις συνεχιζόμενες ανατιμήσεις του ηλεκτρικού ρεύματος οι οποίες αναμένονται να εμφανίζουν ανοδική τάση κατά την επόμενη δεκαετία, γεγονός το οποίο τείνει να ευνοεί τις αποφάσεις υπέρ της συμπαραγωγής, βεβαίως για επιχειρήσεις οι οποίες έχουν την απαιτούμενη ρευστότητα για να πραγματοποιήσουν την απαιτούμενη επένδυση.

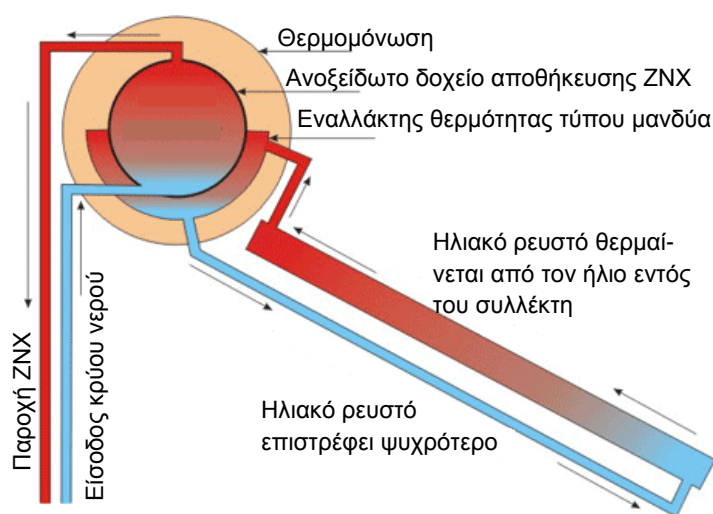
Παράρτημα 6: Ηλιοθερμικά συστήματα

6.1 Ηλιακά συστήματα για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

6.1.1 Τα θερμοσιφωνικά ηλιακά

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας αναπτύχθηκε διεθνώς κατά την δεκαετία του 70 για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Κατά την δεκαετία του 80 είχαν αναπτυχθεί στην χώρα μας πάνω από 200 βιομηχανίες-βιοτεχνίες παραγωγής ηλιακών θερμοσιφωνικών συστημάτων για την παραγωγή ZNX. Σήμερα η χώρα μας ευρίσκεται μεταξύ των πρώτων χωρών ως προς τον δείκτη εγκατεστημένης θερμικής ισχύς ηλιακών συστημάτων κατά κεφαλή.

Τα ηλιακά θερμοσιφωνικά συστήματα λειτουργούν με φυσική κυκλοφορία του νερού, χωρίς



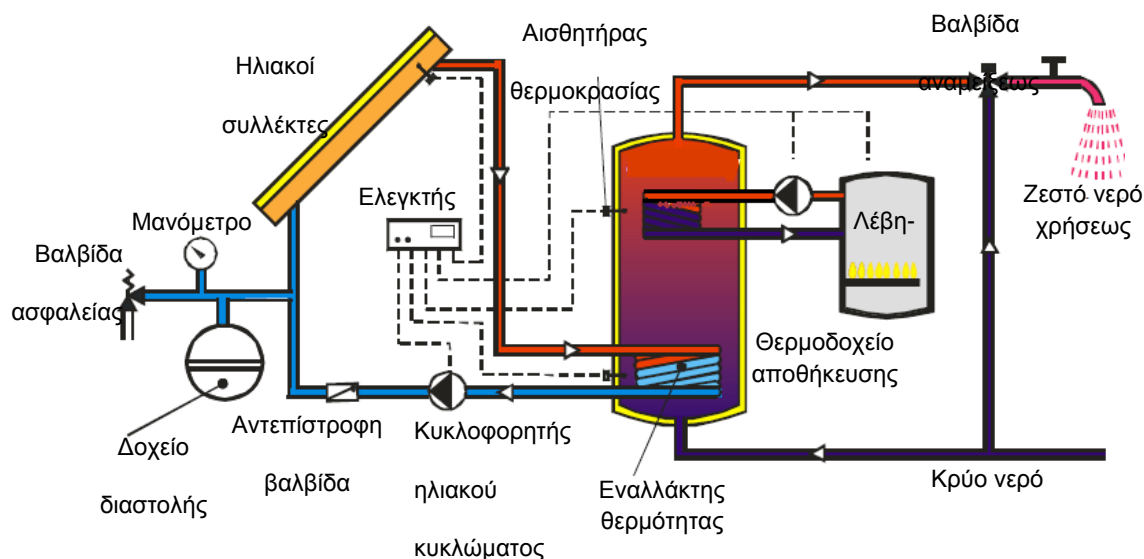
δηλαδή την χρήση αντλίας κυκλοφορίας (κυκλοφορητή). Το ηλιακό ρευστό είναι συνήθως αντιψυκτικό υγρό ή νερό και θερμαίνεται εντός του ηλιακού συλλέκτη. Καθώς θερμαίνεται μειώνεται η πυκνότητά του και το ρευστό γίνεται ελαφρύτερο. Στη συνέχεια εξέρχεται από τον συλλέκτη και εισέρχεται στον εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος είναι τύπου μανδύα, δηλαδή έχει μορφή κυλινδρικού δακτυλίου ο οποίος περιβάλλει το κυλινδρικό δοχείο αποθήκευσης του ζεστού

νερού χρήσης. Με τον τρόπο αυτό το ηλιακό ρευστό αποδίδει την θερμότητά του στο νερό εντός του δοχείου, παράγοντας έτσι ZNX και επομένως κρυνώνει και επιστρέφει στον συλλέκτη με φυσική κυκλοφορία, επειδή είναι ακριβώς βαρύτερο από το θερμαινόμενο ρευστό εντός του συλλέκτη.

6.1.2 Τα κεντρικά ηλιακά συστήματα

Για τις μεγαλύτερες ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ZNX σε ξενοδοχεία, πισίνες, νοσοκομεία, κλπ αναπτύχθηκαν τα κεντρικά ηλιακά συστήματα τα οποία λειτουργούν με κυκλοφορητή (αντλία) του ηλιοθερμικού ρευστού. Μία τέτοια τυπική διάταξη δίδεται στο Σχήμα 8.1. Το ηλιακό ρευστό εισέρχεται στο πεδίο των ηλιακών συλλεκτών και θερμαίνεται στους 60 έως τους 80°C. Στη συνέχεια οδεύει και τελικώς εισέρχεται σε εναλλάκτη θερμότητας είτε εμβαπτισμένου στο δοχείο παραγωγής και αποθήκευσης του ZNX (όπως φαίνεται στο Σχήμα) είτε εξωτερικού αυτού. Εκεί αποδίδεται την θερμότητά του, κρυνώνει περί τους 40°έως 50°C και στη συνέχεια επιστρέφει στους ηλιακούς συλλέκτες με την βοήθεια κυκλοφορητή.

Σχήμα Στ.1 : Κεντρικό ηλιοθερμικό σύστημα παραγωγής ZNX



Το ZNX παράγεται και αποθηκεύεται εντός του θερμοδοχείου αποθήκευσης. Σε περίπτωση όπου η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί (π.χ. σε μία συννεφιασμένη ημέρα του χειμώνα), τότε παρέχεται συμπληρωματική θερμότητα από μία βοηθητική πηγή ενέργειας, συνήθως λέβητα πετρελαίου ή αερίου. Η θερμότητα αυτή αποδίδεται στο ZNX με την βοήθεια εναλλάκτη θερμότητας, εμβαπτισμένου ή εξωτερικού του δοχείου θερμότητας.

Η λειτουργία του κυκλοφορητή του ηλιακού κυκλώματος καθώς και του κυκλοφορητή και του καυστήρα του βοηθητικού λέβητα, γίνεται από ηλεκτρονικό εγκέφαλο ή ελεγκτή, ο οποίος ελέγχει συνεχώς την θερμοκρασία του ZNX εντός του θερμοδοχείου και λαμβάνει βέλτιστες αποφάσεις την χρήση ή μη της βοηθητικής πηγής θερμότητας.

Η λήψη του ZNX προς χρήση, γίνεται από το επάνω μέρος του θερμοδοχείου, όπου η θερμοκρασία του νερού του θερμοδοχείου είναι μεγαλύτερη ενώ η τροφοδοσία του κρύου νερού το οποίο αναπληρώνει το εξαγόμενο ZNX χρήσης γίνεται εις το κάτω μέρος του θερμοδοχείου. Ως αποτέλεσμα αυτού του τρόπου τροφοδοσίας, αλλά και με βάση το φαινόμενο της θερμοκρασιακής διαστρωμάτωσης, παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες στα κάτω στρώματα του νερού του θερμοδοχείου οι οποίες αυξάνονται όσο ανερχόμαστε στα πάνω στρώματα του θερμοδοχείου.

6.2 Οι ηλιακοί συλλέκτες

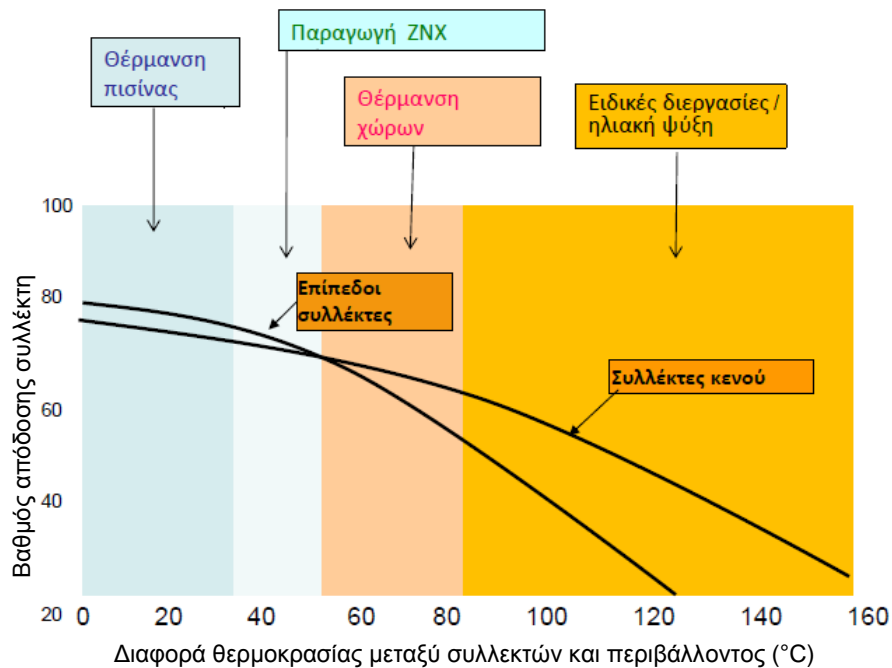
6.2.1 Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών

Το φαινόμενο αυτό της θερμοκρασιακής διαστρωμάτωσης είναι πολύ σημαντικό διότι επιτρέπει την λειτουργία του ηλιακού κυκλώματος σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τούτο συμβαίνει διότι το νερό όταν θερμαίνεται γίνεται ελαφρύτερο και επομένως ανεβαίνει στα επάνω στρώματα του δοχείου. Αντίθετα το κρύο νερό συγκεντρώνεται στα χαμηλότερα στρώματα, εκεί δηλαδή ακριβώς που τοποθετείται ο εναλλάκτης θερμότητας του ηλιακού κυκλώματος.

Από την άλλη πλευρά ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών είναι συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχομένου ρευστού ή/και της μέσης θερμοκρασίας

του ρευστού έναντι της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ΔT . Η σχέση αυτή παριστάνεται γραφικά στο Σχήμα 8.2 που ακολουθεί.

Σχήμα Στ.2 : Βαθμός απόδοσης ηλιακών συλλεκτών ως συνάρτηση της θερμοκρασίας



Από το σχήμα παρατηρείται ότι όσο ο συλλέκτης λειτουργεί σε υψηλότερη θερμοκρασία, τόσο πέφτει ο βαθμός απόδοσης η , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ωφέλιμης θερμότητας από τον συλλέκτη ως προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη :

$$\eta = Q/(AcG) = F_R[G (\alpha \cdot \tau)_n - U \cdot (T_m - T_a)] \quad (\Sigma\tau.1)$$

όπου

Q: η ωφέλιμη συλλεγόμενη θερμότητα που αποδίδεται από τον συλλέκτη (W).

Ac: η επιφάνεια του συλλέκτη (m^2).

G : η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη σε W/m^2 .

τ : ο συντελεστής διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας του διαφανούς καλύμματος του συλλέκτη

α : ο συντελεστής απορροφητικότητας της μαύρης επιφάνειας του απορροφητήρα του συλλέκτη δια την ηλιακή ακτινοβολία

F_R : ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

U : ο ολικός συντελεστής απωλειών προς το περιβάλλον του συλλέκτη σε $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$

T_m : η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη ($^\circ C$).

T_a : η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ($^\circ C$).

Στην εξίσωση 8.1 ο όρος $G (\alpha \cdot \tau)_n$ εκφράζει την συνολική ακτινοβολία η οποία εισέρχεται και απορροφάται από τον απορροφητήρα του ηλιακού συλλέκτη ενώ ο όρος $U (T_m - T_a)$ δίδει τις

θερμικές απώλειες του συλλέκτη προς το περιβάλλον λόγω μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία. Οι συντελεστές $(\tau.\alpha)_n$, $U_{κα}$ και F_R θα πρέπει να δίδονται από τον κατασκευαστή.

Με βάση το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12975, σήμερα ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών, αντί για τον τύπο 8.1, συνήθως εκφράζεται από τον τύπο :

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \{(T_m - T_a) / G\} - a_2 \cdot \{(T_m - T_a)^2 / G\} \quad (\Sigma\tau.2)$$

όπου η είναι ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη, T_m είναι η μέση θερμοκρασία του ρευστού του συλλέκτη ($^{\circ}\text{C}$), T_a είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$) και G είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη (W/m^2).

Οι κατασκευαστές ηλιακών συλλεκτών είναι υποχρεωμένοι πλέον να παραδίδουν στον αγοραστή τις τρεις παραμέτρους της εξίσωσης 8.2 με τις οποίες υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης :

- α) το βαθμό απόδοσης μηδενικών απωλειών η_0
- β) τον συντελεστή απωλειών πρώτης τάξεως $a_1 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$
- γ) τον συντελεστή απωλειών δευτέρας τάξεως $a_2 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}^2)$

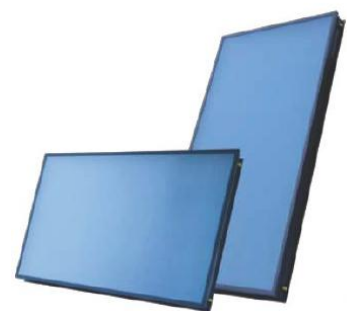
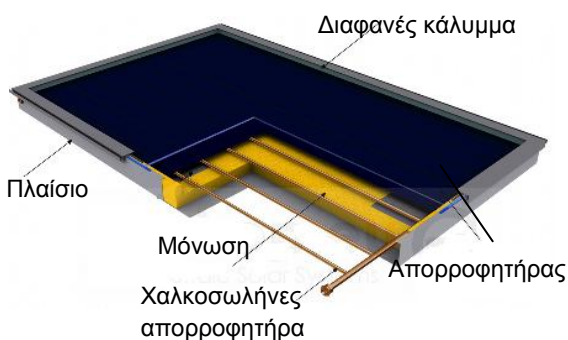
Παράδειγμα Στ.1: Για ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, ο κατασκευαστής δίδεται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά : $\eta_0 = 0,8$, $a_1 = 2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, $a_2 = 0,015 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^2)$. Ζητείται να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη όταν η θερμοκρασία εισόδου του ηλιακού ρευστού στο συλλέκτη είναι 35°C και η θερμοκρασία εξόδου 65°C ήτοι $T_m = 50^{\circ}\text{C}$, η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 28°C και η ηλιακή ακτινοβολία $G = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση 8.2 προκύπτει $\eta = 74\%$

Επαναλαμβάνοντας τον υπολογισμό με $G = 600 \text{ W}/\text{m}^2$ τότε $\eta = 70\%$.

6.2.2 Τύποι ηλιακών συλλεκτών

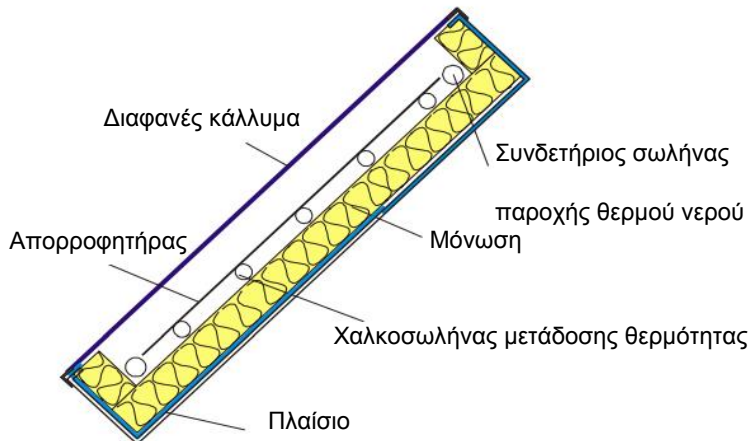
Οι κλασικοί ηλιακοί συλλέκτες είναι οι επίπεδοι συλλέκτες οι οποίοι είναι χαμηλού έως μεσαίου τιμήματος και έχουν ευρύτατες εφαρμογές στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και του νερού κολυμβητικών δεξαμενών καθώς και στη θέρμανση του νερού κεντρικής θερμάνσεως χώρων. Διαθέτουν τρία βασικά στρώματα :

α) το εξωτερικό διάφανο κάλυμμα, β) τον επίπεδο απορροφητήρα, μαύρου χρώματος, ο οποίος αναλαμβάνει να απορροφήσει την εισερχόμενη ηλιακή θερμότητα μέσω του διαφανούς καλύμματος και να την αποδώσει στους χαλκοσωλήνες οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στον απορροφητήρα, εντός των οποίων διέρχεται το ηλιακό ρευστό, γ) τον στρώμα θερμομόνωσης του συλλέκτη, προκειμένου να μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας κάτω από τον απορροφητήρα.



Ο απορροφητήρας διατίθεται σε διάφορους τύπους : με μαύρη βαφή, με ημι-επιλεκτική επιφάνεια και με επιλεκτική επιφάνεια. Το τίμημά του αυξάνει ανάλογα με τον τύπο της επιλεκτικής βαφής, της θερμομόνωσης και του τρόπου κατασκευής με τον οποίο μεγιστοποιείται ο συντελεστής η_0 και ελαχιστοποιούνται οι συντελεστές a_1 και a_2 .

Σχήμα 8.3. Σχηματική τομή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη



Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί και διατίθεται στην αγορά ένας άλλος τύπος συλλέκτη : ο συλλέκτης κενού. Ο τύπος αυτός εμφανίζει αρκετά υψηλό κόστος αλλά έχει χαμηλότερες απώλειες θερμότητας λόγω χαμηλότερους συντελεστή U . Έτσι όπως παρατηρείται από το Σχήμα Στ.2. σε θερμοκρασίες $> 50^{\circ}\text{C}$, εμφανίζει καλύτερους βαθμούς απόδοσης από τους επίπεδους συλλέκτες. Ως εκ τούτου οι συλλέκτες κενού είναι ιδανικοί για ψυχρά κλίματα.



Από την άλλη πλευρά είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι και σχετικά πολύπλοκοι στην εγκατάσταση. Δεν συνιστώνται σε οικιακές εφαρμογές αφού το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους υπερβαίνει τους 300°C . Για τον λόγο αυτό εφαρμόζονται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες

όπως είναι ο ηλιακός κλιματισμός, η αποστείρωση, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες βιομηχανικές εφαρμογές.

6.3 Ηλιοθερμικά συνδυασμένης παραγωγής νερού θέρμανσης και ΖΝΧ

6.3.1 Γενικά

Σήμερα η τεχνολογία ηλιοθερμικών συστημάτων έχει εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε αυτά να αποτελούν πλέον ανταγωνιστική επιλογή συστήματος θέρμανσης έναντι των άλλων συμβατικών συστημάτων με λέβητα. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός της παράλληλης ανάπτυξης των συστημάτων θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών, όπως αναπτύσσεται στα προηγούμενα κεφάλαια. Τέτοια συστήματα είναι το ενδοδαπέδιο σύστημα το οποίο απαιτεί θερμότητα θερμοκρασίας κάτω των 35°C καθώς και τα θερμαντικά πινάκια (πανέλα) τα οποία λειτουργούν περί τους 50°C .

Σε αυτές τις περιοχές των χαμηλών θερμοκρασιών, οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες λειτουργούν με υψηλό βαθμό απόδοσης όπως φαίνεται στο Σχήμα Στ.2. Έτσι οι λέβητες μπορούν πλέον να συμβάλουν οικονομικά στην θέρμανση χώρων παράλληλα με την παραδοσιακή τους χρήση, δηλαδή την παραγωγή ZNX.

Έτσι διατίθενται πλέον εις την αγορά ηλιοθερμικά συστήματα για την συνδυασμένη θέρμανση χώρων και την παραγωγή ZNX, τα οποία αποκαλούνται ηλιοθερμικά τύπου Κόμπι (Combi). Τα συστήματα αυτά διακρίνονται από τα ηλιακά συστήματα παραγωγής μόνο ZNX, ως προς τον τρόπο παραγωγής και αποθήκευσης ZNX.

Τα συστήματα Combi πρέπει να συνδυάζονται πάντα με μία βοηθητική πηγή ενέργειας διότι η ηλιακή ενέργεια δεν είναι πάντοτε διαθέσιμη όταν χρειάζεται. Παρά το γεγονός ότι το θερμοδοχείο αποθηκεύει θερμότητα για τις ώρες όπου δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, εν τούτοις αυτή η αποθηκευτική ικανότητα δεν μπορεί να καλύπτει φορτία σε περιόδους παρατεταμένης συννεφιάς. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται η χρήση μίας συμπληρωματικής πηγής θερμότητας, συνήθως λέβητας πετρελαίου ή αερίου, η οποία καλύπτει τις ανάγκες θερμότητας σε τέτοιου είδους περιόδους.

Επισημαίνεται ότι το μέγεθος του θερμοδοχείου αποθήκευσης καθορίζεται από καθαρά οικονομικούς λόγους. Ένα πολύ μεγάλο δοχείο, θα αποτελούσε μία δαπανηρή προσθήκη, η οποία δεν δικαιολογείται από τα πρόσθετα ενεργειακά οφέλη τα οποία αυτό παρέχει. Από την άλλη πλευρά ένα πολύ μικρό δοχείο, δεν επιτρέπει στην ηλιακή ενέργεια να καλύψει ένα μεγάλο ποσοστό των θερμικών αναγκών, διότι αυτές είναι συνήθως «ετεροχρονισμένες» από την ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή εμφανίζονται σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Στην πράξη ο λόγος του όγκου του θερμοδοχείου V (σε λίτρα) ως προς την επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών A_C (σε m^2), κυμαίνεται μεταξύ 50 και 70 λίτρα/ m^2 .

6.3.2 Τύποι Αμφιθερμικών Συστημάτων (Combi)

Ενώ στα συμβατικά ηλιοθερμικά συστήματα το ZNX θερμαίνεται απ' ευθείας από το ηλιακό ρευστό και αποθηκεύεται εντός του θερμοδοχείου, στα συστήματα τύπου Combi, τα πράγματα αντιστρέφονται : εντός του θερμοδοχείου αποθηκεύεται το νερό θέρμανσης, ενώ το ZNX παράγεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους :

Σύστημα Α : Δοχείο ZNX εμβαπτισμένο μέσα στο θερμοδοχείο νερού θέρμανσης (Tank in tank)

Σύστημα Β : Παραγωγή ZNX μέσα σε εμβαπτισμένο εναλλάκτη θερμότητας μέσα στο θερμοδοχείο

Σύστημα Γ : Παραγωγή ZNX με εξωτερικό εναλλάκτη θερμότητας.

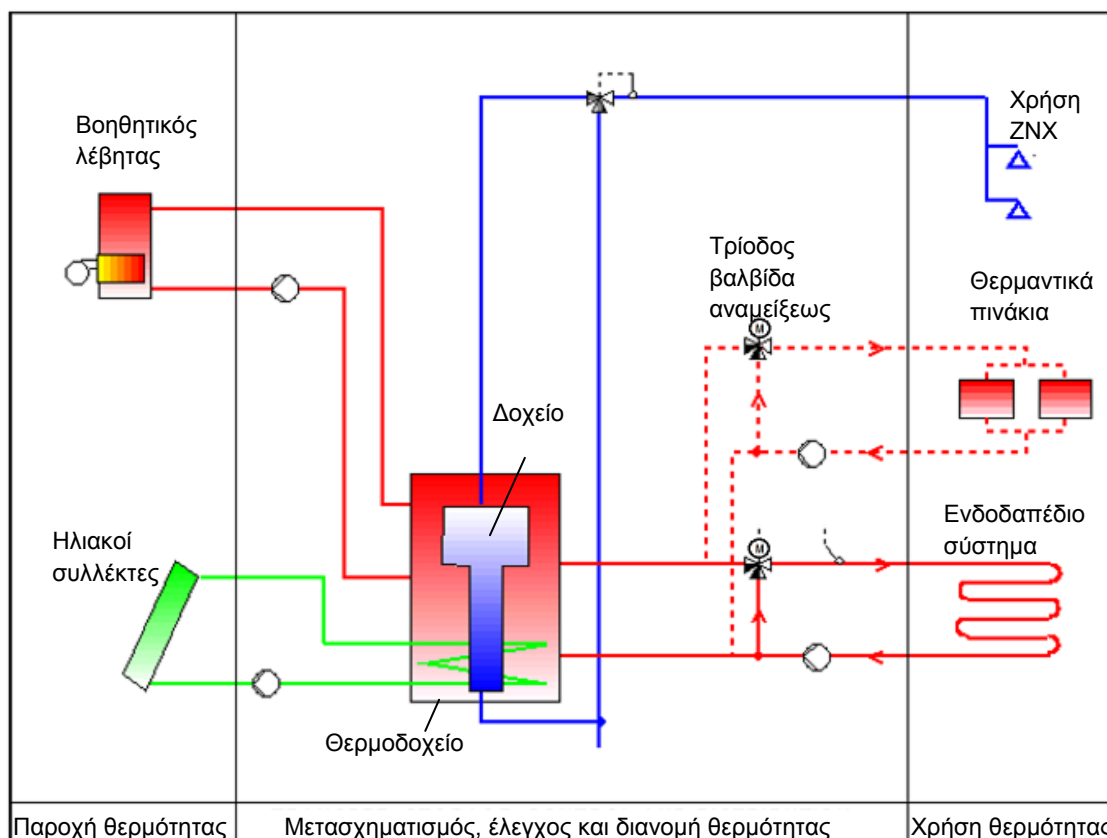
Το σύστημα Α διαθέτει μικρή έστω αποθηκευτική ικανότητα για ZNX ενώ τα συστήματα Β και Γ έχουν ελάχιστη αποθηκευτική ικανότητα και ομοιάζουν περισσότερο με ταχυθερμوسίφωνες, δηλαδή με θερμαντήρες νερού οι οποίοι παράγουν ZNX μόνο όταν αυτό ζητείται από τους χρήστες.

6.3.3 Σύστημα A : δοχείο στο δοχείο

Το σύστημα αυτό περιγράφεται με την βοήθεια του Σχήματος Στ.4. Το θερμοδοχείο του συστήματος περιέχει το δοχείο παραγωγής και αποθήκευσης ZNX, το οποίο είναι ταυτόχρονα εναλλάκτης θερμότητας.

Το θερμοδοχείο αποθηκεύει θερμότητα περί τους 50 έως 80°C. Η θερμότητα αυτή παρέχεται κυρίως από τους ηλιακούς συλλέκτες και όταν αυτοί δεν επαρκούν, από την βοηθητική πηγή θερμότητας. Σημειώνεται ότι το νερό του λέβητα κυκλοφορεί ευθέως μέσα στο θερμοδοχείο χωρίς να παρεμβάλλεται εναλλάκτης θερμότητας. Αντίθετα το ηλιακό ρευστό θερμαίνει το θερμοδοχείο μέσω εμβαπτισμένου εναλλάκτη θερμότητας.

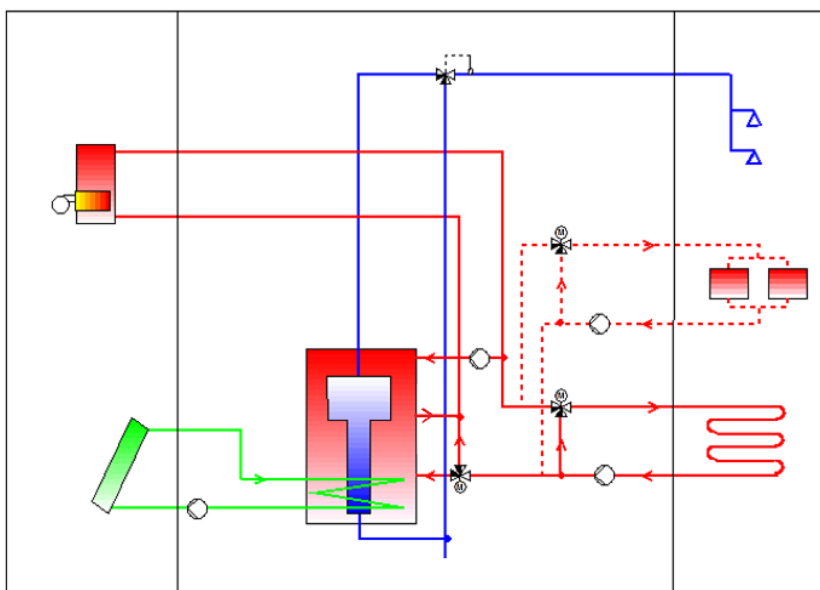
Σχήμα Στ.4. Σχηματική διάταξη ηλιοθερμικού συστήματος τύπου A : Δοχείο στο δοχείο



Παρατηρείται ότι σε όλα τα θερμικά φορτία συνήθως είναι εγκατεστημένη και μία τριόδος (ή τετράοδος) βαλβίδα αναμείξεως, με την οποία ρυθμίζεται η τελική θερμοκρασία του ZNX ή του νερού θέρμανσης.

Στο Σχήμα Στ.5 δίδεται ένας εναλλακτικός τρόπος σύνδεσης της βοηθητικής πηγής. Αντί αυτή να συνδέεται απ' ευθείας με το θερμοδοχείο, συνδέεται πάνω στο κύκλωμα θέρμανσης με διττό σκοπό : αφ' ενός μεν την απ' ευθείας παροχή θερμότητας στο κύκλωμα θέρμανσης και αφ' ετέρου την παροχή θερμότητας προς το θερμοδοχείο για την διατήρηση της θερμοκρασίας του στα απαιτούμενα επίπεδα για την παραγωγή ZNX.

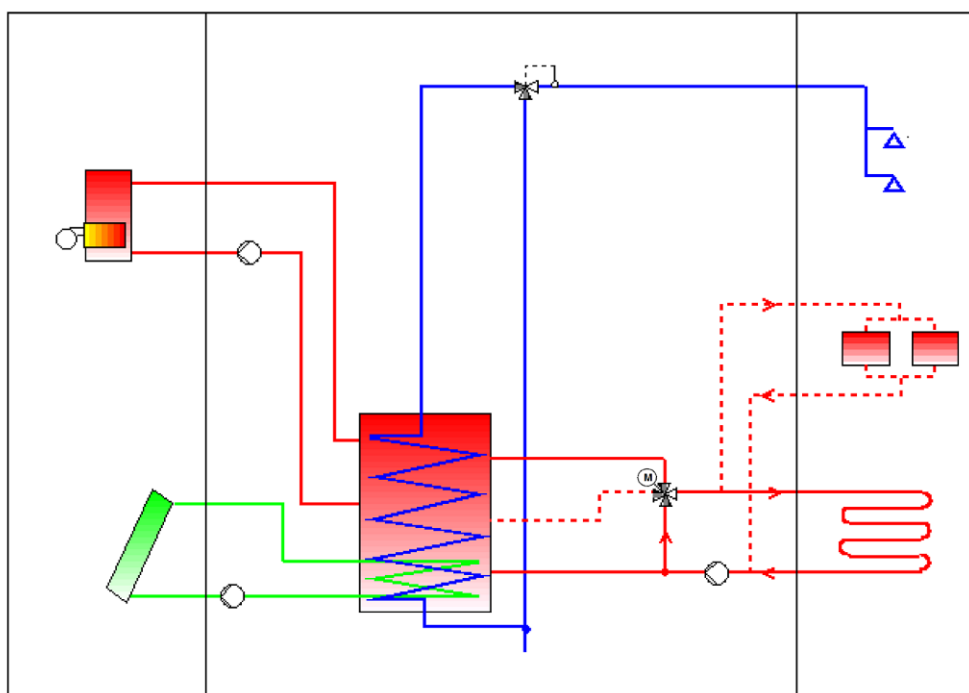
Σχήμα Στ.5. Σχηματική διάταξη ηλιοθερμικού συστήματος τύπου A : Εναλλακτική σύνδεση



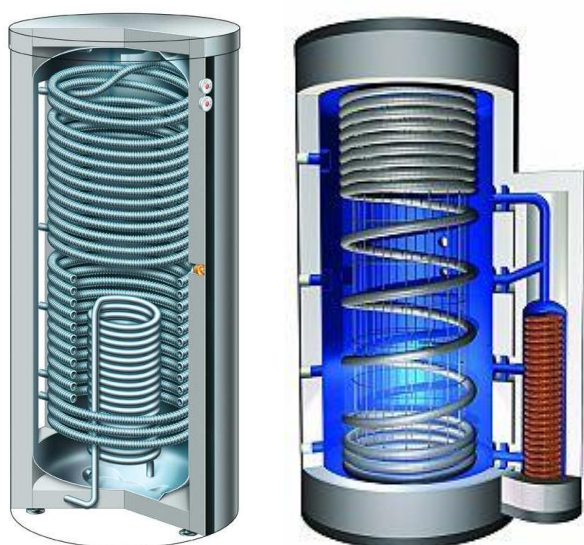
6.3.4 Σύστημα B : Εμβαπτισμένος εναλλάκτης ZNX

Το σύστημα τύπου B του εμβαπτισμένου εναλλάκτη θερμότητας δίδεται στο Σχήμα Στ.6. Οι συνδέσεις των θερμικών φορτίων με το θερμοδοχείο είναι ακριβώς οι ίδιες με εκείνες του Σχήματος Στ.4 ενώ η εναλλακτική διάταξη σύνδεσης του βοηθητικού λέβητα του Σχήματος Στ.5. ισχύει και στην παρούσα περίπτωση.

Σχήμα Στ.6. Σχηματική διάταξη ηλιοθερμικού συστήματος τύπου B : Εμβαπτισμένος εναλλάκτης



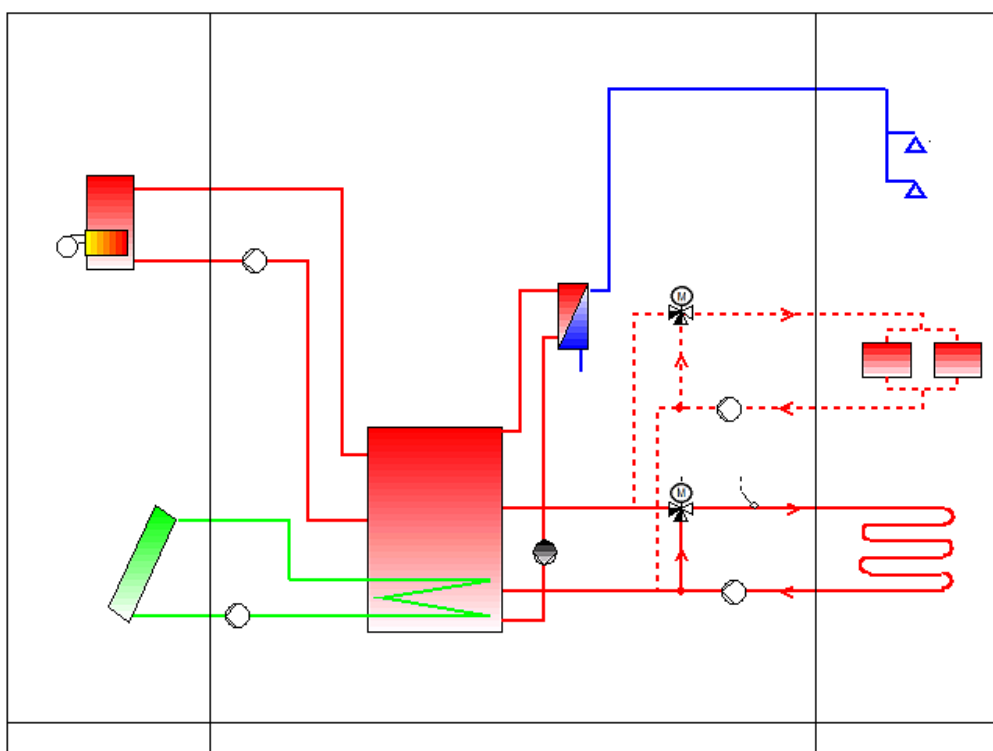
Δύο τυπικά θερμοδοχεία αυτού του συστήματος απεικονίζονται σχηματικά κατωτέρω. Εισ την αριστερή εικόνα, ο εναλλάκτης του ηλιακού κυκλώματος δίδεται με τον μικρό σπειροειδή σωλήνα στο κάτω μέρος ενώ ο εναλλάκτης του ΖΝΧ είναι ο μεγάλος σπειροειδής σωλήνας ο οποίος εκτείνεται καθ' όλο το ύψος του θερμοδοχείου. Στην δεξιά εικόνα ο εναλλάκτης του ηλιακού πεδίου είναι ενσωματωμένος στο θερμοδοχείο στην κάτω δεξιά πλευρά του. Το νερό του θερμοδοχείου εισέρχεται στον ηλιακό εναλλάκτη και μπορεί να εξέλθει σε διαφορετικά σημεία καθ' ύψος, ανάλογα με την θερμοκρασία του. Εάν το νερό θερμανθεί από το ηλιακό πεδίο αρκετά, τότε αυτό εξέρχεται στο υψηλότερο σημείο. Η τεχνική αυτή αποτελεί μία από τις διαθέσιμες τεχνικές για την εξασφάλιση θερμοκρασιακής διαστρωμάτωσης εντός του θερμοδοχείου.



6.3.5 Σύστημα Γ : Εξωτερικός εναλλάκτης ΖΝΧ

Η σχηματική διάταξη του τύπου αυτού, είναι παρόμοια με εκείνη των τύπων Α και Β. Όμως η παραγωγή ΖΝΧ γίνεται εξωτερικά του θερμοδοχείου με την χρήση εναλλάκτη θερμότητας και ξεχωριστού κυκλώματος θέρμανσης του εναλλάκτη με χωριστό κυκλοφορητή (βλέπε Σχήμα Στ.7.)

Σχήμα Στ.7. Σχηματική διάταξη ηλιοθερμικού συστήματος τύπου Γ : Εξωτερικός εναλλάκτης



6.3.6 Ο ελεγκτής του ηλιοθερμικού συστήματος



Όλα τα ηλιοθερμικά συστήματα Combi, διαθέτουν ηλεκτρονικό ελεγκτή ο οποίος αναλαμβάνει τον ρυθμισμό της λειτουργίας των κυκλοφορητών, της βοηθητικής πηγής και των τριόδων βαλβίδων αναμίξεως με σκοπό την μεγιστοποίηση της ηλιακής απολαβής και της ελαχιστοποίησης της χρήσεως της βοηθητικής πηγής ενέργειας. Εισ τον ελεγκτή αυτόν προσάγονται όλα τα αισθητήρια θερμοκρασίας τα οποία είναι τοποθετημένα εντός του θερμοδοχείου για την μέτρηση της θερμοκρασίας νερού βάσει των οποίων ρυθμίζεται η λειτουργία της βοηθητικής πηγής..

