

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Υ.Π.ΕΝ.
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ**

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ
ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ
Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017**

**ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟ, ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ & ΨΥΞΗΣ:
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ**

Α΄ έκδοση

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017

Ομάδα εργασίας που αναθέωρησε αυτήν την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε:

Όνοματεπώνυμο

ΒΟΥΓΙΟΥΚΛΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΒΟΥΡΛΙΩΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΔΟΥΚΕΛΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

ΘΕΟΦΥΛΑΚΤΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΚΑΡΕΛΛΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΚΑΤΣΙΜΙΧΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΜΠΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΜΠΡΑΪΜΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΡΟΥΜΠΕΔΑΚΗΣ ΤΡΥΦΩΝ

Ειδικότητα

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός

MSc. Μηχανολόγος Μηχανικός

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός

MSc Μηχανολόγος Μηχανικός

Μηχανολόγος Μηχανικός

MSc Μηχανολόγος Μηχανικός

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ 2017

Στο πλαίσιο της Κοινοτικής Οδηγίας 91/2002/ΕΚ «για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων», η χώρα μας είχε την υποχρέωση να εναρμονιστεί μέχρι τον Ιανουάριο του 2006 με την έκδοση και την εφαρμογή σχετικών νομοθετικών διατάξεων. Το πρώτο βήμα για την εναρμόνισή μας με την Κοινοτική Οδηγία αυτή ήταν η έκδοση του ν. 3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89) «Μέτρα για τη μείωση της Ενεργειακής Κατανάλωσης των Κτιρίων και άλλες διατάξεις». Βάσει του νόμου υπήρχε η υποχρέωση έκδοσης σχετικού «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης κτηρίων» (Κ.Εν.Α.Κ.) στον οποίο, μεταξύ άλλων, θα πρέπει να καθορίζονται οι ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων, καθώς και η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων (ημισταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος του ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 13790 και των λοιπών σχετικών προτύπων). Η οδηγία 91/2002/ΕΚ τροποποιήθηκε από την οδηγία 31/2010/ΕΚ και η εναρμόνισή μας με τη νέα οδηγία έγινε με την έκδοση του νέου νόμου 4122/2013 (ΦΕΚ Α' 42) «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Εναρμόνιση με την οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις».

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) αποτελεί υποχρέωση της χώρας τόσο προς τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κοινοτική Οδηγία), αλλά περισσότερο προς τους πολίτες της. Ο κτιριακός πλούτος της χώρας πρέπει, σύμφωνα με τις σύγχρονες απαιτήσεις διαβίωσης, να αποκτήσει καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά μέσω της σωστής διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο, εκτός από την ασφάλεια και την αισθητική που μέχρι σήμερα ήταν τα κυριότερα στοιχεία ενός κτηρίου, προστίθεται και η μέριμνα, έτσι ώστε η κατανάλωση ενέργειας να είναι κατά το δυνατόν χαμηλότερη, με ταυτόχρονη εξασφάλιση άριστων συνθηκών για τους χρήστες. Η αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας προστατεύει άμεσα και έμμεσα το περιβάλλον, εξοικονομεί ενεργειακούς πόρους και επιπλέον συμβάλλει στην οικονομία όχι μόνο των χρηστών των κτηρίων, αλλά και της ίδιας της χώρας.

Το 2010, το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας αξιοποιώντας το επιστημονικό δυναμικό των Μελών, του κατάρτισε σε συνεργασία με την Πολιτεία τις απαραίτητες Τεχνικές Οδηγίες, οι οποίες εξειδικεύουν τα πρότυπα των μελετών και των επιθεωρήσεων της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, στα Ελληνικά κλιματικά και κτιριακά δεδομένα. Παράλληλα το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας ανέπτυξε ειδικό λογισμικό για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και κατάταξης (βαθμονόμησης) των κτηρίων, τόσο κατά την διαδικασία ενεργειακών επιθεωρήσεων, όσο και κατά την εκπόνηση μελέτης ενεργειακής απόδοσης.

Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας υλοποιώντας τη δέσμευση του για τη συνεχή υποστήριξη της αποτελεσματικής εφαρμογής του Κ.Εν.Α.Κ, συνέβαλε καθοριστικά στην αναθεώρηση του ΚΕΝΑΚ, βάσει των διατάξεων του Ν. 4122/2013, και προχώρησε στην αναθεώρηση των σχετικών Τεχνικών Οδηγιών σε συνεργασία με την Πολιτεία.

Οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους, και τους υπόλοιπους επιστήμονες άλλων ειδικοτήτων, που με όραμα και επιμονή συνέβαλαν καθοριστικά στη διαμόρφωση του Κ.Εν.Α.Κ και των ΤΟΤΕΕ.

Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας ως τεχνικός σύμβουλος της πολιτείας, αλλά και εκπροσωπώντας τα Μέλη του, τους Διπλωματούχους Μηχανικούς, στήριξε και θα συνεχίσει να στηρίζει στο μέλλον την αποτελεσματική εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ.

Ο Πρόεδρος του ΤΕΕ
Γιώργος Ν. Στασινός

Ομάδα εργασίας που συνέταξε αυτήν την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε:

Όνοματεπώνυμο

ΔΑΟΥΤΗΣ ΛΟΥΚΑΣ

Καθ. ΔΙΑΛΥΝΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΘΕΟΦΥΛΑΚΤΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Καθ. ΜΑΛΑΧΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΜΟΙΡΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΜΟΥΜΤΖΗΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ

ΣΩΦΡΟΝΗΣ ΗΛΙΑΣ

ΤΟΣΙΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

Ειδικότητα

Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

MSc. Μηχανολόγος Μηχανικός

Δρ. Ηλεκτρολόγος-Μηχανολόγος
Μηχανικός

Μηχανολόγος Μηχανικός

MSc. Μηχανολόγος Μηχανικός

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός

MSc. Μηχανολόγος Μηχανικός

Συμμετέχοντες

Όνοματεπώνυμο

Καθ. ΦΡΑΓΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. ΧΡΙΣΤΟΣ

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗ ΟΛΓΑ

Ειδικότητα

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός

Ενεργειακός Μηχανικός Τ.Ε.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή απεξάρτηση από τρίτες χώρες και η αναγκαιότητα αναβάθμισης του υπάρχοντος κτηριακού αποθέματος οδήγησαν την Ευρώπη στην έκδοση της κοινοτικής οδηγίας 2002/91/EK περί ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Η χώρα μας, ως όφειλε απέναντι στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κυρίως απέναντι στους πολίτες της, εναρμόνισε την εθνική μας νομοθεσία με την κοινοτική οδηγία, σύμφωνα με τον νόμο 3661/2008.

Προϋπόθεση για την εφαρμογή του νόμου υπήρξε η έκδοση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ) και το προεδρικό διάταγμα που θα καθόριζε τις προδιαγραφές και τις διαδικασίες εφαρμογής του συστήματος των Ενεργειακών Επιθεωρητών των Κτηρίων.

Η προσπάθεια έκδοσής τους διήρκεσε συνολικά τρία χρόνια και έχει πια ολοκληρωθεί. Σε αυτήν τη μακρά πορεία δοκιμάστηκαν πολλά διαφορετικά μοντέλα επιστημονικής μεθοδολογίας και άλλαξαν αμέτρητες φορές οι επί μέρους διατάξεις. Είναι αξιοσημείωτη η μεγάλη καθυστέρηση, ενώ η χώρα, αρκετά χρόνια πριν την έκδοση της κοινοτικής οδηγίας, είχε ανενεργή πλήρη πρόταση και κανονισμό (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.).

Το Τ.Ε.Ε., ως τεχνικός σύμβουλος της πολιτείας και εκπροσωπώντας τα 106.000 πλέον μέλη του, συνέβαλε καθοριστικά στη σύνταξη του Κ.Εν.Α.Κ και των τεχνικών οδηγιών του Τ.Ε.Ε. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.), οι οποίες εξειδικεύουν τα πρότυπα των μελετών και των επιθεωρήσεων της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων στα ελληνικά κλιματικά και κτηριακά δεδομένα. Γι'αυτόν το λόγο, ενεργοποίησε περισσότερους από εκατό επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων, οι οποίοι ανέπτυξαν και ολοκλήρωσαν τις παραπάνω οδηγίες και έθεσαν τις βάσεις, ώστε τα οφέλη του εγχειρήματος εξοικονόμησης ενέργειας να είναι πολλαπλά, δηλαδή

- να είναι η ενεργειακή επιθεώρηση μια ουσιαστική επιθεώρηση αναβάθμισης του κτηριακού αποθέματος και όχι μια γραφειοκρατική, τυπική διαδικασία και
- να αλλάξει η ενεργειακή μελέτη τις ως σήμερα διακριτές μελέτες αρχιτεκτονικών, στατικών και ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και να εισαγάγει στην εκπόνηση των μελετών την ουσιαστική συνεργασία και το κοινό σχεδιασμό, τη συμφιλίωση, δηλαδή, της σύγχρονης αρχιτεκτονικής με την τεχνολογία.

Αξίζει να επισημανθεί η καινοτομία εισαγωγής της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής κτηρίων, μέσω του Κ.Εν.Α.Κ και των Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., στο σχεδιασμό των κτηρίων μας.

Οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους, και τους υπόλοιπους επιστήμονες άλλων ειδικοτήτων, που με όραμα και επιμονή και κυρίως εθελοντική εργασία συνέβαλαν καθοριστικά στη διαμόρφωση του Κ.Εν.Α.Κ και των Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ξεχωρίσω τη συμβολή των παρακάτω συναδέλφων, τους οποίους και αναφέρω αλφαβητικά:

- Γαγλία Αθηνά, Μ.Μ., που καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειας αυτής του Τ.Ε.Ε. κατέβαλε υπεράνθρωπες προσπάθειες
- Γιδάκου Λία, Χ.Μ. στέλεχος Υ.Π.Ε.Κ.Α., που στήριξε πολύπλευρα την προσπάθεια του Τ.Ε.Ε.
- Ευθυμιάδη Απόστολο, Μ.Μ., και την επιτροπή Κ.Εν.Α.Κ του Τ.Ε.Ε., που εισήγαγαν και στήριξαν τη μέθοδο του κτηρίου αναφοράς
- Λάσκο Κώστα, Π.Μ.
- Μαντά Δημήτρη, Μ.Μ.
- Μπαλαρά Κωνσταντίνο, Μ.Μ., διευθυντή Ερευνών Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και
- τον Αραβαντινό Δημήτρη, αναπληρωτή καθηγητή του Α.Π.Θ.,

- τα στελέχη του Κ.Α.Π.Ε.,
- τα στελέχη του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Το Τ.Ε.Ε., υπερήφανο για την έως σήμερα συμβολή του, δεσμεύεται για τη συνέχιση της έκδοσης νέων Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. και την αναβάθμιση των υπαρχουσών.

Το εγχείρημα της εξοικονόμησης ενέργειας, του μεγαλύτερου εγχώριου ενεργειακού κοιτάσματος της χώρας μας, μπορεί να αποτελέσει την αιχμή της προσπάθειάς μας για την ανάταξη του περιβάλλοντος για την αναβάθμιση των φυσικών και τεχνητών συνθηκών της ποιότητας της ζωής μας, για μια νέα παραγωγική δομή, για την ανάπτυξη της χώρας μας.

Ο πρόεδρος του Τ.Ε.Ε.

Χρήστος Σπίρτζης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	11
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	11
ΟΡΙΣΜΟΙ	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΣΗΘ)	17
1.1.ΓΕΝΙΚΑ	17
1.2.ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΘ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΠΟ ΤΟ 1970 ΕΩΣ ΤΟ 2010	18
1.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ	19
2. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, ΣΗΘ, ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	20
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ	28
3.1. ΓΕΝΙΚΑ	28
3.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ	36
3.2.1. ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ	36
3.2.1.1 ΑΕΡΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΚΥΚΛΟΥ ΟΤΤΟ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	38
3.2.1.2 ΜΗΧΑΝΗ DIESEL ΚΑΙ ΛΕΒΗΤΑΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΖΝΧ Η ΑΤΜΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	39
3.2.2. ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ	40
3.2.3. ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ (MICROTURBINE)	44
3.2.4. ΚΥΚΛΟΣ ORC	46
3.2.5. ΜΗΧΑΝΗ STIRLING	49
3.2.5. ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	52
3.2.6.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ	54
3.2.7ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΓΙΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΤΗΡΙΩΝ	57
3.3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ,ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ	60
3.3.1. ΓΕΝΙΚΑ	60
3.3.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	60
3.3.3. ΨΥΞΗ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 'ΝΕΡΟΥ-ΔΙΑΛΥΜΑ ΒΡΩΜΙΟΥΧΟΥ ΛΙΘΙΟΥ (LIBR)	62
3.3.4. ΨΥΞΗ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΜΜΩΝΙΑΣ-ΝΕΡΟΥ (NH ₃ -H ₂ O)	64
3.3.5. ΣΥΝΟΨΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	64

3.3.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ ΜΕ ΨΥΚΤΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ -----	65
3.3.7. ΨΥΞΗ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-----	65
3.3.7.1ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΕΣ -----	66
3.3.7.2ΨΥΚΤΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ -----	67
3.3.7.3ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΨΥΚΤΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ -----	70
3.3.7.4ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΨΥΞΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ-----	73
4. ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΑΕΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΑ -----	75
4.1. ΓΕΝΙΚΑ -----	75
4.2. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ Φ.Α.-----	75
4.3. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ -----	76
4.4. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ -----	76
4.6. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ -----	78
4.7. ΙΣΧΥΟΝΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ Φ.Α. -----	81
5.ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-----	82
5.1. ΓΕΝΙΚΑ -----	82
5.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ -----	83
5.3. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΥΝΔΕΣΗΣ -----	84
5.4. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ -----	88
5.5. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ -----	92
6. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ -----	95
6.1. ΓΕΝΙΚΑ -----	95
6.2. ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΓΟΡΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-----	96
7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΗΘ-----	97
7.1. ΓΕΝΙΚΑ -----	97
7.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΗΘ -----	97
7.3. ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ-----	99
8. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ [14] -----	101
8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-----	101
8.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ -----	101
8.3. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ -----	103