Επίσης προσάγονται και οι μετρήσεις θερμοκρασίας στα κυκλώματα θέρμανσης, βάσει των οποίων ρυθμίζονται οι τριόδες βαλβίδες.

6.3.7 Γενική περιγραφή συστήματος με ηλιοαμφιθερμικά

Σήμερα σε Ευρωπαϊκό επίπεδο η χρήση φυσικού αερίου για την θέρμανση χώρων στηριζόμενη υπό την ηλιακή ενέργεια, έχει καταστεί μία από τις πλέον ανταγωνιστικές μεθόδους κεντρικής θέρμανσης. Σε συνδυασμό με την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), η τεχνολογία των ηλιοαμφιθερμικών (combi) είναι πλέον ανταγωνιστική του πετρελαίου θέρμανσης αλλά και του φυσικού αερίου στις εφαρμογές αυτές.

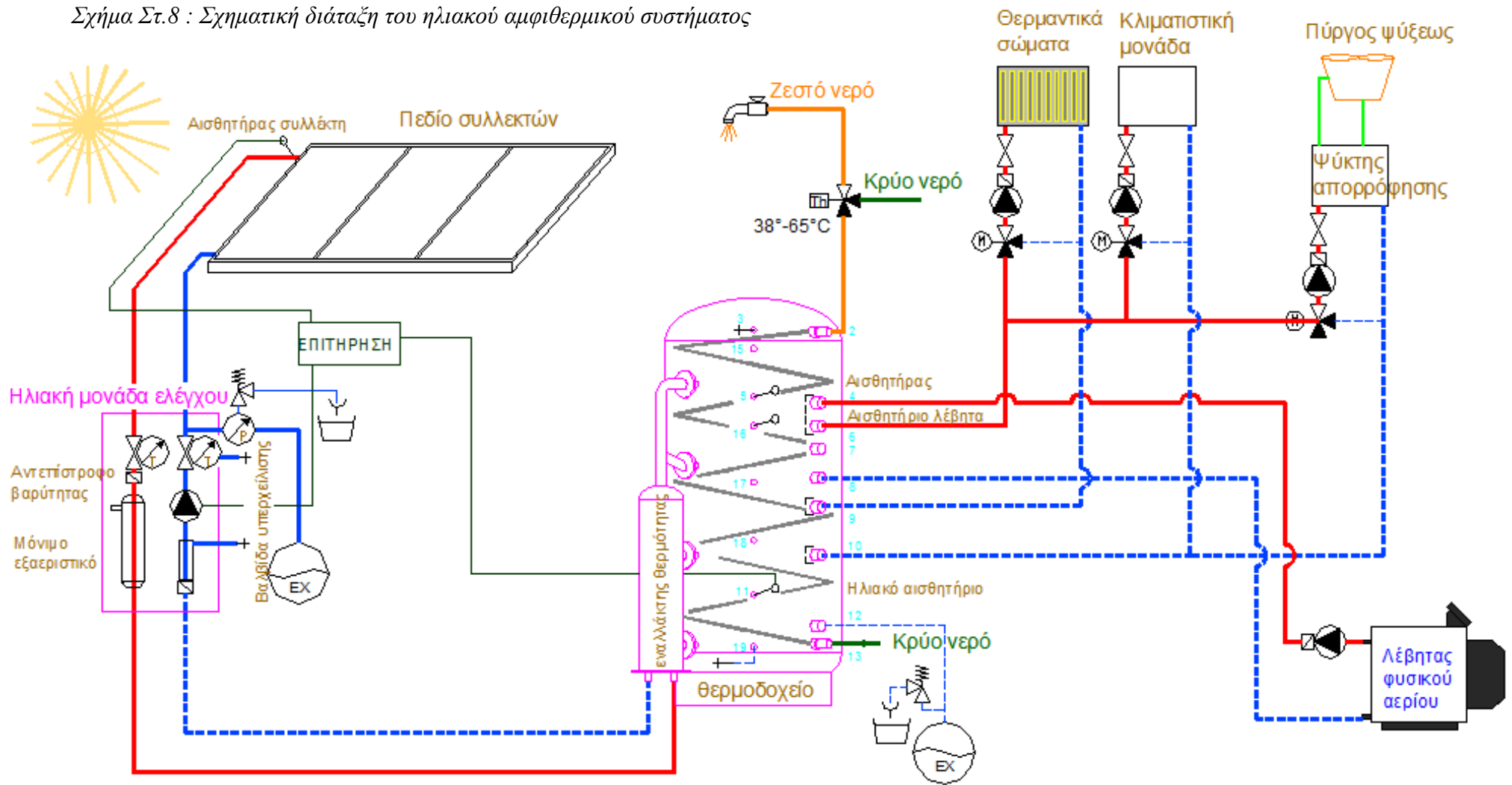
Παράλληλα ο ηλιακός κλιματισμός ευρίσκεται σε ένα στάδιο ώριμης ανάπτυξης και ευρίσκει πολλές εφαρμογές σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Με την χρήση της τεχνολογίας ψύξεως με απορρόφηση, είναι δυνατόν να επεκταθεί η χρήση του ηλιοθερμικού συστήματος και κατά το θέρος, εξασφαλίζοντας έτσι καλύτερους βαθμούς οικονομικής αποδόσεως. .

Η βασική σχεδίαση ενός ηλιακού αμφιθερμικού περιλαμβάνει τα εξής :

1. Πεδίο ηλιακών συλλεκτών (m^2) το οποίο παρέχει θερμότητα στα θερμοδοχεία αποθηκεύσεως θερμότητας μέσω εναλλάκτη θερμότητας
2. Θερμοδοχεία αποθήκευσης θερμότητας τα οποία έχουν την ικανότητα διαστρωμάτωσης της θερμότητας, ήτοι διατηρήσεως υψηλότερων θερμοκρασιών στα ανώτερα στρώματα του νερού ακόμα και από τις πρώτες πρωϊνές ώρες όπου άρχεται η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.
3. Εσωμάτωση ηλιακής μονάδας ελέγχου της ηλιοθερμικής μονάδας, η οποία ρυθμίζει την παροχή του ηλιοθερμικού ρευστού ώστε να επιτυγχάνονται ωφέλιμες θερμοκρασίες από τις πρώτες πρωϊνές ώρες.

Στο Σχήμα Στ.8 δίδεται μία γενικότερη σχηματική διάταξη του ηλιοθερμικού η οποία παρέχει θερμό νερό σε κύκλωμα θερμοαντικών σωμάτων ή στοιχείων ανεμιστήρα (FANCOIL), κλιματιστικών μονάδων και σε ψύκτη απορρόφησης ο οποίος ψύχεται από υδρόψυκτο πύργο ψύξεως. Κατά το θέρος η ηλιοθερμική μονάδα παρέχει νερό θερμάνσεως σε θερμοκρασία 88 °C, ενώ κατά την διάρκεια του έτους η ηλιοθερμική μονάδα προετοιμάζει θερμό νερό στους 55 με 60°C.

Σχήμα Στ.8 : Σχηματική διάταξη του ηλιακού αμφιθερμικού συστήματος



Ο βαθμός απόδοσης του ψύκτη απορρόφησης (COP) είναι για την ονομαστική θερμοκρασία των 88 °C ίσος με 0,7. Ο απαιτούμενος πύργος ψύξεως θα είναι ψυκτικής ικανότητας 85 με 90 kW. Για την λειτουργία του πύργου ψύξεως σε πλήρες φορτίο απαιτείται κατανάλωση νερού ίση με 100 λίτρα/ώρα.

Από το σχήμα αυτό παρατηρείται ότι το παραγόμενο ZNX δεν έρχεται σε επαφή με το νερό θερμάνσεως αλλά διέρχεται μέσω ελικοειδούς σωλήνα (σερπατίνα) διαδοχικά από τα κάτω προς τα επάνω, αποκτώντας έτσι την απαιτούμενη θερμοκρασία χρήσεως (50 έως 55°C). Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται η ικανότητα συνδυασμένης παραγωγής ZNX και νερού θερμάνσεως το οποίο κυκλοφορεί πλέον από το θερμοδοχείο προς τα θερμαντικά σώματα. Αντίθετα ο συμβατικός λέβητας παρέχει συμπληρωματική θερμότητα στο θερμοδοχείο ώστε το πάνω μέρος αυτού να διατηρείται σε ικανοποιητική θερμοκρασία. Επομένως το θερμοδοχείο της ηλιοθερμίας καθίσταται πλέον ο κόμβος πέριξ του οποίου αναχωρούν και επιστρέφουν όλα τα κυκλώματα θερμάνσεως του κτιρίου.

6.4 Το ποσοστό κάλυψης φτων θερμικών φορτίων : η μέθοδος SFC

6.4.1 Γενικά

Ως ποσοστό κάλυψης των ετησίων φορτίων (αναγκών) θέρμανσης χώρων $Q_{\Theta X}$ και παραγωγής ZNX Q_{ZNX} από την ηλιοθερμία ορίζεται ο συντελεστής f:

$$f = Q_H / Q_{\Phi} = Q_H / \{ (Q_{\Theta X} + \Theta_{Z+} Q_{\Delta\pi}) / \eta_{\Lambda} \} \quad (\Sigma\tau.3)$$

όπου

Q_H : είναι η ετήσια ή μηνιαία παραγόμενη ωφέλιμη ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια,

Q_{Φ} : είναι το συνολικό ετήσιο ή μηνιαίο φορτίο = $\{ (Q_{\Theta X} + \Theta_{Z+} Q_{\Delta\pi}) / \eta_{\Lambda} \}$

$Q_{\Delta\pi}$: είναι οι ετήσιες ή μηνιαίες απώλειες διανομής θερμότητας του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος παραγωγής ZNX. και

η_{Λ} : ο βαθμός απόδοσης του βοηθητικού λέβητα

6.4.2 Η παράμετρος ΚΗΚ

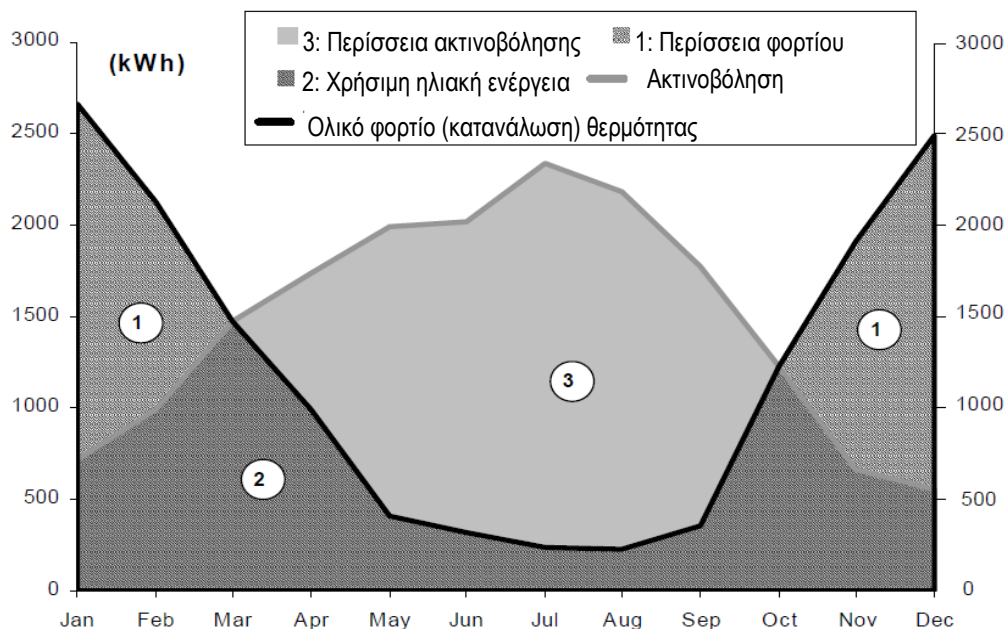
Ο συντελεστής f καλείται επίσης και συντελεστής εξοικονόμησης ενέργειας του ηλιοθερμικού συστήματος και εξαρτάται πρωτίστως από επικαλούμενη «Κλασματική Ηλιακή Κατανάλωση» ΚΗΚ (Fractional Solar Consumption – FSC). η οποία ορίζεται με βάση τα εμβαδά του Σχήματος Στ.8 :

$$ΚΗΚ = (2) / \{ (1) + (2) \} \quad (\Sigma\tau.4)$$

όπου το εμβαδόν (2) αντιστοιχεί στο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια των συλλεκτών η οποία είναι χρήσιμη διότι μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως αφού είναι μικρότερη του θερμικού φορτίου, και

το εμβαδόν (1) αντιστοιχεί σε εκείνο το φορτίο δια το οποίο δεν επαρκεί η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια (έλλειμμα ηλιακής ενέργειας) στην επιφάνεια των συλλεκτών.

Σχήμα Στ.8. Μηνιαίο διάγραμμα της τελικής κατανάλωσης ενέργειας ενός συμβατικού συστήματος αναφοράς και της ηλιακής ακτινοβολίας (σε kWh) για μία καθορισμένη επιφάνεια συλλεκτών, με συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης και κλίση συλλεκτών



Η μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια ($Q_{\Delta HE}$) σε επίπεδο συλλεκτών ορίζεται ως :

$$Q_{\Delta HE, \nu} = A_C \cdot I_{\nu} \quad (\text{Στ.5})$$

όπου ν δείκτης ενός μήνα και I_{ν} είναι η μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια kWh/m^2 , η οποία δίδεται στον Πίνακα Στ.1 για επιλεγμένες πόλεις της χώρας.

Πίνακας Στ.1 : Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m^2 για επίπεδο κλίσης $45^{\circ}C$

Πόλη	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΕΟ	ΔΕΚ	Σύνολο
Ηράκλειο	101	106	140	160	178	181	189	189	175	152	121	101	1793
Ελληνικό	104	108	135	151	171	178	189	190	167	144	114	98	1749
Θεσσαλονίκη	91	95	120	140	160	169	182	176	152	123	94	85	1587
Καστοριά	101	101	131	140	155	172	179	177	154	131	101	90	1632
Τρίπολη	105	105	124	155	167	167	186	190	168	136	103	91	1697

Π.χ. η $Q_{\Delta HE}$ σε ηλιοθερμικό σύστημα με $A_C = 3,0 \text{ m}^2$ κατά τον μήνα Ιανουάριο στο Ελληνικό ισούται με $3 \times 104 = 312 \text{ kWh}$.

Για ένα καθορισμένο θερμικό φορτίο, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών, τόσο μεγαλύτερη είναι το κλάσμα ΚΗΚ διότι αυξάνεται το εμβαδόν (2). Αντίθετα όσο μικρότερη είναι η επιφάνεια συλλεκτών, τότε μειώνεται ο ΚΗΚ αφού η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία επαρκεί για την κάλυψη μόνο των θερινών φορτίων, τα

οποία μάλιστα είναι συνήθως μικρότερα των χειμερινών, λόγω ελλείψεως των φορτίων θέρμανσης χώρων.

Παράδειγμα Στ.2: Υπολογισμός ΚΗΚ με βάση τα στοιχεία του πίνακα που ακολουθεί

Πόλη	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΕΟ	ΔΕΚ	Σύνολο
Φορτία αναφοράς	2659	2131	1477	989	412	320	237	226	359	1230	1905	2494	14415
Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολήση	716	991	1477	1740	1989	2017	2335	2183	1769	1230	663	558	17668
Χρήσιμη ηλιακή ενέργεια	716	991	1477	989	412	320	237	226	359	1230	663	558	7943
ΚΗΚ = 0,57													

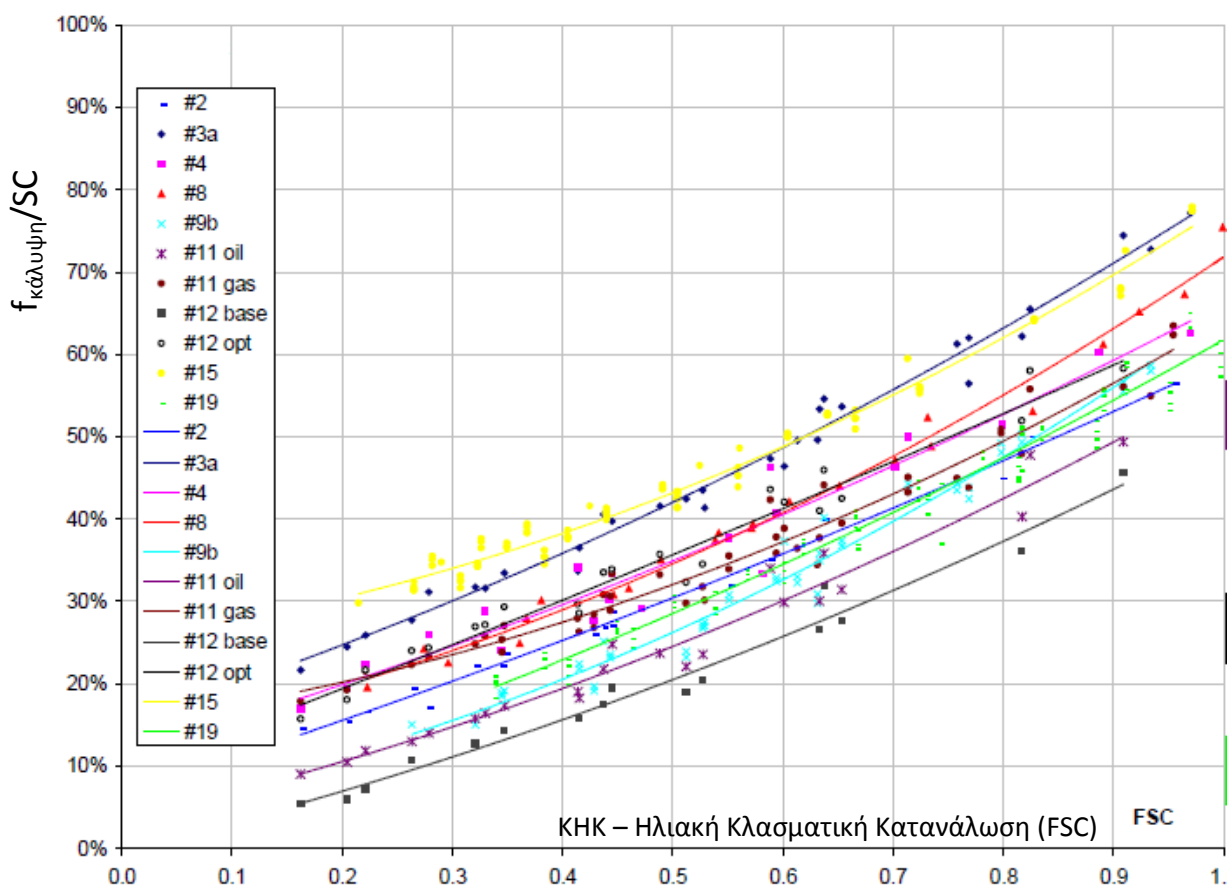
6.4.3 Η εκτίμηση του συντελεστή κάλυψης f

Βάσει της παραμέτρου ΚΗΚ, για κάθε ηλιοθερμικό σύστημα είναι δυνατόν να γίνει εκτίμηση της ετήσιας κάλυψης του φορτίου από την ηλιακή ενέργεια f , βάσει μίας καμπύλης η οποία χαρακτηρίζει το κάθε ηλιοθερμικό σύστημα και η οποία προκύπτει μετά από μετρήσεις.

Τέτοιες τυπικές καμπύλες δίδονται στο Σχήμα Στ.9 από πειράματα και μετρήσεις που έγιναν για διάφορα ηλιοθερμικά συστήματα σε Ευρώπη και Αμερική από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας.

Με βάση τα δεδομένα τεχνολογίας των επιλεκτικών συλλεκτών, σήμερα μία τυπική καμπύλη είναι η ιώδης καμπύλη (σύστημα #4). Στο μέλλον και στο πλαίσιο πιστοποίησης των ηλιοθερμικών συστημάτων, αναμένεται να είναι διαθέσιμη η αντίστοιχη καμπύλη από πλευράς προμηθευτή για το κάθε παρεχόμενο ηλιοθερμικό σύστημα.

Σχήμα Στ.9 : Ο λόγος του συντελεστή κάλυψης f/SC ως προς την παράμετρο ΚΗΚ



Η καμπύλη του Σχήματος Στ.9 δίδει τον λόγο του συντελεστή ετήσιας κάλυψης φορτίου ZNX f δια ένα συντελεστή διορθώσεως SC ο οποίος είναι συνάρτηση του λόγου V/A_c, όπου V είναι ο όγκος του θερμοδοχείου σε λίτρα και A_c επιφάνεια συλλεκτών σε m² του συστήματος:

$$SC = \left(\frac{1}{160} \frac{V}{A_c} + 0,1 \right)^{0,25} - 0,001455 \frac{V}{A_c} + 0,20864 \quad (\text{Στ.6})$$

Παράδειγμα Στ.3: Ένα ηλιοθερμικό σύστημα πρόκειται να καλύψει το ετήσιο φορτίο ZNX όπως αυτό υπολογίζεται στον πίνακα που ακολουθεί το οποίο ανέρχεται σε 3722 kWh ετησίως. Δια τον σκοπό αυτό εγκαθίσταται ηλιοθερμικό σύστημα με λόγο V/A_c = 60. Από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης απαιτείται η κάλυψη f να ανέλθει τουλάχιστον στο 60%. Ποια πρέπει να είναι η επιφάνεια συλλεκτών του συστήματος για την επίτευξη αυτής της κάλυψης;

Υπολογίζεται πρώτα ο συντελεστής διορθώσεως SC από την εξίσωση Στ.6 για V/A_c ίσο με 60 και προκύπτει : SC = : 0,95. Τότε εφ' όσον f = 0,6 τότε f/SC = 0,6/0,95 = 0,63

Δια τον λόγο f/SC = 0,63 αυτό και βάσει του Σχήματος Στ.9 προκύπτει ότι για ένα καλό σύστημα όπως αυτό με την ιώδη γραμμή (σύστημα #4) το απαιτούμενο Κλάσμα Ηλιακής Κατανάλωσης ΚΗΚ ανέρχεται στο 0,94.

Για την επίτευξη του κλάσματος αυτού, υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια συλλεκτών A_c για την περιοχή του Ελληνικού προκειμένου ΚΗΚ ≥ 0,94. Μετά από μερικές διαδοχικές επαναλήψεις επιλέγεται A_c = 3,0 m² προκειμένου ΚΗΚ = 0,945 όπως φαίνεται στον Πίνακα που ακολουθεί :

Ελληνικό	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΕΟ	ΔΕΚ	Σύνολο
Θερμοκρασία (°C) νερού ύδρευσης	11,3	10,9	11,8	14,3	17,7	21,6	24,7	25,7	24,2	21,1	16,9	13,5	17,8
Φορτία αναφοράς	384,4	389,0	378,7	350,2	311,4	266,9	231,6	220,2	237,3	272,6	320,5	359,3	3722,2
Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολήση	312	324	405	453	513	534	567	570	501	432	342	294	5247
Χρήσιμη ηλιακή ενέργεια	312,0	324,0	378,7	350,2	311,4	266,9	231,6	220,2	237,3	272,6	320,5	294,0	3519,5
ΚΗΚ = 3519,5/3722,2=0,945													

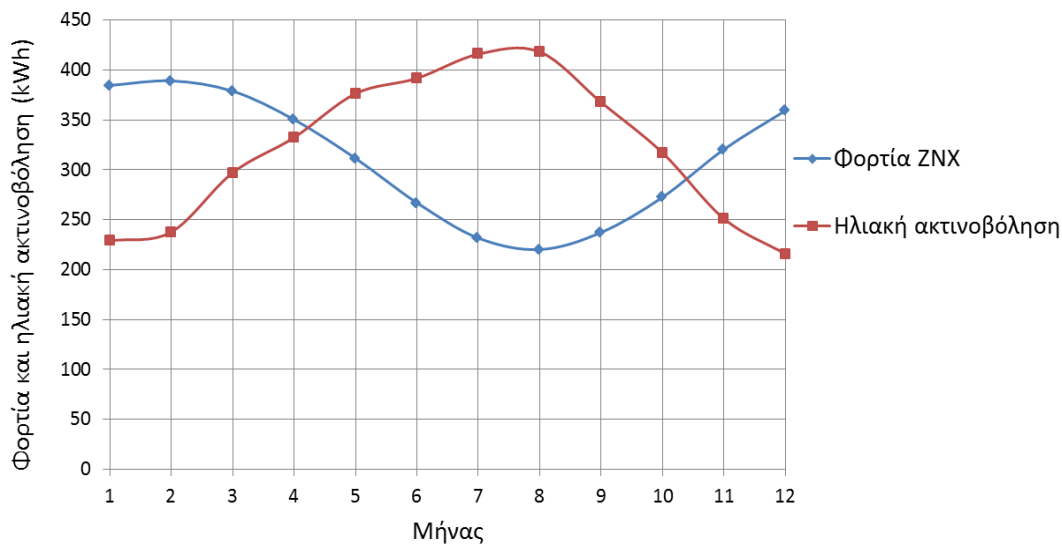
Τα στοιχεία των φορτίων και της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολήσης του Παραδείγματος Στ.3 δίδονται παραστατικά στο Σχήμα που ακολουθεί.

Τέλος η επίδοση του ηλιοθερμικού συστήματος ανά επιφάνεια συλλεκτών A_c είναι :

$$(\text{Ετήσιο φορτίο}) \times (\text{ποσοστό κάλυψης } f) / A_c = 3722,2 \text{ kWh} (60\%) / 3,0 \text{ m}^2 = 744,4 \text{ kWh/m}^2$$

Η επίδοση αυτή είναι λογική και συγκρίσιμη με αποτελέσματα άλλων αναλυτικότερων μεθόδων υπολογισμού της αποδόσεως των ηλιοθερμικών συστημάτων, όπως είναι η μέθοδος F-Chart.

Σχήμα Στ.10 : Μηνιαία Φορτία ZNX και προσπίπτουσα διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολήση



6.5 Ενεργειακή ανάλυση του ηλιοαμφιθερμικού συστήματος

6.5.1 Μεθοδολογία υπολογισμού

Η εκτίμηση της ενεργειακής αποδόσεως του ηλιοαμφιθερμικού συστήματος γίνεται με βάση την μεθοδολογία που προτείνεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15316-4-3, η οποία στην ουσία αποτελεί μία εξειδίκευση και περαιτέρω εξέλιξη της κλασσικής μεθόδου F-Chart η οποία αναπτύχθηκε από τους S.A. Klein and W.A. Beckman την δεκαετία του 80. Η μεθοδολογία αυτή έχει κωδικοποιηθεί και διατίθεται ελεύθερως στο διαδίκτυο εις τον ιστότοπο:

<http://www.combisol.eu/>. Η μέθοδος αυτή παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει τα δικά του κλιματικά δεδομένα για τις μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο και την μέση θερμοκρασία του μήνα.

Τα βασικά σημεία της μεθοδολογίας Combisol έχουν ως εξής:

Η θερμική επίδοση της ηλιοθερμικής μονάδας υπολογίζεται σε μηνιαία βάση με την σχέση :

$$Q_{out,s} = (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{load,s} [kWh]$$

όπου : $Q_{load,s}$ είναι το θερμικό φορτίο το οποίο εξυπηρετεί το ηλιοθερμικό [kWh], όπως αυτό προσδιορίζεται από τους ορισμούς του εν λόγω προτύπου

οι συντελεστές a, b, c, d, e της μεθόδου f-chart, οι οποίοι έχουν ως εξής :

a	1,029	d	0,0018
b	-0,065	e	0,0215
c	-0,245	f	0

Χ και Υ είναι μηνιαίοι αδιάστατοι παράγοντες που ο μιν πρώτος εκφράζει το ποσοστό των απωλειών του συστήματος και ο δεύτερος το ποσοστό της απορροφόμενης ηλιακή ακτινοβολίας από το ηλιοθερμικό ως προς το μηνιαίο φορτίο. Ο συντελεστής Y είναι παρόμοιος με τον ΚΗΚ και διαφέρει ως προς τον συντελεστή απορρόφησης.

$$X = A U_{CO} \eta_{loop} \Delta T c_{cap} t_{month} / (Q_{load,s} * 1000)$$

- A η επιφάνεια των συλλεκτών σύμφωνα με το πρότυπο EN 12975-2 [m²]
 U_{CO} συντελεστής απωλειών του κυκλώματος των συλλεκτών και των συναφών σωληνώσεων [W/(m².K)]
 η_{loop} ο βαθμός απόδοσης του κυκλώματος των συλλεκτών, ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν την επιρροή του εναλλάκτη θερμότητας
 ΔT η θερμοκρασιακή διαφορά αναφοράς [K]
 c_{cap} ο συντελεστής διόρθωσης για το μέγεθος της αποθήκης νερού . [-]
 t_{month} η διάρκεια του μήνα σε ώρες [h]
 Q_{load,s} το φορτίο που εφαρμόζεται στο ηλιοθερμικό σύστημα [kWh]

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος και των σωληνώσεων των συλλεκτών προσδιορίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά των συλλεκτών και την μόνωση των σωληνώσεων, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση :

$$U_c = a_1 + a_2 \cdot 40 + UL/A \quad [W/(m^2.K)]$$

- Όπου a₁ συντελεστής θερμικών απωλειών του ηλιακού συλλέκτη
 a₂ θερμοκρασιακή εξάρτηση του συντελεστή θερμικών απωλειών
 UL

συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών όλων των σωληνώσεων στο κύκλωμα των συλλεκτών καθώς και των συνδετήριων σωληνώσεων

$$Y = A I A M \eta_0 \eta_{loop} G_{month} t_{month} / (Q_{load,s} * 1000)$$

όπου:

- A η επιφάνεια των συλλεκτών [m²]
 IAM διορθωτικός συντελεστής γωνίας προσπτώσεως προς τον συλλέκτη = K₅₀(τα)
 η₀ ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη από τις δοκιμές του συλλέκτη σύμφωνα με το πρότυπο EN 12975-2
 η_{loop} βαθμός απόδοσης του κυκλώματος των συλλεκτών, λαμβάνοντας υπ' όψιν και την επιρροή του εναλλάκτη θερμότητας
 G_{month} Μέση ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη [W/m²]
 t_{month} Διάρκεια του μήνα σε ώρες [h]
 Q_{load,s} Φορτίο που εφαρμόζεται στο ηλιοθερμικό σύστημα [kWh]

6.5.2 Δεδομένα υπολογισμού

Για την ολοκλήρωση του ενεργειακού υπολογισμού, απαιτείται ο χρήστης να εισάγει ένα πλήθος δεδομένων εις το πρόγραμμα τα οποία συνοψίζονται ως εξής:

- Κλιματικά δεδομένα (μέση μηνιαία θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία του τόπου)

- Στοιχεία ημερησίας καταναλώσεων ZNX (σε λίτρα), την μέση θερμοκρασία του ZNX και ετησίας καταναλώσεως θερμότητας για την θέρμανση χώρων (σε kWh).
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλιοθερμικού συστήματος όπως το μέγεθος του ηλιακού πεδίου (m²), τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συλλεκτών (η_0 , a_1 , a_2), τον προσανατολισμό και η κλίση των συλλεκτών, τη χωρητικότητα του θερμοδοχείου (σε λίτρα), τις απώλειες του ηλιακού κυκλώματος (%), το βαθμό αποδόσεως του εναλλάκτη θερμότητας του ηλιακού πεδίου και θερμοδοχείου,
- το είδος και τα χαρακτηριστικά της συμβατικής πηγής θερμότητας (τιμή καυσίμου, βαθμός αποδόσεως συμβατικού λέβητα)

Δια πλείστα εκ των ανωτέρω στοιχείων παρέχονται τυπικές τιμές ώστε ο αδαής χρήστης να μπορέσει να κάνει ορθές επιλογές. Τα ανωτέρω επεξηγούνται εις την συνέχεια με μία απλή οικιακή εφαρμογή.

6.6 Εφαρμογή στον οικιακό τομέα

6.6.1 Τα δεδομένα του υπολογισμού

Με βάση την ανωτέρω μεθοδολογία για κάνοντας χρήση των δυνατοτήτων επιλογής προεπιλεγμένων τιμών γίνεται χρήση των ακόλουθων τιμών του συστήματος :

Ασυλλέκτη	1,0	m ²	Επιφάνεια συλλέκτη
η_0	0,8	-	Από πιστοποιητικό βαθμονόμησης συλλέκτη
a_1	3,5	W/(m ² K)	Από πιστοποιητικό βαθμονόμησης συλλέκτη
a_2	0,0	W/(m ² K ²)	Από πιστοποιητικό βαθμονόμησης συλλέκτη
IAM	0,940	-	
Ισχύς αντλίας	41	W	Εξαναγκασμένη κυκλοφορίας στο ηλιακό κύκλωμα
η_{loop}	0,90	-	Βαθμός απόδοσης κυκλώματος ηλιακού

Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε τυπικό σύστημα επίπεδων επιλεκτικών συλλεκτών με καλά μονωμένες σωληνώσεις και σχετικά καλό βαθμό απόδοσης του εναλλάκτη θερμότητας (0,9).

Τα δεδομένα φορτίου ζεστού νερού χρήσης λαμβάνονται με βάση τα πραγματικά στοιχεία των καταναλώσεων πετρελαίου και τα δεδομένα της ενεργειακής επιθεώρησης, όχι κατά ΚΕΝΑΚ αλλά βάσει της Υπουργικής Απόφασης Δ6/Β/οικ.11038, Ιούλιος 1999 ΦΕΚ 1526 Β'/1999 με την οποία προσδιορίζονται οι πραγματικές καταναλώσεις θερμότητας.

Δια την εφαρμογή που ακολουθεί, λαμβάνεται κατοικία 150 m² εις την οποία διαμένουν πέντε άτομα και έχει ανοιγμένη ετήσια κατανάλωση συμβατικής ενεργείας 40 kWh/m² και ημερήσια κατανάλωση ZNX 5x50 = 250 λίτρα νερού.

Βάσει των στοιχείων αυτών συμπληρώνεται ο πίνακας των δεδομένων του προγράμματος:

Τοποθεσία	Αθήνα
Ετήσιο φορτίο θερμάνσεως χώρων (kWh)	6,000
Χρήση παθητικών ηλιακών/μηνιαία κατανομή των φορτίων	ΧΩΡΙΣ χρήση παθητικών ηλιακών

Ημερήσιο φορτίο ζεστού νερού χρήσης (ZNX) (λίτρα)	250
Μέση θερμοκρασία ZNX (°C)	55
Καθαρό ετήσιο φορτίο ZNX (kWh)	3,084
Θερμικές απώλειες στο σύστημα διανομής ZNX	Ανακυκλοφορία ZNX : ΟΧΙ
Ολικό ετήσιο φορτίο, θέρμανση χώρων + ZNX (kWh)	9,392
Σημείο ρυθμίσεως θερμοκρασίας εφεδρικής (°C)	60
Τύπος συλλέκτη/όνομα	001 Επίπεδος συλλέκτης, τυπικά
Αριθμό στοιχείων συλλεκτών	10
Ολική επιφάνεια συλλεκτών (τ.μ.)	10.00
Προσανατολισμός συλλεκτών - κλίση	45
Προσανατολισμός συλλεκτών - πυξίδα	0
Ολικός όγκος θερμοδοχείων (λίτρα)	500
Υποβοηθητικός όγκος θερμοδοχείων (λίτρα)	100
Υποβοηθητική πηγή ενέργειας	Πετρέλαιο
Τιμή πετρελαίου ανά λίτρο	1,3 €/λίτρο
Απόδοση καύσεως λέβητα	80%
Θερμικές απώλειες λέβητα (εκτός θερμοδοχείου ZNX)	400W

Εις τον ανωτέρω πίνακα, ελήφθη ότι η κατοικία δεν διαθέτει παθητικά ηλιακά συστήματα και επομένως το μηνιαίο φορτίο θερμάνσεως χώρων κατανέμεται με βάση τις μηνιαίες βαθμοημέρες θερμάνσεως, τις οποίες το πρόγραμμα υπολογίζει αυτομάτως βάσει των κλιματικών δεδομένων εισόδου.

6.6.2 Τα αποτελέσματα της ενεργειακής αναλύσεως

Το πρόγραμμα Combisol δίδει ένα πλήθος ενεργειακών αποτελεσμάτων τα κυριότερα εκ των οποίων έχουν ως εξής :

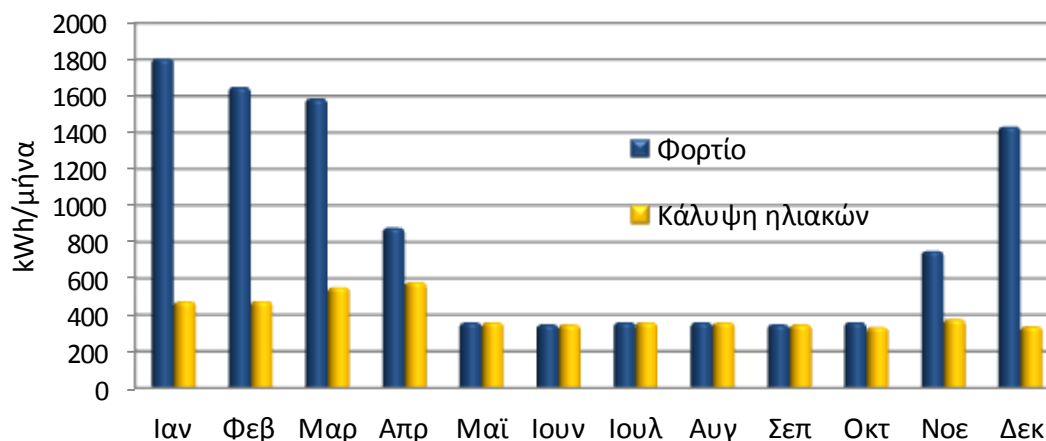
Καθαρή ηλιακή συνεισφορά στο φορτίο ZNX	2.850	kWh	67%	φορτίο ZNX (μαζί με απώλειες διανομής)
Καθαρή ηλιακή συνεισφορά στο φορτίο θερμάνσεως χώρων	2.062	kWh	34%	φορτίο θερμάνσεως χώρων
Ολική καθαρή ηλιακή συνεισφορά (θέρμανση χώρων και νερού)	4.912	kWh	48%	ολικό φορτίο 491 kWh/m ²

Αριθμός ημερών χωρίς χρήση βοηθητική θέρμανση	180	Ημέρες
Χρήση ηλεκτρισμού για αντλία ηλιακού κυκλώματος (και ελεγκτή)	108	kWh
Χρήση ηλεκτρισμού μετατραπείσα σε θερμότητα	269	kWh

Ετήσια εξοικονόμηση θερμάνσεως	10.389	kWh ή 1039 kWh/m ²
--------------------------------	--------	----------------------------------

Ετήσια εξοικονόμηση μείον μετατραπείσα ηλεκτρική ενέργεια	10.120	kWh ή 1012 kWh/m ²
Ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου	1.043	λίτρα πετρελαίου
Ετήσια εξοικονόμηση ηλεκτρισμού	-108	kWh
Ετήσια εξοικονόμηση CO ₂	2,77	ton CO ₂
Ετήσια εξοικονόμηση σε €	1323	€

Τα αποτελέσματα για την κάλυψη των φορτίων με την ηλιακή ενέργεια δίδεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Από το σχήμα παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου, η δυναμικότητα του ηλιοθερμικού συστήματος υπερεπαρκεί για την κάλυψη του φορτίου ZNX ενώ αντιθέτως κατά την χειμερινή περίοδο τα ηλιοθερμικά δεν δύνανται να καλύψουν το πλήρες φορτίο.

Η καθαρή ετήσια εξοικονόμηση σε ευρώ, υπολογίζεται με βάση όλες τις επιμέρους καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας και μέση τιμή ηλεκτρικής κιλοβατώρας ίση με 0,15 €.

6.7 Το υποδειγματικό έργο ηλιοθερμίας στο Γενικό Νοσοκομείο Καλαμάτας

6.7.1 Γενικά

Πρόκειται για ένα σύγχρονο έργο μεγάλης ηλιοθερμικής εγκατάστασης τύπου Combi για την κάλυψη μέρους των φορτίων θέρμανσης χώρων και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης του Νοσοκομείου. Το έργο ολοκληρώθηκε το 2014 και βραβεύτηκε ως υποδειγματικό έργο εξοικονόμησης ενέργειας.

Περιλαμβάνει την εγκατάσταση ενός πεδίου επίπεδων ηλιακών συλλεκτών υψηλής απόδοσης, συνολικής καθαρής συλλεκτικής επιφάνειας 535 τ.μ., στις στέγες του Γενικού Νοσοκομείου Καλαμάτας, καταλαμβάνοντας μία ωφέλιμη επιφάνεια της τάξεως των 2000 τ.μ. Όπως φαίνεται στην αεροφωτογραφία που ακολουθεί, οι ηλιακοί συλλέκτες κάλυψαν ένα μεγάλο ποσοστό των διαθέσιμων επιφανειών στέγης του Νοσοκομείου.

6.7.2 Ηλιοθερμικό σύστημα

Η ηλιοθερμική εγκατάσταση θα παρέχει θερμό νερό τόσο για την κεντρική θέρμανση των χώρων του Νοσοκομείου (ΘΧ) όσο και για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ). Μία σχηματική διάταξη του ηλιοθερμικού συστήματος δίδεται στο Σχήμα Στ.1.

Σχήμα Στ.11 : Γενική άποψη του Νοσοκομείου Καλαμάτας με τά την εγκατάσταση του ηλιοθερμικού συστήματος



Το ηλιακό πεδίο παρέχει θερμότητα από τους ηλιακούς συλλέκτες προς το λεβητοστάσιο του Νοσοκομείου. Εκεί έχουν εγκατασταθεί επτά θερμοδοχεία αποθήκευσης νερού, χωρητικότητας 5000 λίτρων έκαστο και συνολικής χωρητικότητας 35.000 λίτρων, εντός των οποίων διοχετεύεται μέσω εναλλάκτη η παραγόμενη θερμότητα από τα ηλιακά και αποθηκεύεται υπό μορφή θερμού νερού. Τα θερμοδοχεία αυτά θα είναι νέας τεχνολογίας και θα επιτυγχάνουν την επικαλούμενη «θερμική διαστρωμάτωση του νερού». Εντός και στο άνω μέρος αυτών θα υπάρχει χώρος εις τον οποίο θα παρέχεται συμπληρωματική θερμότητα από τους λέβητες θέρμανσης νερού του λεβητοστασίου, στις περιπτώσεις όπου η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί. Παραπλεύρως δίδεται μία εικόνα από

τρία θερμοδοχεία εγκατεστημένα στον χώρο του λεβητοστασίου.

Στο πεδίο των ηλιακών συλλεκτών κυκλοφορεί με ένα δίκτυο μονωμένων σωληνώσεων αντιπηκτικό υγρό το οποίο και μεταφέρει ως θερμοφορέας την παραγόμενη θερμότητα.

Η ηλιοθερμική εγκατάσταση διαθέτει πλήρη εξοπλισμό επιτήρησης, ελέγχου και αυτοματοποίησης της λειτουργίας της, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη μεγιστοποίηση των ηλιακών απολαβών του συστήματος καθώς και η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας τόσο για την θέρμανση χώρων όσο και για την παραγωγή ZNX.

6.7.3 Η καινοτομία του έργου

Το έργο είναι πρωτοποριακό διότι συνδυάζει τα ηλιοθερμικά συστήματα COMBI υψηλής τεχνολογίας με την σύγχρονη τεχνολογία εξοικονομήσεως θερμότητας, κυρίως μέσω συστημάτων αυτομάτου ελέγχου σε εγκαταστάσεις κεντρικής θερμάνσεως. Και τούτο διότι δεν έχει πλέον νόημα να παράγεται ηλιακή θερμότητα η οποία να σπαταλάται στην συνέχεια λόγω κακής χρήσεως της θερμικής ενεργείας. Εδώ έγκειται η καινοτομία του έργου. Ο συνδυασμός των ανωτέρω τεχνολογιών οδήγησε σε ετήσια εξοικονόμηση πετρελαίου θερμάνσεως κατά 32% με υψηλή οικονομική απόδοση με δείκτες αποσβέσεως περί τα 3 έτη.

Παράρτημα 7: Εκτιμήσεις ενεργειακών παραμέτρων

7.1 Εκτίμηση ενεργειακών παραμέτρων και μετρήσεις

7.1.1 Εισαγωγή

Το πρωταρχικό ζήτημα κατά το έργο του ενεργειακού ελεγκτή είναι ο προσδιορισμός των ενεργειακών παραμέτρων και δεικτών, που θα είναι αντιπροσωπευτικοί της συνολικής ενεργειακής απόδοσης της εγκατάστασης, αλλά και των επιμέρους δεικτών ανά χρήση ή υπομονάδα παραγωγής, στην περίπτωση που ο ελεγκτής διαθέτει και επιμέρους δεδομένα. Πολλές είναι λοιπόν οι φορές που ένας δείκτης είναι φαινομενικά αντιπροσωπευτικός, αλλά ύστερα από ανάλυση παρατηρείται κατά την πορεία του ελέγχου, ότι είναι υπό συνθήκες αντιπροσωπευτικός, ή ότι κάποιος άλλος δείκτης θα εξυπηρετούσε πολύ περισσότερο. Σε αυτή την διαδικασία λοιπόν μπορούν να βοηθήσουν την αξιολόγηση των παραμέτρων και των δεικτών, τόσο οι επιτόπιες δειγματοληπτικές μετρήσεις με φορητά όργανα, όσο και η ακόλουθη μεθοδολογία.

7.1.2 Μεθοδολογία εκτίμησης παραμέτρων

Με τον όρο δείκτη καλούμε το κλάσμα που στον αριθμητή του έχει μονάδες ενέργειας και στον παρονομαστή του μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές, που έχουμε διαπιστώσει ότι επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας (πχ kWh/m², kWh/m³, kWh/Kd, kWh/°C, kWh/°C, kWh/Occ, kWh/GN, kWh/(GN*Kd), kWh/pcs κλπ).

Με τον όρο παράμετρος καλούμε τις ανεξάρτητες μεταβλητές που έχουμε διαπιστώσει ότι επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας m², m³, Kd, °C, %Occ (πληρότητα επί τοις εκατό), pcs (τεμάχια προϊόντος), GN (Guest-Night) κλπ. Οι παράμετροι αυτές πρέπει ως επί το πλείστον, να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, διότι σε περίπτωση που έχουν εξαρτημένη σχέση, είναι δύσκολο να απομονωθούν και να εξετασθούν μέσα από μία γραμμική εξίσωση.

Έστω ότι οι εξισώσεις (baseline) προβλέπουν την κατανάλωση ενέργειας του επομένου μήνα σύμφωνα με τις εξισώσεις (7.1) & (7.2) :

$$E_{\text{high tariff}} = \alpha_1 \cdot X_1 + \beta_1 \cdot X_2 + C_1, \quad (7.1)$$

$$E_{\text{low tariff}} = \alpha_2 \cdot X_3 + C_2, \quad (7.2)$$

όπου X_1, X_2, X_3 οι παράμετροι (- ανεξάρτητες μεταβλητές όπως ορίσαμε ανωτέρω), $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2$, οι κλίσεις ή αλλιώς οι σταθεροί συντελεστές βαρύτητας, που προσομοιώνουν με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο την συμπεριφορά της κατανάλωσης, και C_1, C_2 οι σταθεροί όροι που εκφράζουν κατά προσέγγιση την ενέργεια που θα καταναλωθεί πχ από το εργοστάσιο, είτε παραχθούν 30 τεμάχια ετοιμών προϊόντων, είτε 3000 τεμάχια.

Τα κυριότερα ζήτητα κατά το έργο του ενεργειακού ελεγκτή είναι :

7.1.3 Ο προσδιορισμός των ενεργειακών παραμέτρων και δεικτών

- Οι μεθοδολογίες που περιγράφηκαν ανωτέρω για την εύρεση της εξίσωσης βάσης στηρίζονται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που αναλύθηκε διεξοδικά στα κεφάλαια 4,5,7,8,9 και 11 του πρώτου μέρους του Οδηγού. Κάποια δεδομένα μπορεί

να βασίζονται σε ημερήσιες ή εβδομαδιαίες αναλύσεις, άλλα σε μηνιαίες, ενώ άλλα μπορεί να βασίζονται σε ένα εκτεταμένο on-line σύστημα μετρήσεων αυτόματης συλλογής. Σε κάθε περίπτωση όμως η κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει να βρίσκεται σε άμεση αντιστοιχία με το ενεργειακό κόστος, επειδή οι διαφοροποιήσεις του κόστους ανά χρονική περίοδο, καθώς και οι διαφοροποιήσεις των μετρήσεων της κατανάλωσης μεταξύ μετρητών και τιμολογίων συχνά επιφέρουν σύγχυση και ενισχύουν την αβεβαιότητα της εκάστοτε προσπάθειας για ερμηνεία της καταναλωτικής συμπεριφοράς .

- Η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται ετησίως σε ένα κτίριο γραφείων δεν είναι σχεδόν ποτέ ενδεικτική της απόδοσης. Για παράδειγμα ο δείκτης kWh/m², δεν εκφράζει τίποτα από μόνος του, αν δεν γνωρίζουμε πόσοι όροφοι χρησιμοποιούνται, πόσο είναι το προσωπικό που εργάζεται ή εξυπηρετείται καθημερινά, τι μόνωση έχει το κέλυφος κτηρίου περιλαμβανομένων και των πορτοπαραθύρων, πόσο παλαιοί είναι οι Η/Μ εξοπλισμοί του, πόσο εξυπνοι είναι οι αυτοματισμοί του, ποιες είναι οι καιρικές συνθήκες της περιόδου που εξετάζουμε και τέλος πόσο ορθή είναι η συντήρηση και χρήση των Η/Μ εξοπλισμών. Για το λόγο αυτό με τη μέθοδο της προσομοίωσης της καταναλωτικής συμπεριφοράς με την γραμμή βάσης προσπαθούμε να λύσουμε όλες τις ανωτέρω αβεβαιότητες:
 1. Χρησιμοποιώντας κατά το δυνατό πιο αντιπροσωπευτικά δεδομένα (δηλαδή τα ημερήσια είναι πιο αναλυτικά σε σχέση με τα εβδομαδιαία, και αντίστοιχα τα εβδομαδιαία πιο αναλυτικά από τα μηνιαία.
 2. Χρησιμοποιώντας περισσότερες εξισώσεις βάσεις για να περιγράψουμε διαφορετικές καταναλωτικές συμπεριφορές που αντιστοιχούν σε διαφορετικές παραγωγικές διεργασίες πχ άλλη εξίσωση βάσης για τις εργάσιμες μέρες και ώρες, και άλλη για τα Σαββατοκύριακα.
 3. Χρησιμοποιώντας περισσότερες εξισώσεις βάσεις για να περιγράψουμε διαφορετικές καταναλωτικές συμπεριφορές που αντιστοιχούν σε διαφορετικά Η/Μ υποσυστήματα ή κέντρα κόστους πχ ΖΝΧ, ψύξη, θέρμανση, κλπ.
 4. Χρησιμοποιώντας περισσότερες εξισώσεις βάσεις για να περιγράψουμε διαφορετικές χρεώσεις ενέργειας ή ακόμα και ισχύος, ιδιαίτερα όταν η ισχύς αποτελεί μεγάλο μέρος του συνολικού ενεργειακού κόστους.

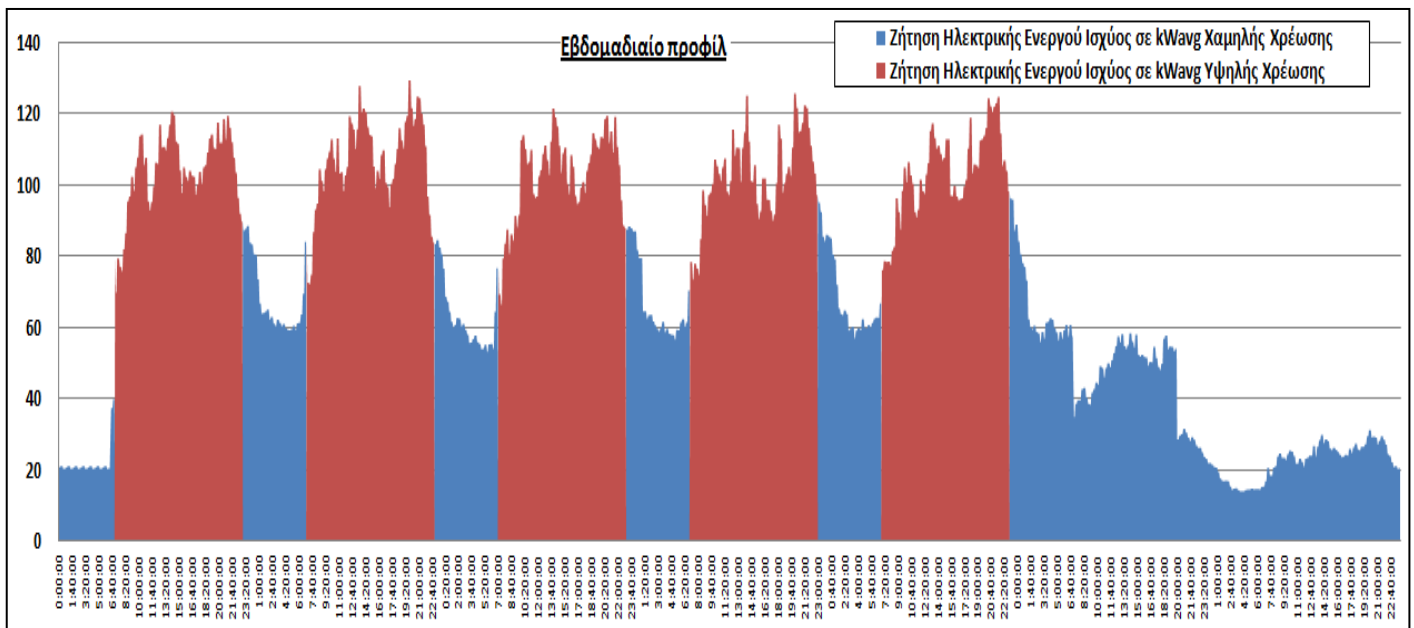
Σε ένα κτίριο τα δεδομένα κατανάλωσης της ενέργειας μπορούν να λαμβάνονται από ένα σταθερό σύστημα καταγραφής, αλλά και από φορητά όργανα. Για την ορθή και εντατική παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης, απαιτείται η χρήση συστημάτων EMS, BMS ή BEMS, που αναλύθηκαν στις παραγράφους του πρώτου μέρους 4.4.3 και 11.11.

- Στο παρακάτω σχήμα (Ζ.1) παρατηρούμε ότι στις ζώνες χρέωσης του ΔΕΔΔΗΕ :

Η ζώνη υψηλής χρέωσης ενέργειας είναι: 07:00-23:00 από Δευτέρα ως Παρασκευή και σημαίνεται με κόκκινο, ενώ η ζώνη χαμηλής χρέωσης ενέργειας είναι: 23:00-07:00 από Δευτέρα ως Παρασκευή και ολόκληρο το Σαβ/κο και σημαίνεται με μπλε. Η καταναλισκόμενη ενέργεια είναι το εμβαδόν που περικλείεται κάτω από τις αντίστοιχες καμπύλες διακύμανσης της ισχύος. Η σημασία της παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας με δύο ξεχωριστές εξισώσεις, αναδεικνύει πολλές φορές απρόσμενα γεγονότα που μπορούν να συμβούν στην κάθε ζώνη ξεχωριστά. Επίσης οι ανεξάρτητες παράμετροι τη

νύχτα και τα Σαβ/κα μπορεί να είναι διαφορετικές από εκείνες της υψηλής ζώνης. Συνακόλουθα η προσαρμογή των εξισώσεων baseline στο οικονομικό αντίκρισμα (εν προκειμένω ταρίφα υψηλής και χαμηλής χρέωσης), θέτει και με καλλίτερο και πιο αναλυτικό τρόπο τους στόχους ανά ζώνη.

Σχήμα Ζ.1 : Εβδομαδιαίο Προφίλ ζήτησης ηλεκτρικής ενεργού ισχύος ενός κτηρίου γραφείων σε kW ανά 5min, όπου διακρίνονται με κόκκινο και μπλε οι αντίστοιχες ζώνες υψηλής και χαμηλής χρέωσης ενέργειας



- Κατόπιν θα πρέπει σε σχέση με τις εξισώσεις (Z.1 & Z.2) να εξεταστεί αν και για τις τρεις παραμέτρους X_1, X_2, X_3 δύναται ο καταναλωτής να διαθέτει ιστορικά στοιχεία με συχνότερες καταγραφές πχ εβδομάδα ή ημέρα, ώστε να προσδιορίζεται η ενεργειακή του συμπεριφορά με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αν ισχύει κάτι τέτοιο, καλό είναι να εγκαθιδρυθούν επιπλέον εξισώσεις που προβλέπουν την κατανάλωση για πιο μικρά χρονικά διαστήματα (πχ όταν η καταναλωτική συμπεριφορά επαναλαμβάνεται σε εβδομαδιαία βάση όπως φαίνεται στο Σχήμα Ζ.1, θα είχε ιδιαίτερη αξία η παρακολούθηση και η πρόβλεψη της εβδομαδιαίας κατανάλωσης από δύο αντίστοιχες επιπλέον εξισώσεις υψηλής και χαμηλής ταρίφας).
- Όταν η εξίσωση βάσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του καταναλωτή είναι πολυπαραμετρική (εκφράζεται με περισσότερες από μία μεταβλητές), πρέπει να εξασφαλίσουμε και να επαληθεύσουμε από την ανάλυση των δεδομένων, ότι δεν υπάρχει καμία απολύτως εξάρτηση μεταξύ τους, και να απαλείψουμε τον εξαρτημένο όρο κάνοντας επιμερισμό της εξαρτημένης μεταβλητής (εκτός αν πρόκειται για οφθαλμοφανώς τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους μεταβλητές, χωρίζοντας ακόμα και τις χρήσεις ανά περιόδους και ζώνες χρέωσης. Εξάλλου η λεγόμενη εξασφάλιση της ανεξαρτησίας των εν λόγω παραμέτρων θα υποστεί αργότερα και στατιστική αποδοχή (π.χ. με το δείκτη $t_{\text{statistic}}$).

Για παράδειγμα σε ένα Ξενοδοχείο της Αθήνας που χρησιμοποιεί Φυσικό Αέριο για θέρμανση το Χειμώνα και ηλεκτρισμό για κλιματισμό το Καλοκαίρι μπορούμε να έχουμε στην περίπτωση της :

$$E_{\text{heat}} = a_1 \cdot \text{HDD} + a_2 \cdot \text{Occ} + c_1 \text{ για το Φυσικό αέριο το χειμώνα}$$

$$E_{\text{el.high}} = b_1 \cdot \text{HDD} + b_2 \cdot \text{Occ} + c_2 \text{ για την ταρίφα υψηλής χρέωσης ηλεκτρισμού το χειμώνα}$$

$$E_{\text{el.low}} = b_3 \cdot \text{HDD} + b_4 \cdot \text{Occ} + c_3 \text{ για την ταρίφα χαμηλής χρέωσης ηλεκτρισμού το χειμώνα}$$

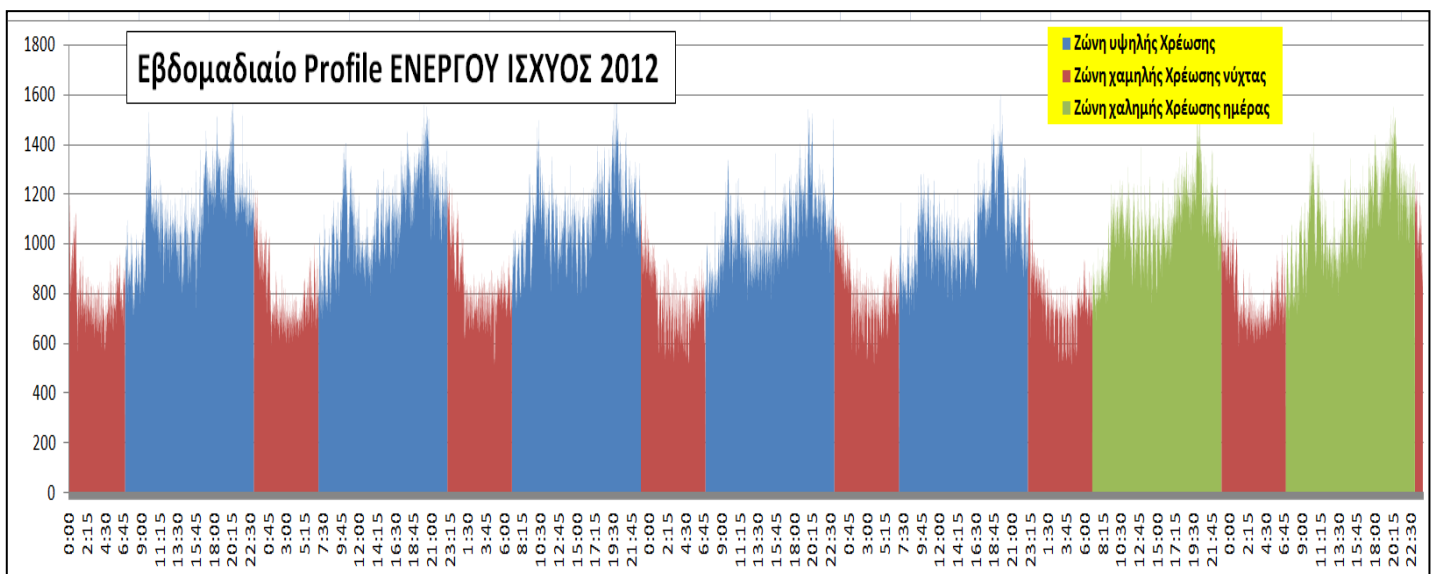
$$E_{\text{el.high}} = d_1 \cdot \text{CDD} + d_2 \cdot \text{Occ} + c_4 \text{ για την ταρίφα υψηλής χρέωσης ηλεκτρισμού το καλοκαίρι}$$

$$E_{\text{el.low}} = d_3 \cdot \text{CDD} + d_4 \cdot \text{Occ} + c_5 \text{ για την ταρίφα χαμηλής χρέωσης ηλεκτρισμού το καλοκαίρι}$$

(θα μπορούσαν να είχαν ορισθεί αντίστοιχα για τον ηλεκτρισμό και εξισώσεις γραμμής βάσεως για την ισχύ σε περίπτωση που η τιμή της είναι καθοριστική για το τιμολόγιο του παρόχου). Σε όλες τις παραπάνω εξισώσεις οι βαθμοημέρες θέρμανσης τον Χειμώνα ή αντίστοιχα οι βαθμοημέρες ψύξης το Καλοκαίρι σε σχέση με τις διανυκτερεύσεις (Occ), δεν έχουν εμφανώς καμία απολύτως σχέση.

Αντιθέτως σε ένα μεγάλο παραλιακό ξενοδοχείο, η ζώνη χαμηλής χρέωσης, τα διαστήματα της οποίας φαίνονται με χρώμα κόκκινο (της νύχτας ολόκληρη την εβδομάδα) και πράσινο (της ημέρας μόνο του Σαβ/κου, και των Αργιών), στο σχήμα (Z.2), δεν ταιριάζει απόλυτα με το προφίλ της ζήτησης ισχύος, αλλά ούτε και με την ημερήσια διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Επειδή λοιπόν, αν και οι δύο baseline (υψηλής και χαμηλής χρέωσης) θα ανταποκρίνονταν στην ανάγκη για ερμηνεία της χρέωσης σε νομισματικές μονάδες, θα αστοχούσαν στην παρακολούθηση των δεικτών ενεργειακής επίδοσης κατά την περίοδο της ημέρας στα Σαβ/κα και στις Αργίες (βλέπε πράσινο εμβαδόν στο σχήμα Z.2).

Σχήμα Z.2 : Εβδομαδιαίο προφίλ ζήτησης ενεργού ισχύος Παραλιακού Ξενοδοχείου για τις τρεις ζώνες παρακολούθησης (μία υψηλής χρέωσης και δύο χαμηλής χρέωσης)



Στη περίπτωση αυτή θα ήταν φρόνιμο για την ορθή διαχείριση των δεδομένων να χωρίσουμε σε τρεις ζώνες τις εξισώσεις βάσης :

$E_{el.high} = a_1 \cdot CDD + a_2 \cdot Occ + c_1$, για την ζώνη υψηλής χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι (07:00-23:00 από Δευτέρα ως Παρασκευή – μπλε σήμανση στο Σχήμα Z.2)

$E_{el.lowday} = a_3 \cdot CDD + a_4 \cdot Occ + c_2$, για την ζώνη χαμηλής χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι για την ημέρα (07:00-23:00 για το Σαβ/κο και τις Αργίες – πράσινη σήμανση στο Σχήμα Z.2)

$E_{el.lownight} = a_5 \cdot CDD + a_6 \cdot Occ + c_3$, για την ζώνη χαμηλής χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι για όλες τις νύκτες (23:00-7:00 – κόκκινη σήμανση στο Σχήμα Z.2)

- Εφόσον ο πάροχος τιμολογεί ξεχωριστά και την ισχύ ή τις αιχμές ισχύος ή τον Συντελεστή χρησιμοποίησης, καλό θα ήταν, εφόσον διαπιστώναμε τυχόν εξάρτηση των παραγόντων αυτών από ανεξάρτητες μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, η πληρότητα ή οτιδήποτε άλλη μεταβλητή, να παρακολουθούσαμε και τις αντίστοιχες εξισώσεις βάσης. Με ανάλογο τρόπο αντιμετωπίζουμε και άλλα προφίλ ισχύος, όπως μία βιομηχανία επεξεργασίας μετάλλων με χυτήρια, που λειτουργεί σε τρεις βάρδιες, και όπου η διακύμανση της μέσης ζήτησης είναι σχετικά πολύ μικρότερη, αλλά με πολλές ενδιάμεσες στιγμιαίες αιχμές, χρησιμοποιώντας επιπλέον και άλλες εξισώσεις βάσεις για υποσυστήματα της παραγωγής (πεπιεσμένος αέρας, συμπαραγωγή, κλπ). Συνακόλουθα στο ανωτέρω παράδειγμα με το Ξενοδοχείο της Αθήνας, θα ήταν σκόπιμο να εξετάσουμε ανάλογα με το προφίλ του ξενοδοχείου, την περίπτωση του επιμερισμού των εξισώσεων της χαμηλής χρέωσης από δύο εξισώσεις που αναφέρονται (μία για τον χειμώνα και μία για το καλοκαίρι) σε τέσσερις εξισώσεις: Δύο για τον χειμώνα - μία εξίσωση για τη νύχτα και ξεχωριστά μια εξίσωση για την ημέρα σε Σαβ/κα και αργίες, και αντιστοίχως δύο εξισώσεις χαμηλής χρέωσης για το καλοκαίρι.
- Στον παρακάτω πίνακα (Z.1) παρίσταται η καταγραφείσα κατανάλωση ενέργειας ενός συγκροτήματος αεροσυμπιεστών ανά εβδομάδα, με αντίστοιχα εβδομαδιαία δεδομένα από την παροχή αέρα σε m^3 . Επειδή η συγκεκριμένη βιομηχανική διεργασία παραγωγής τροφίμων σχεδόν τριπλασιάζεται το καλοκαίρι σε σχέση με τον χειμώνα, λόγω της συγκομιδής, μπορούμε να συσχετίσουμε την κατανάλωση ενέργειας με την παροχή αέρα ανά εβδομάδα μέσα από δύο αντίστοιχες ανεξάρτητες απλές γραμμικές παλινδρομήσεις σύμφωνα με τις εξισώσεις (βλέπε σχήμα Z.3), όπου X η παροχή αέρα σε m^3 ανά εβδομάδα.

$$E_{compr} = 0,111 \cdot X + 21,29 \quad \text{για το Χειμώνα}$$

$$E_{compr} = 0,107 \cdot X + 59,82 \quad \text{για το Καλοκαίρι}$$

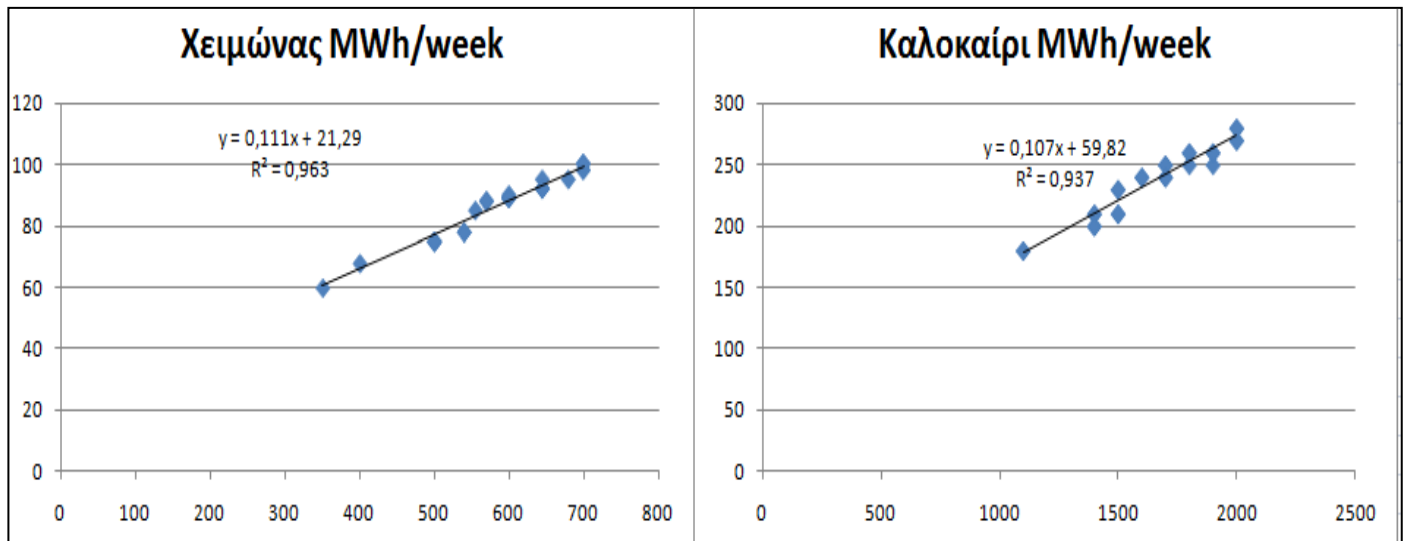
Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία-δεδομένα, η χρήση πολλών επιμέρους baseline ανά σύστημα H/M βοηθά περισσότερο στην βαθύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των υποσυστημάτων, επειδή σε πολύ μεγάλους καταναλωτές οι baseline που αφορούν την συνολική μηνιαία κατανάλωση από μόνες τους, δεν βοηθούν πρακτικά στην βαθύτερη κατανόηση της καταναλωτικής συμπεριφοράς της εγκατάστασης.

Πίνακας Ζ.1 : Δεδομένα συγκροτήματος αεροσυμπιεστών από μία βιομηχανική διεργασία τροφίμων και στατιστικά παλινδρόμησης χειμώνα θέρους

Χειμώνας		Καλοκαίρι	
m ³ /week	MWh/week	m ³ /week	MWh/week
600	90	1700	250
555	85	1500	230
645	95	1800	260
540	78	1500	210
500	75	1400	210
700	98	2000	270
700	100	2000	280
600	89	1700	240
645	92	1800	250
570	88	1600	240
350	60	1900	250
500	75	1400	200
400	68	1100	180
680	95	1900	260
540	78	1700	250
500	75	1500	230
700	98	1800	260
700	100	1500	210
600	89	1400	210
645	92	2000	270
570	88	2000	280
700	100	1700	240
600	89	1400	200
645	92	1100	180
570	88	1900	260
600	89	1600	240

Στατιστικά παλινδρόμησης χειμώνα					Στατιστικά παλινδρόμησης θέρους				
Πολλαπλό R	0,982123356				Πολλαπλό R	0,969443579			
R Τετράγωνο	0,964566286				R Τετράγωνο	0,939820853			
Προσαρμ. R Τετρ.	0,96302569				Προσαρμ. R Τετρ.	0,937204369			
Τυπικό σφάλμα	2,023952516				Τυπικό σφάλμα	7,3729292			
Μέγεθος δείγματος	25				Μέγεθος δείγματος	25			
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ					ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ				
	βαθμ. ελευθ.	SS	MS	F		βαθμ. ελευθ.	SS	MS	F
Παλινδρόμηση	1	2564,743173	2564,743	626,0993	Παλινδρόμηση	1	19525,71805	19525,72	359,1922
Υπόλοιπο	23	94,2168271	4,096384		Υπόλοιπο	23	1250,281955	54,36008	
Σύνολο	24	2658,96			Σύνολο	24	20776		
	Συντελεστές	Τυπ. σφάλμα	t	τιμή-P		Συντελεστές	Τυπ. σφάλμα	t	τιμή-P
Τεταγμένη επί την αρχή	21,26878232	2,659523903	7,997214	4,31E-08	Τεταγμένη επί την αρχή	59,82601504	9,428527535	6,353698	1,75E-06
600	0,111438864	0,004453639	25,02198	3,48E-18	1700	0,107095865	0,005650791	18,95237	1,56E-15

Σχήμα Z.3 : Κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με την παραγωγή πεπιεσμένου αέρα (εξισώσεις βάσεις με απλή γραμμική παλινδρόμηση)

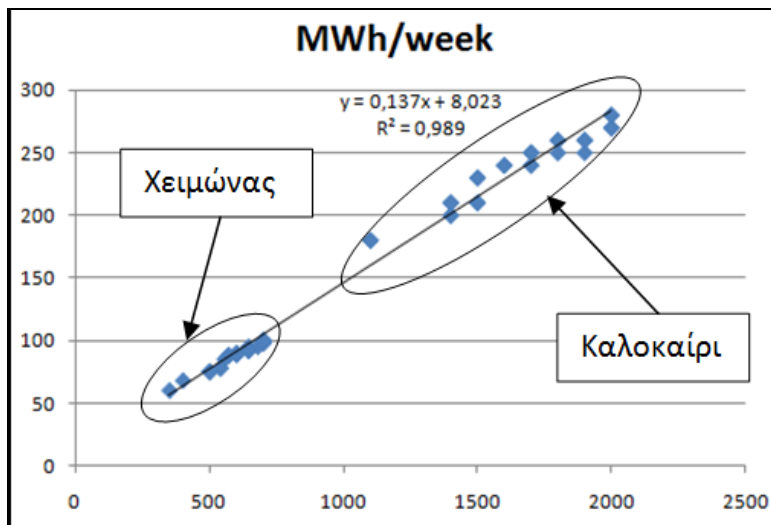


Οι συντελεστές 0,111 και 0,107 αντίστοιχα για χειμώνα και καλοκαίρι εκφράζουν τις MWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά εβδομάδα που απαιτούνται για την παραγωγή κάθε κυβικού μέτρου πεπιεσμένου αέρα. Συνακόλουθα οι σταθεροί όροι 21,29 και 59,82 εκφράζουν την ηλεκτρική ενέργεια που δαπανάται στις αντίστοιχες περιόδους, ως φορτίο βάσης ή αλλιώς ως ενέργεια που καταναλώνεται ούτως ή άλλως από την συγκεκριμένη χρήση, και εμπεριέχει: τις απώλειες ενέργειας και την ενέργεια που καταναλώνεται εβδομαδιαίως ανεξάρτητα από την ποσότητα του παραγόμενου αέρα για την συγκεκριμένη βιομηχανική διαδικασία. Για το λόγο αυτό θα πρέπει κατά την περίοδο αναφοράς να έχουμε εξασφαλίσει ότι έχουμε ελαχιστοποιημένες τις απώλειες (πχ να έχουμε εντοπίσει - με αναλυτή υπερήχων- και αποκαταστήσει τις απώλειες δικτύου, ή την στάθμη πίεσης λειτουργίας ή τα ωράρια λειτουργίας), δεδομένου ότι ο στόχος που θα μας θέσει η εξίσωση βάσης (baseline), δεν θα είναι ορθός στο διηνεκές (το ισοδύναμο παράδειγμα στα κτίρια είναι ότι θα πρέπει κατά την περίοδο αναφοράς να έχουμε αποκαταστήσει την θερμική άνεση).

Αν εν συνεχεία δοκιμάσουμε να συσχετίσουμε με γραμμική παλινδρόμηση τα δεδομένα όλου του έτους, το φορτίο βάσης θα γινόταν πολύ μικρό (ο σταθερός όρος της εξίσωσης : 8,023), ενώ η κλίση της εξίσωσης (συντελεστής βαρύτητας που εκφράζει την κατανάλωση ανά m³ παροχής αέρα: 0,137) θα αυξανόταν, γεγονός που θα μας προσέδιδε στα επόμενα έτη μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην παρακολούθηση των δεδομένων (βλέπε σχήμα Z.4) σε σχέση με τις δύο αντίστοιχες ανωτέρω ανεξάρτητες εξισώσεις βάσης (βλέπε σχήμα Z.3).

Ένας άλλος σημαντικός στατιστικός παράγοντας που μας ωθεί στο γεγονός ότι είναι καλλίτερη η παρακολούθηση ανά χρονική περίοδο έναντι της ετήσιας παρακολούθησης (βλέπε Στατιστικά παλινδρόμησης χειμώνα/θέρους του πίνακα Z1) είναι ότι το τυπικό σφάλμα στην ετήσια εξίσωση αναφοράς είναι 8,147 ελαφρώς μεγαλύτερο από την τιμή του σταθερού όρου : 8,023, ενώ στις αντίστοιχες εξισώσεις βάσης του χειμώνα $CVRMSE_{\chi} = 2,023 \ll 21,29$ και του θέρους αντίστοιχα $CVRMSE_{\theta} = 7,37 \ll 59,82$.