8.3.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΟΡΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ	103
8.3.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΟΡΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ	104
8.3.3. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	105
8.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΗΘ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ	107
8.4.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	107
8.4.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	108
8.5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΗΘ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ	110
9. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΗΘ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ [15]	112
9.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	112
9.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	114
9.2.1. ΚΤΗΡΙΟ ΚΛΙΝΙΚΗΣ	115
9.2.2. ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ	116
9.2.3. ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ	118
10. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ	122
10.1. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗΣ ΣΗΘ	122
10.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗΣ ΣΗΘ	123
10.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΣΗΘ	123
11. ΕΠΙΛΟΓΟΣ [17]	124
12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	126
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	129
Π.1.1. ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ	129
Π.1.2. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ	130
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	131
Π.2. ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	131
Π.2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ [15]	131
Π.2.2. ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΚΩΗΗ ΜΩΗ)	133
Π.2.3. ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΚΩΗΗ ΜΩΗ)	134
Π.2.4. ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΚΩΗΗ ΜΩΗ)	135
Π.2.5. ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (ΚΩΗ Η ΜΩΗ)	135

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ -----	136
Π.3. ΒΑΣΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ -----	136
ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ -----	139

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΔΔ	Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης
ΑΔΓ	Αυτόματος Διακόπτης Γεννήτριας
ΑΘΙ	Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα
ΖΝΧ	Ζεστό Νερό Χρήσης
ΗΕ	Ηλεκτρική Ενέργεια
ΚΘΙ	Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα
ΜΤ	Μέση Τάση
ΣΗΘ	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού & Θερμότητας
ΣΗΘΥΑ	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού & Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας
ΣΚΣ	Σημείο Κοινής Σύνδεσης
ΣΣΔ	Σημείο Σύνδεσης Δίκτυο
ΦΑ	Φυσικό Αέριο
ΧΤ	Χαμηλή Τάση
ΨΑ	Ψύκτης Απορρόφησης
MR-IND	Metering and regulating Station - Industrial
MRS	Measuring & Regulating Station

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Q_x = ανακτώμενη θερμότητα από τον εναλλάκτη των χιτωνίων

Q_k = ανακτώμενη θερμότητα από τα καυσαέρια μέσω του λέβητα

Q_{δ} = απορριπτόμενη θερμότητα στο περιβάλλον από τη μηχανή

Q_{ϵ} = απορριπτόμενη θερμότητα στο περιβάλλον από τα καυσαέρια

Q_w = χρήσιμη θερμική ενέργεια = $Q_x + Q_k$

Q = η προσδιδόμενη θερμότητα

W = η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Nm^3 = Normal Conditions m^3 – Κανονικές Συνθήκες 1 atm 0 °C

Sm^3 = Standard Conditions m^3 – Πρότυπες Συνθήκες 1 atm, 15,5 °C

ΟΡΙΣΜΟΙ

Για την καλύτερη κατανόηση των τεχνικών όρων που παρατίθενται στην παρούσα Τεχνική Οδηγία, δίνονται οι παρακάτω ορισμοί, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και τους ορισμούς της επιστήμης:

- **Αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας:** Εκείνος που παράγει ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των δικών του αναγκών και διακρίνεται σε «συνδεδεμένο» ή «αυτόνομο» ανάλογα εάν ο σταθμός είναι συνδεδεμένος ή όχι με το Δίκτυο.
- **Ανεξάρτητος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας:** Εκείνος που παράγει ηλεκτρική ενέργεια και τη διαθέτει αποκλειστικά στο Δίκτυο.
- **Αργές Μεταβολές της Τάσης:** Είναι οι μεταβολές της τάσης «μόνιμης κατάστασης», οι οποίες εκφράζονται από τις μέσες τιμές 10 λεπτών της ώρας της τάσης (όπως προβλέπεται στο πρότυπο EN 50160) και μπορεί να οφείλονται σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της ισχύος εξόδου των εγκαταστάσεων παραγωγής ή σε μεταβολές του φορτίου του δικτύου. Συχνά χρησιμοποιείται η εκατοστιαία μεταβολή της τάσης, $\varepsilon(\%)$, η οποία εκφράζει τη μεταβολή της τάσης ανηγμένη επί της ονομαστικής τάσης του δικτύου:

$$\varepsilon(\%) = 100 \cdot \frac{\Delta U}{U_n}$$

Εάν ΔU είναι η προκαλούμενη πτώση ή ανύψωση της τάσης επί της σύνθετης αντίστασης βραχυκυκλώσεως του δικτύου εξαιτίας του ρεύματος της σχετικής εγκατάστασης παραγωγής, όπως υπολογίζεται από την επίλυση του ανά φάση ισοδύναμου κυκλώματος, πρέπει να χρησιμοποιείται η ονομαστική φασική τάση και ισχύει:

$$I_w = \frac{V_c}{\sqrt{G_s}}$$

Σημειώνεται ότι για τις συνδέσεις χρηστών στο δίκτυο χαμηλής τάσης (ΧΤ), το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο (ΣΣΔ) συνήθως συμπίπτει με το σημείο κοινής σύνδεσης (ΣΚΣ) και είναι το σημείο εκείνο στο οποίο γίνεται η σύνδεση του καλωδίου παροχής στη γραμμή διανομής. Για την επιλογή του ΣΣΔ μιας νέας σύνδεσης εξετάζεται αρχικά η δυνατότητα σύνδεσης στο πλησιέστερο σημείο του υφισταμένου δικτύου ΧΤ. Εάν αυτό δεν είναι επιτρεπτό, εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσης σε πλησιέστερο προς τον υποσταθμό μέσης τάσης-χαμηλής τάσης (ΜΤ/ΧΤ) σημείο, μέχρι τους ζυγούς ΧΤ. Εάν και πάλι δεν πληρούνται όλες οι απαιτήσεις, η σύνδεση πραγματοποιείται με την κατασκευή ενός νέου υποσταθμού ΜΤ/ΧΤ σε κατάλληλη θέση.

- **Δείκτης Wobbe:**

Ο δείκτης Wobbe (I_w) ή αριθμός Wobbe είναι δείκτης της εναλλαξιμότητας εναλλαγής των αερίων καυσίμων, όπως το φυσικό αέριο, υγραέριο (LPG), και του φυσικού αερίου της πόλης και ορίζεται ως:

$$I_w = \frac{V_c}{\sqrt{G_s}}$$

όπου

V_c είναι η ανώτερη θερμογόνος ικανότητα (ΑΘΙ) του αερίου καυσίμου

G_s είναι το ειδικό βάρος του αερίου καυσίμου.

Διακρίνουμε τον ανώτερο (Is) και τον κατώτερο δείκτη Wobbe (Ii).

Ο δείκτης Wobbe χρησιμοποιείται για να συγκρίνει το ενεργειακό αποτέλεσμα της καύσης αερίων καυσίμων διαφορετικής σύστασης σύνθεσης σε μια συσκευή. Αν δύο καύσιμα έχουν ταυτόσημους Δείκτες Wobbe, για δεδομένη πίεση η παραγωγή ενέργειας θα είναι η ίδια. Κατά κανόνα, παραλλαγές τους μέχρι ποσοστού 5% επιτρέπονται.

Ο δείκτης Wobbe συνήθως εκφράζεται σε BTU/Sft³ ή MJ/ Sm³ (1000 BTU/Sft³= 37,3 MJ/Sm³). Στην περίπτωση του φυσικού αερίου (ΦΑ) (μοριακή μάζα 17 g/mol), η τυπική τιμή του δείκτη είναι περίπου 1.050 BTU/Sft³ και με τη σχετική, ως προς τον αέρα, πυκνότητα του ΦΑ περίπου 0,59, δίνοντας ένα χαρακτηριστικό δείκτη Wobbe, 1.367 BTU/Sft³ (51 MJ/m³). Υπάρχουν τρεις σειρές ή «οικογένειες» καυσίμων αερίων που έχουν συμφωνηθεί διεθνώς με βάση το δείκτη Wobbe:

- οικογένεια 1: καλύπτει τα μεταποιημένα αέρια
- οικογένεια 2: καλύπτει το φυσικό αέριο
- οικογένεια 3: καλύπτει το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG).

Τα χαρακτηριστικά της κάθε οικογένειας συνοψίζονται ακολούθως (Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Οικογένειες καυσίμων

Οικογένεια	Τύπος αερίου	Εύρος δείκτη Wobbe (MJ/Sm ³)
1	Αέριο πόλης /Συνθετικό αέριο	22.5 – 30
2 L	ΦΑ	39 – 45
2 H	ΦΑ	45.5 – 55
3	LPG	73.5 – 87.5

- **Ενέργεια καυσίμου, F_c :** Το σύνολο της ενέργειας καυσίμου (ή καυσίμων) που καταναλώθηκε από τη μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας E_{CHP} και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας, H_{CHP} . Διευκρινίζεται ότι η ενέργεια αυτή υπολογίζεται με βάση την **κατώτερη** θερμογόνο ικανότητα (ΚΘΙ) του καυσίμου.
- **Ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή, E_{CHP} :** Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο μιας διεργασίας συνδεδεμένης με την παραγωγή χρήσιμης θερμικής ενέργειας

και υπολογίζεται σύμφωνα με τη μεθοδολογία όπως αυτή περιγράφεται στην Υ.Α. 15641/14.07.2009, άρθρο 6 (ΦΕΚ Β' 1420).

- **Χρήσιμη θερμική ενέργεια, H_{CHP} :** Η θερμική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο διεργασίας συμπαραγωγής, προκειμένου να ικανοποιήσει μια οικονομικά δικαιολογημένη ζήτηση για θέρμανση ή ψύξη, η οποία καθορίζεται ως η ζήτηση που δεν υπερβαίνει τις ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης και η οποία διαφορετικά θα ικανοποιούταν από διαδικασίες παραγωγής χρήσιμων μορφών ενέργειας διαφορετικές από τη συμπαραγωγή.
- **Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, η_e :** Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τη μονάδα ΣΗΘ προς την ενέργεια καυσίμου, F_C , που καταναλώθηκε από τη μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, E_{CHP} και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας, H_{CHP} .

$$\eta_e = \frac{E_{CHP}}{F_C}$$

- **Θερμικός βαθμός απόδοσης η_h :** Ο λόγος της χρήσιμης θερμικής ενέργειας που προέρχεται από συμπαραγωγή H_{CHP} , προς την ενέργεια καυσίμου, F_C , που καταναλώθηκε από τη μονάδα, για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, E_{CHP} , και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας, H_{CHP} .

$$\eta_h = \frac{H_{CHP}}{F_C}$$

- **Ολικός βαθμός απόδοσης η :** Το άθροισμα του ηλεκτρικού και του θερμικού βαθμού απόδοσης.

$$\eta = \eta_e + \eta_h$$

- **Κατάσταση λειτουργίας πλήρους συμπαραγωγής:** Η κατάσταση λειτουργίας κατά την οποία η μονάδα ΣΗΘ παράγει τη μέγιστη τεχνικά δυνατή χρήσιμη θερμότητα και, συγκεκριμένα, όταν επιτυγχάνει ολικό βαθμό απόδοσης τουλάχιστον ίσο με 80% εάν είναι α) τύπου συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας ή β) ατμοστροβίλος συμπύκνωσης - απομάστευσης, ή τουλάχιστον ίσο με 75% εάν είναι οποιοδήποτε άλλου τύπου.
- **Κατώφλι του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης, $\eta_{κατ}$:** Η ελάχιστη τιμή του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης μονάδας ΣΗΘ, προκειμένου να θεωρηθεί ότι η μονάδα βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας πλήρους συμπαραγωγής. Για συστήματα, εκτός συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας και ατμοστροβίλου συμπύκνωσης-απομάστευσης, $\eta_{κατ} = 75\%$.
- **Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια, C (Power-to-HeatRatio PHR ή σ):** Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή προς τη χρήσιμη θερμική ενέργεια, υπό κατάσταση λειτουργίας πλήρους συμπαραγωγής, όπως υπολογίζεται με χρήση των λειτουργικών δεδομένων της συγκεκριμένης μονάδας.