Σχήμα Ζ.4 : Γραμμική παλινδρόμηση όλων των εβδομαδιαίων δεδομένων του έτους (κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) σε σχέση με την παροχή αέρα (m)³–Πίνακας Ζ.1) με τα αντίστοιχα στατιστικά παλινδρόμησης



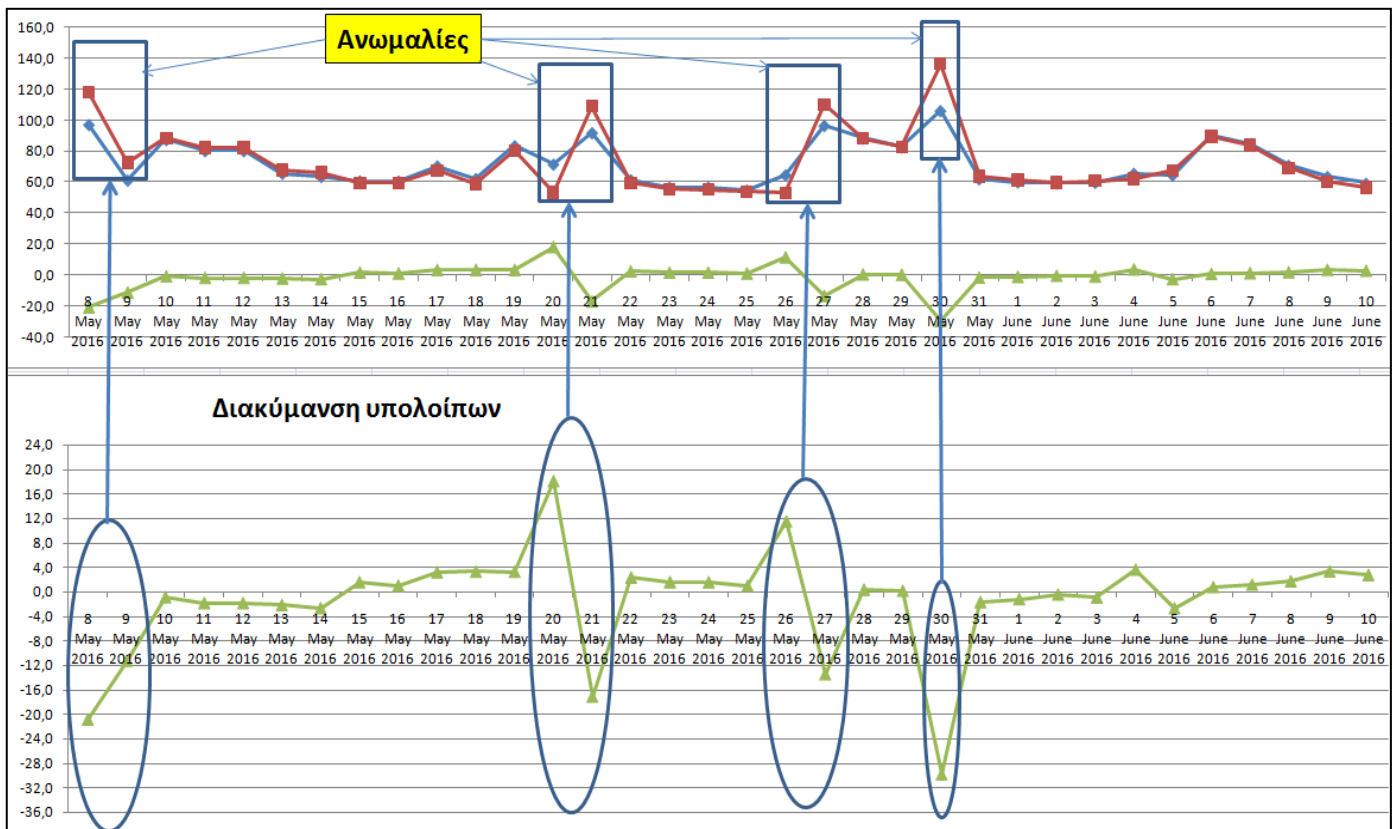
Στατιστικά παλινδρόμησης έτους				
Πολλαπλό R	0,994720957			
R Τετράγωνο	0,989469782			
Προσαρμοσμένο R Τετρ.	0,989259178			
Τυπικό σφάλμα	8,147828515			
Μέγεθος δείγματος	52			
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ				
	βαθμ. ελευθ.	SS	MS	F
Παλινδρόμηση	1	311902,5676	311902,57	4698,24
Υπόλοιπο	50	3319,355476	66,38711	
Σύνολο	51	315221,9231		
	Συντελεστές	Τυπ.σφάλμα	t	τιμή-P
Τεταγμένη επί την αρχή	8,023044848	2,51506137	3,1899996	0,002458
Μεταβλητή X 1	0,137478357	0,002005704	68,543708	4,11E-51

- Στον παρακάτω πίνακα Ζ.2 που αφορά βιομηχανική διεργασία τροφίμων, παρατηρούμε ότι στις ημέρες που έχουν σημειωθεί με κίτρινο, η απόλυτη απόκλιση της αναμενόμενης τιμής είναι μεγαλύτερη από 4MWh από την πραγματική καταγραφείσα τιμή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτυπώνοντας έτσι την διακύμανση των υπολοίπων σε ένα ξεχωριστό διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα Ζ.5, παρατηρούμε ότι κατά τις ημέρες αυτές έχει συμβεί μία απρόσμενη διαδικασία ή ανωμαλία, που έχει συμβάλει στις αποκλίσεις της αναμενόμενης τιμής (με βάση την baseline) σε σχέση με την πραγματική. Επί παραδείγματι μία έκτακτη διαδικασία συντήρησης, ή η αποφυγή μίας σπατάλης (για τις αρνητικές αποκλίσεις), ή πχ μία διαδικασία χρήσης θερμικού σοκ με αντιστάσεις (για τις θετικές αποκλίσεις). Εφόσον λοιπόν εντοπιστούν οι ημέρες με τις αποκλίσεις αυτές και οι διαδικασίες αυτές δεν είναι επαναλαμβανόμενες περιοδικά, και εφόσον είναι δυνατό να ερμηνευτούν, μπορούμε ασφαλώς να τις εξαιρέσουμε από το μοντέλο μας, φροντίζοντας και στο μέλλον τις ίδιες διαδικασίες να τις εξαιρούμε. Το χρήσιμο όμως μέσα από τη διαδικασία αυτή είναι η γραφική παράσταση της διακύμανσης της απόκλισης των υπολοίπων (βλέπε σχήμα Ζ.5), ακριβώς γιατί :

- 1) Εντοπίζει άμεσα τις ημέρες με ανώμαλη απόκλιση, και συμβάλει στην βελτίωση της φόρμουλας της αναμενόμενης κατανάλωσης
- 2) Εντοπίζει ενδεχόμενα περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές που επηρεάζουν την κατανάλωση
- 3) Διαγιγνώσκει ξαφνική ενεργοβόρο βλάβη
- 4) Μειώνει το σφάλμα στα δεδομένα της κατανάλωσης και των ανεξάρτητων μεταβλητών
- 5) Συμβάλει στην τεκμηρίωση προς την διοίκηση ή προς οποιονδήποτε μη εξειδικευμένο στέλεχος της επιχείρησης, ότι υπάρχει τάση για σπατάλη ή τάση για εξοικονόμηση αντίστοιχα, προσδιορίζοντας τον στόχο, εκτός του οποίου θα πρέπει να ερμηνεύεται κάθε τυχόν απόκλιση της κατανάλωσης.

Πίνακας Ζ.2 : Ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας σε MWh ενδεικτικής βιομηχανικής διεργασίας τροφίμων (Πραγματική /Αναμενόμενη / Διακύμανση υπολοίπων)

Ημέρα	Πραγματική κατανάλωση	Αναμενόμενη κατανάλωση	Διακύμανση υπολοίπων
8 May 2016	97,2	118,0	-20,8
9 May 2016	61,2	72,5	-11,2
10 May 2016	87,5	88,4	-0,9
11 May 2016	80,2	82,1	-1,8
12 May 2016	80,2	82,1	-1,8
13 May 2016	65,6	67,8	-2,2
14 May 2016	63,6	66,2	-2,7
15 May 2016	60,7	59,1	1,5
16 May 2016	60,5	59,5	1,0
17 May 2016	70,4	67,3	3,2
18 May 2016	62,2	58,9	3,3
19 May 2016	83,4	80,2	3,3
20 May 2016	71,5	53,5	18,0
21 May 2016	91,9	109,0	-17,1
22 May 2016	61,5	59,2	2,3
23 May 2016	56,7	55,1	1,6
24 May 2016	56,6	55,1	1,5
25 May 2016	54,8	53,8	1,0
26 May 2016	64,6	53,1	11,5
27 May 2016	96,5	110,0	-13,5
28 May 2016	88,3	88,0	0,3
29 May 2016	82,7	82,5	0,2
30 May 2016	106,2	136,0	-29,8
31 May 2016	62,1	63,7	-1,7
1 June 2016	60,0	61,2	-1,2
2 June 2016	59,3	59,8	-0,5
3 June 2016	59,8	60,7	-0,9
4 June 2016	65,6	62,1	3,6
5 June 2016	64,6	67,3	-2,7
6 June 2016	90,1	89,3	0,7
7 June 2016	84,8	83,7	1,2
8 June 2016	70,8	69,1	1,7
9 June 2016	63,5	60,2	3,3
10 June 2016	59,3	56,5	2,7



Σχήμα Ζ.5 : Γραφικός Εντοπισμός Ανωμαλιών & Ερμηνεία τους

- Στην περίπτωση του αναλυτικού παραδείγματος της κατανάλωσης Φυσικού Αερίου της ΡΑΕ, που δίδεται στο excel της Προσθήκης ΙΙΙ είναι πολλές οι φορές που η ΔΕΠΑ δίνει συγκεντρωτικούς λογαριασμούς για διαφορετικά μεταξύ τους χρονικά διαστήματα (61ημέρες, 63ημέρες, 58ημέρες, 32ημέρες, κλπ). Στις περιπτώσεις αυτές, συνίσταται όπως και στο παράδειγμα αυτό άλλωστε, η αναγωγή ανά ημέρα, τόσο των βαθμομερών θέρμανσης όσο και της θερμικής ενέργειας. Επίσης κατά την ανάλυση παλινδρόμησης με σταθμισμένα δεδομένα εννοείται, ότι πάντα οι καλοκαιρινοί μήνες με μηδενικές βαθμομέρες θέρμανσης και καταναλώσεις Φ.Α. εξαιρούνται από τον υπολογισμό.

7.1.3.B Αξιολόγηση και Ερμηνεία της διακύμανσης των δεικτών

- **Διάγραμμα CUSUM & Διάκριση μεταξύ ΔΕΕ & ΣΕΣ**

Η ονομασία “CUSUM” είναι συντόμευση του “cumulative sum of deviation from expected consumption” (Το άθροισμα των αποκλίσεων της πραγματικής τιμής της κατανάλωσης ενέργειας από την αντίστοιχη αναμενόμενη κατανάλωση, ή αλλιώς το άθροισμα των υπολοίπων μεταξύ πραγματικής και αναμενόμενης κατανάλωσης). Το άθροισμα αυτό είναι σχετικά σταθερό όταν δεν υπάρχει μείωση της κατανάλωσης ή εξοικονόμηση ενέργειας και μεταβάλλεται με θετική κλίση, όταν έχουμε σπατάλη ενέργειας, ή απρόσμενες ανωμαλίες και με αρνητική κλίση όταν έχουμε ΕΞΕ ή μείωση της κατανάλωσης. Με το συγκεκριμένο διάγραμμα είναι εύκολο να καταλάβουμε την επίδραση που θα είχε στην κατανάλωση η εφαρμογή ενός μέτρου ΕΞΕ, σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αν το ποσοστό μείωσης ή η ΕΞΕ σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο χρονικό διάστημα είναι μεγάλο, θα παρατηρήσουμε στο διάγραμμα CUSUM, μία απότομη κλίση προς τα κάτω από το χρονικό σημείο της εφαρμογής του μέτρου και μετά. Με το ακόλουθο

παράδειγμα θα προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε τα δεδομένα που βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα Z.3 και αφορούν μία βιομηχανία παραγωγής ορειχάλκινων εκκλησιαστικών σκευασμάτων.

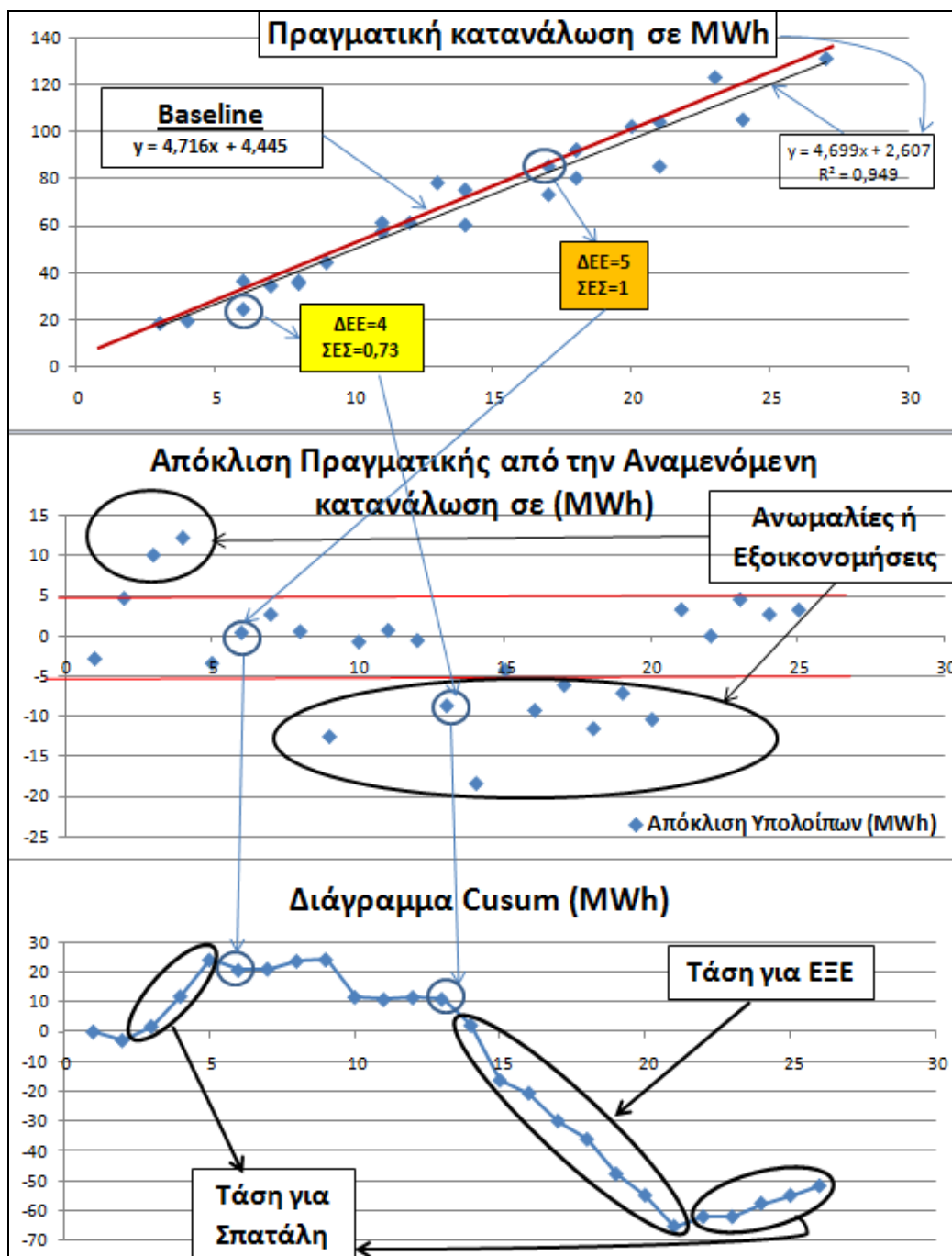
Εβδομάδα	Ανεξάρτητη μεταβλητή (τόνοι)	Πραγματική κατανάλωση (MWh)	Αναμενόμενη κατανάλωση (MWh)	Απόκλιση Υπολοίπων (MWh)	CUSUM (MWh)	Δείκτης Ενεργειακής Επίδοσης	Συντελεστής Ενεργειακού Στόχου
1	9	44	46,889	-2,889	-2,889	4,89	0,94
2	11	61	56,321	4,679	1,79	5,55	1,08
3	23	123	112,913	10,087	11,877	5,35	1,09
4	13	78	65,753	12,247	24,124	6,00	1,19
5	7	34	37,457	-3,457	20,667	4,86	0,91
6	17	85	84,617	0,383	21,05	5,00	1,00
7	18	92	89,333	2,667	23,717	5,11	1,03
8	21	104	103,481	0,519	24,236	4,95	1,01
9	24	105	117,629	-12,629	11,607	4,38	0,89
10	27	131	131,777	-0,777	10,83	4,85	0,99
11	11	57	56,321	0,679	11,509	5,18	1,01
12	3	18	18,593	-0,593	10,916	6,00	0,97
13	6	24	32,741	-8,741	2,175	4,00	0,73
14	21	85	103,481	-18,481	-16,306	4,05	0,82
15	4	19	23,309	-4,309	-20,615	4,75	0,82
16	18	80	89,333	-9,333	-29,948	4,44	0,90
17	8	36	42,173	-6,173	-36,121	4,50	0,85
18	17	73	84,617	-11,617	-47,738	4,29	0,86
19	8	35	42,173	-7,173	-54,911	4,38	0,83
20	14	60	70,469	-10,469	-65,38	4,29	0,85
21	6	36	32,741	3,259	-62,121	6,00	1,10
22	12	61	61,037	-0,037	-62,158	5,08	1,00
23	14	75	70,469	4,531	-57,627	5,36	1,06
24	18	92	89,333	2,667	-54,96	5,11	1,03
25	20	102	98,765	3,235	-51,725	5,10	1,03

Πίνακας Z.3 : Εβδομαδιαία κατανάλωση ενέργειας σε MWh σε σχέση με τους παραγόμενους τόνους προϊόντος- Ανάλυση CUSUM & Διακύμανση Δεικτών

Έστω ότι ακολουθώντας την διαδικασία αναζήτησης της εξίσωσης βάσης της κατανάλωσης ενέργειας (baseline) σε σχέση με του παραγόμενους τόνους προϊόντος, έχουμε καταλήξει στατιστικά πως δίνεται από την σχέση :

$E_{tot} = 4,716 \cdot M + 4,445$, όπου M είναι το βάρος σε τόνους του παραγόμενου ανά εβδομάδα εκκλησιαστικού υλικού.

Αναλύοντας τα δεδομένα της Πραγματικής κατανάλωσης, παρατηρούμε ότι έχουν μία τάση με ελαφρώς μικρότερη κλίση ($4,699 < 4,716$) ανά τόνο και μικρότερο σταθερό όρο (φορτίο βάσης: $2,607 < 4,445$). Αυτό αναδεικνύει απλά και μόνο μία ελάχιστη τάση για βελτιστοποίηση της επίδοσης, αλλά τίποτα παραπάνω (βλέπε στο σχήμα Z.6 το διάγραμμα διασποράς της πραγματικής κατανάλωσης σε MWh).



Σχήμα Z.6 : Διάγραμμα διασποράς- Γραμμική παλινδρόμηση (βάσει παραγόμενου προϊόντος), Διάγραμμα Απόκλισης Υπολοίπων & Διάγραμμα CUSUM (σε διακριτές τιμές ανά εβδομάδα)

Κατόπιν με βάση την εξίσωση της baseline διαμορφώνουμε την στήλη των αναμενομένων τιμών κατανάλωσης ενέργειας σε MWh και την στήλη με τις αποκλίσεις των υπολοίπων ανά εβδομάδα (Πραγματική μείον την Αναμενόμενη), ενώ στην στήλη CUSUM υπολογίζουμε σωρευτικά το άθροισμα με το προηγούμενο υπόλοιπο.

Παριστάνοντας στο αμέσως ακόλουθο διάγραμμα διασποράς την απόκλιση των υπολοίπων θέτοντας μία ενδεικτική ζώνη αποκλίσεων +/-5MWh, παρατηρούμε ότι, οι αποκλίσεις που αντιστοιχίζονται στις εβδομάδες που έχουν σημειωθεί με πράσινο είναι πιθανό να προέρχονται, είτε από ΕΞΕ ή αποφυγή κάποιας απώλειας ενέργειας ή κάποια τυχόν

συντήρηση (αρνητικές τιμές), είτε από υπερκατανάλωση λόγω κάποιας έκτακτης παραγωγικής διαδικασίας (θετικές τιμές). Συνήθως τα όρια (+/-) αυτής της ζώνης ελέγχου των αποκλίσεων καθορίζονται ή λαμβάνονται με βάση την τιμή του τυπικού σφάλματος (CVRMSE) της εξισώσεως αναφοράς. Κατόπιν κατασκευάζουμε το διάγραμμα CUSUM και συμπληρώνουμε τις στήλες : Δείκτης Ενεργειακής Επίδοσης- ΔΕΕ (= Πραγματική εβδομαδιαία κατανάλωση ανά τόνο προϊόντος) και Συντελεστής Ενεργειακού Στόχου- ΣΕΣ (Πραγματική εβδομαδιαία κατανάλωση προς Αναμενόμενη κατανάλωση).

Παρατηρώντας την στήλη των Δεικτών, θα ανέμενε κανείς να συμπεράνουμε ότι η καλλίτερη εβδομάδα από πλευράς ενεργειακής επίδοσης είναι η 13^η εβδομάδα, όπου είχαμε την χαμηλότερη κατανάλωση σε σχέση με τους τόνους του παραγόμενου προϊόντος (με κίτρινη σήμανση – ΔΕΕ=4). Ωστόσο κατά την συγκεκριμένη εβδομάδα παρατηρούμε τα εξής:

- i) δεν αντιστοιχεί σε υπόλοιπο που ξεπερνά τις 5MWh,
- ii) η τιμή του ΔΕΕ=5 αφορά εκ του ασφαλούς μία εβδομάδα με πραγματική κατανάλωση κοντά στην αναμενόμενη (ΣΕΣ=1),
- iii) αποκλείεται το ενδεχόμενο να οφείλεται σε τυχαία μείωση ή οποιονδήποτε άλλο έκτακτο παράγοντα, ενώ
- iv) η απόλυτη ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος είναι κοντά στη μέση τιμή παραγόμενου προϊόντος (και όχι πενιχρή όπως συμβαίνει κατά την 13^η εβδομάδα).

Συνεπώς αν συγκρίνουμε μεμονωμένα την 6^η εβδομάδα με την 13^η θα δούμε ότι είναι η πρώτη ουσιαστικά εβδομάδα με την βέλτιστη απόδοση, δεδομένου ότι : i) δεν αντιστοιχεί σε υπόλοιπο που ξεπερνά τις 5MWh, ii) η τιμή του ΔΕΕ=5 αφορά εκ του ασφαλούς μία εβδομάδα με πραγματική κατανάλωση κοντά στην αναμενόμενη (ΣΕΣ=1), iii) αποκλείεται το ενδεχόμενο να οφείλεται σε τυχαία μείωση ή οποιονδήποτε άλλο έκτακτο παράγοντα, ενώ iv) η απόλυτη ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος είναι κοντά στη μέση τιμή παραγόμενου προϊόντος (και όχι πενιχρή όπως συμβαίνει κατά την 13^η εβδομάδα).

Παρατηρώντας τέλος πιο προσεκτικά στο σχήμα Z.6 το διάγραμμα CUSUM θα διαπιστώσουμε ότι όντως η 13^η εβδομάδα δηλώνει την απαρχή της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, δεδομένου ότι στις επόμενες 7 εβδομάδες έχουμε αρνητική κλίση στο διάγραμμα CUSUM. Αυτό αναδεικνύει ότι κατά την 13^η εβδομάδα, αν και δεν είχαμε αντιπροσωπευτική ποσότητα παραγωγής τελικού προϊόντος, υλοποιήθηκε ίσως μία δράση αποφυγής της σπατάλης, η οποία όμως επανήλθε ως ένα βαθμό, ή προέκυψε νέα σπατάλη κατά την 21^η εβδομάδα.

Συνεπώς αν θέλουμε να συγκρίνουμε μόνο 2 μεμονωμένες τιμές Δεικτών ενεργειακής επίδοσης, θα πρέπει να φροντίσουμε να αντιστοιχούν

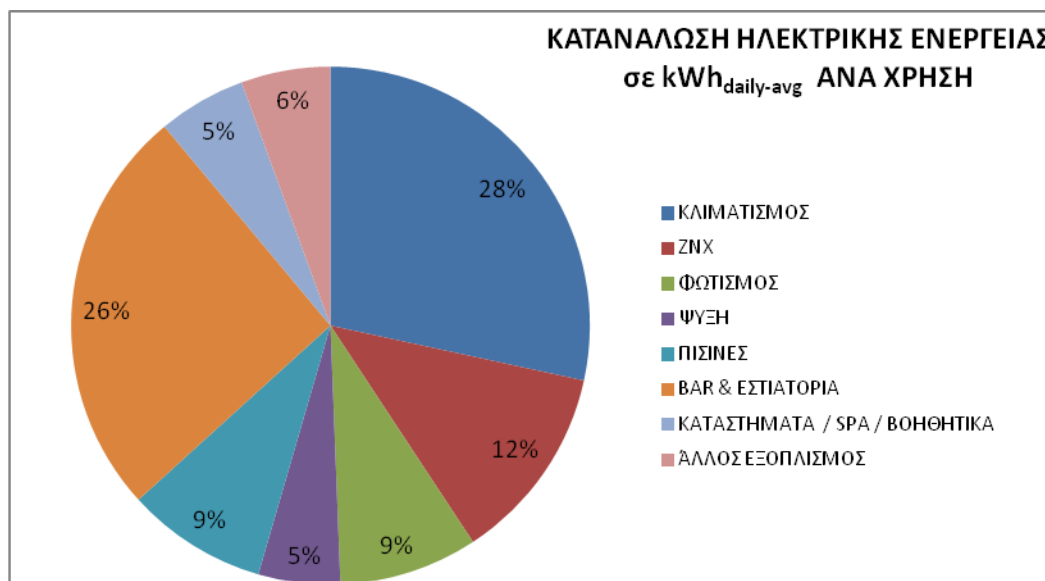
- 1) τουλάχιστον τις ίδιες τιμές ΣΕΣ, ή τουλάχιστον με τιμή κοντά στην μονάδα (πχ μικρότερο του 1,05, ή μεγαλύτερο το 0,95 – βλέπε εβδομάδες με μπλε σήμανση) και,
- 2) και σε παραπλήσιες ποσότητες τελικά παραγόμενου προϊόντος.

Από την άλλη βέβαια, αν υπάρχει διαθέσιμο και το διάγραμμα CUSUM, η πραγματική τάση της κατανάλωσης ενέργειας (για ΕΞΕ ή για σπατάλη) γίνεται ακόμα πιο ξεκάθαρη και

εποπτική. Σε πολύ εντατικά συμβόλαια ενεργειακής απόδοσης επιβάλλεται η καθημερινή παρακολούθηση και των τριών διαγραμμάτων

- **Εντοπισμός Δυναμικού ΕΞΕ – Διαγράμματα**

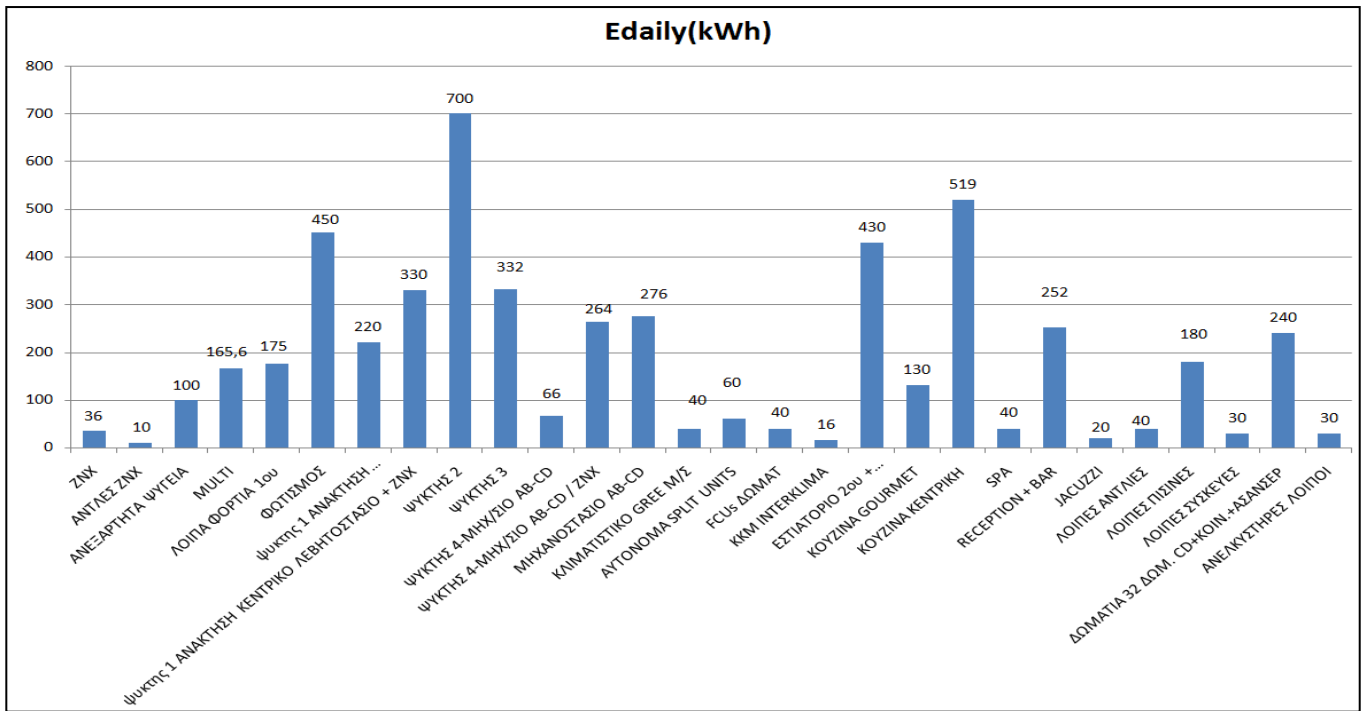
Με την κατανόηση της καταναλωτικής συμπεριφοράς όπως αυτή μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα motor-list, προκειμένου πχ για την σύνταξη του ενεργειακού ισοζυγίου, είναι σκόπιμο πέραν από τις πίτες ανά χρήση ενέργειας και τα ραβδογραφήματα ανά motor (ή μηχανήμα γενικότερα) όπως φαίνονται στα σχήματα Z.7 και Z.8 για παράδειγμα σε ένα τουριστικό νησιωτικό Ξενοδοχείο 5 αστέρων, θα πρέπει αθροιστικά να παριστάνεται και η απεικόνιση του συνολικού δυναμικού ΕΞΕ, επιμερισμένη και ανά χρήση, ύστερα από το σύνολο των κοστολογημένων έργων που έχει προτείνει ο ενεργειακός διαχειριστής ή ο ενεργειακός ελεγκτής όπως στο σχήμα Z.9.



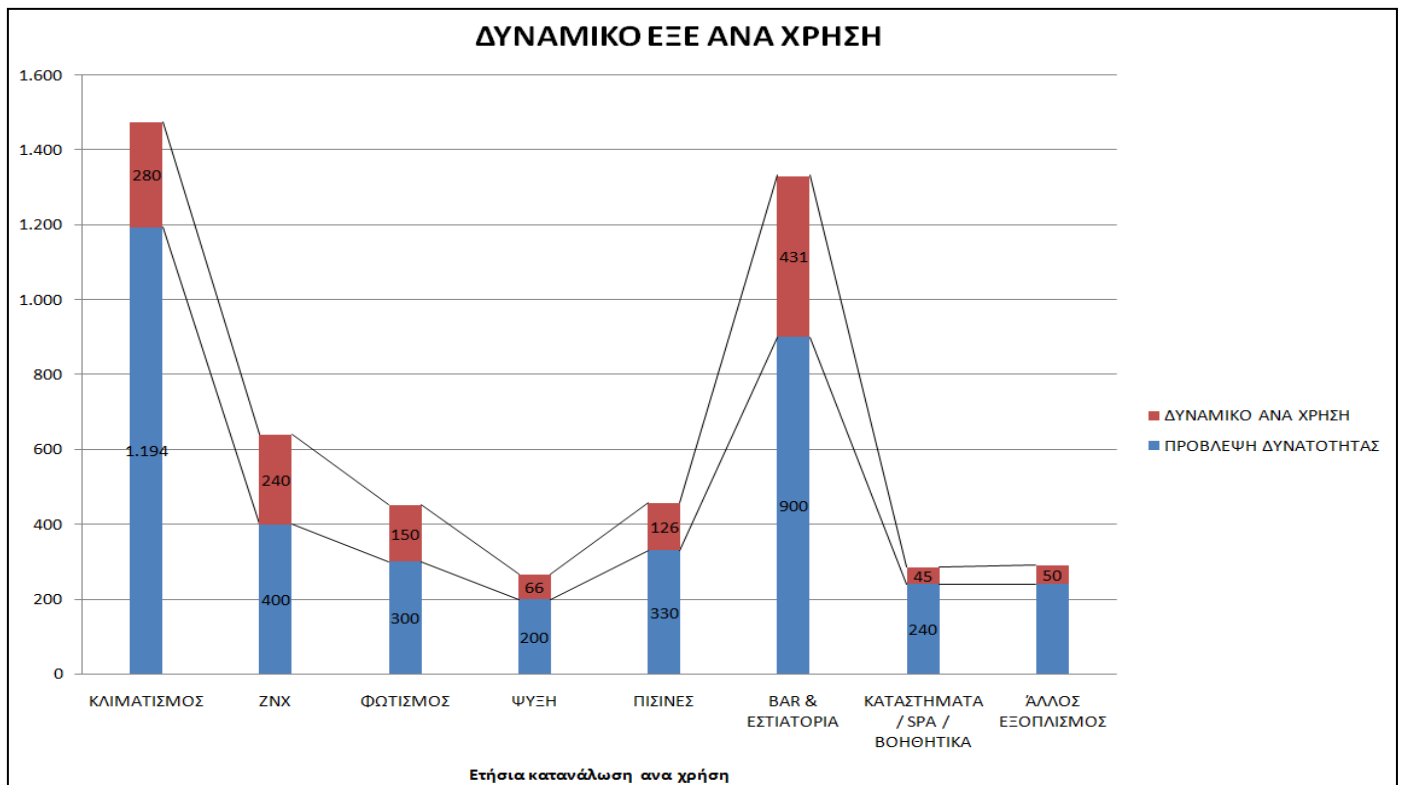
Σχήμα Z.7 : Κατανομή κατανάλωσης ενέργειας ανά κέντρο κόστους (χρήση)

Κατά την διαδικασία σύνταξης ενός motor-list σημαντικό ρόλο παίζει η ύπαρξη ενός εκτεταμένου δικτύου μετρητών ενέργειας, και σε περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι διαθέσιμο, ο ρόλος των φορητών αναλυτών ηλεκτρικής ενέργειας είναι λυτρωτικός και σπουδαίος για την εκτίμηση της συμμετοχής του κάθε εξοπλισμού Η/Μ στον συνολικό ισοζύγιο. Τα φορητά όργανα μπορεί να έχουν πολλές φορές μεγαλύτερη ακρίβεια μέτρησης και να μετρούν πολύ περισσότερες μεταβλητές από τα σταθερά συστήματα καταγραφής, αλλά ποτέ δεν θα μπορέσουν να υποκαταστήσουν την ανυπαρξία και την ασφάλεια λήψης δεδομένων των σταθερών μετρητικών συστημάτων. Το ίδιο ισχύει αντίστοιχα και για την θερμική ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, αν ένας ενεργειακός ελεγκτής διαθέτει δεδομένα από ένα υφιστάμενο δίκτυο μετρητών που έχει εγκατασταθεί για περισσότερο από ένα πλήρες έτος σε μία επιχείρηση, θα μπορέσει να έχει άμεσα εικόνα για το προφίλ της επιχείρησης και την καταναλωτική της συμπεριφορά. Αντίθετα αν διαθέτει μόνο λογαριασμούς ή δεδομένα μόνο από τον κεντρικό διακόπτη της εγκατάστασης, τα συμπεράσματά του θα είναι πολύ φτωχά, αν δεν χρησιμοποιήσει φορητά όργανα.

Σχήμα Ζ.8 : Ραβδογραφήματα ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά εξοπλισμό



Σχήμα Ζ.9 : Ραβδογραφήματα ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας και του Δυναμικού ΕΞΕ ανά κέντρο κόστους (χρήση)

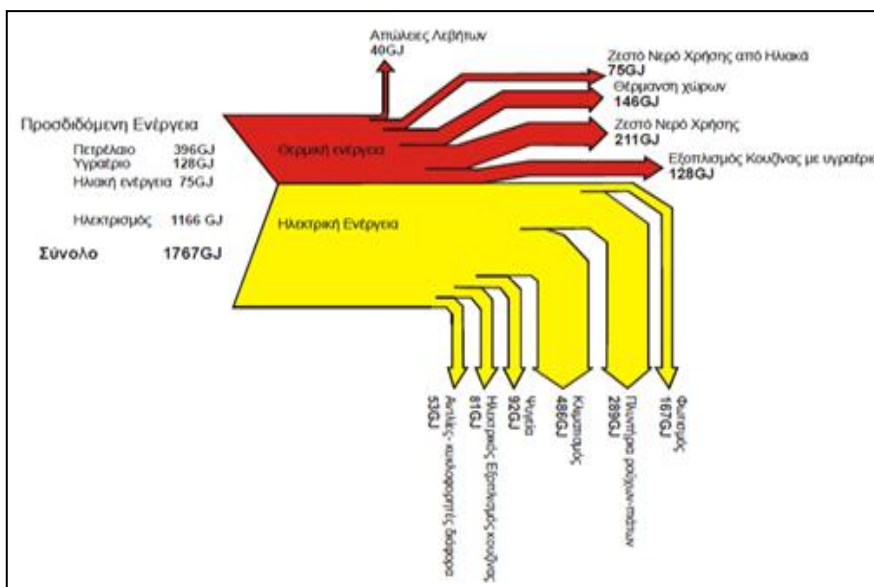


Ο προσδιορισμός του δυναμικού δείχνει τον μακροπρόθεσμο στόχο στην επιχείρηση ή τον οργανισμό, ο οποίος μπορεί να αναπροσαρμόζεται ενίοτε και από την ίδια την Ελληνική και

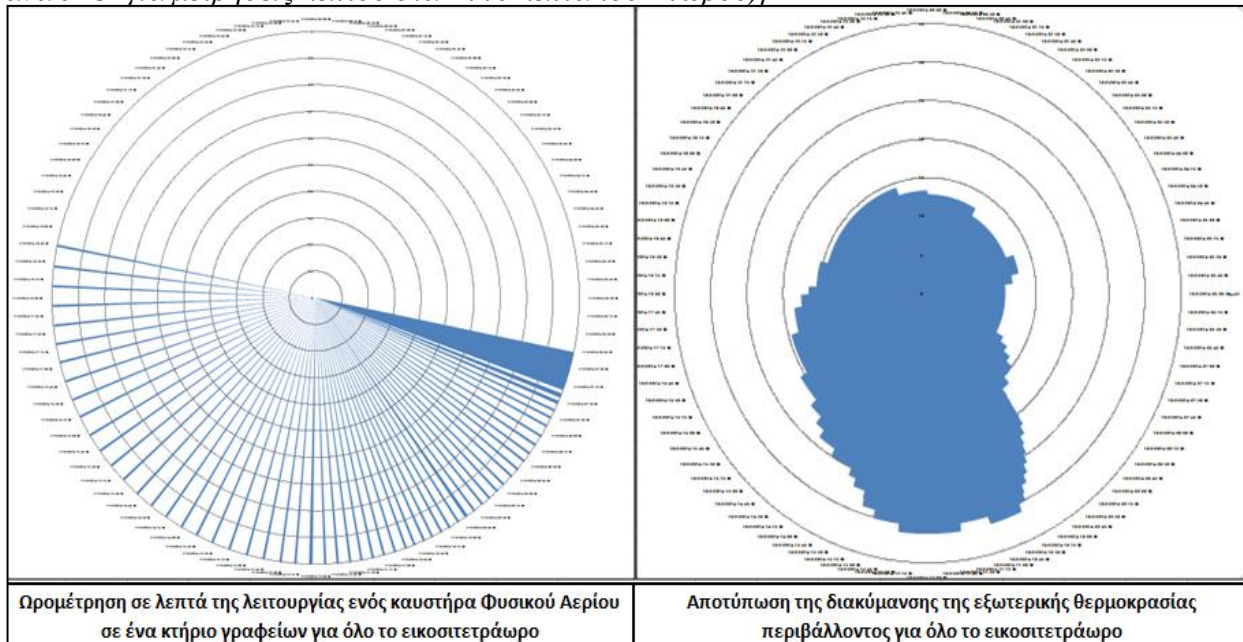
την Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Για παράδειγμα, σε ένα δημόσιο κτίριο γραφείων με συνολική επιφάνεια 6500m² και θερμαινόμενους χώρους 5500m² που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο για θέρμανση και ηλεκτρισμό για όλες τις υπόλοιπες χρήσεις, διαπιστώνουμε ότι στο συγκεκριμένο κέλυφος, με την μόνωση, τα ανοίγματα και τους υπόλοιπους Η/Μ εξοπλισμούς που διαθέτει, με βάση τον KENAK, η κατανάλωση αναφοράς είναι της τάξης των 141,1kWh_{pr}/m² και η «υπολογιζόμενη» πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στις 170,8kWh_{pr}/m², ενώ η «πραγματική» συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το έτος 2013 ανέρχεται στις 517,24kWh_{pr}/m². Παρατηρούμε λοιπόν ότι είναι πολύ δύσκολο να φτάσουμε σε «πραγματικές» καταναλώσεις την κατανάλωση του κτηρίου αναφοράς του KENAK (που αντιστοιχεί στην ενεργειακή κλάση Β, πόσο δε μάλλον, την ενεργειακή κλάση Α+ που αντιστοιχεί σε κατανάλωση < 46,56kWh_{pr}/m² (= 141,1•0,33). Καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι σχεδόν πάντα η «πραγματική» κατανάλωση ακολουθεί μία τελείως διαφορετική τροχιά σε σχέση με την «υπολογιζόμενη» κατά KENAK, θέτουμε σαν στόχο για μείωση της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας στις 210kWh_{pr}/m², που φαίνεται να είναι εφικτός σε βάθος πενταετίας. Με τον τρόπο αυτό οι επεμβάσεις που θα υλοποιήσουμε, θα μειώσουν σίγουρα με αναντίστοιχο τρόπο και την αρχική «υπολογιζόμενη» κατά KENAK κατανάλωση αρκετά κάτω από τις 170,8kWh_{pr}/m².