- **Μονάδα συμπαραγωγής:** Η μονάδα, η δυνάμενη να λειτουργεί κατά τον τρόπο της συμπαραγωγής.
- **Μοναδιαία Εγκατάσταση Συστήματος ΣΗΘ:** Είναι μια εγκατάσταση που περιλαμβάνει μία μονάδα ΣΗΘ, συμπεριλαμβανομένων και όλων των απαιτούμενων για τη λειτουργία της ηλεκτρικών διατάξεων και συσκευών. Το όριο της μοναδιαίας εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ είναι το σημείο στο οποίο είναι συνδεδεμένη με άλλη μοναδιαία εγκατάσταση ή με την υπόλοιπη εγκατάσταση του Χρήστη ή με το Δίκτυο Διανομής.
- **Παραγωγή από συμπαραγωγή:** Το άθροισμα της ηλεκτρικής ή και μηχανικής ενέργειας και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας που παράγονται από τη συμπαραγωγή.
- **Περίοδος αναφοράς:** Η χρονική περίοδος για την οποία ζητείται ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή και του βαθμού απόδοσης της συμπαραγωγής.
- **Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ):** Είναι το πλησιέστερο προς τον εξοπλισμό του συστήματος ΣΗΘ σημείο του δικτύου διανομής, στο οποίο συνδέεται (ή μπορεί να συνδεθεί μελλοντικά) άλλος χρήστης του (Καταναλωτής ή Παραγωγός). Αυτό είναι το σημείο στο οποίο το διασυνδεδετικό δίκτυο του παραγωγού συναντά το 'κοινόχρηστο' δίκτυο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ΣΚΣ αποτελεί το σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό των προκαλούμενων επιπτώσεων στη λειτουργία του δικτύου από την εγκατάσταση παραγωγής.
- **Σημείο Σύνδεσης στο Δίκτυο (ΣΣΔ):** Είναι το σημείο του δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης (ΜΤ) ή Χαμηλής Τάσης (ΧΤ) στο οποίο συνδέεται ο εξοπλισμός του συστήματος ΣΗΘ (Παραγωγός) και ευρίσκεται πάντοτε στην έξοδό του. Στο ΣΣΔ εγκαθίσταται η διάταξη μέτρησης της ενέργειας την οποία απορροφά η εγκατάσταση του αντίστοιχου καταναλωτή από το δίκτυο διανομής. Το ΣΣΔ αποτελεί το φυσικό όριο διαχωρισμού των αρμοδιοτήτων και της ευθύνης μεταξύ του Διαχειριστή του Δικτύου (το 2011:η ΔΕΗ Α.Ε.) και του ιδιοκτήτη του συστήματος ΣΗΘ. Για το δίκτυο ΜΤ, αυτό το φυσικό όριο είναι οι ακροδέκτες των μετασχηματιστών (Μ/Σ) εντάσεως της μέτρησης προς την πλευρά του παραγωγού. Γενικά, το ΣΣΔ και το ΣΚΣ μπορεί να είναι διαφορετικά.
- **Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ):** Η ταυτόχρονη παραγωγή χρήσιμης θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής ή/και μηχανικής ενέργειας από την ίδια αρχική ενέργεια, στο πλαίσιο μόνο μίας διεργασίας.
- **Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ):** Για μονάδες μεγάλης κλίμακας, η συμπαραγωγή που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας τουλάχιστον κατά δέκα τοις εκατό (10%) σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή από μονάδες συμπαραγωγής **μικρής-** και **πολύ μικρής κλίμακας-** που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, ανεξαρτήτως ποσοστού, χαρακτηρίζεται πάντοτε ως **ΣΗΘΥΑ**
- **Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας** Το ποσό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας που παρέχεται από τη ΣΗΘ υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση

$$ΕΠΕ = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_h}{\eta_{h,ref}} + \frac{\eta_e}{\eta_{e,ref}}} \right) \times 100\%$$

Στην παραπάνω εξίσωση, $\eta_{h,av}$ και $\eta_{e,av}$ είναι βαθμοί απόδοσης αναφοράς τεχνολογιών ξεχωριστής παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού

- **Μονάδα συμπαραγωγής μεγάλης κλίμακας** μονάδα συμπαραγωγής με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μεγαλύτερη του 1 MW_e.
- **Μονάδα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας** μονάδα συμπαραγωγής με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ ίση ή μικρότερη του 1 MW_e.
- **Μονάδα συμπαραγωγής πολύ μικρής κλίμακας** μονάδα συμπαραγωγής με μέγιστη ηλεκτρική ισχύ ίση ή μικρότερη από 50 kW_e.
- **Συντελεστής απώλειας ηλεκτρικής ισχύος, β:** Ο συντελεστής που ορίζεται από την εξίσωση:

$$\beta = - \Delta E_c / \Delta H_{CHP}$$

όπου ΔE_c είναι η μεταβολή της ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας εξαιτίας μεταβολής ΔH_{CHP} της χρήσιμης θερμικής ενέργειας της μονάδας συμπαραγωγής. Σε μονάδες ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης – απομάστευσης, θετικό ΔH_{CHP} προκαλεί αρνητικό ΔE_c . Για το λόγο αυτόν τίθεται το αρνητικό πρόσημο στην εξίσωση, ώστε η τιμή του β να είναι θετική. Αν και ο συντελεστής β ορίζεται αρχικά για μονάδες με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης – απομάστευσης, ο ορισμός ισχύει και για οποιοδήποτε σύστημα στο οποίο η αύξηση της παραγωγής χρήσιμης θερμότητας προκαλεί μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΣΗΘ)

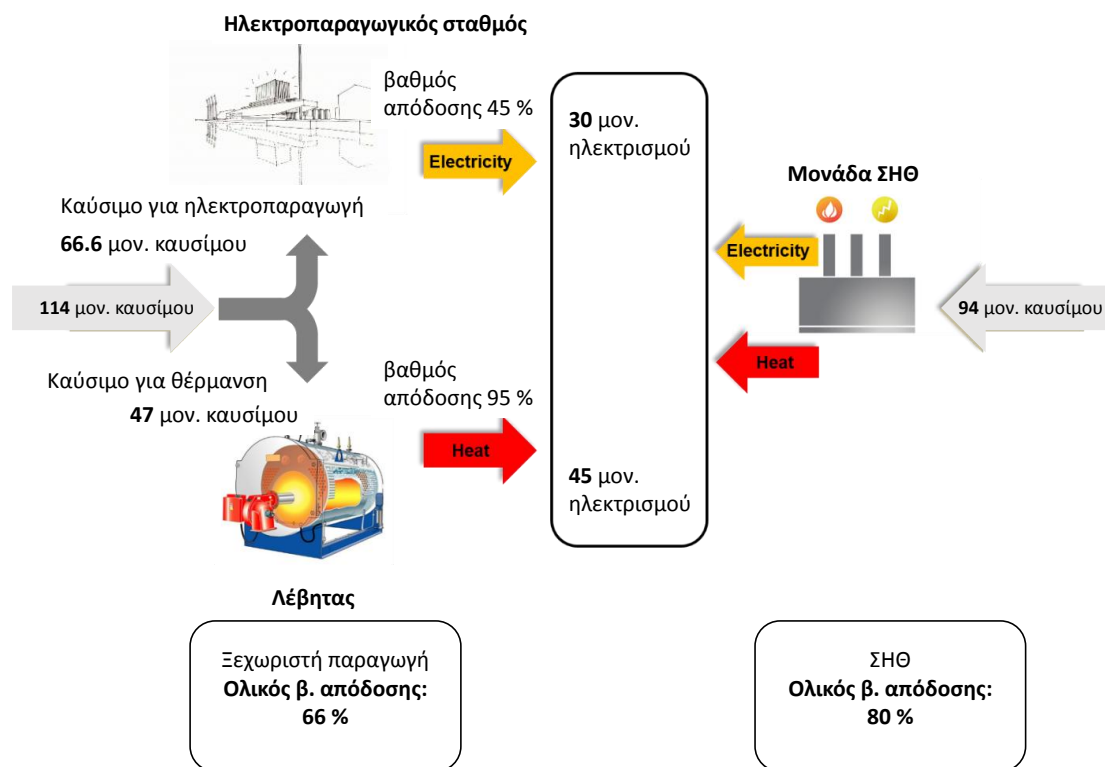
1.1.ΓΕΝΙΚΑ

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή ή μιας ομάδας καταναλωτών είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου σε λέβητα, για την παραγωγή θερμότητας, ζεστού νερού χρήσης (ZNX) ή/και ατμού. Όμως, η μέση απόδοση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 35%, που σημαίνει ότι περίπου τα 2/3 της ενέργειας του καυσίμου χάνονται ως θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτό, σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κ.α.) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70 - 90%, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η συνολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η **Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας** – ΣΗΘ (στα Αγγλικά: Cogeneration (Combined Heat and Power, CHP).

Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τη θέρμανση κτηρίων, την παραγωγή ZNX όσο και για την παραγωγή ψύξης, που επιτυγχάνεται με μηχανές απορρόφησης/προσρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Στην περίπτωση που περιλαμβάνεται και παραγωγή ψύξης, η αντίστοιχη διεργασία καλείται **Τρι-παραγωγή** ή Trigeneration (CombinedCool, HeatandPower, CCHP).

Σύμφωνα με το Ν.3734/09, η ΣΗΘ ορίζεται ως: [1] «**η ταυτόχρονη παραγωγή χρήσιμης θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής (ή/και μηχανικής) από την ίδια αρχική ενέργεια, στο πλαίσιο μόνο μίας διεργασίας**».

Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της ΣΗΘ με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζει το Σχήμα 1.



Σχήμα 1 Ενδεικτική σύγκριση ξεχωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και ενέργειας με ΣΗΘ

Η ΣΗΘ έχει συνολική απόδοση έως 90%, μια τιμή που είναι περίπου 30-40% μεγαλύτερη από τον ολικό βαθμό απόδοσης για την ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από συμβατικά καύσιμα, και έτσι προκύπτει μείωση της τάξης του 30-40% στην κατανάλωση πρωτογενών καυσίμων και στις εκπομπές CO₂. Η υψηλή αυτή αποδοτικότητα παρέχει μια οικονομικά ελκυστική τεχνολογία για τους ενεργειακούς καταναλωτές, με ταυτόχρονη ζήτηση τόσο για θερμότητα όσο και για ηλεκτρική ενέργεια.

1.2. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΗΘ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΠΟ ΤΟ 1970 ΕΩΣ ΤΟ 2010

Η ΣΗΘ πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. στα τέλη του 19^{ου} αιώνα [2]. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες στις ΗΠΑ και την Ευρώπη είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο και άνθρακα, ως καύσιμο, όπου πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές.

Στην Ευρώπη, μεγάλη ανάπτυξη της ΣΗΘ αναφέρεται στη Δανία, τη Φιλανδία, την Ολλανδία κα, που παρουσιάζουν υψηλή ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ [3]. Στις χώρες αυτές, εκτός των μονάδων ΣΗΘ σε μεγάλες βιομηχανίες και σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την τηλεθέρμανση πόλεων, υπάρχουν σημαντικές εγκαταστάσεις ΣΗΘ στον τριτογενή (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, αθλητικά κέντρα, κα), αλλά και στον οικιακό τομέα.

Η ΣΗΘ στην Ελλάδα ξεκινά στις αρχές του 20^{ου} αιώνα (κεραμοποιεία Τσαλαπάτα, Βόλος, που λειτούργησε μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1970). Οι πρώτες σύγχρονες μονάδες

ΣΗΘ εγκαταστάθηκαν σε μεγάλες ελληνικές βιομηχανίες στις αρχές της δεκαετίας του '70. Επίσης, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΔΕΗ τροποποιήθηκαν κατάλληλα, ώστε να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες αστικών περιοχών με δίκτυα τηλεθέρμανσης, όπως αυτά της Κοζάνης, της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου και, τη δεκαετία του '90, αυτό της Μεγαλόπολης. Οι πρώτες Ελληνικές βιομηχανίες που εγκατέστησαν μονάδες ΣΗΘ ήταν η βιομηχανία ζάχαρης, χαρτοποιίας, χαλυβουργίας, καθώς και βιομηχανίες στον τομέα του πετρελαίου.

Την περίοδο 1970-1999 άλλαξε ουσιαστικά η κατάσταση των μονάδων ΣΗΘ στις ελληνικές βιομηχανίες με ποιοτική αλλά και ποσοτική βελτίωση τους. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, με την άφιξη του φυσικού αερίου (ΦΑ) στην Ελλάδα, αναδείχθηκαν οι δυνατότητες που προσφέρει η ΣΗΘ με χρήση ΦΑ.

Σήμερα, λειτουργούν μονάδες ΣΗΘ στη βιομηχανία, στον τριτογενή τομέα (κυρίως σε ιδιωτικά νοσοκομεία, κλινικές και ξενοδοχεία, κα) καθώς και σε πολυκατοικίες αλλά και κατοικίες.

1.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ

Η ΣΗΘ βελτιώνει την παροχή ενέργειας προς όλους τους καταναλωτές, ενώ ταυτόχρονα ωφελεί την Εθνική Οικονομία, αφού έχει:

- Αυξημένη απόδοση μετατροπής και χρήσης της Ενέργειας. Η ΣΗΘ είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής με την ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής ενέργειας.
- Μικρότερες εκπομπές προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα του CO₂, του σημαντικότερου αερίου στο οποίο οφείλεται η κλιματική αλλαγή.
- Σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, παρέχοντας πρόσθετη ανταγωνιστικότητα στη βιομηχανία και στις εμπορικές επιχειρήσεις, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παρέχονται σε προσιτές τιμές.
- Σημαντική ευκαιρία ώστε να προωθηθούν αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί ΣΗΘ σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του συστήματος. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως κύριο καύσιμο.
- Βελτιωμένη ασφάλεια παροχής, που μειώνει τις πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή/ και θερμική ενέργεια.
- Μειωμένη ανάγκη καυσίμων, σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγωγές.
- Αυξημένη απασχόληση, αφού η ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

2. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, ΣΗΘ, ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το νομικό πλαίσιο που διέπει τη Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, ΣΗΘ, από τη δεκαετία του '90 έως το τέλος του 2016, παρουσιάζονται περιληπτικά στον παρακάτω πίνακα. Το πλήρες κείμενο των Νόμων και των Κοινών Υπουργικών Αποφάσεων, ΚΥΑ, δίνονται τόσο στον ιστότοπο της ΡΑΕ όσο και του Ελληνικού Συνδέσμου Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας – ΕΣΣΗΘ [1].

A/A	Νόμος / ΚΥΑ	Τίτλος Νόμου / ΚΥΑ
1	N.2244/1994 ΦΕΚ Α' 168	«Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»
<p>Ο νόμος ουσιαστικά καθόρισε την απελευθέρωση, εν μέρει, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, Η.Ε., από μονάδες παραγωγής ισχύος μέχρι 50 ΜWe, οι οποίες αξιοποιούν ΑΠΕ ή είναι μονάδες ΣΗΘ. Δινόταν επίσης η δυνατότητα ΣΗΘ με φυσικό αέριο. Για τους ανεξάρτητους παραγωγούς, ο Ν.2244/94 προέβλεπε τη δυνατότητα ΣΗΘ, με μονάδες συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο το Φ.Α. και με ισχύ το πολύ ίση με τη θερμική και ψυκτική ισχύ των επιχειρήσεων που εξυπηρετούνται. Για τους αυτοπαραγωγούς, επιτρεπόταν η παραγωγή Η.Ε σε συνδυασμό με παραγωγή θερμότητας / ψύξης με ισχύ σταθμού το πολύ ίση με τη θερμική και ψυκτική ισχύ των εγκαταστάσεων του αυτοπαραγωγού, εφόσον πρόκειται για ΣΗΘ από συμβατικά καύσιμα, και αντίστοιχα χωρίς περιορισμό ισχύος, εφόσον πρόκειται για ενεργειακή αξιοποίηση υποπαραγώνων βιομηχανικού κυκλώματος ή από ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας. Στο νόμο επιδιώχθηκε η προώθηση της ΣΗΘ με την απόδοση κινήτρων και την προσπάθεια απλούστευσης των διαδικασιών και ρυθμιζονταν θέματα σχετικά με τη διάθεση της Η.Ε και τις άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αγοράς της Η.Ε. οριζόταν βάσει του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ και προβλεπόταν ίση με το 60% του σκέλους ενέργειας. Στην περίπτωση της ανεξάρτητης ηλεκτροπαραγωγής με μονάδες ΣΗΘ καύσης ΦΑ, η τιμή αγοράς καθοριζόταν βάσει του τιμολογίου της ΔΕΗ και περιείχε σκέλος ενέργειας (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ) και σκέλος ισχύος (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ). Σχετικά με τις άδειες ο Νόμος προέβλεπε τη γνωμοδότηση της ΔΕΗ για την απορρόφηση της Η.Ε. και των προϋποθέσεων σύνδεσης στο Δίκτυο, διατάξεις του καταργήθηκαν με το Ν.2773/99.</p>		
2	N.2273/1999 ΦΕΚ Α' 286	«Για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας»

<p>Με το νόμο αυτό ρυθμίζονταν και θέματα ΣΗΘ, σύμφωνα με το πνεύμα της Οδηγίας 96/92/ΕΚ, την οποία ο νόμος ενσωμάτωνε στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο. Με τον νόμο προβλεπόταν η δυνατότητα να δίνεται προτεραιότητα από την κατανομή για τη συμπαραγόμενη Η.Ε. και καθορίζονταν τα ελάχιστα κριτήρια απόδοσης για μονάδες ΣΗΘ. Επίσης, ο νόμος, εισήγαγε νέες ρυθμίσεις σχετικά με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενης από ΑΠΕ ή ΣΗΘ.</p>		
3	<p>N.3175/2003 ΦΕΚ Α' 207</p>	<p>«Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις»</p>
<p>Ο νόμος δημιούργησε τις προϋποθέσεις για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού αλλά και για τη διανομή της θερμικής ενέργειας μέσα από δίκτυα θερμότητας, περιγράφοντας τη διαδικασία διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους και καθορίζοντας την αδειοδοτική διαδικασία για τη λειτουργία δικτύων διανομής θερμότητας και ειδικότερα αυτών που σχετίζονται με εγκαταστάσεις ΣΗΘ. Με την άδεια καθορίζονται ο χρόνος ισχύος της, η περιοχή κατασκευής του δικτύου θερμότητας, η τεχνολογία και οι όροι της διανομής θερμότητας στους καταναλωτές. Αν η θερμική ενέργεια παράγεται από εγκαταστάσεις ΣΗΘ, η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μαζί με την Άδεια Παραγωγής Η.Ε.</p>		
4	<p>ΚΥΑ ΥΠΑΝ-ΥΠΕΧΩΔΕ 4 Νοεμβρίου 2004</p>	<p>«Τροποποίηση και συμπλήρωση της αντιστοίχισης των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία»</p>
<p>Η ΚΥΑ αυτή τροποποιεί και συμπληρώνει την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία. Η ΚΥΑ έλυσε το χρόνιο πρόβλημα με την αδειοδότηση της ΣΗΘ σε κτήρια, που προηγουμένα απαγορευόταν λόγω όχλησης.</p>		
5	<p>N. 3468/2006 ΦΕΚ Α' 129</p>	<p>«Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και ΣΗΘ Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) και λοιπές διατάξεις»</p>

<p>Ο νόμος εισήγαγε νέο πλαίσιο για τη χορήγηση άδειας, παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από <u>ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας</u> (ΣΗΘΥΑ). Ο νόμος αναφέρεται ρητά στη ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας, όπως αυτή ορίζεται από την ΚΟ 2004/8/ΕΚ, απλοποιείται η αδειοδοτική διαδικασία για επενδύσεις ΣΗΘΥΑ και τίθενται αποκλειστικές προθεσμίες για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας για έργα ΣΗΘΥΑ. Θεσμοθετείται Κανονισμός Αδειών για την παραγωγή Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ. Καθορίζεται η τιμολόγηση της Η.Ε. που παράγεται από ΣΗΘΥΑ και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, με σκοπό την απεξάρτηση από τα τιμολόγια της ΔΕΗ και τη διασφάλιση των επενδύσεων. Ο νόμος έθεσε νέες βάσεις για την αδειοδότηση έργων ΣΗΘΥΑ, ιδιαίτερα στην έγκριση των περιβαλλοντικών μελετών, θέτει αυστηρότερα κριτήρια για την έγκριση των ΠΠΕ/ΜΠΕ και συντομότερο χρόνο για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων από τις αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες.</p>		
6	<p>N. 3734/2009 ΦΕΚ Α' 8 (όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 23 του Ν. 4351/2015)</p>	<p>«Πρωώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις»</p>
<p>Ο νόμος ενσωμάτωσε πλήρως την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ. Βασικές τομές του νόμου είναι η μέθοδος υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ, ο υπολογισμός αποδοτικότητας της ΣΗΘ. Επίσης σημαντικό σημείο είναι η κατηγοριοποίηση των συστημάτων ΣΗΘΥΑ, ως προς το όριο του 1 MW_e (μικρή ΣΗΘ), εγκρίνοντας ή όχι άπαξ, διάφορους τύπους μηχανών διαφόρων κατασκευαστών, για την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά. Έτσι, ο κάθε επενδυτής θα υποβάλλει μόνο το έγγραφο έγκρισης της μηχανής ΣΗΘΥΑ, σχετικά με την περιβαλλοντική έγκριση.</p>		
7	<p>Υ.Α. 15606/14.07.2009 και 15641/14.07.2009 ΦΕΚ Β' 1420</p>	<p>«Καθορισμός εναρμονισμένων τιμών αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας» - «Καθορισμός λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘ και της αποδοτικότητας ΣΗΘ»</p>
<p>Η πρώτη ΥΑ (δεν ισχύει πλέον) καθορίζει τις εναρμονισμένες τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, τους απαιτούμενους διορθωτικούς συντελεστές για τις τιμές αυτές και η δεύτερη καθορίζει αναλυτικά τον τρόπο υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ με βάση τις κατευθυντήριες οδηγίες της Κ.Ο. 2004/8.</p>		
8	<p>N. 3851/2010 ΦΕΚ Α' 85</p>	<p>«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις»</p>

<p>Ο νόμος ορίζει νέο τρόπο τιμολόγησης της συμπαραγόμενης Η.Ε., από σταθμούς ΣΗΘΥΑ έως 1 MW που χρησιμοποιούν Φ.Α. Κύριο λόγο στην τιμολόγηση έχει η μέση μηνιαία τιμή Φ.Α. (ΜΤΦΑ), καθώς και η απόδοση Η.Ε. του συστήματος ΣΗΘ. Τροποποιεί επίσης πολλές διατάξεις του Ν.3468/2006.</p>		
9	<p>Υ.Α. 14810/04.11.2011 ΦΕΚ Β' 2373</p>	<p>«Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση ΑΠΕ και μέσω ΣΗΘΥΑ».</p>
<p>Η ΥΑ καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, τη διαδικασία για την έκδοση αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ΣΗΘΥΑ.</p>		
10	<p>Ν. 4001/2011 ΦΕΚ Α' 179</p>	<p>«Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογοναθράκων και άλλες ρυθμίσεις»</p>
<p>Το άρθρο 197 του νόμου αναφέρεται στη ΣΗΘΥΑ και στις αλλαγές που έχουν γίνει σε αρκετά άρθρα του Ν. 3468/2006.</p>		
11	<p>Υ.Α. 749/21.03.2012 ΦΕΚ Β' 889</p>	<p>«Τροποποίηση και συμπλήρωση απόφασης ΥΠΕΝ περί καθορισμού των λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ και ρύθμιση θεμάτων σχετικών με την αδειοδότηση των μονάδων παραγωγής Η.Ε. από ΣΗΘ και ΣΗΘΥΑ και τη συμμετοχή τους στην Αγορά Η.Ε. και το Σύστημα Εγγυημένων τιμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ καθώς και την αποζημίωση αυτών»</p>
<p>Η ΥΑ δίνει τις λεπτομέρειες της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ και ρυθμίζει θέματα σχετικά με την αδειοδότηση μονάδων ΣΗΘΥΑ καθώς και τη συμμετοχή τους στην Αγορά Η.Ε. και το Σύστημα Εγγυημένων τιμών ΣΗΘΥΑ και την αποζημίωση αυτών.</p>		
12	<p>Υ.Α. 23278/23.11.2012 ΦΕΚ Β' 3108</p>	<p>«Συμπληρωματικές Διατάξεις για μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας, τύπος και περιεχόμενο Συμπληρωματικών Συμβάσεων Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας Κατανεμόμενων Μονάδων ΣΗΘΥΑ και Τεχνικό Προσάρτημα Μονάδων ΣΗΘΥΑ του Μητρώου Μονάδων ΑΠΕ και ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ»</p>

<p>Με την ΥΑ δημιουργείται Μητρώο Φορέων Πιστοποίησης μονάδων ΣΗΘΥΑ, δίδεται περιεχόμενο Συμπληρωματικών Συμβάσεων και Τεχνικού Προσαρτήματος μονάδων ΣΗΘΥΑ, καθώς και υπολογισμός συμβατικής ποσότητας Ηλεκτρικής Ενέργειας ΣΗΘΥΑ.</p>		
13	<p>N. 4067/2012 ΦΕΚ Α' 79</p>	<p>«Νέος Οικοδομικός Κανονισμός»</p>
<p>Στο νόμο αυτό γίνεται αναφορά για τους τρόπους εγκατάστασης και λειτουργίας συστημάτων ΣΗΘΥΑ σε νέα κτίρια, τόσο για την παραγωγή ΗΕ όσο και θερμικής ενέργειας για θέρμανση και ΖΝΧ.</p>		
14	<p>N. 4122/2013 ΦΕΚ Α' 42</p>	<p>«Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και άλλες διατάξεις»</p>
<p>Αρκετά άρθρα στο νόμο αφορούν στην ενσωμάτωση συστημάτων ΣΗΘΥΑ σε νέα κτίρια τόσο για την παραγωγή ΗΕ όσο και θερμικής ενέργειας, για θέρμανση και ΖΝΧ, με στόχο τη δημιουργία κτιρίων υψηλής ενεργειακής απόδοσης.</p>		
15	<p>ΥΑ Δ5-ΗΛΓ/Φ1/οικ.1183/22.01.2013 ΦΕΚ Β' 192</p>	<p>Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ) με χρήση συμβατικών καυσίμων.</p>
16	<p>N. 4254/2014 ΦΕΚ Α' 85</p>	<p>«Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της Ελληνικής Οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του Ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις»</p>
<p>Στο νόμο αυτό – Υποπαράγραφοι ΙΓ.1, 2, 3, 5 & 8 - αφορούν το καθεστώς στήριξης της ΣΗΘΥΑ, με τιμές αναφοράς, που βασίζονται σε μεθοδολογία, που περιλαμβάνει ένα σταθερό τμήμα ανά κατηγορία ΣΗΘΥΑ και τον συντελεστή ρήτρας, που προκύπτει με βάση τους βαθμούς απόδοσης της εγκατάστασης και την τρέχουσα τιμή αγοράς Φ.Α.</p>		
17	<p>ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ 2015/2402 ΤΗΣ ΕΥΡ. ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ</p>	<p>«Εναρμονισμένες τιμές αναφοράς»</p>
<p>Αναθεώρηση των εναρμονισμένων τιμών αναφοράς ως προς την απόδοση για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, κατ' εφαρμογή της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ.</p>		
18	<p>N. 4342/2015</p>	<p>«Συνταξιοδοτικές ρυθμίσεις, ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ</p>

	ΦΕΚ Α' 143	του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτωβρίου 2012 «Για την ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των Οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των Οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ», όπως τροποποιήθηκε από την Οδηγία 2013/12/ΕΕ του Συμβουλίου της 13ης Μαΐου 2013 «Για την προσαρμογή της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση, λόγω της προσχώρησης της Δημοκρατίας της Κροατίας» και άλλες διατάξεις.»
Με το νόμο ενσωματώθηκε η Οδηγία 2012/27/ΕΕ/2009/27/ΕΕ (με την οποία καταργήθηκε η Οδηγία 2004/8/ΕΚ).		
19	N. 4414/2016 ΦΕΚ Α' 149	«Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής Η.Ε. από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ-Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του ΦΑ και άλλες διατάξεις»

Ο νόμος εφαρμόζεται ένα νέο καθεστώς στήριξης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, με βασική επιδίωξη τη σταδιακή ενσωμάτωση και συμμετοχή των νέων μονάδων ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και της βελτίωσης η οικονομική τους αποδοτικότητά στη βάση της υποστήριξης λειτουργίας της παραγόμενης ενέργειας που λαμβάνουν τα εν λόγω έργα. Ειδικότερα προβλέπονται συγκεκριμένες διατάξεις για τον υπολογισμό της διαφορικής προσαύξησης των έργων που έχουν υποχρέωση συμμετοχής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τα όρια σε επίπεδο εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών που εξαιρούνται από τις υποχρεώσεις αυτές και τι ισχύει για τις περιπτώσεις αυτοπαραγωγών (παρ. 5 και παρ. 16 του άρθρου 3).

Στο άρθρο 4 και στην παράγραφο 1β αναφέρονται οι Τιμές Αναφοράς σε €/MWh για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τις διαφορετικές κατηγορίες σταθμών ΣΗΘΥΑ.

Επιπρόσθετα στο άρθρο 4 και στην παράγραφο 1γ και 1στ περιγράφονται αναλυτικά ο τρόπος προσδιορισμού των ΜΤΦΑ, ο μαθηματικός τύπος που εφαρμόζεται για την Προσαρμογή Τιμής (Π.Τ.), η οποία προκύπτει με βάση τους πρότυπους βαθμούς απόδοσης της εγκατάστασης και την τρέχουσα τιμή αγοράς φυσικού αερίου, καθώς και η διαδικασία με την οποία καθορίζεται για τον αντίστοιχο σταθμό Σ.Η.Θ.Υ.Α. εάν ο παραγωγός ως Χρήστης Φ.Α. είναι πελάτης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή όχι, καθώς και σε ποια από τις κατηγορίες του άρθρου 3 της Υ.Α.15641/14.7.2009 εντάσσεται ο σταθμός αυτός, ενώ στην παράγραφο 1δ παρατίθεται πίνακας με τους πρότυπους βαθμούς αναφοράς που λαμβάνονται υπόψη.