Εκτός από τα διαγράμματα διακύμανσης των μεταβλητών στο φάσμα του χρόνου, άλλα επιμέρους διαγράμματα που βοηθούν στην αναγνώριση της σπατάλης ή την ανάδειξη του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας είναι τα διαγράμματα Sankey, τα αραχνοειδή διαγράμματα και τα διαγράμματα Raster.

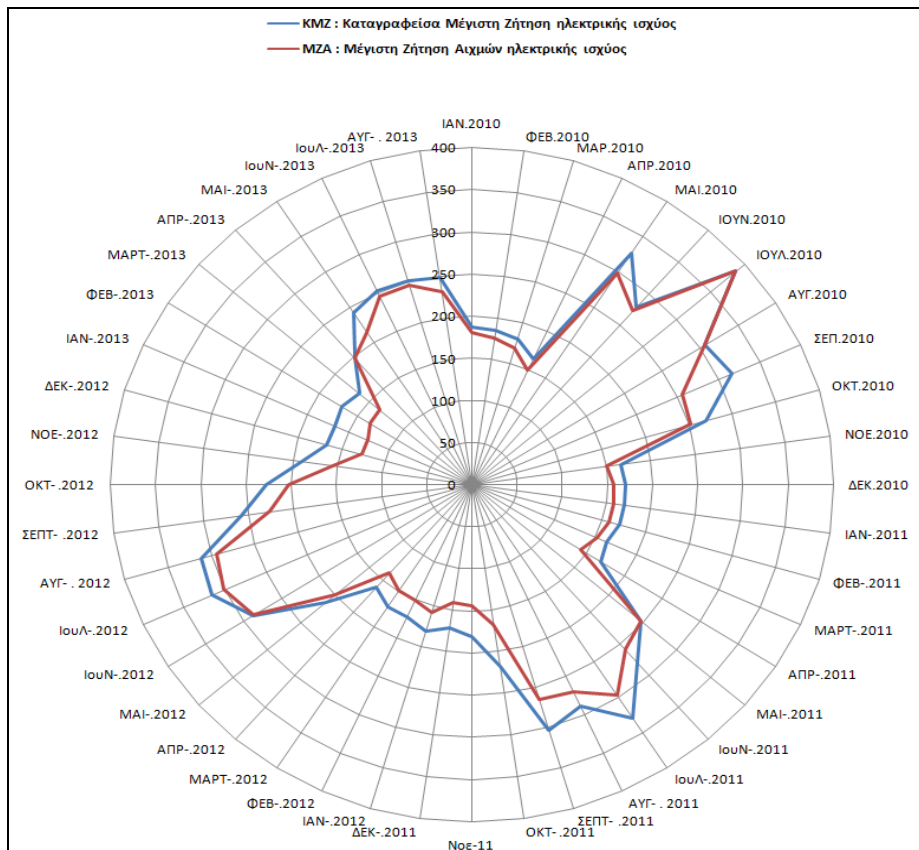
Σχήμα Ζ.10: Διάγραμμα Sankey για Ξενοδοχείο



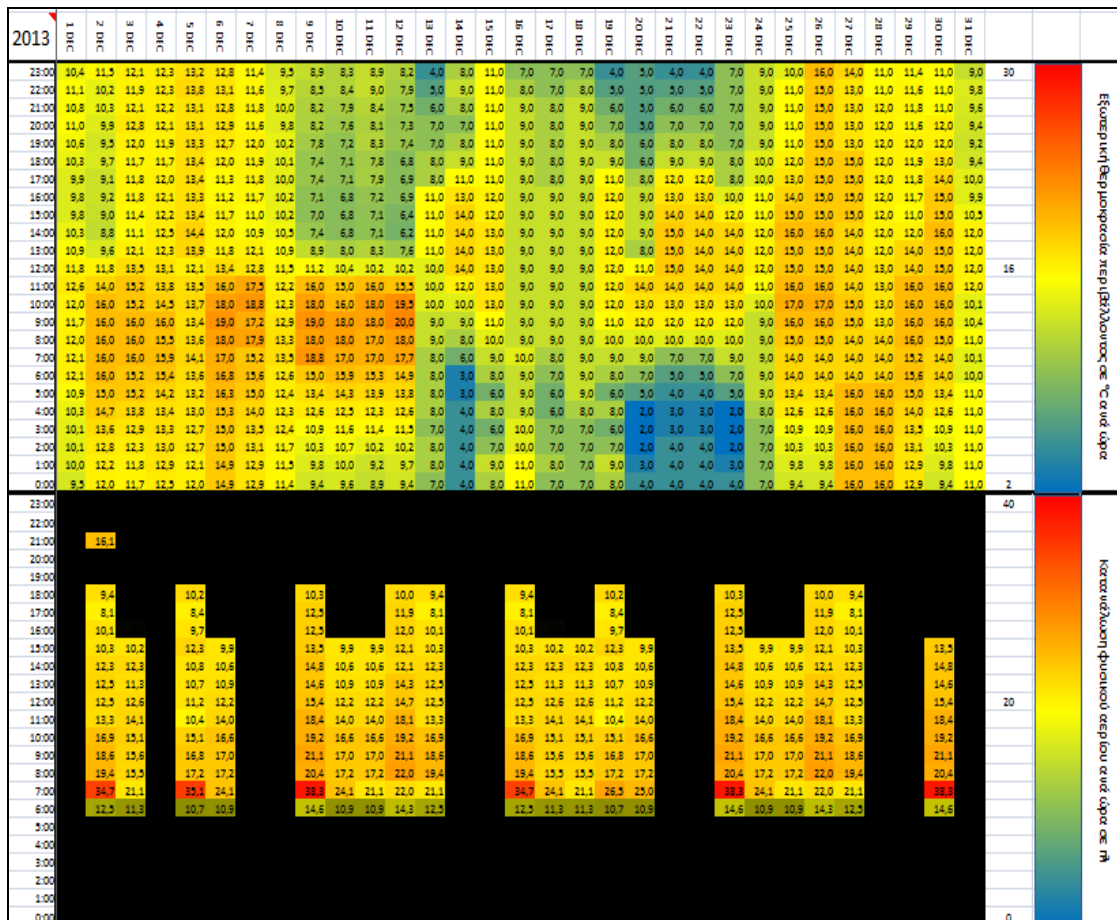
Σχήμα Z.11: Αραχνοειδή για Λέβητα σε κτίριο γραφείων [on/off καυστήρα (διακριτές τιμές λεπτών λειτουργίας του καυστήρα) & εξωτ.θερμ. (σε κλίμακα ομόκεντρων κύκλων από 0-35°C ανά 5°C για μετρήσεις λεπτού στα 1440 λεπτά του 24ώρου)]



Σχήμα Z.12: Αραχνοειδές ενεργού ηλεκτρικής ισχύος για κτίριο γραφείων ανά μήνα - από ΙΑΝ2010 έως ΑΥΓ2013 (ΚΜΖ & ΜΖΑ)



Σχήμα Ζ.13: Διάγραμμα Raster (Ωριαίες τιμές κατανάλωσης φυσικού αερίου σε m^3 και εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε $^{\circ}C$ μηνός Δεκεμβρίου 2013 σε δημόσιο κτίριο γραφείων – οι ημέρες και ώρες με μαύρο αφορούν την παύση του λέβητα, είτε για Σαββατοκύριακο, είτε για Αργία, είτε για λήξη ωραρίου λειτουργίας της υπηρεσίας)



7.1.3.Γ. Πρόβλεψη και βέλτιστη λήψη αποφάσεων για μέτρα ΕΞΕ

• Πρόβλεψη

Η διαδικασία υπολογισμού της εκ των υστέρων πρόβλεψης της αναμενόμενης κατανάλωσης ενέργειας δεν μπορεί να προσδιορίσει ή να προβλέψει με ακρίβεια εκ των προτέρων την κατανάλωση ενέργειας, επειδή ορισμένοι παράγοντες όπως πχ ο καιρός είναι απρόβλεπτοι, ενώ αντίθετα άλλοι παράγοντες, όπως η ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος, οι ώρες λειτουργίας, οι τουρίστες που έχει κλείσει ένα Ξενοδοχείο All-Inclusive, μπορούν εν μέρει έστω και με μία μικρή αβεβαιότητα να προϋπολογιστούν (πχ προκαθορισμένες παραγγελίες ή συμβάσεις). Έτσι ένας πρόχειρος προϋπολογισμός για την κατανάλωση ενέργειας υπό δεδομένες συνθήκες (δεδομένες ανεξάρτητες μεταβλητές) είναι εν μέρει εφικτός με δύο τρόπους :

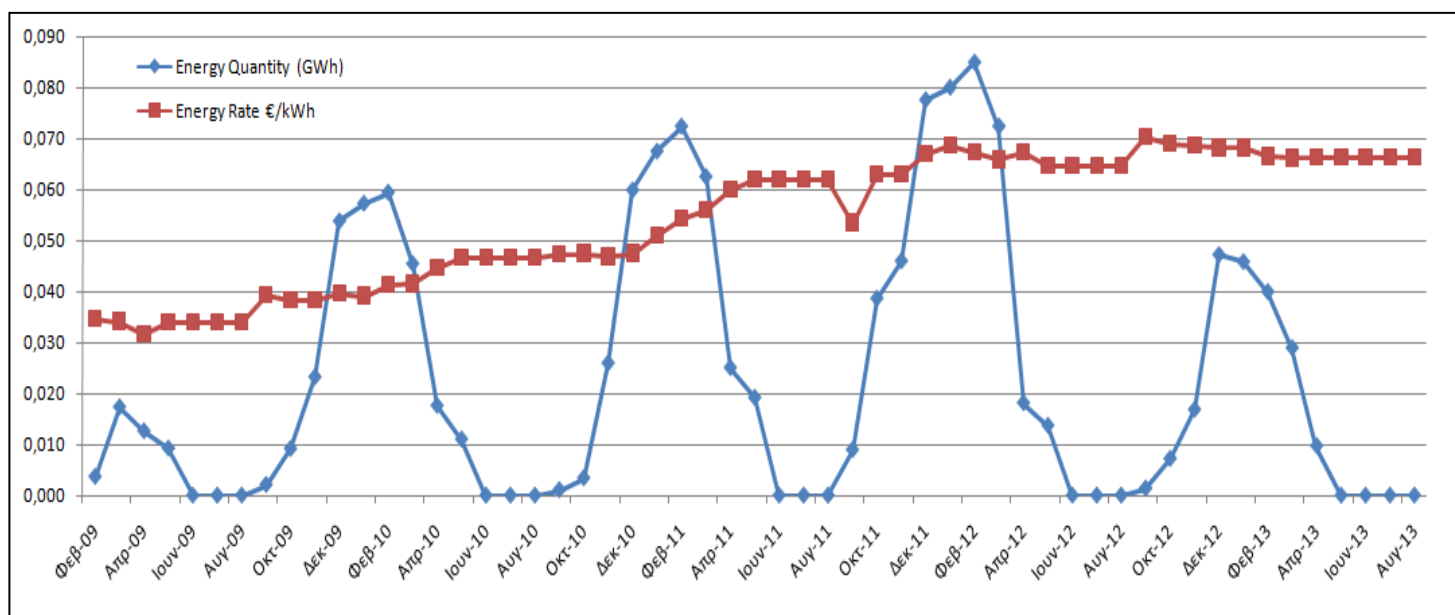
- 1) Χρησιμοποιώντας την ίδια την εξίσωση βάσης - baseline (εδώ ο καιρός προσδίδει πολύ μεγάλη αβεβαιότητα, ενώ οι άλλοι παράγοντες μπορεί να είναι σχεδόν προκαθορισμένοι με βάση εμπορικές συμφωνίες)
- 2) Με την χρήση του motor-list ή του ενεργειακού ισοζυγίου, γνωρίζοντας την ισχύ του κάθε εξοπλισμού, τον τρόπο και τις ώρες λειτουργίας του.

- **Βέλτιστη λήψη απόφασης μέτρου ΕΞΕ**

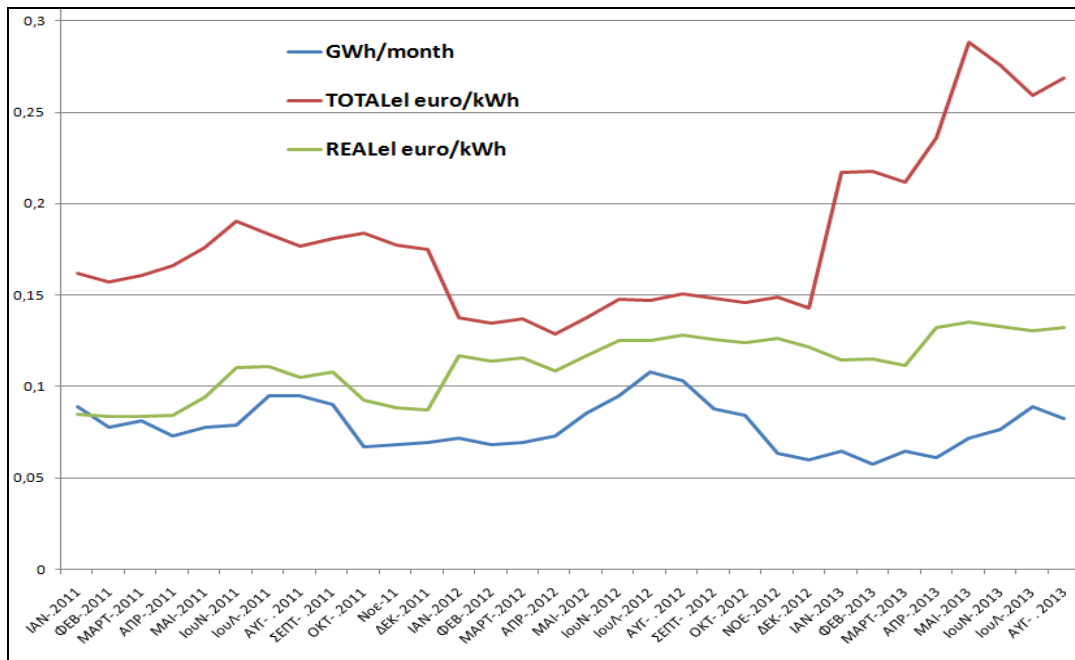
Προστρέχοντας στην προσέγγιση Pareto (80/20) που αποτελεί συνήθη διαχειριστική πρακτική σε βιομηχανικές διεργασίες με συστηματική διοίκηση, το 20% του συνόλου των εξοπλισμών ή των προβλημάτων που έχουν εντοπιστεί, ευθύνεται για το 80% των συνολικών ενεργειακών απωλειών. Αυτή η αρχή βάζει από μόνη της σε μία τάξη τις προτεραιότητες, και με άλλα λόγια είναι δυνατό σε πολλές περιπτώσεις, μόνο με το 20% της προσπάθειας, να επιτευχθεί βελτίωση κατά 80% ανά τομέα. Συνεπώς πριν καν ξεκινήσουμε να αναλύουμε τα μέτρα ΕΞΕ, πρέπει να δώσουμε έμφαση στα πιο σημαντικά, που θα επιφέρουν άμεσο και γρήγορο αποτέλεσμα, χωρίς πολύ μεγάλο κόπο και κόστος.

Κατά την διαδικασία λήψης αποφάσεων ένας πολύ σημαντικός δείκτης είναι ο δείκτης κόστους ανά kWh (euro/kWh). Στο παρακάτω σχήμα Z.14 παρατηρούμε σε ένα κτίριο γραφείων την εξέλιξη του κόστους ταυτόχρονα με την κατανάλωση ενέργειας σε GWh/μήνα για το φυσικό αέριο από το 2010 και μετά. Επίσης στο σχήμα Z.15 παρατηρούμε στο ίδιο κτίριο με τιμολόγιο μέσης τάσης την εξέλιξη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (σε GWh/μήνα -μπλε γραμμή) ταυτόχρονα με το κόστος της τιμής της kWh (χωρίς τις ρυθμιζόμενες χρεώσεις – πράσινη γραμμή), και αντίστοιχα του συνολικού κόστους της τιμής της kWh (με τις ρυθμιζόμενες χρεώσεις – κόκκινη γραμμή).

Σχήμα Z.14 : Διακύμανση Κατανάλωσης ΦΑ σε σχέση με την εξέλιξη του κόστους



Σχήμα Z.15: Διακύμανση Κατανάλωσης Ηλεκτρισμού σε σχέση με το κόστος



Σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση μία δράσης ΕΞΕ είναι η εξέλιξη του κόστους, η οποία σε καμία περίπτωση δεν είναι προβλέψιμη. Ωστόσο η μέση τάση ανόδου της τιμής της ενέργειας από τα προηγούμενα 5 έτη, με το τρέχον επιτόκιο κόστους του χρήματος, είναι ένας ασφαλής τρόπος προσδιορισμού του χρόνου απόσβεσης. Σε περίπτωση που η χρέωση ισχύος παραμένει σημαντικό κομμάτι του κόστους πρέπει να γίνεται αντίστοιχα ανάλυση και του κόστους ισχύος. Άλλωστε έμμεσα το κόστος αυτό αλλά και το κόστος του συντελεστή ισχύος βρίσκονται ούτως ή άλλως ήδη μέσα στις ρυθμιζόμενες χρεώσεις ηλεκτρικής ενέργειας, το κόστος των οποίων βαίνει συνεχώς αυξανόμενο (ενδεικτικά βλέπε σχήμα Z.15)

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής LCCA, όπως αυτή αναλύεται διεξοδικά στο κεφάλαιο 12 και στο παράδειγμα του Παραρτήματος Κ, αν για ορισμένα k το πλήθος σχέδια δράσης ΕΞΕ, έχουμε αντίστοιχα a_k χρόνους απόσβεσης, και PV_k απαιτούμενα αρχικά κεφάλαια, ορίζουμε ως Συντελεστή Ευκαιρίας (ΣΕ) την ελαχιστοποίηση του ρίσκου κατά την ιεράρχηση των k σχεδίων δράσης σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση Z.3

$$\Sigma E = 10^j / (a_k \cdot PV_k) \quad (Z.3)$$

, όπου j μία αυθαίρετη τιμή που βελτιστοποιεί την οπτική αντίληψη των τιμών ΣΕ. Έτσι η επένδυση με τον μεγαλύτερο συντελεστή ευκαιρίας περιέχει οικονομικά το μικρότερο οικονομικό ρίσκο.

Καθοριστική επίσης είναι και η συμβολή της πολυκριτηριακής ανάλυσης στην λήψη αποφάσεων μεταξύ πολλών διαφορετικών τεχνολογιών, που προτείνονται για το ίδιο σχέδιο δράσης, κατά την οποία περιέχονται πέραν των οικονομικών κριτηρίων (LCCA και ΣΕ) και τεχνικά, περιβαλλοντικά και διοικητικά κριτήρια. Στις περιπτώσεις αυτές, η βαθμολογία και οι συντελεστές βαρύτητας τίθεται κατά την βούληση του ενεργειακού ελεγκτή, ενώ τα αραχνοειδή διαγράμματα συμβάλουν στην καλλίτερη διαχείριση των αποτελεσμάτων, αφού η λύση με το μεγαλύτερο αποτύπωμα έχει την προτεραιότητα στην εκτέλεση.

Η βαθειά γνώση της τεχνολογικής εξέλιξης και του τρόπου λειτουργίας των εξοπλισμών ενός process είναι αποτέλεσμα εμπειρίας χρόνων. Για το λόγο αυτό η ομάδα του ενεργειακού ελέγχου στις μεγάλες επιχειρήσεις, θα πρέπει να απαρτίζεται από μηχανικούς διαφόρων ειδικοτήτων και με μεγάλη εμπειρία, και ποσοστό συμμετοχής στελεχών από τις ίδιες τις επιχειρήσεις που ελέγχονται. Επίσης δεν θα πρέπει να αγνοείται ο συντελεστής βαρύτητας του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού. Αν για παράδειγμα ένα σχέδιο δράσης ΕΞΕ έχει χρόνο απόσβεσης στα 3 έτη και η επιχείρηση σκοπεύει στα επόμενα 5έτη να αντικαταστήσει την συγκεκριμένη μονάδα παραγωγής με μία πιο σύγχρονη, τότε το συγκεκριμένο σχέδιο δράσης θα έχει πολύ χαμηλό συντελεστή βαρύτητας για τον μακροχρόνιο σχεδιασμό. Ομοίως η τεχνική προτεραιότητα παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη απόφαση για την επιλογή υλοποίησης ενός σχεδίου δράσης ΕΞΕ, δεδομένου ότι πάντα από τεχνικής απόψεως οι προτεραιότητες ιεραρχούνται διαφορετικά.

Ακολουθώντας λοιπόν όλα τα βήματα της συγκεκριμένης παραγράφου 7.1.3 θα μπορέσουμε να καλύψουμε το σύνολο των ελαχίστων απαιτήσεων του παραρτήματος VI του νόμου 4342/2015.

Παράρτημα 8: Ναυτιλία

8.1 Νομικές απαιτήσεις

Η Διεθνής σύμβαση του διεθνούς οργανισμού ναυσιπλοΐας IMO για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL- Συνθήκη Περιορισμού της Θαλάσσιας Ρύπανσης) προβλέπει την υποχρεωτική εφαρμογή :

1. του δείκτη EEDI (Energy Efficiency Design Index) στα νεότευκτα πλοία (θα έλεγε κανείς κάτι σαν την ενεργειακή ταυτότητα των κτηρίων-δίδεται ο ορισμός της στην παράγραφο του παραρτήματος 8.2) και
2. τη χρήση SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) – Σχέδιο διαχείρισης της ενεργειακής αποδοτικότητας με παρακολούθηση του δείκτη EEOI (Energy Efficiency Operational Index) σε ολόκληρο τον παγκόσμιο στόλο για πλοία πάνω από 400GT.

Ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) 2015/757 της 29^{ης} Απριλίου 2015 έχει ήδη τεθεί σε ισχύ από την 1η Ιουλίου 2015, ώστε να εξασφαλιστεί ότι τα κράτη μέλη και οι ενδιαφερόμενοι φορείς θα έχουν στη διάθεσή τους επαρκή χρόνο, προκειμένου να λάβουν τα αναγκαία μέτρα για την αποτελεσματική εφαρμογή του εν λόγω κανονισμού, πριν από την έναρξη της πρώτης περιόδου αναφοράς, την 1η Ιανουαρίου 2018.

Μετά από λεπτομερή ανάλυση των μεγεθών και των εκπομπών των πλοίων που καταπλέουν και αποπλέουν σε και από λιμένες της Ένωσης, επιλέχθηκε ένα όριο ολικής χωρητικότητας (GT) ίσο με 5000. Τα πλοία άνω των 5000GT αποτελούν το 55% του συνόλου των πλοίων που καταπλέουν στους λιμένες της Ένωσης και αντιπροσωπεύουν περίπου το 90% των σχετικών εκπομπών. Το αμερόληπτο αυτό όριο θα εξασφαλίσει την κάλυψη των περισσότερων από τους σχετικούς υπαίτιους εκπομπών. Η επιλογή χαμηλότερου ορίου θα είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη διοικητική επιβάρυνση, ενώ ένα υψηλότερο όριο θα περιόριζε την κάλυψη των εκπομπών και, κατ' επέκταση, την περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα του συστήματος ΠΥΕ (Παρακολούθησης και Υποβολής Εκθέσεων και επαλήθευσης).

Τα κράτη μέλη θεσπίζουν σύστημα κυρώσεων για αδυναμία συμμόρφωσης με τις υποχρεώσεις παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων που καθορίζονται στο κανονισμό ΕΕ 2015/757 και λαμβάνουν κάθε αναγκαίο μέτρο για τη διασφάλιση της επιβολής των κυρώσεων αυτών. Οι κυρώσεις αυτές είναι αποτελεσματικές, αναλογικές και αποτρεπτικές. Τα κράτη μέλη κοινοποιούν τις εν λόγω διατάξεις στην Επιτροπή έως την 1η Ιουλίου 2017 και την ενημερώνουν χωρίς καθυστέρηση για κάθε μεταγενέστερη τροποποίηση.

Τα κράτη μέλη οργανώνουν αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών και συνεργασία μεταξύ των εθνικών τους αρχών οι οποίες διασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τις υποχρεώσεις παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων ή, κατά περίπτωση, των αρχών τους οι οποίες είναι αρμόδιες για τις διαδικασίες επιβολής κυρώσεων. Οι εθνικές διαδικασίες επιβολής κυρώσεων από κράτος μέλος κατά συγκεκριμένου πλοίου κοινοποιούνται στην Επιτροπή, στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ασφάλεια στην Θάλασσα (ΕΟΑΘ), στα λοιπά κράτη μέλη και στο οικείο κράτος σημαίας.

Στην περίπτωση των πλοίων που δεν συμμορφώθηκαν με τις απαιτήσεις παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων για δύο ή περισσότερες διαδοχικές περιόδους αναφοράς και όταν δεν

έχει επιτευχθεί συμμόρφωση με τη λήψη άλλων μέτρων επιβολής, η αρμόδια αρχή του κράτους μέλους του λιμένα εισόδου μπορεί να εκδίδει διαταγή εκδίωξης η οποία κοινοποιείται στην Επιτροπή, στον ΕΟΑΘ, στα λοιπά κράτη μέλη και στο οικείο κράτος σημαίας. Η έκδοση διαταγής εκδίωξης συνεπάγεται ότι όλα τα κράτη μέλη απαγορεύουν την είσοδο του πλοίου το οποίο αφορά η διαταγή σε οποιοδήποτε λιμένα τους, μέχρις ότου η εταιρεία εκπληρώσει τις υποχρεώσεις παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων που της επιβάλλονται στα άρθρα 11 και 18 του κανονισμού.

Ο πλοιοκτήτης ή ο διαχειριστής ή ο αντιπρόσωπός τους στα κράτη μέλη έχει δικαίωμα αποτελεσματικής δικαστικής προσφυγής κατά της διαταγής εκδίωξης και ενημερώνεται καταλλήλως από την αρμόδια αρχή του κράτους μέλους του λιμένα εισόδου. Τα κράτη μέλη θεσπίζουν και διατηρούν κατάλληλες διαδικασίες για το σκοπό αυτό.

Για την ολοκλήρωση του ανωτέρω κανονισμού απαιτείται η έκδοση και άλλων διευκρινιστικών απαιτήσεων ή εκτελεστικών πράξεων, ωστόσο η έναρξη της εφαρμογής του κανονισμού στο σύνολό του είναι η 1^η Ιανουαρίου 2018 στις χώρες μέλη της ΕΕ.

Σε αντιστοιχία με τον κανονισμό της ΕΕ 2015/757 η επιτροπή MEPC (Marine Environment Protection Committee) του IMO έχει ήδη προετοιμάσει ένα προσχέδιο του τρόπου συλλογής δεδομένων "data collection" (70th MEPC), μέσα από το οποίο να τεθεί διεθνώς σε ισχύ πλέον ένας ενιαίος κανονισμός για τη Ναυτιλία από την 1^η Ιανουαρίου του 2019.

8.2 Ορισμοί

EEDI (Energy Efficiency Design Index – Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδιασμού)

= {Περιβαλλοντικό όφελος/Κοινωνικό όφελος} = {Εκπομπές CO₂ / Μεταφορικό έργο} =

ΚΥΡΙΑ ΜΗΧΑΝΗ	ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ	ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΩΣΗΣ
$\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) + \left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_i \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$			

Σε [gCO₂/tonne*nm] , tonne φορτίου και nm όπου πρέπει η :

“Επιτευχθείσα τιμή του EEDI ≤ “Απαιτούμενης τιμής του EEDI” = (1-X/100)*Baseline , όπου :

X , είναι % συντελεστής που δίδεται από τον πίνακα 2.3 2 της σχετικής οδηγίας του IMO (Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines Ιανουαρίου 2016) με βάση τον τύπο του πλοίου και την ημερομηνία κατασκευής του αρχής γεννωμένης από τον Ιανουάριο του 2015 και μετά

Baseline = **a·b^c** , όπου a,b και c δίδονται από τον πίνακα 2.2 της σχετικής οδηγίας του IMO (Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines Ιανουαρίου 2016) με βάση τον τύπο του πλοίου και το φορτίο του σε DWT (βάρος του φορτίου).

Σημείωση: Ο συγκεκριμένος τύπος δεν είναι εφαρμόσιμος για πλοία με ηλεκτροπρόωση, πρόωση με τουρμπίνες ή με υβριδική πρόωση, εξαιρουμένων των κρουαζιερόπλοιων (όπου $Baseline = axb^c \cdot xd^e$, από αντίστοιχους πίνακες, ενώ το μεταφερόμενο φορτίο δεν μετράται σε DWT αλλά σε GT) και των πλοίων μεταφοράς LNG (που τροφοδοτούνται από το καύσιμο που εξαερώνεται – απώλειες υγροποιημένου καυσίμου). Για τους τύπους αυτούς δίδεται από τον κατασκευαστή τους ειδική φόρμουλα υπολογισμού.

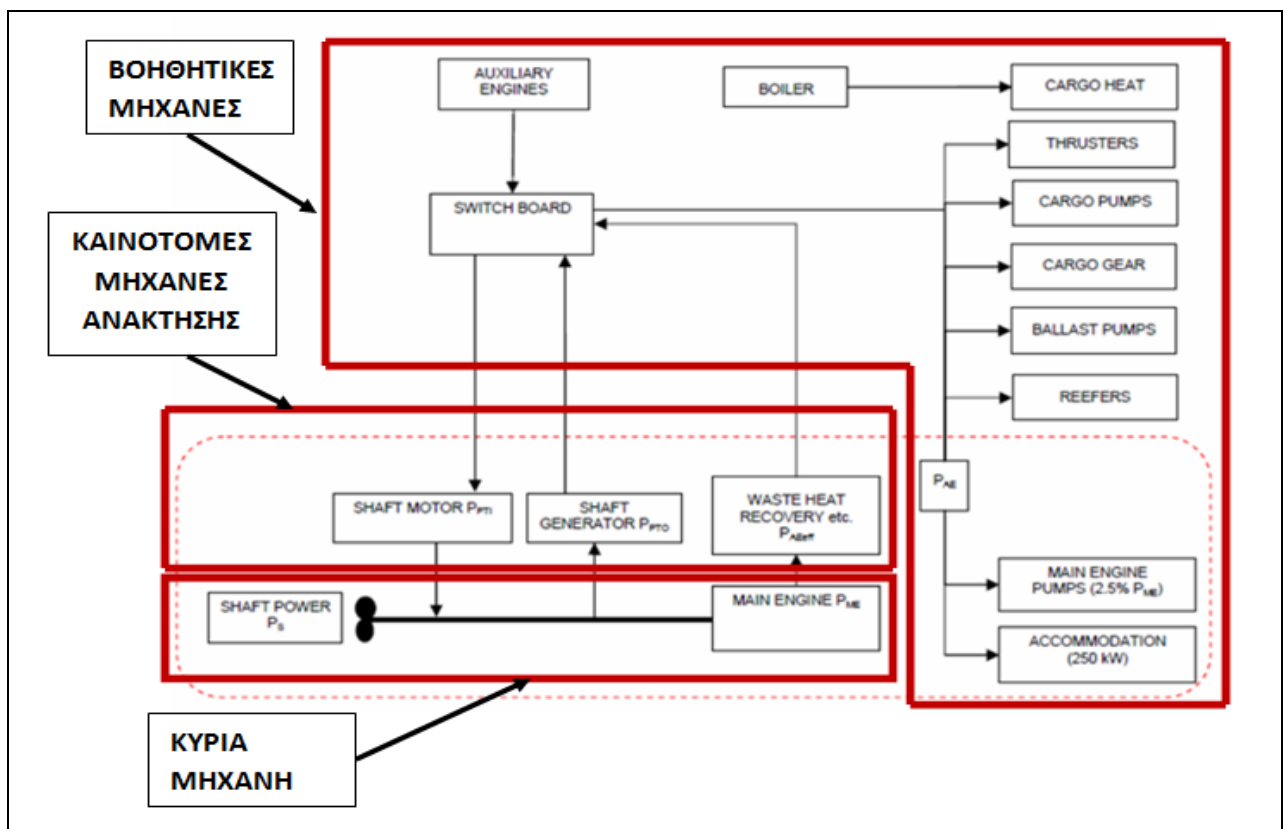
Όπου :

Πίνακας Η.1 : Ορισμοί μεταβλητών τύπου υπολογισμού του EEDI και η πηγή των δεδομένων

Παράμετρος φόρμουλας EEDI	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
C_F	Αδιάστατος συντελεστής μετατροπής του καταναλισκόμενου καυσίμου σε $[tCO_2/t\text{καυσίμου}]$ Για την κύρια μηχανή (FAE) και για την μηχανή βοηθητικών φορτίων (FME)	MEPC 245(66) "2014 Οδηγός σχετικά με τον επιτευχθείσα τιμή του EEDI για νεότευκτα πλοία"
V_{ref}	Ταχύτητα του πλοίου σε ναυτικά μίλια την ώρα αναφοράς [σε knots] κάτω από ήρεμο καλοκαιρινό καιρό	Στο στάδιο του σχεδιασμού - Καμπύλες Ισχύος/ταχύτητας από μοντέλα προσομοίωσης Τελικό Στάδιο : Έκθεση δοκιμής στη θάλασσα
Capacity	Υπολογίζεται με βάση το φορτίο σε DWT από τους πίνακες 2.2 & 2.3 της MEPC 245(66) "2014 Οδηγός σχετικά με τον επιτευχθείσα τιμή του EEDI για νεότευκτα πλοία" [Tons]	Βιβλίο Ευστάθειας πλοίων
P_{ME}	75% της κύριας μηχανής MCR (Maximum continuous rating-Μέγιστος ρυθμός λειτουργίας) σε kW	Τεχνικό φυλλάδιο για τα NOx
P_{AE}	Μηχανή Βοηθητικής ισχύος σε kW	MEPC 245(66) "2014 Οδηγός σχετικά με τον επιτευχθείσα τιμή του EEDI για νεότευκτα πλοία"
P_{PTI}	75% της ονομαστικής ζήτησης ισχύος του μηχανών ανάκτησης για δεδομένη ενεργειακή απόδοση σε kW	
P_{eff}	Ισχύς εξόδου καινοτόμας μηχανής με τεχνολογία αιχμής στην ενεργειακή αποδοτικότητα για πρόωση στα 75% της κύριας μηχανής σε kW	Από τον κατασκευαστή του πλοίου
P_{Aeff}	Περιορισμός μηχανής βοηθητικής ισχύος εξαιτίας της καινοτόμας μηχανής με τεχνολογία αιχμής στην ενεργειακή αποδοτικότητα πρόωσης σε kW	Από τον κατασκευαστή του πλοίου
SFC	Πιστοποιημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου - Specific Fuel Consumption σε g/kWh	Τεχνικό φυλλάδιο για τα NOx για την κύρια μηχανή (ME) και για τα βοηθητικά φορτία (AE)
f_j	Διορθωτικός συντελεστής για τον υπολογισμό των ειδικών στοιχείων σχεδιασμού (πχ για παγοθραυστικά, ή δεξαμενόπλοια)	MEPC 245(66) "2014 Οδηγός σχετικά με τον επιτευχθείσα τιμή του EEDI για νεότευκτα πλοία"
f_w	Αδιάστατος συντελεστής που δηλώνει τον περιορισμό της ταχύτητας του πλοίου σε δεδομένες αντιπροσωπευτικές συνθήκες βυθίσματος, ύψους και συχνότητας κυματισμού και ταχύτητας αέρα	
f_i	Συντελεστής χωρητικότητας με βάση τα όρια των κανονισμών	
f_c	Συντελεστής διόρθωσης χωρητικότητας σε κυβικά (γιαχημικά δεξαμενόπλοια και τα πλοία μεταφοράς	

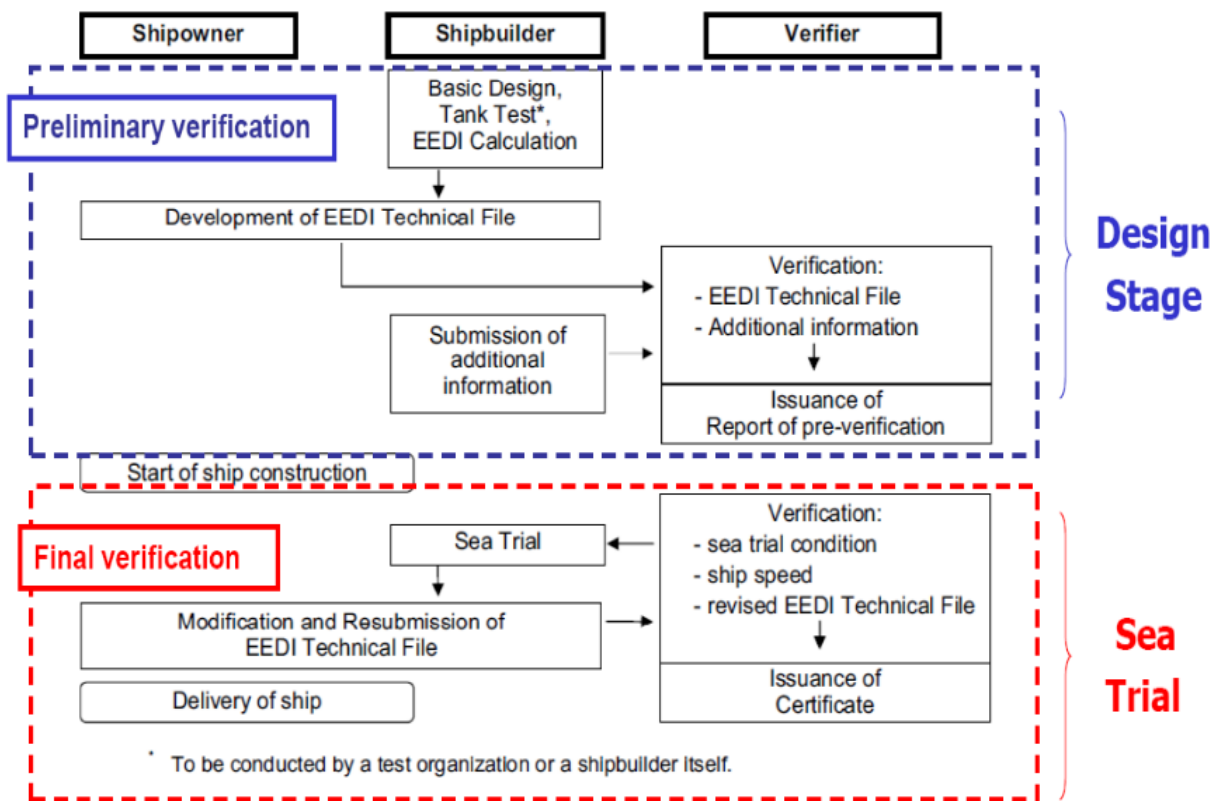
	αερίου)	
f_i	Συντελεστής πλοίων γενικού φορτίου εξοπλισμένων με γερανούς και άλλα φορτία που σχετίζονται με εξοπλισμούς που αντισταθμίζουν την απώλεια φορτίου του πλοίου	
f_{eff}	Συντελεστής διαθεσιμότητας για καινοτόμες μηχανές με τεχνολογία αιχμής στην ενεργειακή αποδοτικότητα	MEPC.1/Circ.815
n_{eff}	Αριθμός καινοτόμων τεχνολογιών πρόωσης	Από τον κατασκευαστή του πλοίου
n_{ME}	Αριθμός κύριων μηχανών	Από τον κατασκευαστή του πλοίου
n_{PTI}	Αριθμός μηχανών ανάκτησης (πχ Shaftgenerators)	Από τον κατασκευαστή του πλοίου

Σχήμα Η.1 : Διάγραμμα μηχανών εγκατάστασης ενός πλοίου



Ακολουθώντας την διαδικασία κατασκευής από τον πλοιοκτήτη, τον κατασκευαστή μέχρι τον Ελεγκτή που πιστοποιεί τον δείκτη EEDI στο σχήμα Η.2 φαίνεται το διάγραμμα ροής

Σχήμα Η.2 :Διάγραμμα ροής της συνολικής εξελικτικής διαδικασίας κατασκευής – πιστοποίησης



- **EEOI (Energy Efficiency Operational Index– Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Τελικής Χρήσης)**

$$\frac{(Fuel\ mass\ to\ CO_2\ mass\ conversion\ factor) \times (Fuel\ consumption)}{(Actual\ cargo\ mass\ carried) \times (Actual\ distance\ sailed)} = EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D}$$

Σε [tCO₂/tonne*nm]

για κάθε ταξίδι και όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο παρακολούθησης για μία περίοδο με περισσότερα του ενός ταξιδιών:

$$Average\ EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{cargo,i} \times D_i)}, \text{ όπου :}$$

j : Τύπος καυσίμου

i : Πλήθος ταξιδιών

FC_{ij}: Βάρος καυσίμου τύπου j σε πλήθος ταξιδιών i [tonnes]

CF_j: Συντελεστής μετατροπής του βάρους καυσίμου σεCO₂[t-CO₂/t-Fuel]- τον βρίσκουμε σε πίνακα τουMEPC.1/Circ.684

mcargo: Βάρος φορτίου [tonnes] ή μεταφερόμενο έργο (σε αριθμό TEU- Twenty foot Equivalent Unit - ισοδύναμη μονάδα container 20 ποδών ή επιβατών για

κρουαζιερόπλοια ή σε GT – Gross register Tonnage - ναυτικούς κόρους) ανάλογα με τον τύπο του πλοίου (ενδεικτικά βλέπε στον πίνακα Ν.2)

D: Διανυθείσα απόσταση σε ναυτικά μίλια [nm] σχετική με το μεταφερόμενο φορτίο ή το μεταφορικό έργο

Πίνακας Η.2 : Μονάδες μεταφορικού έργου για τον υπολογισμό του ΕΕΟΙ με βάση τον τύπο του πλοίου

Ship Type	Cargo mass carried or work done	Unit
Dry cargo carriers	Cargo mass	tons
Liquid Tankers	Cargo mass	tons
Ro-Ro cargo ships	Cargo mass	tons
General cargo ships	Cargo mass	tons
Container ships (carrying solely containers)	Cargo mass	tons
	Number of containers	TEU
Container ships (carrying containers & other cargos)	Cargo mass calculated from TEUs (Loaded container: 10t / Empty container: 2t)	tons
Passenger ships, Ro-Ro passenger ships	Number of passengers	persons
	Gross tonnes	tonnes
Car ferries, Car carriers	Number of cars	cars
	Lane meters	meters
Railway and Ro-Ro vessels	Number of railway cars and freight vehicles	cars/vehicles
	Lane meters	meters

Ακολούθως παρατίθεται αριθμητικό παράδειγμα στον πίνακα Η.3 για τον υπολογισμό του ΕΕΟΙ ενός δεξαμενόπλοιου με βάση την κατάσταση λειτουργίας του : Loaded (φορτωμένο), in Port (προσαραγμένο σε λιμάνι), ή Ballast (άφορτο – μόνο με το νερό ευστάθειας), τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα για την κύρια Μηχανή (HFO), τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα για τους βοηθητικούς εξοπλισμούς (MDO), το μεταφερόμενο βάρος και τις διανυθείσες αποστάσεις:

Πίνακας Η.3 . Παράδειγμα μετρήσεων υπολογισμού ΕΕΟΙ

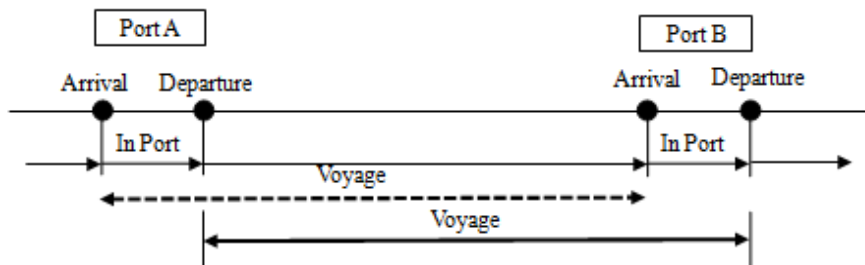
Measured time	Operating condition	Fuel [t] (HFO)	Fuel [t] (MDO) (Diesel/Gas Oil)	Cargo mass carried [t]	Distance sailed [NM]
Mar. 1st 12:00	Loaded	40	0	15,000	300
2nd 12:00	Loaded	35	0	15,000	250
2nd 18:00	Loaded	20	0	15,000	100
3rd 12:00	In Port	0	5	---	0
4th 6:00	In Port	0	10	---	0

5th 12:00	Ballast	15	0	0	70
6th 10:00	Ballast	30	0	0	200
7th 12:00	In Port	0	12	---	0
8th 8:00	In Port	0	8	---	0

$$\text{Average EEOI} = \frac{(40 + 35 + 20 + 15 + 30) \times 3.114 + (5 + 10 + 12 + 8) \times 3.206}{(15,000 \times 300) + (15,000 \times 250) + (15,000 \times 100) + (0 \times 70) + (0 \times 200)}$$

Στο σχήμα Η.3 βλέπουμε τον ορισμό της διάρκειας του ταξιδιού ενός πλοίου : Ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων ή αναχωρήσεων

Σχήμα Η.3 : Ορισμός ναυτικού ταξιδιού



8.3 Μεθοδολογία προσδιορισμού των εκπομπών CO₂

Η ναυτιλιακή εταιρεία καθορίζει αυτοβούλως το σχέδιο παρακολούθησης και τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο παρακολούθησης για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμων για κάθε πλοίο για το οποίο είναι υπεύθυνη και διασφαλίζει τη σταθερή εφαρμογή της μεθόδου μετά την επιλογή της. Ως περίοδος νοείται ο χρόνος μεταξύ δύο κατάπλων ή ο χρόνος παραμονής σε λιμένα. Η δήλωση της πυκνότητας kg/lit του καυσίμου και η περιεκτικότητά του σε θείο που μετράται από τον προμηθευτή καυσίμων κατά τον ανεφοδιασμό με καύσιμα και καταγράφεται στο τιμολόγιο ή στο BDN (Bunker Delivery Note). Χρησιμοποιείται η πραγματική κατανάλωση καυσίμου για κάθε πλοίο, υπολογιζόμενη με μια από τις ακόλουθες μεθόδους:

- α) δελτία παράδοσης καυσίμου (BDN) και περιοδική απογραφή δεξαμενών καυσίμου
- β) παρακολούθηση των δεξαμενών καυσίμου στο πλοίο με όργανα μέτρησης συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής
- γ) ροόμετρα για τις εφαρμοστέες διεργασίες καύσης, ώστε να μετράται η κατανάλωση του καυσίμου σε κάθε επιμέρους χρήση του πλοίου
- δ) άμεσες μετρήσεις των εκπομπών CO₂

Οι άμεσες μετρήσεις των εκπομπών CO₂ μπορούν να χρησιμοποιούνται για τους πλόες και για τις εκπομπές CO₂ που πραγματοποιούνται σε λιμένες υπό τη δικαιοδοσία κράτους μέλους. Στις εκπομπές CO₂ περιλαμβάνονται οι εκπομπές CO₂ από τους κύριους και βοηθητικούς

κινητήρες, τους αεριοστρόβιλους, τους λέβητες και τις γεννήτριες αδρανούς αερίου. Στην περίπτωση των πλοίων για τα οποία οι υποβαλλόμενες εκθέσεις βασίζονται στην παρούσα μέθοδο, η κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται από τις μετρούμενες εκπομπές CO₂ και τον εφαρμοστέο συντελεστή εκπομπών των αντίστοιχων καυσίμων. Η παρούσα μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό της ροής των εκπομπών CO₂ στις καπνοδόχους (τσιμινιέρες) με πολλαπλασιασμό της συγκέντρωσης CO₂ στα καυσαέρια επί τη ροή των καυσαερίων. Οι εφαρμοζόμενες μέθοδοι βαθμονόμησης και η αβεβαιότητα που συνδέεται με τα χρησιμοποιούμενα ροόμετρα προσδιορίζονται στο σχέδιο παρακολούθησης

8.4 Τρόποι παρακολούθησης του μεταφορικού έργου και της κατανάλωσης καυσίμων

8.4.1 Παρακολούθηση ανά πλου

1. Για την παρακολούθηση ανά πλου οι εταιρείες υποχρεώνονται να παρακολουθούν για κάθε πλοίο που καταπλέει σε ή αποπλέει από λιμένα, που υπάγεται στη δικαιοδοσία κράτους μέλους, και για κάθε διαδρομή μεταξύ των λιμένων αυτών, τις εξής παραμέτρους :

- α) λιμένα αναχώρησης και λιμένα άφιξης, με ημερομηνία και ώρα αναχώρησης και άφιξης·
- β) ποσότητα και συντελεστής εκπομπών για κάθε χρησιμοποιούμενο τύπο καυσίμου, συνολικά·
- γ) εκπομπές CO₂·
- δ) διανυθείσα απόσταση·
- ε) χρόνο παραμονής στη θάλασσα·
- στ) μεταφερθέν φορτίο·
- ζ) μεταφορικό έργο.

Οι εταιρείες δύνανται επίσης να παρακολουθούν τις πληροφορίες που αφορούν την κατηγορία πάγου του πλοίου και την πλεύση σε πάγο, κατά περίπτωση. Κατά παρέκκλιση μία εταιρεία εξαιρείται από την υποχρέωση παρακολούθησης των ανωτέρω πληροφοριών ανά πλου, για συγκεκριμένο πλοίο, στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- α) όλοι οι πλόες του πλοίου κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς έχουν ως λιμένα αναχώρησης ή άφιξης λιμένα εντός της δικαιοδοσίας κράτους μέλους· και
- β) το πλοίο, σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμά του, εκτελεί περισσότερους από 300 πλόες κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς.

2. Για την εξασφάλιση ενιαίων όρων για την εκτέλεση σχετικά με το στοιχείο ζ), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκδίδει, μέσω εκτελεστικών πράξεων, τεχνικούς κανόνες για τη διευκρίνιση των παραμέτρων που εφαρμόζονται σε καθεμία από τις λοιπές κατηγορίες πλοίων που αναφέρονται στην εν λόγω διάταξη. Οι εν λόγω εκτελεστικές πράξεις εκδίδονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το αργότερο έως την 31η Δεκεμβρίου 2016, σύμφωνα με μία διαδικασία εξέτασης, ενώ δύναται να επανεξετάζει κατά περίπτωση, μέσω εκτελεστικών πράξεων, τις εφαρμοστέες παραμέτρους που αναφέρονται στο στοιχείο ζ).

3. Κατά τη συμμόρφωσή τους με τους κανόνες των παραγράφων 1 και 2, οι εταιρείες μπορούν επίσης να συμπεριλαμβάνουν κατ' επιλογή συγκεκριμένες πληροφορίες όσον αφορά την κατηγορία πάγου του πλοίου και την πλεύση σε πάγο.

8.4.2 Παρακολούθηση ανά έτος

Για την παρακολούθηση άλλων συναφών πληροφοριών ανά έτος οι εταιρείες προσδιορίζουν με άθροιστην προς παρακολούθηση τιμών των αντιστοίχων δεδομένων που αφορούν κάθεημερολογιακό έτος ξεχωριστά τις παρακάτω παραμέτρους:

- α) ποσότητα και συντελεστή εκπομπών για κάθε χρησιμοποιούμενο τύπο καυσίμου, συνολικά·
- β) συνολική συγκεντρωτική ποσότητα CO₂ που έχει εκλυθεί εντός του πεδίου εφαρμογής του παρόντος κανονισμού·
- γ) συγκεντρωτικές εκπομπές CO₂ από όλους τους πλόες μεταξύ λιμένων που υπάγονται στη δικαιοδοσία κράτους μέλους·
- δ) συγκεντρωτικές εκπομπές CO₂ από όλους τους πλόες με αναχώρηση από λιμένες που υπάγονται στη δικαιοδοσία κράτους μέλους·
- ε) συγκεντρωτικές εκπομπές CO₂ από όλους τους πλόες προς λιμένες που υπάγονται στη δικαιοδοσία κράτους μέλους·
- στ) εκπομπές CO₂ που σημειώθηκαν κατά τον ελλιμενισμό εντός λιμένων που υπάγονται στη δικαιοδοσία κράτους μέλους·
- ζ) συνολική διανυθείσα απόσταση·
- η) συνολικό χρόνο παραμονής στη θάλασσα·
- θ) συνολικό μεταφορικό έργο·
- ι) μέση ενεργειακή απόδοση.

Για την παρακολούθηση της μέσης ενεργειακής απόδοσης χρησιμοποιούνται τουλάχιστον τέσσερις δείκτες:

- κατανάλωση καυσίμου ανά απόσταση = συνολική ετήσια κατανάλωση καυσίμου/συνολική διανυθείσα απόσταση
- κατανάλωση καυσίμου ανά μεταφορικό έργο = συνολική ετήσια κατανάλωση καυσίμου/συνολικό μεταφορικό έργο
- εκπομπές CO₂ ανά απόσταση = συνολικές ετήσιες εκπομπές CO₂/συνολική διανυθείσα απόσταση
- εκπομπές CO₂ ανά μεταφορικό έργο = συνολικές ετήσιες εκπομπές CO₂/συνολικό μεταφορικό έργο

Κατά τη συμμόρφωσή τους με αυτούς τους κανόνες, οι εταιρείες μπορούν επίσης να συμπεριλαμβάνουν κατ' επιλογή συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με την κατηγορία πάγου του πλοίου και την πλεύση σε πάγο, καθώς και άλλες πληροφορίες όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂, με διαφοροποίηση βάσει άλλων κριτηρίων που ορίζονται στο σχέδιο παρακολούθησης.

8.5 Διαχείριση δεδομένων και έλεγχοι

8.5.1 Διαδικασίες επαλήθευσης

Ο ελεγκτής εντοπίζει τους πιθανούς κινδύνους που συνδέονται με τη διαδικασία παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων, το βαθμό αβεβαιότητας και την ακρίβεια των μετρήσεων, καθώς και τον τρόπο υπολογισμού στα διάφορα στάδια ανάλογα με την μεθοδολογία που έχει καθοριστεί από την πλοιοκτήτρια εταιρεία, συγκρίνοντας τις αναφερόμενες εκπομπές CO₂ με εκτιμήσεις που βασίζονται σε στοιχεία εντοπισμού των κινήσεων και χαρακτηριστικά των πλοίων, όπως η εγκατεστημένη ισχύς. Εφόσον διαπιστώσει σημαντικές αποκλίσεις, διενεργεί διεξοδικότερες αναλύσεις. Η εταιρεία παρέχει στον ελεγκτή κάθε συμπληρωματική πληροφορία που επιτρέπει στον τελευταίο να διεκπεραιώσει τις επαληθευτικές διαδικασίες. Κατά την επαληθευτική διαδικασία ο ελεγκτής μπορεί να διενεργεί δειγματοληπτικούς ελέγχους για να διαπιστώνει την αξιοπιστία των αναφερόμενων δεδομένων και πληροφοριών.

8.5.2 Διαπίστευση & υποχρεώσεις ελεγκτών:

Οι ελεγκτές που αξιολογούν σχέδια παρακολούθησης και εκθέσεις εκπομπών και συντάσσουν τις εκθέσεις εκπομπών και τα έγγραφα επαλήθευσης και συμμόρφωσης του παρόντος κανονισμού διαπιστεύονται για τις δραστηριότητες που εμπίπτουν στον παρόντα κανονισμό από εθνικούς οργανισμούς διαπίστευσης δυνάμει του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 765/2008. Στην Επιτροπή ανατίθεται η εξουσία να εκδίδει κατ' εξουσιοδότηση πράξεις, με σκοπό την περαιτέρω εξειδίκευση των μεθόδων διαπίστευσης ελεγκτών. Οι τιθέμενες με εν λόγω κατ' εξουσιοδότηση πράξεις μέθοδοι βασίζονται στις αρχές επαλήθευσης του άρθρου 14 του κανονισμού (ΕΕ) 2015/757 της 29^{ης} Απριλίου 2015, διεθνώς αποδεκτά πρότυπα. 19.5.2015 L 123/66 Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης EL.1

Οι πλοιοκτήτριες εταιρείες συμπεριλαμβάνουν στην αναφερόμενη έκθεση εκπομπών τις ακόλουθες πληροφορίες:

- α) στοιχεία ταυτότητας του πλοίου και της εταιρείας, στα οποία περιλαμβάνονται: i) το όνομα του πλοίου, ii) ο κωδικός αριθμός IMO, iii) ο λιμένας νηολόγησης ή λιμένας βάσης, iv) η κατηγορία πάγου του πλοίου, εφόσον περιλαμβάνεται στο σχέδιο παρακολούθησης, v) η τεχνική απόδοση του πλοίου (σχεδιαστικός δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index - EEDI) ή εκτιμώμενη τιμή δείκτη (Estimated Index Value - EIV), σύμφωνα με την απόφαση MEPC.215(63) του IMO, κατά περίπτωση), vi) το όνομα του πλοιοκτήτη, vii) η διεύθυνση του πλοιοκτήτη και η κύρια έδρα των επιχειρήσεων του, 19.5.2015 L 123/64 Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης elviii) η επωνυμία της εταιρείας (εάν δεν ταυτίζεται με τον πλοιοκτήτη), ix) η διεύθυνση της εταιρείας (εάν δεν ταυτίζεται με τον πλοιοκτήτη) και η έδρα της, x) η διεύθυνση, ο αριθμός τηλεφώνου και η διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του αρμοδίου επικοινωνίας·
- β) η ταυτότητα του ελεγκτή που αξιολόγησε την έκθεση εκπομπών·
- γ) πληροφορίες σχετικά με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο παρακολούθησης και τον σχετικό βαθμό αβεβαιότητας·
- δ) τα αποτελέσματα της ετήσιας παρακολούθησης των παραμέτρων

Συνακόλουθα, οι εφόσον οι πλοιοκτήτριες εταιρείες εναρμονίζονται με τον κανονισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) 2015/757 της 29^{ης} Απριλίου 2015, ή/και είναι πιστοποιημένες κατά ISO50001, δεν υποχρεούνται άμεσα σε περαιτέρω έλεγχο, με την επιφύλαξη της αλλαγής ή μετεξέλιξης του εν λόγω ευρωπαϊκού κανονισμού. Στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ρητώς, ότι σε περίπτωση που τα υπόλοιπα πλοία των ναυτιλιακών εταιρειών δεν υπάγονται στον ως άνω κανονισμό, το υπουργείο διατηρεί το δικαίωμα να αποστείλει δειγματοληπτικά εξουσιοδοτημένους ενεργειακούς ελεγκτές της εμπιστοσύνης του. Στην περίπτωση αυτή είναι υποχρεωμένες οι ναυτιλιακές εταιρείες να παρουσιάζουν τα σχετικά αρχεία που απαιτεί το SEEMP, με τα συνακόλουθα δεδομένα από το OIL Record Book και το Engine Log Book, προκειμένου να ολοκληρωθεί ο έλεγχος με βάση το EN16247-4. Οποιαδήποτε παράβαση ή ασυμφωνία στοιχείων, θα έχει ως συνέπεια την επιβολή προστίμων με βάση τον τρόπο υπολογισμού της σχετικής ΚΥΑ που αφορά τις κανονιστικές διατάξεις του Ν.4342/2015.

8.5.3 Διαχείριση δεδομένων

Διεθνώς δεν έχει δυστυχώς επικρατήσει στις πλοιοκτήτριες εταιρείες η λογική της αναζήτησης οφέλους μέσα από την διαδικασία παρακολούθησης των ενεργειακών δεικτών, με αποτέλεσμα η νέα κατάσταση νομικών υποχρεώσεων, να αποτελεί άλλο ένα πονοκέφαλο για αυτές, που αθροίζεται στα αναγκαστικά κόστη λειτουργίας τους, σε αντίθεση με το πνεύμα των νόμων, που καθιστούν τους πλοιοκτήτες επενδυτές σε καινοτόμες τεχνολογίες, οι οποίες ελαχιστοποιούν την χρήση καυσίμων. Ακόμη και ο ίδιος ο δείκτης ΕΕΟΙ από μόνος του είναι πρακτικά άχρηστος, αφού δεν δηλώνει απολύτως τίποτα, όπως ακριβώς αναλύσαμε ανωτέρω στο Παράρτημα 7 και στις παραγράφους 4.4.3 (του Μέρους 1^{ου}) και το σχόλιο του σχήματος Z.5 (πχ στο αντίστοιχο παράδειγμα με το ξενοδοχείο και τους δείκτες kWh/GuestNight ή kWh/Kd ή kWh/(GN*Kd)).

Ακριβώς για τον λόγο αυτό ο ΙΜΟ τον προτείνει ως ενδεικτικό, και όχι ως αντιπροσωπευτικό ή υποχρεωτικό. Για να γίνει λοιπόν χρήσιμος ένας δείκτης, θα πρέπει με βάση τα ανωτέρω, ο ενεργειακός διαχειριστής της ναυτιλιακής εταιρείας να θέσει ανά πλοίο πολύ περισσότερες από μία εξισώσεις βάσεις (baseline), ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, την παλαιότητά του και τα διαθέσιμα δεδομένα και τους μετρητικούς του εξοπλισμούς. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά μερικές τέτοιες γενικές πολυπαραμετρικές εξισώσεις, οι οποίες οφείλουν οι ενεργειακοί διαχειριστές να προσαρμόζουν ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, αφαιρώντας ή προσθέτοντας σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων ΗFO (Heavy Fuel Oil) και ΜDO (Marine Diesel Oil):

1.1.1.1 Α. Ολικής παρακολούθησης του πλοίου ανά ταξίδι:

Loaded (μεφορτίο)

$$(HFO) = a_1 * \mathbf{M}cargo + a_2 * D + a_3 * H + a_4 * V + a_5 * Waves + a_6 * T_{ab} + a_7 * Wind + a_8 * O\&M + a_9 * TrAngle + a_{10}$$

$$(MDO) = a_1 * \mathbf{M}cargo + a_2 * V + a_3 * ReC_{el} + a_4 * ReC_{th} + a_5 * Waves + a_6 * T_{ab} + a_7 * O\&M + a_8$$

Ballast (κενόφορτίο)

$$(HFO) = a_1 * \mathbf{M}cargo + a_2 * D + a_3 * H + a_4 * V + a_5 * Waves + a_6 * T_{ab} + a_7 * Wind + a_8 * O\&M + a_9 * TrAngle + a_{10}$$

$$(MDO) = a_1 * \mathbf{M}cargo + a_2 * V + a_3 * ReC_{el} + a_4 * ReC_{th} + a_5 * Waves + a_6 * O\&M + a_7$$

In the Port (ελλιμενισμένο)

$$(MDO) = a_1 * m_{cargo} + a_2 * T_{ab} + a_3 * O\&M + a_4$$

Όπου :

m_{cargo}: το μεικτό φορτίο που μεταφέρει το πλοίο περιλαμβανομένου και του Water Ballast

D: η διανυθείσα απόσταση του ταξιδιού

H: Καθαρότητα της Γάστρας& Προπέλας

V: Η ταχύτητα του πλοίου

ReC_{el} : Ηλεκτρική ενέργεια που ανακτήθηκε από μηχανικό έργο

ReC_{th}: Θερμική ενέργεια που ανακτήθηκε από την κύρια μηχανή

Waves: Συντελεστής κυματισμού (Συχνότητα, μήκος και ύψος του κυματισμού)

TrAngle : Γωνία συνάντησης κυμάτων και πορείας του πλοίου

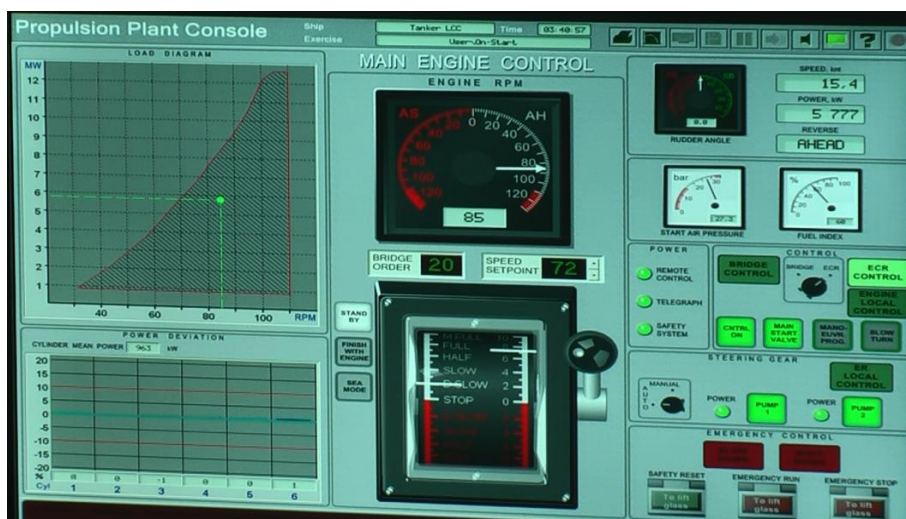
T_{ab}: Θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος

Wind : Ένταση του ανέμου σε Μποφόρ

O&M: Συντελεστής εργασιών συντήρησης

a_i: Συντελεστές γραμμικής πολυπαραμετρικής παλινδρόμησης (πραγματικός αριθμός)

Σχήμα Η.4 :Στημιότυπο οθόνης της κονσόλας πρόωσης με τις καμπύλες Ισχύος/Ταχύτητας και την % Απόκλιση Ισχύος των κυλίνδρων της κύριας μηχανής.

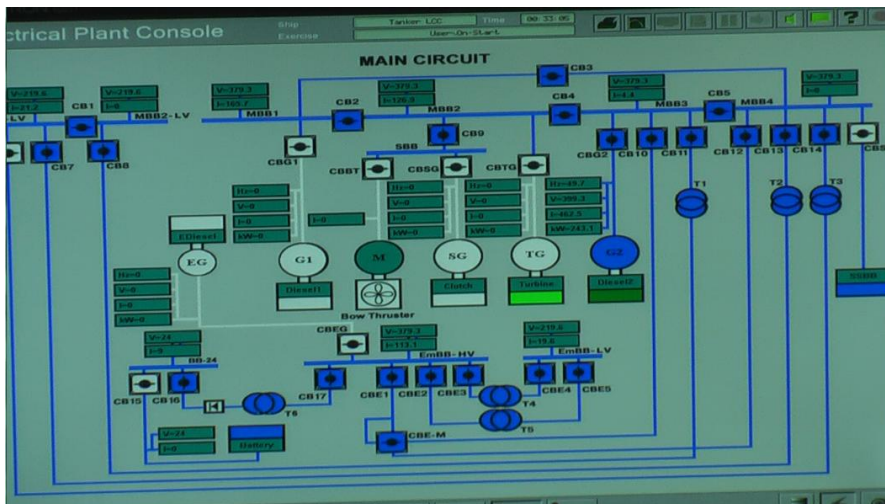


Στα Σχήματα Η.4 & Η.5 φαίνεται ενδεικτικά η οπτικοποιημένη απεικόνιση των βασικών στοιχείων μια μηχανής δεξαμενόπλοιου, που παρακολουθεί ένας 1^{ος} Μηχανικός μέσα από ένα σύστημα SCADA του στο μηχανοστάσιο του πλοίου.

Πολλά από τα ανωτέρω δεδομένα δίνονται είτε από μετεωρολογικούς σταθμούς, είτε από τη NASA, είτε καταγράφονται από τους αυτοματισμούς τους ίδιου του πλοίου στον κεντρικό καταγραφέα του (Engine Log Book, ή αλλιώς το «μαύρο κουτί» του πλοίου, όπου

καταγράφονται όλες οι μηχανικές και ηλεκτρικές λειτουργίες και τα σήματα κατάστασης-συνήθως έχει χρώμα πορτοκαλί), είτε τηρείται σε ξεχωριστά βιβλία ή σε καταγραφές, όπως το OIL Record Book, το ISM-International Safety Management, το SEEMP, κλπ. Η τάση γενικά για ψηφιοποίηση και αυτοματοποίηση των πάντων έχει επηρεάσει και τις καταγραφές εντός των πλοίων.

Σχήμα Η.5 :Στιγμιότυπο οθόνης της κονσόλας διανομής Ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και γεννητριών τροφοδοσίας (EG-Emergency Generator, G1 – Generator 1, M-Propeller Row Thruster, SG- Shaft Generator, TG-Turbo Generator, G2 - Generator 1)



1.1.1.2 Β. Μερικής παρακολούθησης των βοηθητικών συστημάτων ενδεικτικά και ανάλογα με τα ανωτέρω:

- Baseline κατανάλωσης καυσίμου του ατμολέβητα
- Baseline για τον πεπιεσμένο αέρα στα 30bar και ξεχωριστά στα 7,5 bar αν υπάρχουν
- Baseline για την κατανάλωση ηλεκτρισμού στις αντλίες λαδιών
- Baseline για την κατανάλωση ηλεκτρισμού στις αντλίες ψυχρού και ζεστού νερού
- Baseline για την κατανάλωση ηλεκτρισμού στις αντλίες πετρελαίου για δεξαμενόπλοια
- Baseline για την κατανάλωση ηλεκτρισμού στους γερανούς μεταφοράς φορτίου
- Baseline κατανάλωσης ηλεκτρισμού για αερισμό
- Baseline κατανάλωσης ηλεκτρισμού για κλιματισμό
- Baseline κατανάλωσης ηλεκτρισμού για ψύξη (για φορτία με ψυκτικούς θαλάμους)
- Baseline για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τον ατμοστρόβιλο
- Baseline για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και για την μηχανική ενέργεια της βοηθητικής προπέλας Row Thruster από την Shaft-generator
- Baseline κατανάλωσης HFO σε σχέση με την ταχύτητα του πλοίου, τις καιρικές συνθήκες, την πορεία του πλοίου

- Baseline κατανάλωσης HFO σε σχέση με τις καταστάσεις της καμπύλης ισχύος, την ταχύτητα, την ροπή και τους κραδασμούς του άξονα πρόωσης

Συνεπώς, ενώ κάθε πλοίο πάνω από 400GT διαθέτει υποχρεωτικά SEEMP, το αρχείο αυτό τίθεται αυτομάτως εν αχρηστία, αν δεν συνοδεύεται με ορθούς δείκτες με όρια-στόχους, αξιολογήσεις και ερμηνείες της διακύμανσης των δεικτών, προτάσεις για βελτίωση και μελέτες με ανάλυση LCCA, όπου θα φαίνεται ξεκάθαρα στην διοίκηση της εταιρείας η ανάλυση κόστους του κάθε μέτρου ΕΞΕ. Μόνο με αυτόν τον τρόπο οι πλοιοκτήτες θα μεγιστοποιήσουν τα οφέλη τους με βάση τις νέες διεθνείς νομικές απαιτήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος .

8.6 Τεχνολογίες που προωθούν την ενεργειακή αποδοτικότητα στα πλοία

Σύμφωνα με σχετικό άρθρο – «λευκή βίβλος» (White Paper) του διεθνούς οργανισμού ICCT (INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION), οι τεχνολογίες ή πρακτικές που επηρεάζουν την μείωση του CO₂ με βάση το κόστος τους στον παγκόσμιο στόλο φαίνονται παραστατικά στο Σχήμα Η.6, όπου καταφανώς η ορθή διαχείριση της ταχύτητας του πλοίου μπορεί μειώσει στα μέγιστα την κατανάλωση καυσίμου (συνεπώς και τις εκπομπές CO₂) με το ελάχιστο κόστος:

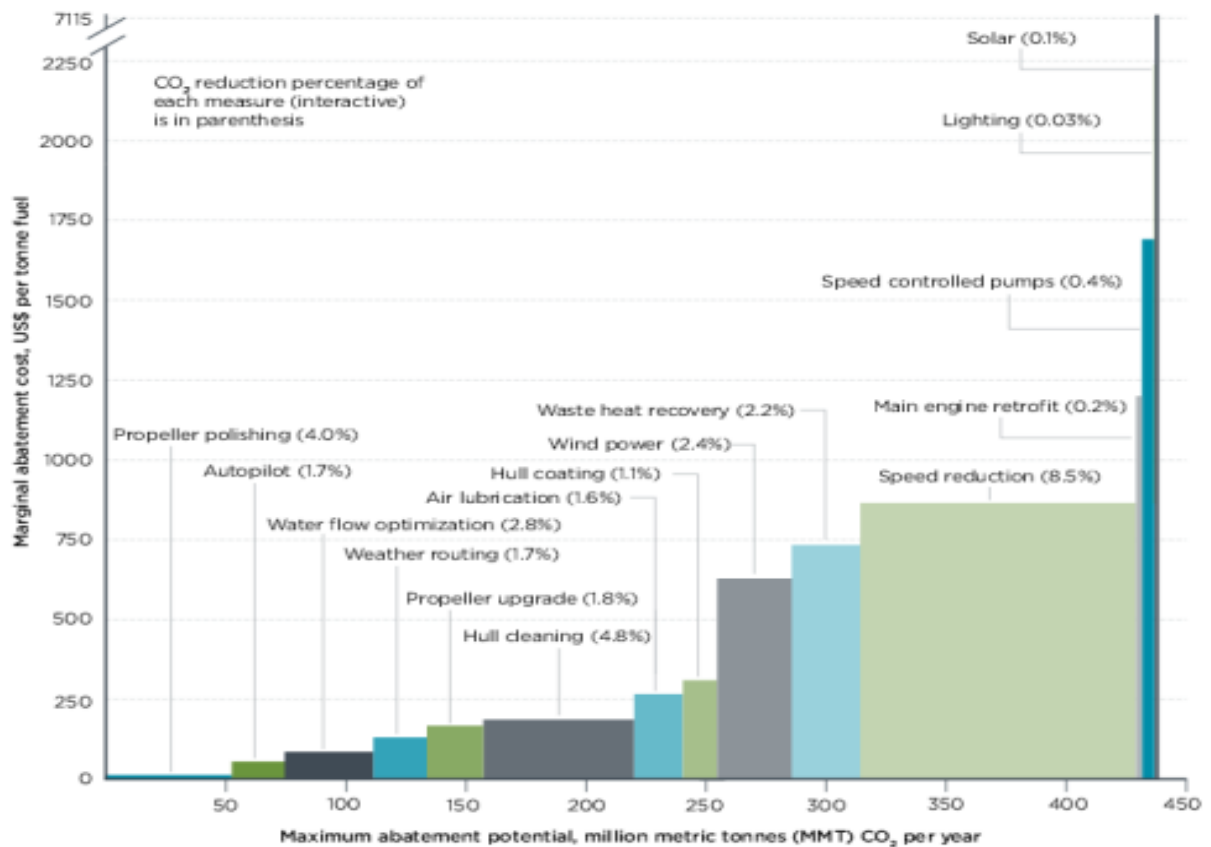
Ομοίως μεγάλο όφελος εκπομπών CO₂ σε MMT/year έχουμε από τον καθαρισμό της γάστρας, ή από την ορθή διαχείριση της προπέλας (καμπύλη ισχύος/στροφές στροφές, ροπές και κραδασμοί). Από τις τρεις ανωτέρω δράσεις ΕΞΕ (διαχειριστικές ή μη) που αναφέραμε, η δράση που επιφέρει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη, είναι η μείωση της ταχύτητας.

Άλλες τέτοιες δράσεις ΕΞΕ είναι :

- Η ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια,
- Η χρήση «καθαρών» και λιγότερο ρυπογόνων καυσίμων
- Η τεχνολογία αντιρρυπαντικών υφαλοχρωμάτων προηγμένης τεχνολογίας (σιλικονούχα χρώματα, νανοτεχνολογίας ή fluoropolymer
- Η χρησιμοποίηση ελίκων βελτιωμένων υδροδυναμικών χαρακτηριστικών & χρήση εξαρτημάτων βελτίωσης υδροδυναμικών χαρακτηριστικών ροής
- Η χρήση συστήματος παραγωγής φυσαλίδων (Αερολίπανση γάστρας)
- Η χρήση Weather routing- χάραξης πορείας σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες
- Η βελτιστοποίηση της διαχείρισης του νερού (θαλασσινού νερού κρύου/ζεστού, πόσιμου νερού κρύου/ζεστού και των σχετικών εναλλακτών θερμότητας))
- Η χρήση αυτόματου πιλότου
- Η τροποποίηση των κύριων μηχανών με στόχο την ενεργειακή της αποδοτικότητα
- Η χρήση αντλιών ρυθμιζόμενων στροφών νέας γενιάς
- Η ορθή διαχείριση συστημάτων HVAC και χρήση Inverter στους ανεμιστήρες
- Η αντικατάσταση λαμπτήρων
- Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική και ηλιακή)

- Η χρήση αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας που δεν καταναλώνεται και η ορθή διαχείρισή της

Σχήμα Η.6: Δυναμικό εξοικονόμησης εκπομπών CO₂ σε MMT/year σε σχέση με το κόστος εξοικονομούμενου καυσίμου σε US\$/tonne



Παράρτημα 9: Θέρμανση με Βιομάζα

9.1 Γενικά

Εις το παράρτημα αυτό αναλύεται η θέρμανση με βιομάζα και η αντικατάσταση του πετρελαίου και γενικά των υδρογονανθράκων ως καυσίμου. Παρουσιάζεται ο υπολογισμός της ποσότητας βιομάζας που χρειάζεται για να ζεσταθεί ένας χώρος κατοικίας και συγκρίνεται το κόστος με το αντίστοιχο των υδρογονανθράκων.

Τα τελευταία χρόνια με την αύξηση της τιμής του πετρελαίου και γενικά των υδρογονανθράκων (καύσιμα που περιέχουν στις ενώσεις τους υδρογόνο και άνθρακα), πολλοί στράφηκαν στην καύση οικονομικότερων καυσίμων όπως είναι το ξύλο και η βιομάζα.

Από τα αρχαία χρόνια η καύση του ξύλου και των υποπροϊόντων του χρησιμοποιούταν για τη θέρμανση των χώρων. Τόσο με τη βοήθεια τζακιού ή σομπών η θερμότητα μέσω της καύσης μεταφερόταν στον χώρο που χρειαζόταν να ζεσταθεί.