20	<p align="center">N. 4425/2016 ΦΕΚ Α' 185</p>	<p align="center">«Επείγουσες ρυθμίσεις των Υπουργείων Οικονομικών, Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και Εργασίας, Κοινωνικής Ασφάλισης και Κοινωνικής Αλληλεγγύης για την εφαρμογή της συμφωνίας δημοσιονομικών στόχων και διαθρωπικών μεταρρυθμίσεων και άλλες διατάξεις»</p>
<p>Το άρθρο 13 του νόμου αναφέρεται στον τρόπο (με συμβάσεις) πώλησης της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ, εφόσον οι μονάδες είναι διασυνδεδεμένες με το Δίκτυο καθώς και τους κώδικες της Αγοράς που αφορούν την προτεραιότητα που δίνει ο Διαχειριστής σε συστήματα ΣΗΘΥΑ κατά την κατανομή του φορτίου.</p>		
21	<p align="center">Υ.Α. 187480/07.12.2016 ΦΕΚ Β' 3955</p>	<p align="center">“Μεθοδολογία υπολογισμού της ειδικής τιμής αγοράς τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης, κριτήρια και περιορισμοί χορήγησης της προσαύξησης ανάπτυξης</p>

		ετοιμότητας συμμετοχής στην αγορά και διαδικασία χορήγησής της, καθώς και διαδικασία απομείωσης της λειτουργικής ενίσχυσης για τους σταθμούς που έχουν λάβει επενδυτική ενίσχυση κατ' εφαρμογή των άρθρων 3, 5 και 6 του Ν. 4414/2016.
<p>Η ΥΑ παρουσιάζει την αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού της ειδικής τιμής αγοράς για σταθμούς ΣΗΘΥΑ με εγκατεστημένη ισχύ ίσης και μεγαλύτερης των 500kW_e, και τα κριτήρια και περιορισμούς χορήγησης της προσαύξησης ανάπτυξης ετοιμότητας συμμετοχής στην αγορά για τους σταθμούς αυτούς, καθώς και τη μεθοδολογία απομείωσης της λειτουργικής ενίσχυσης σε περίπτωση λήψης επενδυτικής ενίσχυσης για όλους τους σταθμούς ΣΗΘΥΑ</p>		
22	<p>Υ.Α. 187701/12.12.2016 ΦΕΚ Β' 4068</p>	<p>«Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων λειτουργικής ενίσχυσης σταθερής τιμής σταθμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ (πλην υβριδικών σταθμών) στο διασυνδεδεμένο Σύστημα και το διασυνδεδεμένο Δίκτυο, σύμφωνα με την παρα 3 του άρθρου 10 του Ν. 4414/2016»</p>
<p>Η ΥΑ παρουσιάζει λεπτομερώς τον τύπο και το περιεχόμενο σύμβασης λειτουργικής ενίσχυσης, με σταθερή τιμή, σταθμών ΣΗΘΥΑ στο διασυνδεδεμένο Σύστημα και το διασυνδεδεμένο Δίκτυο της χώρας με εγκατεστημένη μικρότερης των 500kW_e.</p>		
23	<p>Υ.Α. 187706/12.12.2016 ΦΕΚ Β' 4072</p>	<p>«Τύπος και περιεχόμενο Συμβάσεων λειτουργικής Ενίσχυσης Διαφορικής Προσαύξησης Σταθμών Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. (πλην υβριδικών σταθμών) στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, σύμφωνα με την παρ. 3 του άρθρου 9 του Ν.4414/2016»</p>
<p>Η ΥΑ παρουσιάζει λεπτομερώς τον τύπο και το περιεχόμενο σύμβασης λειτουργικής ενίσχυσης, με διαφορική προσαύξηση, σταθμών ΣΗΘΥΑ στο διασυνδεδεμένο Σύστημα και το διασυνδεδεμένο Δίκτυο της χώρας με εγκατεστημένη ισχύ ίσης και μεγαλύτερης των 500kW_e.</p>		

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στα κτήρια χρησιμοποιούνται διάφορες μηχανές για εφαρμογή ΣΗΘ, ανάλογα με την κατηγορία του κτηρίου και τα διαθέσιμα καύσιμα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Για να χαρακτηριστεί μια επένδυση βιώσιμη, λαμβάνονται υπόψη ως βασικά στοιχεία για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης/ψύξης/ηλεκτρισμού προς εγκατάσταση, οι απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος, καθώς και οι ώρες λειτουργίας του.

Οι συνηθέστερες μονάδες ΣΗΘ για κτήρια, είναι οι ακόλουθες:

- Παλινδρομικές μηχανές
 - Μηχανή Otto (Αεριομηχανές)
 - Μηχανή Diesel (Πετρελαιομηχανές)
- Ατμοστρόβιλος απομάστευσης, σε ιδιαίτερες περιπτώσεις στον κτηριακό τομέα.
- Αεριοστρόβιλος με λέβητα ανάκτησης θερμότητας
- Μικροστρόβιλος (microturbine)
- Μηχανή Stirling και κύκλος Rankine οργανικού μέσου (ORC)
- Κυψέλη καυσίμου

Τα παραπάνω συστήματα, τα εύρη κλίμακας ισχύος τους καθώς και τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους συνοψίζονται στον Πίνακα 2. Πρέπει να σημειωθεί πως τα εύρη ισχύος που εμφανίζονται στον πίνακα αφορούν γενικότερα τις διάφορες εφαρμογές των τεχνολογιών σε βιομηχανική κλίμακα. Σε πολλές περιπτώσεις, το εύρος ισχύος που είναι κατάλληλο για εφαρμογή σε κτηριακές εφαρμογές αναμένεται να είναι σημαντικά μειωμένο.

Η τελική επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας ΣΗΘ για μια εφαρμογή βασίζεται σε συγκεκριμένες παραμέτρους ανάλογα με την περίπτωση. Οι κυριότερες είναι:

- Κλίμακα ισχύος (ανάλογα με τη ζήτηση θερμότητας και ισχύος)
- Διαθεσιμότητα καυσίμων
- Απαιτήσεις ευελιξίας (χρόνος εκκίνησης, συμπεριφορά σε μερικά φορτία)
- Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ
- Θερμοκρασία ζητούμενης θερμότητας
- Απαιτήσεις συντήρησης
- Κόστος επένδυσης
- Κοινωνικοοικονομικό και πολιτικό πλαίσιο

Στην περίπτωση των κτηρίων, τα οποία και περιλαμβάνουν κυρίως κατοικίες (μονοκατοικίες ή πολυκατοικίες) και κτήρια υπηρεσιών όπως ξενοδοχεία, εμπορικά καταστήματα, κτήρια γραφείων και νοσοκομεία, η κλίμακα ισχύος των εφαρμογών ΣΗΘ κυμαίνεται τυπικά μέχρι και περίπου 2 MW. Οι εφαρμογές ισχύος μικρότερης των 50 kW συνήθως αποκαλούνται εφαρμογές «μικροσυμπαγωγής» ή αλλιώς μΣΗΘ (μCHP). Για

μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογές κάνουμε συνήθως λόγο για «μικρής κλίμακας συμπαραγωγή» (smallscale CHP). Φυσικά τα άνω όρια μεταξύ μΣΗΘ και μικρής κλίμακας ΣΗΘ και μεταξύ μικρής κλίμακας και μεγαλύτερης κλίμακας ΣΗΘ δεν είναι αυστηρά και κυμαίνονται. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2, η κλίμακα ισχύος μιας εφαρμογής αποτελεί ένα βασικό κριτήριο για την επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας.

Επιπλέον, η θερμότητα που παράγεται από ένα σύστημα ΣΗΘ μπορεί να παραχθεί σε διάφορες μορφές, όπως υψηλής ή χαμηλής πίεσης ατμό, θερμό νερό, ή θερμό αέριο. Παράλληλα, με την ενσωμάτωση τεχνολογιών θερμικής ψύξης όπως οι τεχνολογίες απορρόφησης και προσρόφησης είναι δυνατή η μετατροπή των μονάδων ΣΗΘ σε μονάδες τριπαραγωγής, με επιπλέον δηλαδή παραγωγή ψύξης.

Μία ακόμη βασική παράμετρος που διαχωρίζει τις τεχνολογίες ΣΗΘ είναι ο λόγος της ηλεκτρικής προς τη θερμική ισχύ τους. Σε πολλές περιπτώσεις είναι προτιμότερο το σύστημα να σχεδιάζεται ώστε η παραγόμενη θερμική και ηλεκτρική ισχύς να είναι κατά το δυνατόν ίσες με τις καταναλώσεις που καλείται να καλύψει το σύστημα. Ωστόσο, όταν υπάρχουν πολύ μεγάλες θερμικές καταναλώσεις, είναι σύνηθες το σύστημα ΣΗΘ να λειτουργεί σε υψηλότερο φορτίο, υπερκαλύπτοντας την τοπική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψή τους.

Το μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών και τεχνολογιών ΣΗΘ ανήκει στην κατηγορία της μικρής κλίμακας ΣΗΘ, ο οποίος κατά προσέγγιση αναφέρεται σε κλίμακες ισχύος μεταξύ 50-100 kW και 2-10MW. Σε αυτό το εύρος ισχύος, κυριαρχεί η τεχνολογία των παλινδρομικών μηχανών, οι οποίες έχουν σχετικά υψηλούς βαθμούς απόδοσης και χαμηλό κόστος. Ωστόσο, η τεχνολογία αεριοστροβίλου παίζει και αυτή ένα σημαντικό ρόλο, εξασφαλίζοντας ικανοποιητικούς βαθμούς απόδοσης σε κλίμακες της τάξεως των 2MW. Στην κατώτερη περιοχή ισχύος της μικρής κλίμακας ΣΗΘ βρίσκονται οι μικροστρόβιλοι, οι οποίοι μπορούν να εξασφαλίσουν επαρκή βαθμό απόδοσης με την εφαρμογή αναγεννητικών κύκλων. Οι εφαρμογές ατμοστροβίλου έχουν και αυτές τη θέση τους στη μικρής κλίμακας ΣΗΘ, ωστόσο σε τόσο χαμηλά εύρη ισχύος ο βαθμός απόδοσής τους παραμένει χαμηλός. Τέλος, μια ακόμη τεχνολογία είναι οι κυψέλλες καυσίμου. Υπάρχουν πολλά είδη κυψελών καυσίμου στην αγορά ή υπό εξέλιξη, ωστόσο πρόκειται για μια τεχνολογία η οποία θα χρειαστεί ακόμα πολλά χρόνια ωστόσο αποκτήσει ωριμότητα και εμπορική βιωσιμότητα, λόγω του πολύ υψηλού της κόστους.

Παράλληλα, όσον αφορά τη μΣΗΘ, αυτή περιλαμβάνει τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν σε μικρά κτήρια ή μονοκατοικίες. Οι κυριότερες τεχνολογίες μΣΗΘ είναι οι μικρές παλινδρομικές μηχανές, ο κύκλος ORC, η μηχανή Stirling καθώς και οι κυψέλλες καυσίμου μικρής ισχύος. Οι παλινδρομικές μηχανές με μικρή ισχύ, όση αυτή ενός οικογενειακού αυτοκινήτου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή ΣΗΘ σε μικρά κτήρια και έχουν αναπτυχθεί για να λειτουργούν όχι μόνο με φυσικό αέριο, αλλά με αέρια και υγρά βιοκαύσιμα. Μικρότερες μηχανές κάτω των 5 kW μπορούν να βρουν εφαρμογή σε μεγαλύτερες οικίες. Τέτοιας κλίμακας συστήματα μπορούν επίσης να εγκατασταθούν σε πολυκατοικίες, παρέχοντας μια «μικρογραφία» τηλεθέρμανσης. Σε κυρίως οικιακές εφαρμογές μικρής κλίμακας, κυρίαρχο ρόλο παίζει η μηχανή Stirling, η οποία έχει μικρές

απαιτήσεις συντήρησης και υψηλή αξιοπιστία, ενώ μπορεί να λειτουργεί αθόρυβα. Μικρές κυψέλλες καυσίμου έχουν επίσης αναπτυχθεί για αυτή την αγορά και, αν και η τεχνολογία παρουσιάζει ακόμα υψηλό κόστος, έχει σημαντικές προοπτικές να γίνει ανταγωνιστική στο μέλλον.

Το βασικό χαρακτηριστικό των τεχνολογιών μΣΗΘ είναι ο χαμηλός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, που καθιστά πολύ σημαντική την εξισορρόπηση της παραγόμενης θερμότητας και του θερμικού φορτίου. Η αξιοποίηση της θερμότητας που παράγεται από συστήματα ΣΗΘ ποικίλλει. Φυσικά, η ποιότητα της παραγόμενης θερμότητας είναι άμεσα συνδεδεμένη με το βαθμό απόδοσης του συστήματος. Εν γένει, συστήματα που παράγουν ατμό υψηλής πίεσης έχουν το χαμηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης, ενώ στο άλλο άκρο, συστήματα που έχουν σαν στόχο τη θέρμανση αέρα του περιβάλλοντος μπορούν να ανακτήσουν θερμότητα από περισσότερες πηγές, όπως θερμότητα ακτινοβολίας από θερμές επιφάνειες, και έτσι παρουσιάζουν υψηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης.