1.1 Βιομάζα - Πιλίδες (pellets) – Ξυλίδες (wood chips)

Γενικά, ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, σ' αυτήν περιλαμβάνονται:

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.
- τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.
- τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά., καθώς και
- το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η άμεση καύση είναι ο πιο συνήθης τρόπος παραγωγής θερμικής (ή και ηλεκτρικής) ενέργειας, κατά την οποία χρησιμοποιούνται καυσόξυλα και γεωργικά υποπροϊόντα (άχυρο, καλάμια, κότσαλα, κλαδοδέματα και υπολείμματα ξύλου) με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό (>15%).



: Είδη βιομάζας στην ελληνική αγορά

1.2 Θερμογόνο δύναμη Βιομάζας – Υπολογισμός Ποσότητας

Η **θερμογόνος δύναμη** μετρά την ικανότητα παραγωγής **θερμικής ενέργειας** ενός υλικού, το οποίο μπορεί να καεί, κατά την **καύση** του. Είναι η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση ενός **κιλού στερεού** ή **υγρού καυσίμου** ή ενός **κυβικού μέτρου αερίου** καυσίμου που βρίσκεται σε **κανονικές συνθήκες**. Διακρίνεται σε κατωτέρα και ανωτέρα θερμογόνο δύναμη

Ένας τόνος ξηρού ξύλου με πυρόλυση αποδίδει 300kg ξυλάνθρακα, 140m³ βιοαέριο, 14lt μεθυλική αλκοόλη, 53lt οξικό οξύ, 8lt εστέρες, 3lt ακετόνη, 76lt ξύλου, 12lt λάδι και 30kg πίσσα. Η ενεργειακή απόδοση της βιομάζας φτάνει το 90%, ενώ για τις ενεργειακές ανάγκες της μεθόδου καταναλώνεται το 10% του παραγόμενου αερίου. Ο βιοάνθρακας που παράγεται έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα (83%) και οξυγόνο (11%) ενώ περιέχει σε μικρότερες ποσότητες υδρογόνο, τέφρα και άζωτο. Η θερμογόνος δύναμή του είναι 22÷33MJ/kg. Τα χαρακτηριστικά του βιοάνθρακα που παράγεται με την πυρόλυση εξαρτώνται από την προέλευση της βιομάζας που χρησιμοποιείται.

Για παράδειγμα ο βιοάνθρακας που προέρχεται από τα υπολείμματα βελανιδιάς έχει θερμογόνο δύναμη 33MJ/kg ενώ από κλαδοδέματα ελιάς 28MJ/kg. Η ενεργειακά συμπυκνωμένη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον οικιακό τομέα για τη θέρμανση χώρων και παραγωγή ζεστού νερού, στον αγροτικό τομέα για τη θέρμανση θερμοκηπίων και την ξήρανση γεωργικών προϊόντων, σε βιομηχανικές εφαρμογές για την παραγωγή αερίων και υγρών καυσίμων.

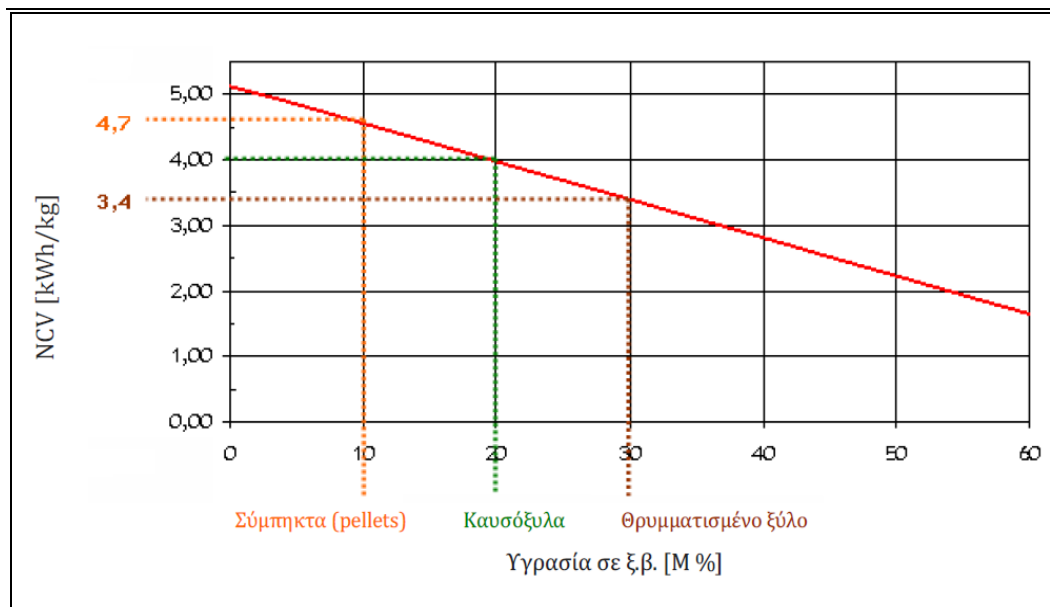
9.1.1 Περιεκτικότητα υγρασίας στη βιομάζα

Η περιεκτικότητα σε υγρασία ορίζεται ως η ποσότητα νερού που βρίσκεται στη βιομάζα και μετράται ως ποσοστό επί του βάρους του υλικού. Η περιεκτικότητα σε υγρασία έχει πολύ βασική επίδραση στην ενεργειακή μετατροπή της βιομάζας, είτε πρόκειται για θερμοχημική μετατροπή (π.χ. καύση) ή για βιοχημική (π.χ. ζύμωση). Για να γίνει αντιληπτή η επίδραση της συγκεκριμένης ιδιότητας στην ποιότητα της βιομάζας σημειώνεται ότι η αύξηση της από

το 0 μέχρι το 40% μειώνει την θερμογόνο δύναμή της κατά 66%. Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η σχέση

Η υγρασία μπορεί να κυμαίνεται από λιγότερο του 10%, για κάποια αγροτικά υπολείμματα όπως το άχυρο και τα τσόφλια, μέχρι πάνω από 60%, π.χ. για την βαγάση. Το ξύλο, το οποίο είναι βασική πηγή μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας, έχει κατά μέσο όρο υγρασία μεταξύ 40 και 50%. Η βιομάζα που προέρχεται από κτηνοτροφικά απόβλητα (π.χ. κοπριά) ή από οργανικά υγρά απόβλητα (π.χ. τυρόγαλα) έχει γενικά πολύ υψηλή υγρασία, γεγονός που την καθιστά ευκολότερη στην μεταφορά της μέσω αντλιών.

Η σύγκριση στη χρήση της περιεκτικότητας σε υγρασία προέρχεται από τους διαφορετικούς τρόπους που μπορεί να εκφραστεί: είτε σε υγρή βάση ή σε ξηρή βάση. Καθώς η υγρασία έχει επιδρά σημαντικά στις διεργασίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας, η βάση επί της οποίας μετράται πρέπει να δηλώνεται πάντα ξεκάθαρα. Ο συχνότερος τρόπος έκφρασης της υγρασίας της βιομάζας είναι σε υγρή βάση.



Σχήμα Θ-1: Μεταβολή θερμογόνου δύναμης σε σχέση με την υγρασία

Οι βιοχημικές διεργασίες με βάση τα παραπάνω πρότυπα (π.χ. αναερόβια χώνευση) απαιτούν υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία ώστε να επιτύχουν την αποδοτική μετατροπή τους σε ενέργεια, σε αντίθεση με τις θερμοχημικές (π.χ. καύση) όπου η υψηλή υγρασία έχει αρνητική επίδραση στην ενεργειακή τους απόδοση. Η αεριοποίηση, αν και κατατάσσεται στις θερμοχημικές διεργασίες, απαιτεί κάποια υγρασία από την πρώτη ύλη, καθώς με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η περιεκτικότητα του υδρογόνου στο τελικό προϊόν (αέριο σύνθεσης). Καθώς το υδρογόνο εκλύει σημαντική ενέργεια κατά την καύση του, είναι επιθυμητό σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αναλογία στο αέριο σύνθεσης. Εκτιμάται ότι βιομάζα με περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη από 30% αυξάνει ελάχιστα, μόνο, την συνολική απόδοση.

Αναφορικά με τη βιομάζα που λαμβάνεται από τη γεωργία (είτε αυτούσια ή ως παραπροϊόν) η περιεκτικότητα σε υγρασία της βιομάζας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο συλλογής της.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι συνήθεις περιεκτικότητες σε υγρασία (μετρημένων σε υγρή βάση) μερικών εκ των σημαντικότερων πηγών βιομάζας.

Πίνακας Θ.1: Συνήθης υγρασία για διάφορες πηγές βιομάζας (σε υγρή βάση)

Πηγή Βιομάζας	Περιεκτικότητα σε υγρασία (υγρή βάση)
Θρύμματα ξύλου	10-60 %
Pellets ξύλου	8-12 %
Άχυρο	20-30 %
Πριονίδι	15-60 %
Υπολείμματα βαμβακιού	10-20 %
Switchgrass	30-70 %
Βαγάσση	40-60 %
Κοπριά αγελάδας	88-94 %
Κοπριά χοίρου	90-97 %
Κοπριά πουλερικού	75-80 %
Τυρόγαλα	93-97 %
Ενσίρωμα καλαμποκιού	65-75 %
Γλυκό σόργο	20-70 %
Αγριαγκινάρα	15-20 %

Για την εκτίμηση του μεγέθους του λέβητα ενός κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας εμπειρικός τύπος, μέσω του οποίου μπορεί να γίνει μία «χοντρική» εκτίμηση αυτού.

Το μέγεθος το λέβητα υπολογίζεται (κατά προσέγγιση) από την παρακάτω σχέση:

$$H_{max} = 1,5 * \frac{E_c * S}{DD_n(t_{bal})} * \frac{(18 - T_{omin})}{24}$$

Όπου:

- Hmax = Μέγεθος του λέβητα σε kW
- EC = Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση σε kWh/m²
- S = Θερμαινόμενη επιφάνεια σε m²
- T_{omin} = Ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού σε βαθμούς Κελσίου
- DD_h(t_{bal}) = ο αριθμός των βαθμοημερών που αντιστοιχεί σε μια ορισμένη θερμοκρασία βάσης (συνήθως στους 18°C).
- Το 1,5 αντιστοιχεί σε συντελεστή ασφαλείας 50%
- Το 24 χρησιμοποιείται για τη μετατροπή από ημέρες σε ώρες.

Από την παραπάνω ανάλυση, είναι προφανές ότι για τον υπολογισμό του μεγέθους του λέβητα θα πρέπει να βρεθούν από τους Πίνακες με τα κλιματικά δεδομένα των Ελληνικών πόλεων (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010) τα εξής:

- οι βαθμομέρες θέρμανσης και
- οι συνθήκες σχεδιασμού χειμώνα σε οC

καθώς και από το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ):

- η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση (σε kWh/m²)
- η θερμαινόμενη επιφάνεια (σε m²).

Παράδειγμα Θ.1: Από το ΠΕΑ (πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης) ενός κτιρίου προκύπτουν τα εξής:

- Πόλη: Γλυφάδα
- Θερμαινόμενη επιφάνεια = 158 m²
- Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση = 102 kWh/m²

Από τους Πίνακες με τα κλιματικά δεδομένα των Ελληνικών πόλεων (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010) για την περιοχή της Γλυφάδας (παίρνουμε το κοντινότερα σημείο, δηλ. τον σταθμό του Ελληνικού):

- Βαθμομέρες θέρμανσης DD με θερμοκρασία αναφοράς 18 οC = 239+207+177+60+78+186=947
- Συνθήκες σχεδιασμού χειμώνα σε οC = 3,0 ή 1,0

Τότε η εξίσωση γίνεται

$$16 = 1,5 * \frac{102 * 158}{947} * \frac{(18 - 3)}{24}$$

Άρα, ο λέβητας που χρειάζεται πρέπει να έχει ισχύ 16 kW

1.3 Καύση, Βαθμοί απόδοσης Λεβήτων Βιομάζας

Οι λέβητες βιομάζας με βάση την καύση της βιομάζας και το είδος τους έχουν κατηγοριοποιηθεί σε διάφορες κλάσεις. Οι ελάχιστες απαιτήσεις για την απόδοση της κάθε κλάσης στο ΕΛΟΤ EN 303.05/99 έχουν ως ακολούθως:

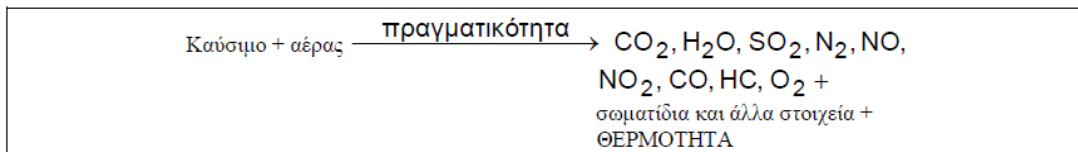
- Κλάση 1 = 47 + 6 logQN
- Κλάση 2 = 57 + 6 logQN
- Κλάση 3 = 67 + 6 logQN

Αντίστοιχα στο υπό ψήφιση Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 303.05/2010 με τη νέα αναθεωρημένη έκδοση του 2010 προτείνεται: Οι ελάχιστες απαιτήσεις για την απόδοση της κάθε κλάσης στο EN 303.05/10 έχουν ως ακολούθως:

- Κλάση 3 = 67 + 6logQN
- Κλάση 4 = 80 + 2logQN
- Κλάση 5 = 87 + logQN

Όπου: QN είναι η ωφέλιμη ονομαστική ισχύς του λέβητα σε kW.

Η καύση οποιοδήποτε καυσίμου με τη βοήθεια του αέρα οδηγεί στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και υδρατμών (H₂O). Παράλληλα δημιουργούνται και επιπλέον ενώσεις με βάση τα στοιχεία του καυσίμου και του αέρα. Τέτοιες ενώσεις είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του θείου (SO₂), μονοξείδιο του αζώτου (NO), διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και φυσικά το επιπλέον οξυγόνο (O₂).



Οι ενώσεις αυτές όπως του μονοξειδίου του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, το διοξείδιο του άνθρακα και τα οξείδια του αζώτου, επιβαρύνουν το περιβάλλον και μπορούν να οδηγήσουν στο φαινόμενο της όξινης βροχής, που ευθύνεται για την καταστροφή των μαρμάρων του Παρθενώνα.

Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί όρια για τις επιτρεπόμενες τιμές των καυσαερίων αυτών μέσω της εθνικής νομοθεσίας. Είναι εύλογο λοιπόν, ότι τα συστήματα αυτά θα πρέπει να καθαρίζονται και να συντηρούνται σωστά ώστε οι εκπομπές να κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια. Η απόφαση που ορίζει τα όρια αυτά είναι η Υ.Α. 189533/9-11-2011. Με βάση την απόφαση αυτή επιτρέπεται η χρήση βιομάζας στα αστικά κέντρα της Ελλάδος, εκτός από το ιστορικό κέντρο της Αθήνας που εκεί επιτρέπεται μόνο το φυσικό αέριο. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα επιτρεπόμενα όρια των καυσαερίων από τα συστήματα καύσης βιομάζας.

Πίνακας Θ.2: Επιτρεπόμενες τιμές εκπεμπόμενων ρύπων

Μέθοδος τροφοδοσίας	Ονομαστική ισχύς	Οριακές τιμές εκπομπών ρύπων (εκφρασμένες σε mg/m ³ και ανηγμένες σε 10 % O ₂) [τιμές εκφρασμένες σε ppm και ανηγμένες σε 10 % O ₂]				Βαθμός Απόδοσης
	(kW)	CO	OGC (Ολικός αέριος οργανικός άνθρακας)	Σωματίδια	NO _x (εκφρασμένα ως NO ₂)	%
Χειροκίνητη	< 50	5000 [4000]	150 [91]	150	340 [166]	η = 67 + 6log Q _n , όπου Q _n είναι η ονομαστική ισχύς του λέβητα σε kW.
	50 - 150	2500 [2000]	100 [61]	150		
	150 - 300	1200 [960]	100 [61]	150		
Αυτόματη	< 50	3000 [2400]	100 [61]	150		
	50 - 150	2500 [2000]	80 [49]	150		
	150 - 300	1200 [960]	80 [49]	150		

Με βάση τα παραπάνω παρατηρείται οι τιμές των μονοξειδίων του άνθρακα είναι υψηλές καθώς επίσης και η ποσότητα σε σωματίδια και σε οξείδια του αζώτου. Η τιμές αυτές επιτρέπονται μιας και η βιομάζα θεωρείται ως Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας η οποία βρίσκεται εύκολα στη φύση

Παράδειγμα Θ.2: Για το σπίτι στη Γλυφάδα που χρησιμοποιεί Λέβητα Πετρελαίου 16kW υπάρχει ανάγκη να αντικατασταθεί με έναν λέβητα Βιομάζας Κλάσης 4. Υπολογίστε την ποσότητα πετρελαίου και βιομάζας που θα χρειάζεται για τη θέρμανση του σπιτιού

Για το λέβητα πετρελαίου γνωρίζουμε ότι έχει βαθμό απόδοσης 0,89 και ότι η θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου είναι 10000Kcal/Kg (11,62Kwh/Kg).

Για το πετρέλαιο θα χρειαστούμε $Q = m \cdot U \cdot n \Rightarrow 16\text{Kw} = m \cdot 11,62 \cdot 0,89 \Rightarrow$

$m = 1,55\text{Kg/h}$.

Για το Λέβητα βιομάζας για ισχύ 16kW ο βαθμός απόδοσης είναι $n = 87 + \log QN = 87 + \log 16 = 88\%$ ή $n = 0,88$. Αν χρησιμοποιεί πλίδες ελιάς με θερμογόνο δύναμη 28000KJ/Kg = 6692Kcal/Kg (7,78Kwh/Kg) θα χρειαστούμε $Q = m \cdot U \cdot n \Rightarrow 16\text{Kw} = m \cdot 7,78 \cdot 0,88 \Rightarrow m = 2,37\text{Kg/h}$

Θεωρώντας ότι την ημέρα χρησιμοποιούμε τη θέρμανση γύρω στις 8ώρες και ότι οι ημέρες είναι 117 θα έχουμε

Πετρέλαιο $1,55\text{Kg/h} \cdot 8\text{h/day} \cdot 117\text{days} = 1450,8\text{Kg}$

Βιομάζα $2,37\text{Kg/h} \cdot 8\text{h/day} \cdot 117\text{days} = 2218,32\text{Kg}$

1.4 Οικονομία της Βιομάζας

Το κόστος των μονάδων λεβήτων με στερεά βιομάζα είναι δύο και τρεις φορές μεγαλύτερο σε σχέση με τους συμβατικούς λέβητες πετρελαίου και φυσικού αερίου και κυμαίνεται περίπου στα 120 έως 200 200€/kW, ανάλογα την θερμική ισχύ. Ταυτόχρονα απαιτείται η διαμόρφωση χώρου αποθήκευσης της βιομάζας, κατασκευή η οποία αυξάνει σημαντικά τα αρχικό κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης. Όσον αφορά στην περιβαλλοντική επιβάρυνση της χρήσης βιομάζας σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης, στον πίνακα 3. δίνονται συγκριτικά οι εκπομπές ρύπων από καμινάδες λεβήτων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο, φυσικό αέριο και θρύμματα ξύλου. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές για λέβητες ισχύος 500÷600 kW.

Πίνακας Θ.3: Έκλυση ρύπων ανά είδος καυσίμου από καύση σε λέβητες (Πηγή: SEI 2003)

Εκπομπές (mg/m ³ καυσαερίων)	SO ₂	NO _x	Τέφρα	CO	NMVOC
Λέβητας πετρελαίου	130	78.2	0	2.3	<3
Λέβητας αερίου	0	44.5	0	14.8	0
Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0	12.2	0	7.4	0
Λέβητας θρυμμάτων ξύλου	27	81	24	6	<1

Το μέσο κόστος για μια εγκατάσταση βιομάζας κυμαίνεται από 3000 έως 5000 ευρώ.

Αν αναλογιστούμε το κόστος αγοράς ενός τόνου βιομάζας ότι είναι κοντά στα 300€ μπορούμε να συγκρίνουμε τα συμβατικά καύσιμα υδρογονανθράκων με τις πλίδες.

Για τη θέρμανσης του σπιτιού του παραπάνω παραδείγματος θα χρειαστεί αν χρησιμοποιεί Λέβητα πετρελαίου περίπου 1750€ το χρόνο για την αγορά πετρελαίου. Αν τοποθετηθεί φυσικό αέριο θα ξοδεύουν 1400€ στη ΔΕΠΑ ενώ με τη βιομάζα από 660 έως 800€. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι μια επέμβαση τοποθέτησης συστήματος βιομάζας έχει πολύ γρήγορη απόσβεση και είναι η οικονομικότερη λύση από τις άλλες δύο.

Παράρτημα 10: Αξιολόγηση επεμβάσεων θερμομόνωσης

10.1 Εισαγωγή

Η αξιολόγηση θερμομονωτικών επεμβάσεων στο κέλυφος ενός υφιστάμενου κτιρίου περιλαμβάνει τα βήματα της Επιλογής Δ : «Διακριβωμένη προσομοίωση». που περιγράφονται στην παράγραφο 9.6 του 1^{ου} μέρους. Επειδή όμως η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερος απαιτητική και χρονοβόρα, στην παράγραφο αυτή περιγράφεται μία απλούστερη και συντηρητικότερη εκδοχή της «διακριβωμένης προσομοίωσης» που δύναται να εφαρμοστεί στην περίπτωση αξιολόγησης θερμομονωτικών επεμβάσεων στο κέλυφος των κτιρίων.

Εν προκειμένω θεωρείται ότι ο ενεργειακός ελεγκτής έχει προσδιορίσει τις ετήσιες καταναλώσεις καυσίμου για την θέρμανση ενός κτιρίου, μέσω απ' ευθείας μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου στους λέβητες ή από τα τιμολόγια προμήθειας καυσίμου, κάνοντας χρήση των χρονολογικών διαγραμμάτων τα οποία εξετάζονται στην παράγραφο 5.4 του 1^{ου} Μέρους.

Για την οικονομική αξιολόγηση μίας πρότασης για επένδυση θερμομόνωσης της παράπλευρης τοιχοποιΐας και χρειάζεται πρώτα να γίνει μία αξιόπιστη εκτίμησης της οικονομίας καυσίμου από την εν λόγω επένδυση. Δια τον σκοπό αυτό εκτιμάται το ποσοστό μείωσης των θεωρητικών θερμικών απωλειών του κελύφους λόγω της υπό εξέταση επέμβασης ως προς το σύνολο των αρχικών θεωρητικών θερμικών απωλειών. Έχοντας εκτιμήσει το ποσοστό αυτό, τότε η οικονομία καυσίμου υπολογίζεται ευθέως ως το γινόμενο του ποσοστού αυτού επί την εκτιμηθείσα πραγματική κατανάλωση καυσίμου.

Ο υπολογισμός του εν λόγω ποσοστού μπορεί να γίνει με δύο εναλλακτικούς τρόπους:

Μέθοδος Α : Εκτίμηση του ποσοστού αυτού με την απλουστευτική μέθοδο των βαθμομερών χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν τα θερμικά κέρδη (ηλιακά και εσωτερικά)

Μέθοδος Β : Εκτίμηση του ποσοστού με μία ολοκληρωμένη προσέγγιση βάσει των προτύπων EN 13790 (ή το ISO/DIS 52016-1) και το EN 15378 (Βλέπε Παράρτημα 3)

Και στις δύο περιπτώσεις το ποσοστό εκτιμάται ως : $(\Theta\Theta A_{\text{πριν}} - \Theta\Theta A_{\text{μετα}}) / \Theta\Theta A_{\text{πριν}}$, όπου $\Theta\Theta A$ είναι οι θεωρητικές θερμικές απώλειες όπως υπολογίζονται με τις μεθόδους Α ή Β.

Η μέθοδος Α είναι συντηρητική διότι το εκτιμώμενο ποσοστό είναι μικρότερο του πραγματικού λόγω του ότι η μέθοδος δεν λαμβάνει υπ' όψιν το γεγονός ότι μετά επέμβαση στο κέλυφος αυξάνει η συμβολή των εσωτερικών και ηλιακών κερδών αφού αυτά παραμένουν τα ίδια όπως και πριν ενώ οι θερμικές απώλειες μειώνονται με αποτέλεσμα τα θερμικά κέρδη πλέον να καλύπτουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών μετά την θερμομονωτική επέμβαση.

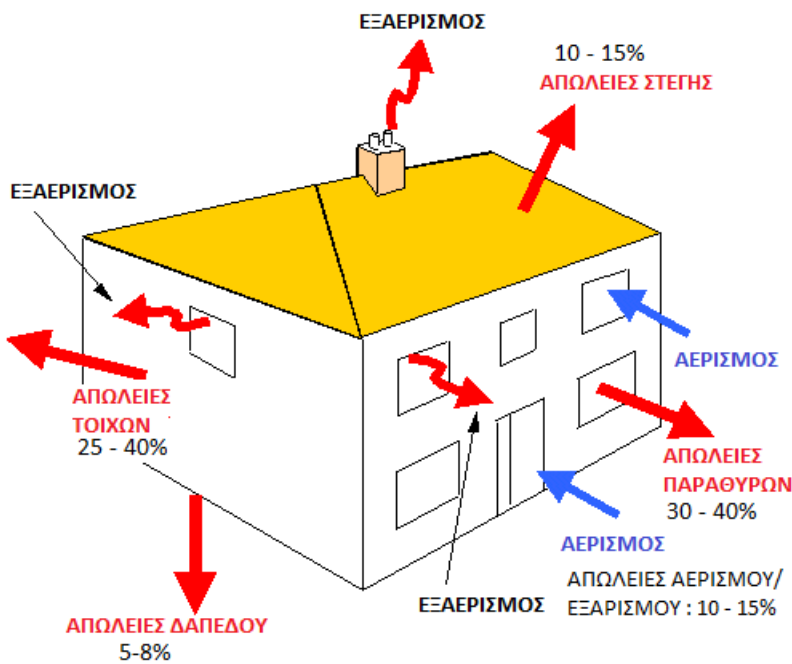
Με την μέθοδο Β τα θερμικά κέρδη λαμβάνονται υπ' όψιν με αποτέλεσμα το ποσοστό υπολογίζεται ελαφρώς μεγαλύτερο από εκείνο της μεθόδου Α. Επίσης με την μέθοδο αυτή υπολογίζεται επίσης και η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας στον κλιματισμό, λόγω της αυξημένης θερμομονώσεως της τοιχοποιΐας, κάτι που δεν μπορεί να γίνει με την μέθοδο Α.

Όμως πριν τον υπολογισμό του εν λόγω ποσοστού από την μέθοδο Β, απαιτείται το μοντέλο του κτιρίου να διακριβωθεί έστω και με μία μόνο μέτρηση ή εκτίμηση της πραγματικής ετήσιας κατανάλωσης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και με ακρίβεια της τάξεως του $\pm 15\%$. Αυτό μπορεί να γίνει με προσαρμογή των παραμέτρων ενός υπολογιστικού προγράμματος (π.χ. με βάση το EN 13790) το οποίο επιτρέπει εις τον χρήστη να ρυθμίζει τόσο την μέση εσωτερική θερμοκρασία του υπολογισμού όσο και το ποσοστό του χρόνου που λειτουργεί η κεντρική θέρμανση σε περιπτώσεις διακοπτόμενης θέρμανσης.

Στην συνέχεια τα ανωτέρω επεξηγούνται αναλυτικότερα.

10.2 Οι θερμικές απώλειες κτιρίου

Δύο είναι οι κυριότεροι παράγοντες που προκαλούν θερμικές απώλειες στα κτίρια :



Εικόνα I.1 : Τυπικές θερμικές απώλειες κτιρίων από το κτιριακό κέλυφος (τοιχοί, παράθυρα, στέγη, δάπεδο) και τον αερισμό-εξαερισμό.

1. Οι απώλειες θερμοπερατότητας του κτιριακού κελύφους η οποία επιτρέπει την ροή της θερμότητας από τα μέσα προς τα έξω, λόγω υψηλότερης εσωτερικής θερμοκρασίας κτιρίου κατά την περίοδο θέρμανσης
2. Οι απώλειες αερισμού/εξαερισμού λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας του εισερχόμενου αέρα

Και οι δύο οι ανωτέρω απώλειες είναι ευθέως ανάλογες της διαφοράς μεταξύ της Εσωτερικής Θερμοκρασίας T_i του θερμαινόμενου χώρου και της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_a .

Οι απώλειες θερμοπερατότητας \dot{Q} έχουν μονάδες ισχύος (W) και για ένα δομικό στοιχείο (π.χ. τοίχος, θύρα, παράθυρο, στέγη ή δάπεδο) υπολογίζονται ως εξής :

$$\dot{Q} = A.U (T_i - T_a) \quad (I.1)$$

όπου A η επιφάνεια (εμβαδόν) του δομικού στοιχείου και U είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας και έχει μονάδες $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο συντελεστής, τόσο μεγαλύτερες είναι οι θερμικές απώλειες.

10.3 Υπολογισμός ετήσιων απωλειών θερμότητας κατά την περίοδο θέρμανσης

10.3.1 Οι μέθοδοι των βαθμομερών θέρμανσης

Μία από τις απλούστερες και πλέον διαδεδομένες μεθόδους για τον υπολογισμό των ετησίων απωλειών θερμότητας για θέρμανση ενός κτιρίου με σχετικά καλή ακρίβεια είναι η μέθοδος των **βαθμομερών θέρμανσης (ΒΘΗ)** η οποία στηρίζεται στον τύπο I.1. Ο ορισμός των ΒΘΗ δίδεται στην παράγραφο 5.4.5. του 1^{ου} Μέρους.

Δια ένα δομικό στοιχείο του κτιρίου (τοίχος, παράθυρο, στέγη, κλπ) η απώλεια θερμότητας αυτού του δομικού στοιχείου ανά μονάδα χρόνου \dot{Q}_Θ ισούται με:

$$\dot{Q}_\Theta = UA(T_i - T_a) = H_\Theta(T_i - T_a) \quad (I.2)$$

όπου $H_\Theta = A.U$ είναι η **Διαρροή θερμοπερατότητας** η οποία έχει μονάδες W/K και T_a η εξωτερική θερμοκρασία.

Από τον τύπο I.2 και πολλαπλασιάζοντας επί την χρονική διάρκεια μίας περιόδου θερμάνσεως, λαμβάνεται το σύνολο των θερμικών απωλειών θερμότητας κατά την περίοδο αυτή..

Εάν υποθεθεί ότι κατά τον ένα μήνα της περιόδου θερμάνσεως, π.χ. τον Ιανουάριο, η μέση θερμοκρασία του μήνα είναι ίση με \bar{T}_a και εάν πολλαπλασιαστεί η εξίσωση I.14 τον αριθμό των βαθμομερών του μήνα (για τον Ιανουάριο $N=31$), τότε προκύπτει το σύνολο των απωλειών θερμότητας κατά τον μήνα αυτό :

$$Q_\Theta = \dot{Q}_\Theta \cdot N = H_\Theta \cdot 24 \cdot N(T_i - \bar{T}_a) \quad (\text{σε Wh}) \quad (I.3)$$

όπου N είναι ο αριθμός ημερών του εξεταζόμενου μήνα.

Το γινόμενο $BH\Theta_M = N(T_i - \bar{T}_a)$ των N αριθμών ενός μήνα επί την διαφορά θερμοκρασίας της εσωτερικής θερμοκρασίας του θερμαινόμενου χώρου καλείται **βαθμομέρες θέρμανσης** του μήνα και έχει μονάδες (°C.ημέρες).

Παράδειγμα I.1: Η μέση θερμοκρασία του μήνα Ιανουαρίου σε τέσσερις κλιματικά αντιπροσωπευτικές πόλεις της Ελλάδας δίδεται στην πρώτη γραμμή του πίνακα που ακολουθεί. Εάν ληφθεί ως τυπική θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου ίση με 18°C, στην γραμμή 2 υπολογίζονται βάσει του τύπου I.3 στη γραμμή 2 του πίνακα οι βαθμομέρες θέρμανσης για τον μήνα Ιανουάριο.

Γραμμή	Μέγεθος	Φιλαδέλφεια (Αθήνα)	Μίκρα (Θεσσαλονίκη)	Ηράκλειο	Τρίπολη	Φλώρινα
1η	$T_{M, \text{IAN}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	8,7	5,3	12,1	5,1	0,5
2η	$BH\Theta_{\text{IAN}} \text{ (}^\circ\text{C. ημέρες)}$	288	394	183	400	543

Δια όλο το έτος οι βαθμομέρες θέρμανσης ΒΘΗ υπολογίζονται με τον άθροισμα των μηνιαίων ΒΘΗ ως εξής :

$$BH\Theta = N_{\text{NOE}}(T_i - \bar{T}_{a_{\text{NOE}}}) + N_{\text{ΔΕΚ}}(T_i - \bar{T}_{a_{\text{ΔΕΚ}}}) + \dots + N_{\text{ΑΠΡ}}(T_i - \bar{T}_{a_{\text{ΑΠΡ}}}) \quad (I.4)$$

όπου το άθροισμα εκτείνεται για όλους τους μήνες όπου μέση θερμοκρασία $\bar{T}a_k$ ενός μήνα k να είναι μικρότερη της T_i , άρα $(T_i - \bar{T}a_k)$ θετική. Για την Αθήνα και το Ηράκλειο οι μήνες αυτοί είναι από Νοέμβριο έως Απρίλιο για την Θεσσαλονίκη από Οκτώβριο έως Απρίλιο και για την Φλώρινα από Οκτώβριο έως Μάιο.

Οι βαθμομέρες θέρμανσης ΒΗΘ σε ετήσια βάση για τις πόλεις του ανωτέρω παραδείγματος υπολογίζονται με βάση τον τύπο I.3 με διαφορετικές θερμοκρασίες χώρου T_i ως εξής:

Πίνακας I.1 : Βαθμομέρες θέρμανσης για κλιματικά αντιπροσωπευτικές πόλεις

Εσωτερική Θερμοκρασία χώρου T_i	Βαθμομέρες Θέρμανσης ΒΗΘ (°C.ημέρες)					
	Ηράκλειο (Α Ζώνη)	Ελληνικό (Β Ζώνη)	Φιλαδέλφεια (Β Ζώνη)	Μίκρα (Γ Ζώνη)	Τρίπολη (Γ Ζώνη)	Φλώρινα (Δ Ζώνη)
16 °C	376	584	823	1262	1512	2076
18 °C	702	946	1185	1676	1967	2538
19° C	883	1127	1391	1888	2210	2799
20 °C	1064	1320	1603	2110	2453	3072
22 °C	1538	1785	2077	2599	2999	3648

Για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών κατοικιών χρησιμοποιείται ως θερμοκρασία αναφοράς για την θερμοκρασία χώρου T_i εκείνη των 18°C διότι οι κατοικίες συνήθως θερμαίνονται με διακοπτόμενη θέρμανση με αποτέλεσμα όταν λειτουργεί η θέρμανση η θερμοκρασία εσωτερικού χώρου να είναι γύρω στους 20°C ενώ όταν δεν λειτουργεί η θερμοκρασία αυτή πέφτει στου 16°C ή και χαμηλότερα. Επομένως η θερμοκρασία των 18°C είναι αντιπροσωπευτικότερη μέση θερμοκρασία στα Ελληνικά σπίτια. Αντίθετα για Νοσοκομεία όπου η θερμοκρασία των χώρων ρυθμίζεται στους 22°C σε συνεχή βάση, τότε η θερμοκρασία αναφοράς πρέπει να είναι ακριβώς η ίδια.

Επομένως σε ετήσια βάση ο τύπος I.3 γράφεται:

$$Q_{\Theta} = 24 \cdot (\text{ΒΗΘ}) \cdot H_{\Theta} \quad (I.5)$$

Το γινόμενο 24 ΒΗΘ αντιστοιχεί στις βαθμοώρες θερμάνσεως (ΒΩΘ) με μονάδες (°C.h)

Παράδειγμα I.2: Ένα αμόνωτο δομικό στοιχείο τοίχου στην Θεσσαλονίκη (Μίκρα) έχει συντελεστή θερμοπερατότητας $U = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$. Οι ετήσιες απώλειες θερμότητας για το δομικό στοιχείο αυτό ανά τετραγωνικό μέτρο υπολογίζονται ως εξής :

$$Q_{\Theta} = 24 \times 1676 \text{ (°C.h)} \times 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \times 1\text{m}^2 = 120672 \text{ Wh} = 120,672 \text{ kWh}$$

10.3.2 Απώλειες θερμότητας λόγω αερισμού

Απώλειες θερμότητας δεν έχουμε μόνο από την θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων αλλά και λόγω αερισμού ενός κτιρίου, είτε ηθελημένου είτε αθέλητου. Ο αερισμός ενός χώρου είναι απαραίτητος για λόγους υγιεινής και ποικίλει ανάλογα με την χρήση του χώρου.

Π.χ. στις κατοικίες ο απαιτούμενος αερισμός κυμαίνεται στα 0,75 κυβικά μέτρα νωπού αέρα ανά τετραγωνικό μέτρο δαπέδου. Εάν θεωρηθεί ότι το μέσο ύψος κατοικίας είναι περί τα 3 μέτρα, τότε αυτή η απαίτηση αντιστοιχεί σε $0,75 \times 3 = 2,25 \text{ m}^3$ νωπού αέρα ανά m^2 δαπέδου.

Με άλλα λόγια αυτό σημαίνει ότι οι απαιτήσεις αερισμού ισοδυναμούν με 2,25 αλλαγές αέρα ανά ώρα. Από την άλλη πλευρά ο αθέλητος αερισμός, δηλαδή ο αερισμός ο οποίος γίνεται από χαραμάδες, καμινάδες, πόρτες και παράθυρα, είναι συνήθως της τάξεως της 1,0 αλλαγής αέρα ανά ώρα. Επομένως ο συνολικός αερισμός ενός χώρου μπορεί να κυμαίνεται από 2 έως 3 αλλαγές την ώρα.

Ο εισερχόμενος αέρας έχει θερμοκρασία εξωτερικού αέρα T_a και πρέπει να θέρμανση θερμανθεί έως την εσωτερική θερμοκρασία T_i . Η απαιτούμενη θερμότητα για την αυτή, υπολογίζεται με βάση τον γνωστό τύπο της θερμοχωρητικότητας:

$$Q_A = mc(T_i - T_a) \rightarrow \dot{Q}_A = \dot{m}c(T_i - T_a) \quad (I.6)$$

όπου m είναι η μάζα μίας ποσότητας αέρα και c είναι η θερμοχωρητικότητα αέρα σε $\text{J}/(\text{kg K})$. Η δεύτερη εξίσωση είναι η πρώτη διαιρεμένη με τον χρόνο και έτσι οι τελείες πάνω από το Q και m σημαίνουν ροή θερμότητας και μάζας αντιστοίχως. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η πυκνότητα ρ ενός αερίου έχει μονάδες μάζας ανά κυβικό μέτρο (kg/m^3), τότε η μάζα m μπορεί να γραφεί ως $m = \rho V$, όπου V είναι ο όγκος του αέρα που περιέχει την μάζα m . Επομένως

$$Q_A = \rho c V (T_i - T_a) \rightarrow \dot{Q}_A = \rho c \dot{V} (T_i - T_a) \quad (I.7)$$

Για τον αέρα στους 20°C το γινόμενο ρc ισούται με $1200 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$. Μετατρέποντας την μονάδα J σε Wh , ήτοι διαιρώντας με 3600, τότε :

$$\rho c = 1200 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}) = \frac{1}{3} \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (I.8)$$

Έστω \dot{V} ο ρυθμός αερισμού ενός χώρου σε κυβικά μέτρα νωπού αέρα ανά ώρα (m^3/h). Τότε το γινόμενο $\rho c \dot{V}$ καλείται Διαρροή αερισμού H_A και έχει μονάδες $\text{W}/^\circ\text{C}$ μετά από απαλοιφή μονάδων:

$$\text{Διαρροή αερισμού} : H_A = (\rho c) \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right) \dot{V} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{\dot{V}}{3} \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}} \quad (I.9)$$

Το γινόμενο αυτό και έχει μονάδες $\text{W}/^\circ\text{C}$, όπως ακριβώς και η Διαρροή θερμοπερατότητας H_θ . Αντικαθιστώντας στην εξίσωση I.6 προκύπτει ότι οι απώλειες θερμότητας λόγω αερισμού :

$$\dot{Q}_A = \frac{\dot{V}}{3} (T_i - T_a) = H_A (T_i - T_a) \quad (I.10)$$

Παράδειγμα I.3: Σε ένα χώρο διαστάσεων $4\text{m} \times 7\text{m} \times 3\text{m} = 84\text{m}^3$ και με εσωτερική θερμοκρασία 20°C γίνονται δύο αλλαγές αέρα ανά ώρα για λόγους υγιεινής. Εάν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα ισούται με 5°C τότε οι απώλειες του αερισμού υπολογίζονται από την εξίσωση I.10 : $\dot{Q}_A = 2 \frac{84}{3} (20 - 5) = 840 \text{ W}$

Σε ετήσια βάση η ζήτηση θερμότητας για την κάλυψη των φορτίων αερισμού προκύπτει ευθέως κατά τρόπο ανάλογο με την περίπτωση της θερμοπερατότητας :

$$Q_A = 24 \cdot BH\Theta \cdot H_A \quad (I.11)$$

Παράδειγμα I.4: Για τον χώρο του προηγούμενου παραδείγματος, οι ετήσιες απαιτήσεις θερμότητας για την κάλυψη του φορτίου αερισμού για την πόλη της Φλώρινας υπολογίζεται από την εξίσωση I.11 ως $Q_A = 24 \times 3072 \times \frac{2 \times 84}{3} = 4.128.768 \text{ W.h} = 4.128,768 \text{ kWh}$. Διαιρώντας με το εμβαδό του χώρου των 28m^2 , τότε οι απαιτήσεις ισούνται με $147,5 \text{ kWh/m}^2$.