Πίνακας 2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τεχνολογιών ΣΗΘ

Σύστημα ΣΗΘ (Εύρος ισχύς)	+	-
Παλινδρομικές μηχανές		
Μηχανές Otto 1 kW to 5 MW	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλός βαθμός απόδοσης με ευελιξία σε μερικά φορτία - Ταχεία εκκίνηση - Σχετικά μικρό κόστος επένδυσης 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλό κόστος λειτουργίας - Παραγωγή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας - Σχετικά υψηλές εκπομπές
Μηχανές Diesel 100 kW – 20 MW	<ul style="list-style-type: none"> - Αποτελεσματική δυνατότητα παρακολούθησης φορτίου - Λειτουργία σε χαμηλή πίεση 	<ul style="list-style-type: none"> - Απαίτηση ψύξης - Θόρυβος χαμηλής συχνότητας
Αεριοστρόβιλοι 100kW – 30MW (έως και 500 MW για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές)	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλή αξιοπιστία - Χαμηλές εκπομπές - Διαθεσιμότητα θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία - Δεν υπάρχει απαίτηση ψύξης 	<ul style="list-style-type: none"> - Απαίτηση αέρα υψηλής πίεσης και συμπιεστή - Κακή απόδοση σε μερικά φορτία - Μείωση απόδοσης με αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος
Ατμοστρόβιλοι απομάστευσης 150 kW – εκατοντάδες MW	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλός βαθμός απόδοσης - Ευελιξία καυσίμου - Δυνατότητα εξαγωγής θερμότητας σε πολλαπλές θερμοκρασίες - Μεγάλος χρόνος ζωής και αξιοπιστία - Μεταβλητός λόγος 	<ul style="list-style-type: none"> - Αργή εκκίνηση - Πολύ χαμηλός λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα - Απαίτηση λέβητα ή άλλης πηγής ατμού

	ηλεκτρισμού θερμότητα	προς
Μικροστρόβιλοι 30 kW - 300 kW (μέχρι 1 MW με πολλαπλές μονάδες)	<ul style="list-style-type: none"> - Λίγα κινούμενα μέρη - Μικρό μέγεθος - - Χαμηλές εκπομπές - Μη απαίτηση ψύξης 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλά κόστη - Σχετικά χαμηλός βαθμός απόδοσης - Μειωμένη θερμοκρασία παραγόμενης θερμότητας
Fuel Cells (FC) 5 kW to 2 MW	<ul style="list-style-type: none"> - Χαμηλές εκπομπές και θόρυβος - Υψηλός βαθμός απόδοσης σε μεταβαλλόμενα φορτία - Σπονδυλωτό σχέδιο 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλά κόστη - Απαίτηση επεξεργασίας καυσίμου - Ευαισθησία σε ακαθαρσίες καυσίμου - Χαμηλή συγκέντρωση ισχύος
ORC 1 kW - 3 MW (>10MW με πολλαπλές μονάδες)	<ul style="list-style-type: none"> - Λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες - Ευελιξία καυσίμου - Χαμηλό κόστος συντήρησης - Σπονδυλωτός σχεδιασμός 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλά κόστη - Μικρός λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια - Χαμηλή απόδοση σε χαμηλά φορτία - Εξάρτηση από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
Μηχανή Stirling (SE) 1 kW – 1,5 MW	<ul style="list-style-type: none"> - Λίγα κινούμενα μέρη - Μικρό μέγεθος - Χαμηλές εκπομπές - Μη απαίτηση ψύξης 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλά κόστη - Λειτουργία σε υψηλή θερμοκρασία - Σχετικά χαμηλός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης - Χαμηλή θερμοκρασία παραγωγής θερμότητας

Οι διάφορες παράμετροι αξιολόγησης των συστημάτων ΣΗΘ αναλύονται ακολούθως.

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ποικίλλει ανάλογα με την τεχνολογία ΣΗΘ καθώς και το μέγεθος των συστημάτων. Τα μεγαλύτερα συστήματα έχουν γενικά υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τα μικρότερης κλίμακας. Αν και υπάρχει αλληλοεπικάλυψη στο εύρος των βαθμών απόδοσης διάφορων τεχνολογιών, σε γενικές γραμμές οι υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης επιτυγχάνονται με τις κυψέλλες καυσίμου. Ακολουθούν οι ατμοστρόβιλοι, οι μεγάλες παλινδρομικές μηχανές, οι αεριοστρόβιλοι απλού κύκλου, οι μικροστρόβιλοι και τέλος τα συστήματα ORC και οι μηχανές Stirling.

Συνολικός βαθμός απόδοσης συμπαραγωγής

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης ΣΗΘ είναι παρόμοιος για τις διάφορες τεχνολογίες. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ΣΗΘ είναι ότι οι χαμηλοί ηλεκτρικοί βαθμοί απόδοσης οδηγούν σε αύξηση της θερμότητας που μπορεί να αξιοποιηθεί σε θερμικές διεργασίες. Κατά

συνέπεια, ο συνολικός βαθμός απόδοσης ΣΗΘ παραμένει εν γένει σε ένα εύρος 65-80%. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης εξαρτάται από την ποιότητα της παραγόμενης θερμότητας. Οι ατμοστρόβιλοι που παράγουν ατμό υψηλής πίεσης έχουν χαμηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης από τους μικροστρόβιλους, τις παλινδρομικές μηχανές και τις κυψέλλες καυσίμου, όταν οι τελευταίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ζεστού νερού.

Κόστη επένδυσης

Τα κόστη επένδυσης περιλαμβάνουν τον εξοπλισμό (ηλεκτροπαραγωγική μηχανή, σύστημα ανάκτησης θερμότητας και ψύξης, σύστημα προσαγωγής καυσίμου, συστήματα ελέγχου, ηλεκτρολογικό εξοπλισμό και διασύνδεση με το δίκτυο), το κόστος εγκατάστασής του, το κόστος μελέτης και διαχείρισης του έργου κλπ. Τα κόστη εξαρτώνται και από την τοποθεσία του συστήματος. Γενικότερα, τα χαμηλότερα κόστη εμφανίζονται για καθιερωμένες ώριμες τεχνολογίες (παλινδρομικές μηχανές, αεριοστρόβιλους, ατμοστρόβιλους), ενώ τα υψηλότερα για μικρότερης κλίμακας ισχύος, νέες τεχνολογίες (ORC, μικροστρόβιλοι και κυψέλες καυσίμου). Επιπλέον, μεγαλύτερης κλίμακας συστήματα ΣΗΘ έχουν χαμηλότερα ειδικά κόστη επένδυσης από μικρότερης κλίμακας.

Κόστη συντήρησης και λειτουργίας

Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν κόστη επιθεωρήσεων ρουτίνας, προγραμματισμένες διορθωτικές τροποποιήσεις, προληπτική συντήρηση καθώς και εργατικά. Όπως ισχύει και για τα κόστη επένδυσης, υπάρχει μία τάση τα ειδικά κόστη να ελαττώνονται για μεγαλύτερα συστήματα. Οι αεριοστρόβιλοι και οι μικροστρόβιλοι έχουν τα μικρότερα κόστη συντήρησης και λειτουργίας σε σχέση με παλινδρομικές μηχανές ίδιας ισχύος. Οι κυψέλες καυσίμου έχει δειχθεί στην πράξη πως έχουν υψηλά κόστη συντήρησης και λειτουργίας, εξαιτίας της ανάγκης για περιοδική αντικατάσταση της στοιβας τους.

Χρόνος εκκίνησης

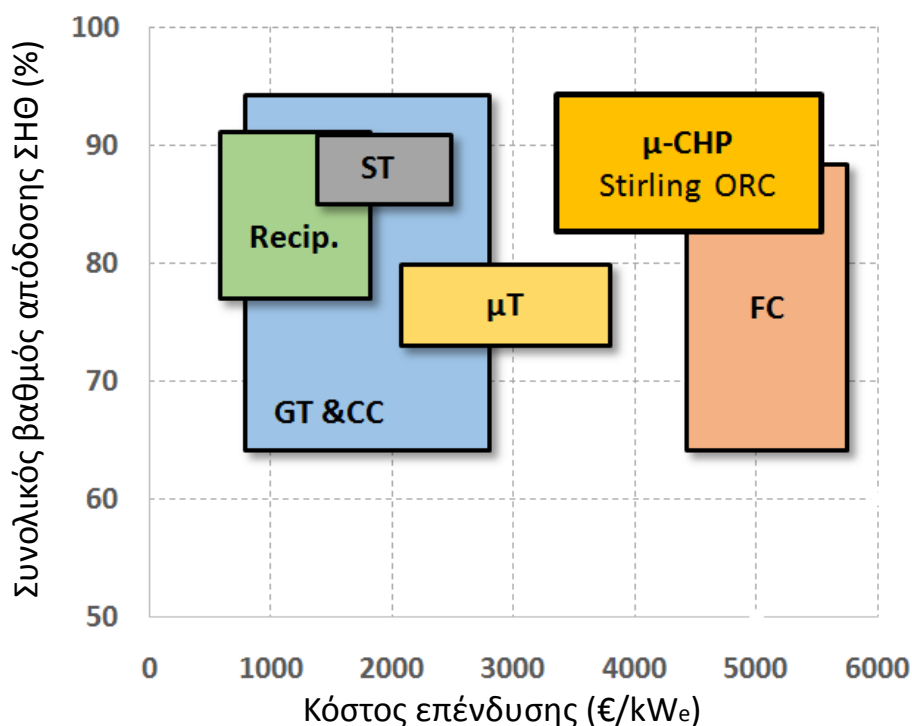
Ο χρόνος εκκίνησης για τις διάφορες τεχνολογίες μπορεί να ποικίλλει σημαντικά. Οι παλινδρομικές μηχανές έχουν τη δυνατότητα ταχύτερης γρήγορης εκκίνησης, που τους επιτρέπει την έγκαιρη ανάκτηση λειτουργίας μετά από εργασίες συντήρησης. Σε εφαρμογές παρακολούθησης αιχμής φορτίου ή λειτουργίας εκτάκτου ανάγκης, οι παλινδρομικές μηχανές μπορούν να παρέχουν άμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Οι μικροστρόβιλοι και οι αεριοστρόβιλοι έχουν σχετικά βραδύτερο χρόνο εκκίνησης, καθώς χρειάζεται ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα μέχρι να φτάσει ο στρόβιλος σε ταχύτητα λειτουργίας. Επιπλέον, ζητήματα ανάκτησης θερμότητας (θερμική αδράνεια) μπορεί να περιορίσουν τους χρόνους εκκίνησης αυτών των συστημάτων. Οι ατμοστρόβιλοι, με τη σειρά τους, απαιτούν μακρές περιόδους προθέρμανσης προκειμένου να μπορούν να τεθούν σε αξιόπιστη λειτουργία και να αποτραπούν υπερβολικές θερμικές διαστολές και καταπονήσεις. Οι κυψέλες καυσίμου έχουν σχετικά μακρύτερους χρόνους εκκίνησης (ειδικά για τα συστήματα που χρησιμοποιούν καταλύτες υψηλής

θερμοκρασίας). Οι μακρύτεροι χρόνοι εκκίνησης των ατμοστρόβιλων και των κυψελών καυσίμου κάνουν τις τεχνολογίες αυτές λιγότερο ελκυστικές για παρακολούθηση φορτίων.

Διαθεσιμότητα

Η διαθεσιμότητα υποδηλώνει το χρόνο κατά τον οποίο μία μονάδα μπορεί να χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και ατμού. Η διαθεσιμότητα γενικά εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας. Οι μετρήσεις εγκατεστημένων συστημάτων έχουν δείξει ότι η διαθεσιμότητα των αεριοστρόβιλων, των ατμοστρόβιλων και των παλινδρομικών μηχανών είναι συνήθως υψηλότερη από 95 %. Οι πρώιμες μονάδες κυψελών καυσίμου και μικροστρόβιλων είχαν προβλήματα ως προς τη διαθεσιμότητά τους. Ωστόσο, οι νεότερες εμπορικές μονάδες έχουν διαθεσιμότητα που ξεπερνάει το 95%.

Στο Σχήμα 2, απεικονίζονται συνήθεις τιμές κόστους επένδυσης και συνολικού βαθμού απόδοσης των διαφόρων τεχνολογιών ΣΗΘ.

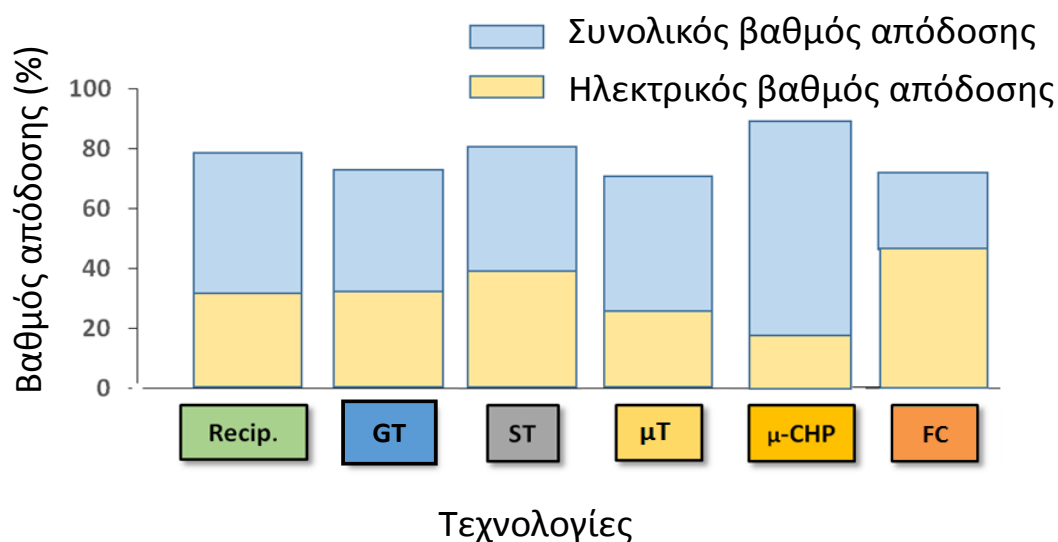


Σχήμα 2 Εύρη κόστους επένδυσης και συνολικού βαθμού απόδοσης των εμπορικά διαθέσιμων τεχνολογιών ΣΗΘ. Recip: Παλινδρομικές μηχανές, ST: ατμοστρόβιλο, μΤ: μικροστρόβιλο, FC: κυψέλλες καυσίμου, GT&CC: μονάδες αεριοστρόβιλου και συνδυασμένου κύκλου, μ-CHP: συστήματα Stirling και ORC

Όπως μπορεί να φανεί και από το παραπάνω σχήμα, οι αεριοστρόβιλοι, οι παλινδρομικές μηχανές καθώς και οι ατμοστρόβιλοι έχουν το μικρότερο κόστος επένδυσης, με ειδικά κόστη χαμηλότερα από 1000 €/kWe. Μεταξύ αυτών των τεχνολογιών, οι ατμοστρόβιλοι και οι

παλινδρομικές μηχανές έχουν σταθερά τον υψηλότερο συνολικό βαθμό απόδοσης ΣΗΘ. Παρόλα αυτά, οι αεριοστρόβιλοι μπορούν να φτάσουν σε υψηλότερους βαθμούς απόδοσης, που μπορεί να ξεπεράσει το 90 %. Οι κυψέλες καυσίμου και τα συστήματα μικροσυμπαγωγής είναι προς το παρόν συγκριτικά ακριβότερα, με ειδικά κόστη επένδυσης που μπορεί να ξεπεράσουν τα 4000-5000 €/kW_e, και να φτάσουν ακόμα και τα 6000 €/kW_e, στην περίπτωση των κυψελών καυσίμου. Τα συστήματα μικροσυμπαγωγής προς το παρόν έχουν τους υψηλότερους συνολικούς βαθμούς απόδοσης, που είναι συγκρίσιμοι με αυτούς των αεριοστρόβιλων. Από την άλλη, τα συστήματα κυψελών καυσίμου δεν έχουν φτάσει ακόμα βαθμούς απόδοσης που να ξεπερνούν το 90%. Στο μεσαίο εύρος κόστους και βαθμού απόδοσης βρίσκονται οι μικροστρόβιλοι, με κόστη που κατά μέσο όρο κυμαίνονται γύρω στις 3000 €/kW, αλλά με χαμηλές αλλά σταθερές αποδόσεις στο εύρος μεταξύ 75-80%.

Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται ο ηλεκτρικός και ο συνολικός βαθμός απόδοσης των τεχνολογιών ΣΗΘ.



Σχήμα 3 Σύγκριση ηλεκτρικού και θερμικού βαθμού απόδοσης τεχνολογιών ΣΗΘ. Recip: Παλινδρομικές μηχανές, ST: ατμοστρόβιλοι, μT: μικροστρόβιλοι, FC: κυψέλες καυσίμου, GT: μονάδες αεριοστρόβιλου, μ-CHP: συστήματα Stirling και ORC

Στη συνέχεια (Πίνακας 3) συνοψίζονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών ΣΗΘ.

Πίνακας 3 Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών ΣΗΘ

Σύστημα ΣΗΘ	Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ	Χρόνος εκκίνησης
Παλινδρομικές μηχανές	0.5 - 2	10 δευτερόλεπτα
Αεριοστρόβιλοι και μονάδες συνδυασμένου κύκλου	0.6 – 1.1	10 λεπτά - 1 ώρα
Ατμοστρόβιλοι	0.07 – 0.3	1 ώρα - 1 μέρα
Μικροστρόβιλοι	0.2 – 0.5	60 δευτερόλεπτα
ORC-Stirling	0.1 – 0.4	20 λεπτά –1 ώρα
Κυψέλλες καυσίμου	1-2	3 ώρες - 2 μέρες

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης θερμότητας ανά τεχνολογία ΣΗΘ.

Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά παραγόμενης θερμότητας ανά τεχνολογία ΣΗΘ

ΒΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (°C)
ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ	Θ.Ν Α.Χ.Π	400 – 450
ΜΗΧΑΝΗ DIESEL	Θ.Ν Α.Χ.Π	320 – 450
ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	Θ.Ν Α.Χ.Π Α.Μ.Π	400 – 600
ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	Θ.Ν	200 – 300
ΚΥΚΛΟΣ ORC ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗ STIRLING	Θ.Ν	400 - 500
ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	Θ.Ν Α.Χ.Π Α.Μ.Π	140 - 200
ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ	Α.Χ.Π Α.Μ.Π	180 – 200

Θ.Ν. = Θερμό Νερό
Α.Χ.Π. = Ατμός Χαμηλής Πίεσης
Α.Μ.Π. = Ατμός Μέσης Πίεσης

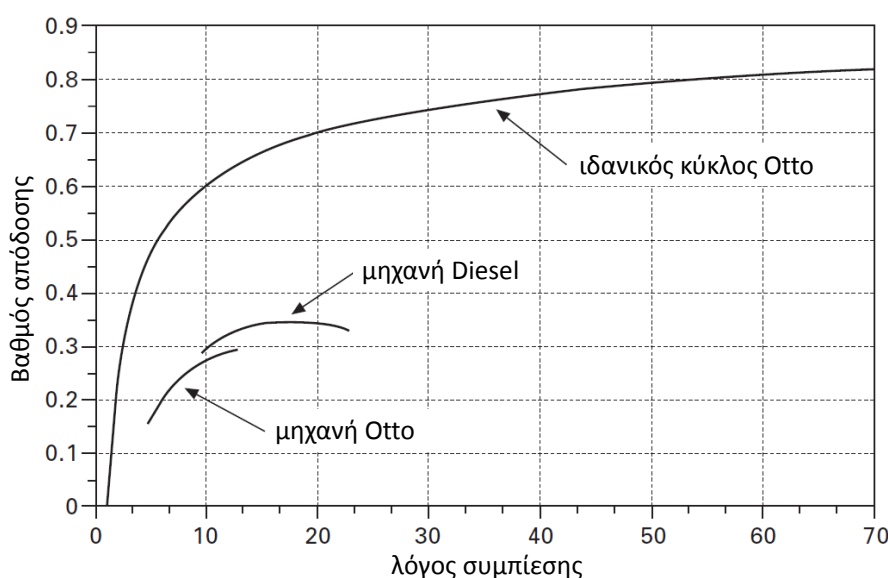
3.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ

3.2.1. Παλινδρομικές μηχανές

Οι παλινδρομικές μηχανές αποτελούν περισσότερο από το 50 % των υφιστάμενων εφαρμογών ΣΗΘ. Ωστόσο, λόγω της μικρότερης κλίμακας ισχύος τους, αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 5 % της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Οι παλινδρομικές μηχανές παρουσιάζουν ποικίλα μεγέθη, από συσκευές χειρός μέχρι και πολύ μεγάλους κινητήρες πλοίων. Η τεχνολογία υφίσταται για περισσότερα από 100 έτη και συνεπώς η ωριμότητα καθώς και τα υψηλά επίπεδα παραγωγής ισχύος τους τις καθιστούν τις μια σχετικά φθηνή και αξιόπιστη εφαρμογή. Οι τεχνολογικές βελτιώσεις που έλαβαν χώρα τα τελευταία 30 χρόνια έχουν επιτρέψει στις μηχανές αυτές να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις υψηλού βαθμού

απόδοσης και χαμηλών εκπομπών των σύγχρονων εφαρμογών ΣΗΘ. Επιπλέον, η θερμοκρασία των καυσαερίων των παλινδρομικών μηχανών τις καθιστούν ιδανικές για την παραγωγή ζεστού νερού. Πρόσθετα πλεονεκτήματα αποτελούν ο υψηλός λόγος ισχύος προς βάρος τους, καθώς και η πολύ αποτελεσματική δυναμική λειτουργία τους.

Οι παλινδρομικές μηχανές διακρίνονται στις μηχανές ΟΤΤΟ (σπινθήρα) και DIESEL. Οι μηχανές ΟΤΤΟ εμφανίζονται κυρίως σε μικρότερης κλίμακας εφαρμογές. Σε μονάδες μικρής κλίμακας έως 1 MW, αλλά και στις μονάδες μεσαίας κλίμακας οι οποίες ορίζονται μέχρι τα 6 MW, χρησιμοποιούνται αεριομηχανές και κινητήρες DIESEL. Σε μονάδες μεγάλης κλίμακας άνω των 6 MW, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά εμβολοφόρες μηχανές DIESEL. Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 4) απεικονίζεται η μεταβολή του βαθμού απόδοσης των δύο αυτών κατηγοριών παλινδρομικών μηχανών συναρτήσει του λόγου συμπίεσής τους.



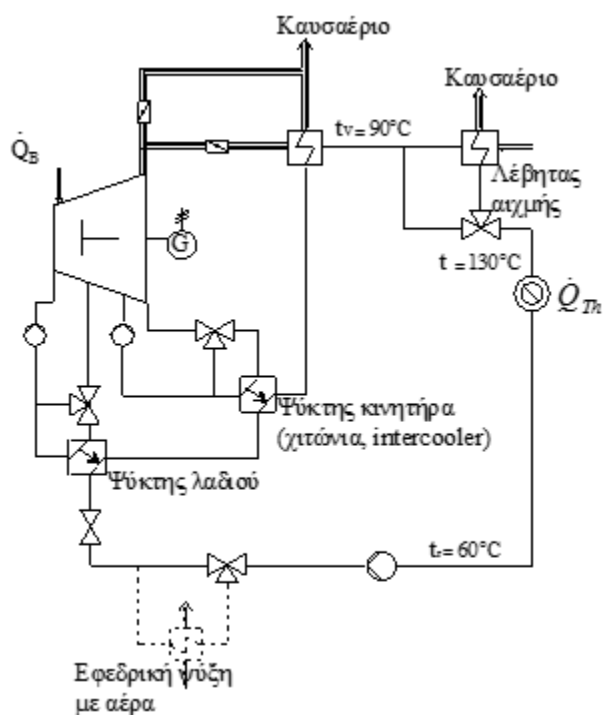
Σχήμα 4 Βαθμοί απόδοσης παλινδρομικών μηχανών

Σε γενικές γραμμές, η λειτουργία τέτοιων μονάδων συμπαραγωγής, όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 5 γίνεται ως εξής:

- Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από γεννήτρια η οποία είναι συνδεδεμένη με τον κινητήρα. Ο κινητήρας καίει καύσιμο εντός των κυλίνδρων του και αξιοποιώντας το έργο που παράγεται από την καύση, το μετατρέπει σε μηχανικό έργο στον άξονά του. Το έργο αυτό μεταφέρεται στον άξονα της γεννήτριας και έτσι παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο.

- Η θερμική ενέργεια παράγεται, αξιοποιώντας την απορριπτόμενη θερμότητα του κινητήρα. Κύρια πηγή θερμότητας είναι τα καυσαέρια της μηχανής. Παράλληλα όμως μια εμβολοφόρος μηχανή, κυρίως σε επίπεδο ηλεκτροπαραγωγής, έχει και άλλα εξαρτήματα για την απόρριψη θερμότητας από το σύστημά της, η οποία είναι αναγκαία για την ομαλή λειτουργία της. Τέτοια συστήματα, είναι κυρίως τα διάφορα ψυγεία (ψυγείο λαδιού, νερού και αέρα υπερπλήρωσης), όπως φαίνονται και στο Σχήμα 5. Η διαδικασία της παραγωγής θερμότητας εκκινεί με την απαγωγή θερμότητας από τα ψυγεία και κατόπιν ακολουθεί η

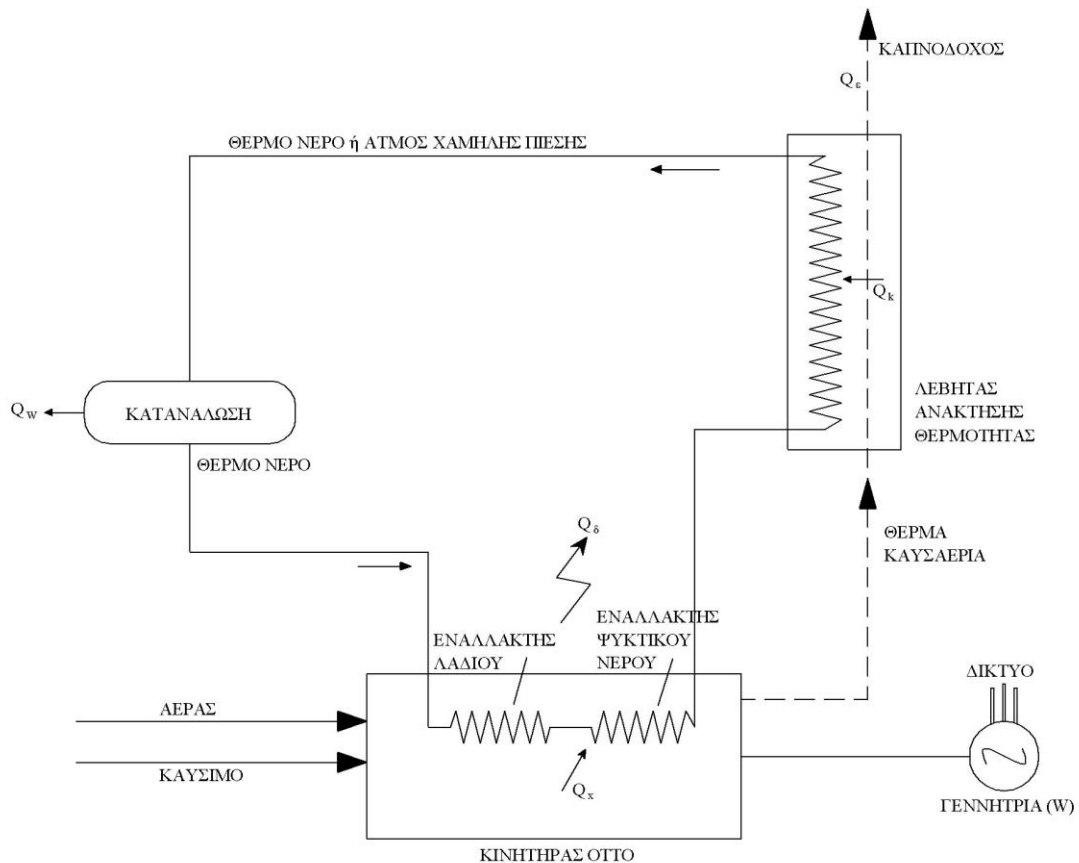
υπερθέρμανση του μέσου (συνήθως νερό), μέσω των καυσαερίων. Το ρευστό (νερό, ατμός), μετά την θέρμανσή του από τα καυσαέρια, είναι κατάλληλο για χρήση σε θερμικές διεργασίες. Σε μερικές περιπτώσεις αναλόγως βέβαια και με τις θερμικές ανάγκες της θερμικής κατανάλωσης, προστίθεται και ένας βοηθητικός μηχανισμός π.χ. λέβητας αιχμής για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών.