10.3.3 Συνολικές ετήσιες θερμικές απώλειες κτιρίου

Για τον υπολογισμό των ετησίων απαιτήσεων για την θέρμανση ενός κτιρίου, υπολογίζουμε πρώτα τις Διαρροές θερμοπερατότητας H_Θ και αερισμού H_A , όπως γίνεται στον Πίνακα που ακολουθεί για μία παλαιά μονοκατοικία εμβαδού 120 τετραγωνικών μέτρων .

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	Επιφάνεια (m^2)	τιμή U ($\text{W/m}^2 / ^\circ\text{C}$)	H_Θ ($\text{W}/^\circ\text{C}$)
Οριζόντιες επιφάνειες			
Οροφή	120	2,7	324
Δάπεδο	120	1,3	156
Κατακόρυφες επιφάνειες			
Θυροπαράθυρα με μονό υαλοπίνακα	5,52	5	27,6
Παράθυρα με διπλό υαλοπίνακα	13,8	3	41,4
Τοίχος	118,68	2,5	296,7
Ολική Διαρροή θερμοπερατότητας ΣHΘ			845,7

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	Όγκος (m^3)	n (αλλαγές αέρα/h)	H_A ($\text{W}/^\circ\text{C}$)
Υπονοδωμάτια	144	1	48,0
Μαγειρίο (κουζίνα)	63	3	63,0
Προθάλαμος	27	2	18,0
Λουτρά	45	3	45,0
Άλλοι χώροι	81	1	27,0
Ολική Διαρροή αερισμού ΣHA			201,0
Ολική Διαρροή θερμοπερατότητας και αερισμού			1046,7

Για μία κατοικία στα νότια προάστια των Αθηνών και σε ετήσια βάση, οι απαιτήσεις θερμότητας για μέση εσωτερική θερμοκρασία 18°C , υπολογίζονται από τις εξισώσεις I.18 και I.5 :

$$\text{Απώλειες θερμοπερατότητας} : Q_\Theta = 24 \times 845,7 \times 946 = 19.200.773 \text{ W.h} = 19.200,773 \text{ kWh}$$

$$\text{Απώλειες αερισμού} : Q_A = 24 \times 201,0 \times 946 = 4.563.504 \text{ W.h} = 4.563,504 \text{ kWh}$$

$$\text{Συνολικές απώλειες} : Q_{\Theta A} = 23.764,3 \text{ kWh}$$

Εάν διαιρεθεί η ετήσια αυτή απαίτηση θερμότητας με το εμβαδόν της κατοικίας (120 m²) τότε η ζήτηση ισούται με 198,0 kWh/m² εκ των οποίων οι 160,0 kWh/m² αντιστοιχούν στις απώλειες θερμοπερατότητας και οι 38 kWh/m² στον αερισμό.

10.4 Εσωτερικά και ηλιακά θερμικά κέρδη

10.4.1 Γενικά

Η τελική ζήτηση θερμότητας Q_Z σε ένα κτίριο δεν ταυτίζεται με τις συνολικές απώλειες θερμότητας $Q_{\Theta A}$ διότι ένα μέρος των απωλειών αυτών καλύπτεται από τα ηλιακά κέρδη και τα εσωτερικά κέρδη.

Τα εσωτερικά κέρδη Q_E περιλαμβάνουν την θερμότητα την οποία εκπέμπουν άνθρωποι, τα φώτα και οι άλλες συσκευές εντός του κτιρίου. Ηλιακά κέρδη Q_H καλούνται τα θερμικά κέρδη της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία εισέρχεται εντός του κτιρίου μέσω παραθύρων ή άλλων διαφανών υαλοστασίων καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

Τα εσωτερικά και τα ηλιακά κέρδη συμβάλουν και αυτά, έστω και κατ' ολίγον, στην θέρμανση του κτιρίου και διά τούτο λαμβάνονται υπ' όψιν από τους κανονισμούς υπολογισμού απαιτήσεων θέρμανσης. Ειδικότερα όμως στα επικαλούμενα βιοκλιματικά κτίρια, τα ηλιακά κέρδη αναλαμβάνουν την κάλυψη ενός μεγάλου μέρους των αναγκών θέρμανσης ενός κτιρίου.

10.4.2 Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη

Ένα άτομο εκπέμπει κατά μέσο όρο θερμότητα περί τα 75 με 90 W ενώ η ισχύς των συσκευών εν λειτουργία μπορεί κυμαίνεται από 2 έως 20 W/m² θερμαινόμενης επιφάνειας : Σε κτίρια κατοικίας τα εσωτερικά φορτία ανθρώπων και συσκευών μπορεί να ληφθούν ίσα με 9 W/m² για τους κυρίους χώρους και την κουζίνα ενώ για τα υπνοδωμάτια και τους βοηθητικούς χώρους ίσα με 3,0 W/m², δηλαδή κατά μέσο όρο ίσα από 5,7 έως 6,8 W/m². Για κτίρια γραφείων η τιμή αυτή ανέρχεται στα 5,7 W/m².

Παράδειγμα 1.5: Για ένα κτίριο κατοικίας 120 m², τα εσωτερικά φορτία παρέχουν καθ' όλη την περίοδο θέρμανσης τα εξής εσωτερικά θερμικά κέρδη από συσκευές και φωτισμό:

$$Q_{\Sigma} = 5,7 \text{ W/m}^2 \times 120 \text{ m}^2 \times 150 \text{ ημέρες} \times 24 \text{ h/ημέρα} = 1.166.400 \text{ Wh} = 1.166,400 \text{ kWh}.$$

Σημειώνεται ότι ο αριθμός 150 αντιστοιχεί στον αριθμό των ημερών της περιόδου θέρμανσης από 1η Νοεμβρίου έως και 31 Μαρτίου, αγνοώντας τις ημέρες θέρμανσης του Απριλίου.

10.4.3 Τα ηλιακά θερμικά κέρδη

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία επί των παραθύρων, είναι συνάρτηση του προσανατολισμού τους. Κατά προσέγγιση η συνολική ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε ένα κατακόρυφο άνοιγμα μπορεί να ληφθεί από τον Πίνακα I.3. για όλη την περίοδο θέρμανσης δηλαδή την περίοδο 1 Νοεμβρίου – 30 Απριλίου για την Νότιο Ελλάδα (Αθήνα, Ηράκλειο) και 1 Οκτωβρίου - 30 Απριλίου για την Βόρειο Ελλάδα (Θεσ/κη, Καστοριά) και την Τρίπολη λόγω υψομέτρου .

Πόλη	Προσανατολισμός		
	A/Δ	NA/ΝΔ	N
Ηράκλειο	353	489	559
Αθήνα	337	485	564
Θεσ/κη	358	518	606
Καστοριά	378	553	649
Τρίπολη	390	555	646

Πίνακας I.2 : Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε kWh, ανά προσανατολισμό παραθύρου κατά την περίοδο θέρμανσης

A : Ανατολικά, Δ: Δυτικά,
NA :Νοτιοανατολικά, ΝΔ Νοτιοδυτικά,
N: Νότια

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία δεν εισέρχεται πλήρως δια μέσου του υαλοπίνακα διότι ένα μέρος αυτής αντανακλάται ενώ άλλο μέρος μπορεί να σκιάζεται από εξωτερικά

εμπόδια όπως πρόβολοι πάνω από το παράθυρο, απέναντι κτίρια ή πλαϊνά εμπόδια. Όλα αυτά εκφράζονται με τον συντελεστή σκίασης F ο οποίος ισούται με το γινόμενο όλων των επιμέρους συντελεστών σκίασης: F_Y για τον Υαλοπίνακα, F_O για Οριζόντιο πρόβολο πάνω από το παράθυρο, F_A για τα Απέναντι Κτίρια και F_{Π} για τις Πλευρικές προεξοχές.

Ο συντελεστής υαλοπίνακα F_Y ισούται με 0,8 για μονά τζάμια με $U=5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 0,72 για διπλά τζάμια με $U=3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ενώ για τους νέους τους ενεργειακούς υαλοπίνακες με $U=2,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ή και μικρότερο, ο συντελεστής F_Y κυμαίνεται περί το 0,6.

Οι συντελεστές σκίασης F_Y , F_A και F_{Π} , μπορεί να κυμαίνονται από 1,0 έως 0, ανάλογα με το μέγεθος των γεωμετρικών στοιχείων τα οποία σκιάζουν τα παράθυρα.

Παράδειγμα I.6: Για την κατοικία της παραγράφου I.3.3 γίνεται η υπόθεση ότι όλα τα παράθυρα και διαφανείς πόρτες έχουν προσανατολισμό Ανατολικό ή Δυτικό. Επίσης γίνεται η υπόθεση ότι τα παράθυρα δεν σκιάζονται από εξωτερικά εμπόδια. Τότε η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία μέσω των παραθύρων καθ' όλη την περίοδο θέρμανσης υπολογίζεται ως εξής :

ΗΛΙΑΚΑ ΚΕΡΔΗ	Επιφάνεια (m^2)	Προσπίπτουσα ηλιακή (kWh)	Συντελεστής σκίασης	Ηλιακό κέρδος kWh
Θυροπαράθυρα με μονό υαλοπίνακα	3,1	337	0,8	835,76
Παράθυρα με διπλό υαλοπίνακα	13,8	337	0,72	3.348,4
			Σύνολο	4184,16

Επομένως το σύνολο των ηλιακών κερδών υπολογίζεται σε $Q_H = 4836,6 \text{ kWh}$.

10.4.4 Θερμική αδράνεια κτιρίου και χρησιμοποίηση κερδών

Τα ανωτέρω ηλιακά και εσωτερικά κέρδη συμβάλλουν στην θέρμανση ενός κτιρίου μόνο κατά ένα ποσοστό η_K το οποίο καλείται **συντελεστής χρησιμοποίησης θερμικών κερδών** και τούτο διότι τα ηλιακά κέρδη δεν προσλαμβάνονται ομαλά και συνεχώς, αλλά πραγματοποιούνται μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας ενώ η απαίτηση θέρμανσης είναι συνεχής ημέρα-νύχτα. Επομένως συχνά τα κέρδη, ηλιακά και εσωτερικά, όταν προσλαμβάνονται, υπερβαίνουν τις απαιτήσεις θέρμανσης κατά την διάρκεια της ημέρας, και

επομένως ένα μέρος αυτών απορρίπτεται εις το περιβάλλον ενώ ένα άλλο μέρος αποθηκεύεται ως θερμότητα στους τοίχους και τα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Η αποθήκευση της θερμότητας είναι ανάλογη της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων η οποία χαρακτηρίζει την «θερμική αδράνεια» του κτιρίου.

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης κερδών η_K εξαρτάται από το λόγο γ_K των συνολικών θερμικών κερδών διά των συνολικών απαιτήσεων θέρμανσης :

$$\gamma_{\Theta} = (Q_H + Q_{\Sigma}) / (Q_{\Theta} + \Theta_A) \quad (I.12)$$

όπου οι απώλειες Q_{Θ} και Θ_A υπολογίζονται στην παράγραφο I.3.1 και I.3.2.

Επίσης εξαρτάται από την θερμική αδράνεια του κτιρίου, δηλαδή την μάζα των δομικών στοιχείων ανά τετραγωνικό μέτρο δαπέδου. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμική αδράνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα του κτιρίου να αποθηκεύει τα θερμικά κέρδη στα δομικά του στοιχεία, ώστε να είναι σε θέση να αποδώσει αργότερα τα κέρδη αυτά, και επομένως να συμβάλει εις την αύξηση του συντελεστή χρησιμοποίησης κερδών η_{Θ} . Η θερμική αδράνεια χαρακτηρίζεται από την παράμετρο α_K η οποία:

$$\alpha_{\Theta} = \alpha_0 + (\tau/\tau_0) = 1,0 + \{Cm / (\sum A_k U_k + \dot{V}/3)\} / \tau_0 \quad (I.13)$$

όπου α_0 είναι σταθερά ίση με 0,8 (δια την εποχιακή μέθοδο υπολογισμού του προτύπου EN 13790), Cm είναι η θερμική αδράνεια του κτιρίου σε $J/(m^2.K)$, χ η χρονική σταθερά του κτιρίου και τ_0 η χρονική σταθερά αναφοράς η οποία λαμβάνεται ίση με 1800s (30 ώρες).

Για τα ελληνικά κτίρια τα οποία χαρακτηρίζονται από βαριές κατασκευές με μεγάλη θερμική αδράνεια, μπορεί να υπολογιστεί ως εξής

$$\alpha_{\Theta} = 0,8 + 3,43 A_{\Delta} / (H_{\Theta} + H_A) \quad (I.14)$$

όπου A_{Δ} είναι επιφάνεια του δαπέδου του κτιρίου σε m^2 , και H_{Θ} και H_A είναι συνολική Διαρροή θερμοπερατότητας και αερισμού αντιστοίχως σε $W/^{\circ}C$, όπως ορίζονται στην παράγραφο I.3.1 και I.3.2.

Βάσει των παραμέτρων αυτών ο συντελεστής η_{Θ} υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\eta_{\Theta} = \frac{1 - \gamma_{\Theta}^{\alpha_{\Theta}}}{1 - \gamma_{\Theta}^{\alpha_{\Theta} + 1}} \quad \text{εάν } \gamma_{\Theta} \neq 1$$

$$\eta_{\Theta} = \frac{\alpha_{\Theta}}{\alpha_{\Theta} + 1} \quad \text{εάν } \gamma_{\Theta} = 1 \quad (I.15)$$

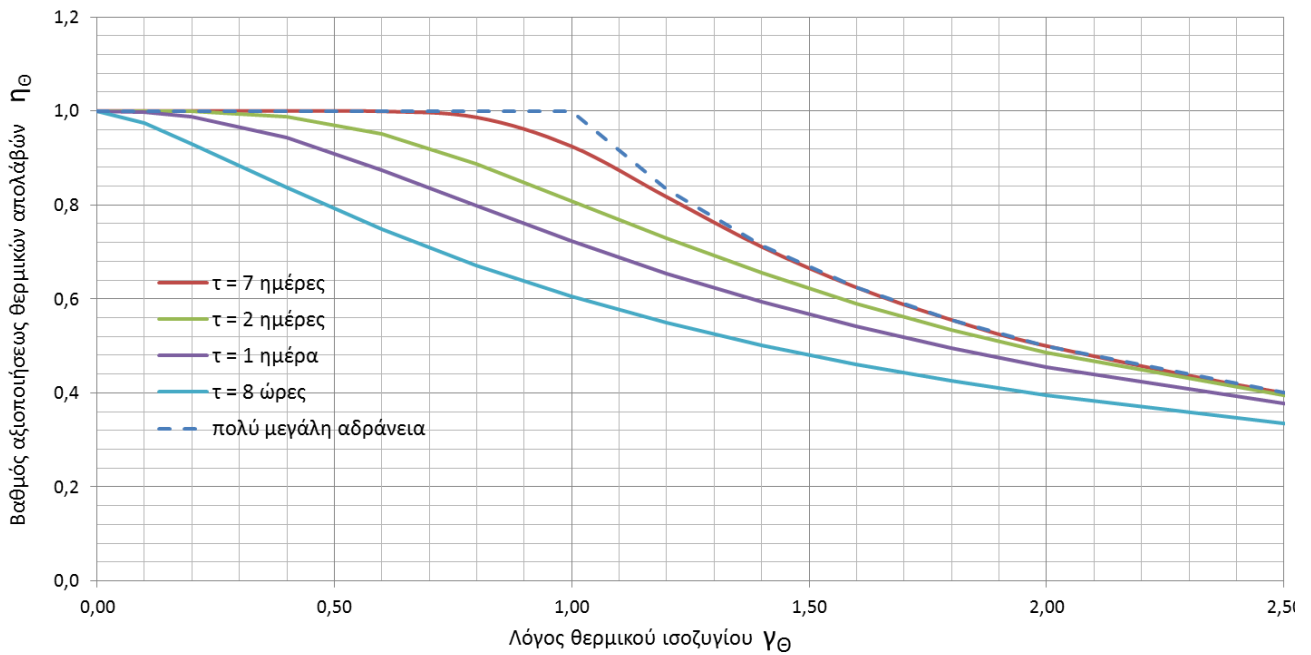
Οι εξισώσεις I.15 δίδονται γραφικώς εις το Σχήμα που ακολουθεί.

Επομένως τα χρησιμοποιήσιμα θερμικά κέρδη υπολογίζονται ως εξής:

$$Q_{\Theta K} = \eta_{\Theta} (Q_H + Q_{\Sigma}) \quad (I.16)$$

Τέλος η ζήτηση θερμότητας ενός κτιρίου Q_Z θα ισούται με τις απώλειες μείον τα κέρδη:

$$Q_Z = Q_{\Theta A} - Q_{\Theta K} = Q_{\Theta A} - \eta_{\Theta} (Q_H + Q_{\Sigma}) \quad (I.17)$$



Παράδειγμα I.7: Εις το παράδειγμα του κτιρίου της παραγράφου I.3.3. οι παράμετροι $\gamma_{\Theta} = (Q_H + Q_{\Sigma}) / (Q_{\Theta} + \Theta_A)$ και α_{Θ} υπολογίζονται ως ακολούθως:

$$\gamma_{\Theta} = (4184,16 + 1166,4) / (19.200,773 + 4.563,504) = 0,225$$

$$\alpha_{\Theta} = 0,8 + 3,43 \cdot 120 / (845,7 + 201) = 1,193$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση I.15 λαμβάνεται $\eta_{\Theta} = 0,864$

Συνεπώς από την I.16 τα χρησιμοποιήσιμα θερμικά κέρδη υπολογίζονται σε $Q_{\Theta K} = (4184,16 + 1166,4) \cdot 0,864 = 4622,3 \text{ kWh}$. Επομένως τα χρήσιμα θερμικά κέρδη αντιστοιχούν στο :

$Q_{\Theta K} / Q_{\Theta A} = 4622,6 / (19.200,773 + 4.563,504) = 19,3\%$ των θερμικών απωλειών του κτιρίου ενώ η ζήτηση θερμότητας του κτιρίου βάσει του τύπου I.17 υπολογίζεται ως :

$$Q_Z = (19.200,773 + 4.563,504) - 4622,3 = 19141,7 \text{ kWh}$$

10.5 Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας με θερμομόνωση αδιαφανών στοιχείων

10.5.1 Γενικά

Με βάση την ενεργειακή ανάλυση του παρόντος κεφαλαίου για την ζήτηση θερμότητας στα κτίρια, είναι δυνατόν να αξιολογηθούν κατά τρόπο οικονομικά συντηρητικό οι επεμβάσεις ενεργειακής θωράκισης οι οποίες αποσκοπούν στην μείωση της ζήτησης θερμότητας. Οι προτάσεις αυτές αφορούν το κέλυφος των κτιρίων και περιλαμβάνουν :

- α' επεμβάσεις εξωτερικής ή εσωτερικής θερμομόνωσης των τοίχων στους τοίχους, της στέγης ή του δαπέδου των κτιρίων
- β' επεμβάσεις αντικατάστασης κουφωμάτων ή υαλοπινάκων στα παράθυρα ή τις υάλινες προσόψεις του κτιρίου με σκοπό την δραστική μείωση των συντελεστών θερμοπερατότητας

γ' επεμβάσεις ανάκτησης θερμότητας του αέρα του εξαερισμού του κτιρίου που απορρίπτεται στο περιβάλλον

10.5.2 Ενεργειακή θωράκιση και η συμβολή των ηλιακών κερδών

Όλες οι επεμβάσεις ενεργειακής θωράκισης, κάνουν ακριβώς αυτό : μειώνουν τις απαιτήσεις θερμότητας $Q_{\Theta A} = Q_{\Theta} + Q_A$, δηλαδή μειώνουν τις απώλειες θερμοπερατότητας και αερισμού. Με την μείωση όμως του $Q_{\Theta A}$ κατά ένα ποσοστό x , αυξάνεται ταυτόχρονα κατά $1/x$ τόσο ο λόγος κερδών/απωλειών $\gamma_K = (Q_H + Q_{\Sigma}) / (Q_{\Theta} + Q_A)$ (τύπος I.25) όσο και η παράμετρος α (τύπος I.26).

Π.χ. μία τυπική επέμβαση εξωτερικής θερμομόνωσης σε ένα κτίριο είναι δυνατόν να επιφέρει μείωση της καταναλώσεως κατά 40% των συνολικών θερμικών απωλειών. Όμως η συνολική μείωση της θερμικής ζήτησης $Q_{\Theta A}$ θα είναι μεγαλύτερη του ποσοστού μείωσης όπως αποδεικνύεται με το ακόλουθο παράδειγμα

Παράδειγμα I.8: Έστω ότι με μία επέμβαση εξωτερικής θερμομόνωσης στη κατοικία της παραγράφου I.3.3, οι συνολικές θερμικές απώλειες μειώνονται κατά 40%. Οι υπολογισμοί του παραδείγματος I.7 αναθεωρούνται με τον μειωτικό πολλαπλασιαστή (1-0,4) έναντι των αρχικών θερμικών απωλειών $Q_{\Theta A}$ και $H_{\Theta A}$ και έχουν ως εξής:

$$\gamma'_{\Theta} = 0,225/0,6 = 0,375$$

$$\alpha'_{\Theta} = 0,8 + 3,43 \cdot 120 \cdot 0,6 / (845,7 + 201) = 1,455$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση I.15 λαμβάνεται $\eta'_{\Theta} = 0,835$. Συνεπώς τα χρησιμοποιήσιμα θερμικά κέρδη υπολογίζονται ως : $Q'_{\Theta K} = (Q_E + Q_H) \cdot \eta'_{\Theta} = (4184,16 + 1166,4) \cdot 0,835 = 4467,6$ kWh. Επομένως τα χρήσιμα θερμικά κέρδη αντιστοιχούν πλέον στο :

$$Q'_{\Theta K} / Q'_{\Theta A} = 4467,6 / \{(19.200,773 + 4.563,504) \cdot 0,6\} = 31,3\%$$

των νέων μειωμένων θερμικών απωλειών του κτιρίου έναντι του παλαιού 19,3%. Δηλαδή μετά την επέμβαση θερμομονώσεως, μειώνονται οι θερμικές απώλειες και επομένως αυξάνει το ποσοστό των εσωτερικών και ηλιακών κερδών τα οποία παραμένουν αναλλοίωτα μετά την επέμβαση.

Τέλος η νέα ζήτηση $Q'_Z = \{(19.200,773 + 4.563,504) \cdot 0,6\} - 4467,6 = 9791$ kWh

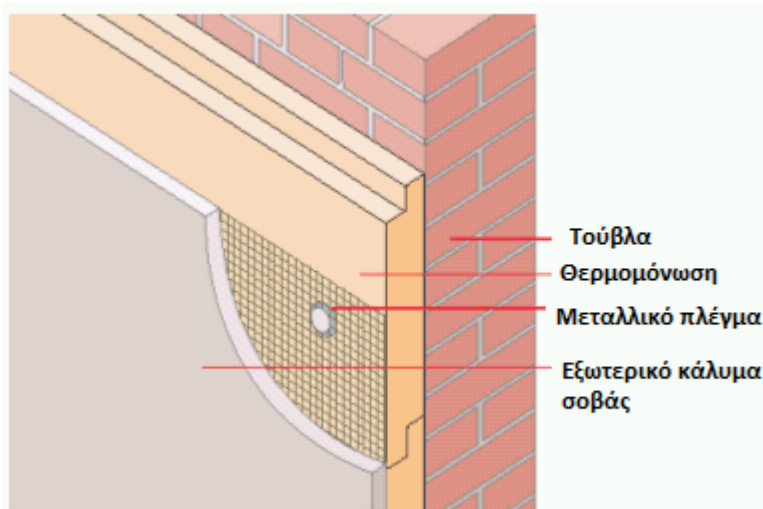
Συγκρίνοντας την ζήτηση αυτή με την παλαιά $Q_Z = 19141,7$ kWh διαπιστώνεται ότι η μείωση της ζήτησης ανέρχεται σε $(19141,7 - 9791) / 19141,7 = 48,9\%$

Από το παράδειγμα I.8 διαπιστώνεται με την επέμβαση της θερμομόνωσης, ενώ οι απώλειες μειώθηκαν κατά 40% το συνολικό ποσοστό μείωσης της ζήτησης ανέρχεται στα 48,9%, λόγω ακριβώς μειώσεων των θερμικών απωλειών και αυξήσεως της συμβολής των θερμικών κερδών εις το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου.

Επομένως η εκτίμηση δια την μείωση του ποσοστού των απωλειών χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν τα θερμικά κέρδη είναι συντηρητική διότι η πραγματική μείωση θα είναι σαφώς μεγαλύτερη. Είναι όμως επίσης απλούστερη και διά τούτο γίνεται αποδεκτή κατά την οικονομική αξιολόγηση θερμομονωτικών επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Η εκτίμηση αυτή δύναται επίσης με βάση τις Διαρροές θερμότητας, όπως αυτές υπολογίστηκαν στην παράγραφο I.3.3, χωρίς την χρήση των βαθμομερών θέρμανσης, μια και αυτές απαλείφονται κατά την εκτίμηση του ποσοστού μείωσης των θερμικών απωλειών.

10.5.3 Θερμομόνωση τοίχων και στεγών

Πριν το έτος 1979, τα κτίρια κατασκευάζονταν στην χώρα μας χωρίς θερμομόνωση. Δια τούτο ο συντελεστής θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων, δηλαδή των τοίχων και των στεγών είναι αμόνωτες και εμφανίζουν συντελεστή θερμοπερατότητας U της τάξεως των $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Μετά το έτος 1979 τέθηκε σε εφαρμογή το Κανονισμός Θερμομόνωσης βάσει του οποίου η μόνωση έγινε υποχρεωτική και οι συντελεστές θερμοπερατότητας περιορίστηκαν μέχρι το $0,5$ για τις στέγες και στο $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ για τους τοίχους. Όμως μετά από την παρέλευση μερικών χρόνων και λόγω ατελειών της κατασκευής, σήμερα η μόνωση αυτή είναι συχνά ανεπαρκής και χαρακτηρίζεται από συντελεστές θερμοπερατότητας της τάξεως του $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.



Με το νέο κανονισμό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) του 2010 οι συντελεστές θερμοπερατότητας περιορίστηκαν περαιτέρω και σήμερα κυμαίνονται περί το $0,4$ με $0,6$ για τους τοίχους και $0,35$ έως $0,55$ για τις οροφές, ανάλογα με την κλιματική ζώνη.

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας δίδεται με τον τύπο Β.16. Ο υπολογισμός του νέου συντελεστή θερμοπερατότητας U'

μετά από θερμομόνωση ενός τοίχου ή στέγης, γίνεται επίσης βάσει του τύπου Β.16:

$$R' = R_{\text{υφιστάμενο}} + R_{\text{νέας μόνωσης}} \rightarrow 1/U' = 1/U + d/\lambda \quad (\text{I.31})$$

Παράδειγμα I.9: Εάν στον μη θερμομονωμένο τοίχο του κτιρίου της παραγράφου I.3.3 με $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, τοποθετήσουμε εξωτερική θερμομόνωση με πλάκες θερμομόνωσης πάχους $d = 7 \text{ cm}$ και αγωγιμότητας $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ τότε ο νέος συντελεστής θερμοπερατότητας του τοίχου υπολογίζεται από την εξίσωση I.10 ως εξής :

$$R' = R_{\text{παλαιός τοίχος}} + R_{\text{νέας μόνωσης}} \rightarrow 1/U' = 1/U + d/\lambda$$

Επομένως $1/U' = 1/U + d/\lambda = 1/2,5 + 0,07/0,035 = 2,4 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$

$$\text{Άρα : } U' = 1/2,4 = 0,412 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Παράδειγμα I.10: Εάν εις το κτίριο της παραγράφου I.3.3 γίνει η θερμομόνωση του Παραδείγματος I.9, η μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης υπολογίζεται ως εξής:

Ποσοστιαία μείωση της θερμοπερατότητας : $(2,5 - 0,412) / 2,5 = 83,5\%$.

Μείωση Διαρροής θερμοπερατότητας τοίχων: $\Delta H_{\Theta} = 296,7 \cdot 83,5\% = 247,6 \text{ W}/^\circ\text{C}$

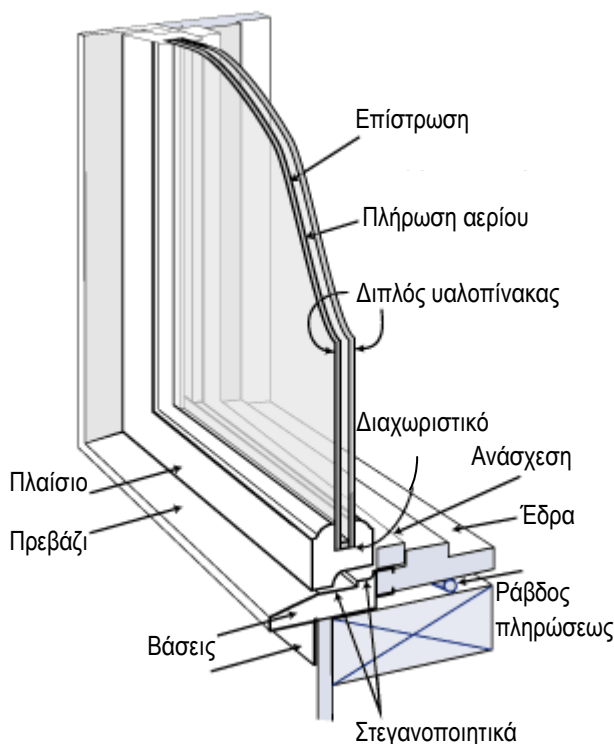
Ποσοστό μείωσης απωλειών : $\Delta H_{\Theta} / (H_{\Theta} + H_A) = 247,6/1046,7 = 23,7\%$.

Μείωση απωλειών ενέργειας : $\Delta Q_{\Theta A} = 23.764,3 \text{ kWh (23,7\%)} = 5627,9 \text{ kWh}$

Σημειώνεται ότι με βάση το Παράδειγμα 1.8, το ποσοστό μείωσης των απαιτήσεων θέρμανσης θα είναι ακόμα μεγαλύτερο (της τάξεως του 25 με 27%) διότι με την μείωση των θερμικών απωλειών αυξάνει η συμβολή των ηλιακών και εσωτερικών κερδών στην κάλυψη των απωλειών θερμότητας.

10.5.4 Αντικατάσταση κουφωμάτων

Οι παλαιοί υαλοπίνακες έχουν μεγάλες απώλειες θερμότητας διότι εμφανίζουν συντελεστές θερμοπερατότητας της τάξεως των 5,0 με 5,5 W/(m².°C). Σήμερα διατίθενται στο εμπόριο καλά και οικονομικά κουφώματα με ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας περί τα 1,8 έως 2,3 W/(m².°C).



Οι νέοι αυτοί υαλοπίνακες διαθέτουν διπλά τζάμια με επίστρωση χαμηλής εκπομπής, δηλαδή επίστρωση η οποία ανακλά προς τα μέσα την υπέρυθη ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από το εσωτερικό του κτιρίου προς τα έξω. Επίσης το διάκενο μεταξύ δύο υαλοπινάκων είναι πληρωμένο με αδρανές αέριο. Το πλαίσιο του κουφώματος διακρίνεται από πολλές κατασκευαστικές λεπτομέρειες η οποίες διακόπτουν την ροή θερμότητας προς τα έξω μέσω του πλαισίου (θερμοδιακοπόμενα πλαίσια).

Ο υπολογισμός των ενεργειακών ωφελειών από την αντικατάσταση των παλαιών κουφωμάτων με νέα είναι ακριβώς ο ίδιος με εκείνο της θερμομόνωσης της παραγράφου 1.6.3 ανωτέρω, σε ότι αφορά τις απώλειες θερμοπερατότητας.

Τα νέα όμως κουφώματα έχουν επιπρόσθετα οφέλη λόγω καλύτερης στεγανοποίησης η οποία περιορίζει σημαντικό τον αθέλητο αερισμό μέσα

από τα κουφώματα. Επίσης επισημαίνεται ότι τα νέα ενεργειακά κουφώματα ενδέχεται να έχουν μικρότερο συντελεστή σκίασης υαλοπίνακα F_g , γεγονός που μειώνει ελαφρώς τα ηλιακά κέρδη του κτιρίου.

Με βάση τα νέα δεδομένα τεχνολογίας κουφωμάτων, εκτιμάται ότι η αντικατάσταση των παλαιών υαλοπινάκων ή κουφωμάτων με νέα κουφώματα συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας U έως 2,5 W/(m².°C) αποτελεί ενεργειακή επέμβαση πρώτης προτεραιότητας.

10.5.5 Αεροστεγάνωση παλαιών κτιρίων και μείωση αθέλητου αερισμού

Όπως παρατηρείται από την παράγραφο 1.3.3., σε ένα αμόνωτο σπίτι οι απώλειες αερισμού φθάνουν περίπου στο 20% των συνολικών θερμικών απωλειών. Αντίθετα σε ένα καλά θερμομονωμένο σπίτι με σύγχρονα κουφώματα, οι απώλειες αερισμού φθάνουν έως και 50%.

Σε κτίρια με έλλειψη αεροστεγανότητας, η περίσσεια αερισμού ή ο αθέλητος αερισμός καταλαμβάνουν συχνά το 50% των απωλειών αερισμού. Διά τούτο μία από τις πρώτες επεμβάσεις σε παλαιά κτίρια είναι η αεροστεγάνωση των παραθύρων και των θυρών με την χρήση στεγανοποιητικών ταινιών ή παρεμβυσμάτων τα οποία προσαρμόζονται κάτω πόρτες

ή σε παράθυρα. Οι επεμβάσεις αυτές είναι άμεσης προτεραιότητας και επιφέρουν σημαντική μείωση στις θερμικές απώλειες αερισμού.

Παράδειγμα I.11: Εάν σε ένα κτίριο α) οι απώλειες αερισμού ανέρχονται στο 20% των συνολικών θερμικών απωλειών όπως συμβαίνει στην περίπτωση του κτιρίου της παραγράφου I.3.3. και β) με την αεροστεγάνωση και την αποφυγή του αθέλητου αερισμού οι απώλειες αυτές μειωθούν κατά 40%, τότε η συνολική μείωση των απαιτήσεων θερμότητας του κτιρίου θα ανέλθει σε 20% (40%) = 8%.

10.6 Ζήτηση για ζεστό νερό χρήσης (ZNX)

Τα συστήματα θέρμανσης, εκτός από την θέρμανση του αέρα του χώρου, συχνά αναλαμβάνουν και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Η συνήθης κατανάλωση ZNX στις κατοικίες ανέρχεται περί τα 50 λίτρα ανά άτομο την ημέρα. Για τα ξενοδοχεία η ημερήσια κατανάλωση κυμαίνεται από 60 έως 100 λίτρα ανά κλίνη, για τα μικρά νοσοκομεία περί τα 80 λίτρα/κλίνη ενώ για τα μεγάλα άνω των 500 κλινών ανέρχεται στα 120 λίτρα ανά κλίνη την ημέρα.

Το ZNX θερμαίνεται προς χρήση στους 45°C, ενώ η θερμοκρασία του κρύου νερού βρύσης ποικίλει κατά περιοχή και εποχή του έτους. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του νερού βρύσης για τις διάφορες κλιματικές ζώνες της χώρας λαμβάνεται ως εξής :

Κλιματικές ζώνες	Θερμοκρασία νερού ύδρευσης (°C)		
	Ιανουάριος	Αύγουστος	Μέση ετήσια
Ζώνη Α : Ηράκλειο	13	26,6	19,3
Ζώνη Β : Αθήνα	10,4	25,8	17,6
Ζώνη Γ : Θεσσαλονίκη	6,5	24,6	15,5
Ζώνη Δ : Φλώρινα	4,2	22,7	13,5

Η απαίτηση θερμότητας για την θέρμανση μάζας νερού m από την θερμοκρασία βρύσης T_B έως την θερμοκρασία χρήσης T_{ZNX} των 45°C υπολογίζεται από τον τύπο :

$$Q_{ZNX} = mc(T_{ZNX} - T_B) \quad (I.30)$$

όπου η θερμοχωρητικότητα του νερού $c = 4,187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η πυκνότητα του νερού σε συνήθεις θερμοκρασίες ισούται με 1,0 kg/λίτρο, τότε εις τον τύπο I.30 είναι δυνατόν αντί της μάζας σε kg να γίνει χρήση του όγκου του νερού σε λίτρα.

Παράδειγμα I.12: Η ετήσια απαίτηση θερμότητας για ζεστό νερό χρήσης σε μία κατοικία τεσσάρων ατόμων υπολογίζεται ως εξής :

$$Q_{ZNX} = 4 \times 80 \text{ λίτρα} \times 365 \text{ (ημέρες ανά έτος)} \times 4,187 \text{ kJ}/(\text{λίτρα} \cdot ^\circ\text{C}) \times (45 - 17,6)^\circ\text{C} = 13.398.779,7 \text{ kJ} = 3721,9 \text{ kWh.}$$

Εάν η κατοικία είναι 120 m² τότε η απαίτηση αυτή αντιστοιχεί σε 31 kWh/m² κατοικίας.

10.7 Βιβλιογραφία

1. H. van Dijk, M. Spiekman and P. de Wilde , A MONTHLY METHOD FOR CALCULATING ENERGY PERFORMANCE IN THE CONTEXT OF EUROPEAN BUILDING REGULATIONS, TNO Building and Construction Research Delft, The Netherlands, Ninth International IBPSA Conference Montréal, Canada August 2005, http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5CIBPSA%5CBS05_0255_26_2.pdf
2. Vincenzo Corrado * , Enrico Fabrizio, «Assessment of building cooling energy need through a quasi-steady state model: Simplified correlation for gain-loss mismatch», Dipartimento di Energetica (DENER), Politecnico di Torino, Energy and Buildings 39 (2007) 569–579
3. ΕΛΟΤ ISO 13790:2008, Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling
4. ISO/DIS 52016-1, Energy performance of buildings — Calculation of the energy needs for heating and cooling, internal temperatures and heating and cooling load in a building or building zone — Part 1: Calculation procedures