Σχήμα 5 Σύστημα συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή [24]

3.2.1.1 Αεριομηχανές κύκλου ΟΤΤΟ με λέβητα ανάκτησης θερμότητας

Οι κινητήρες ΟΤΤΟ χρησιμοποιούν συνήθως καύσιμο αέριο (π.χ. φυσικό αέριο, υγραέριο κλπ.) και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας, ενώ συγχρόνως παράγεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από ανάκτηση θερμότητας στον εναλλάκτη των χιτωνίων, των λιπαντελαίων, του ενδιάμεσου εναλλάκτη αέρα-νερού (intercooler) και από τα καυσαέρια, μέσω ενός ή περισσότερων εναλλακτών ανάκτησης θερμότητας. Στο Σχήμα 6 δίνεται σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή ΟΤΤΟ.



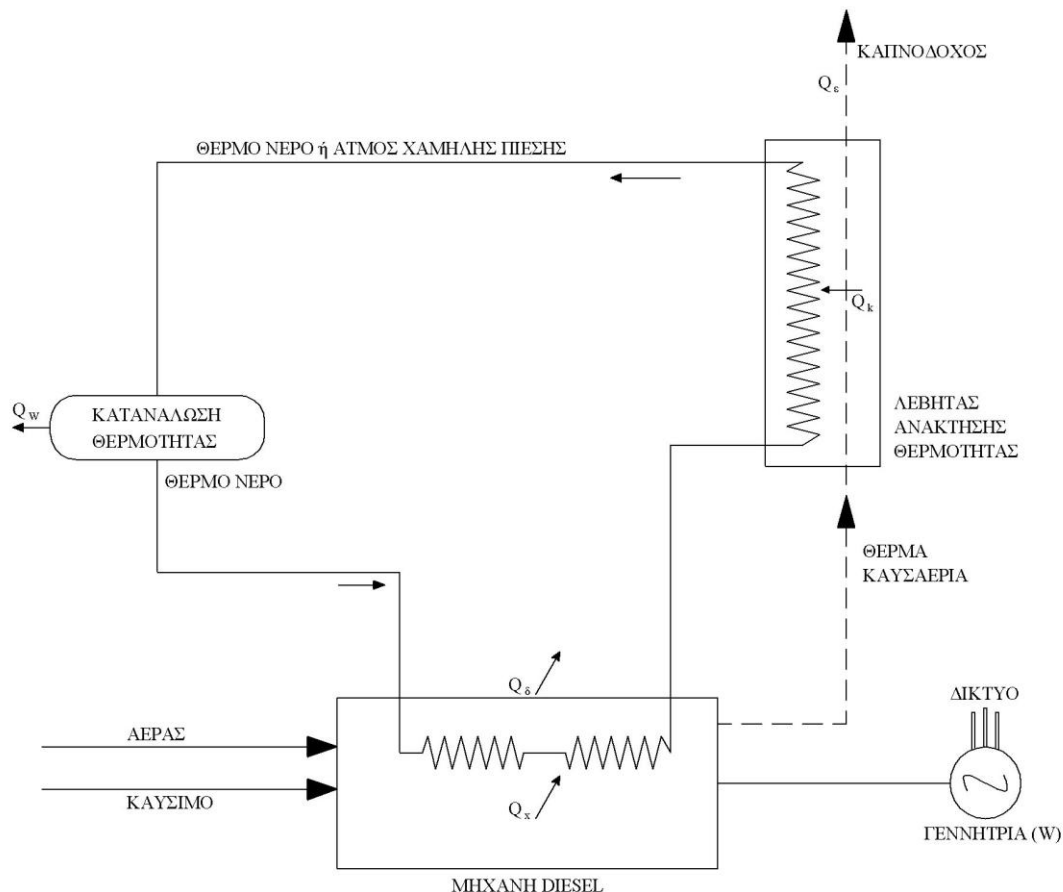
Σχήμα 6 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή ΟΤΤΟ, εναλλάκτη λαδιού και ψυκτικού νερού και λέβητα ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων για παροχή ΖΝΧ ή ατμού χαμηλής πίεσης στην εγκατάσταση.

Τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα ΟΤΤΟ:

- κατασκευάζονται για ισχύ από 1 έως 5000 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 32-35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45 % και ολικό βαθμό απόδοσης 75 - 80%,
- ο λόγος C είναι 0.5 – 0,2 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 10 έτη.

3.2.1.2 Μηχανή DIESEL και λέβητας ανάκτησης θερμότητας για παροχή ΖΝΧ ή ατμού χαμηλής πίεσης

Στην περίπτωση αυτή, ο κινητήρας DIESEL κινεί την ηλεκτρογεννήτρια και συγχρόνως διατίθεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από την ανάκτηση θερμότητας, από τον εναλλάκτη των χιτωνίων και από τα καυσαέρια μέσω του λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Το καύσιμο είναι συνήθως πετρέλαιο. Στο Σχήμα 7 δίνεται σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Diesel.



Σχήμα 7 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Diesel, εναλλάκτη λαδιού και ψυκτικού νερού χιτωνίων και λέβητα ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων, για παροχή ΖΝΧ ή ατμού χαμηλής πίεσης.

Τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα Diesel:

- κατασκευάζονται για ισχύ από 100 έως και λίγο μεγαλύτερη των 20000 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-40%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% και ολικό βαθμό απόδοσης 70 - 80%,
- ο λόγος C είναι 0,7 – 0,2 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 - 20 έτη.

3.2.2. Αεριοστρόβιλοι

Η τεχνολογία των αεριοστροβίλων αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 50 % της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ. Πρόκειται για την ίδια τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη, ενώ πολλοί προερχόμενοι από αεροπορικούς κινητήρες χρησιμοποιούνται σε επίγειες σταθερές εφαρμογές. Οι αεριοστρόβιλοι εμφανίζονται σε διάφορα μεγέθη, από μικροστροβίλους (που εξετάζονται χωριστά) μέχρι και στροβίλους μεγάλης κλίμακας που χρησιμοποιούνται σε κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Για εφαρμογές ΣΗΘ, το πιο οικονομικό εύρος εφαρμογής είναι σε κλίμακες ισχύος πάνω από 5 MW, ενώ εφαρμογές εμφανίζονται και σε επίπεδα ισχύος εκατοντάδων MW. Η υψηλή

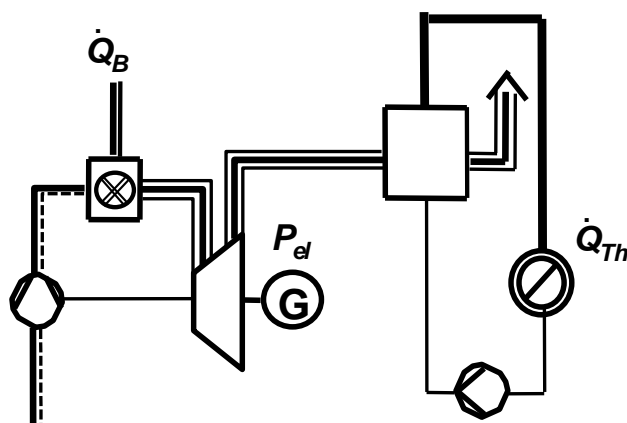
θερμοκρασία των καυσαερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης, καθιστώντας έτσι τα συστήματα ΣΗΘ αεριοστροβίλων πολύ ελκυστικά για βιομηχανικές εργασίες.

Τα συστήματα συμπαραγωγής με χρήση αεριοστροβίλου διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: Στα συστήματα ανοικτού τύπου και στα συστήματα κλειστού τύπου.

Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

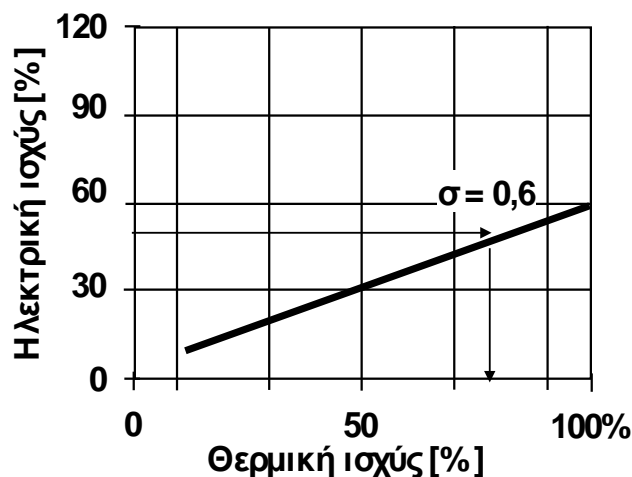
Οι στρόβιλοι ανοικτού κύκλου αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή αεριοστροβίλου σε μονάδες μετατροπής ενέργειας. Σε μία αεριοστροβλική μονάδα ανοικτού κύκλου, πραγματοποιείται καύση καυσίμου που εισέρχεται στο θάλαμο καύσης, με συμπιεσμένο αέρα, ενώ τα καυσαέρια αποτονώνονται στο στρόβιλο. Τα καυσαέρια, μετά την εκτόνωση εξέρχονται από το στρόβιλο σε θερμοκρασίες 300-600°C. Ο βαθμός απόδοσης αυτών των συστημάτων, για καθαρή ηλεκτροπαραγωγή, είναι σχετικά χαμηλός, της τάξης του 35%. Η κύρια αιτία του χαμηλού βαθμού απόδοσης είναι η ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή, αλλά και οι μεγάλες απώλειες των καυσαερίων, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας τους. Ταυτόχρονα όμως αυτές οι υψηλές θερμοκρασίες εξόδου των καυσαερίων καθιστούν αυτά τα συστήματα ιδανικά για συμπαραγωγή, ιδιαίτερα στην περίπτωση που απαιτείται θερμότητα σε υψηλή θερμοκρασία (π.χ. διυλιστήρια). Η χρήση αεριοστροβίλου σε μονάδες συμπαραγωγής, οδηγεί σε εγκαταστάσεις με συνολικό βαθμό απόδοσης μεγαλύτερο του 60 %, που μπορεί να φτάσει έως και 80 %.

Η παραγωγή τις θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί με αρκετούς τρόπους. Οι βασικότεροι περιλαμβάνουν, είτε την άμεση χρησιμοποίηση των καυσαερίων σε θερμικές διεργασίες όπως είναι η ξήρανση, θέρμανση, κ.λπ. είτε τη χρησιμοποίηση των καυσαερίων σε Λ.Α.Θ., όπου παράγεται ατμός υψηλού ενεργειακού επιπέδου κατάλληλος τόσο για θερμικές διεργασίες όσο και για περαιτέρω ηλεκτροπαραγωγή.



Σχήμα 8 Σύστημα συμπαραγωγής αεριοστροβίλου ανοικτού τύπου με Λέβητα Ανάκτησης Θερμότητας (Λ.Α.Θ) [24]

Το σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 8, έχει το μειονέκτημα του σταθερού λόγου ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ ($\sigma=ct$), με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζει ευελιξία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9.

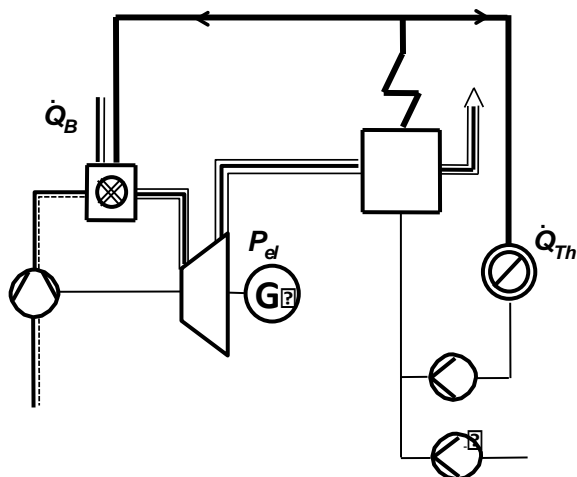


Σχήμα 9 Ηλεκτρική και θερμική ισχύς συστήματος συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοιχτού τύπου [24]

Συστήματα αεριοστρόβιλου ανοιχτού κύκλου με έγχυση ατμού στο θάλαμο καύσης

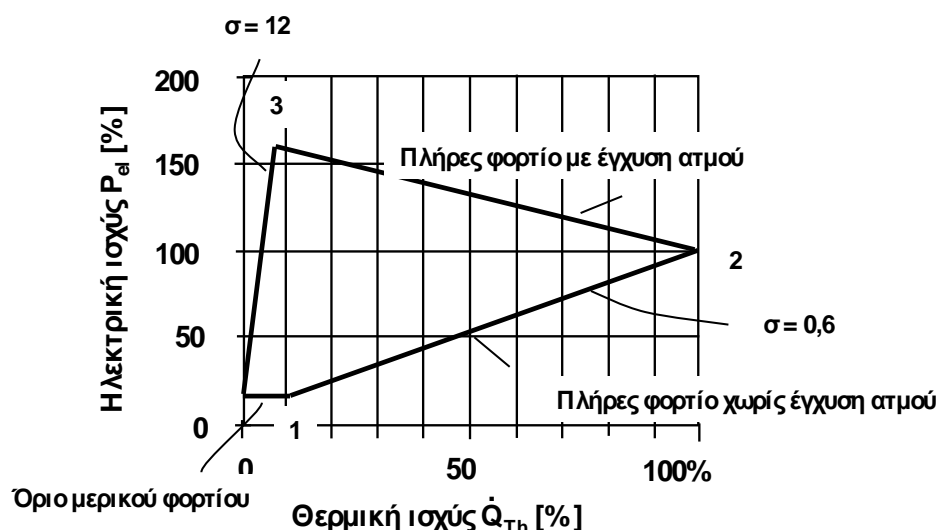
Προκειμένου να αυξηθεί η ευελιξία των συστημάτων συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης λέβητα ανάκτησης θερμότητας στα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου, στον οποίο παράγεται ατμός, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ωφέλιμης θερμότητας. Όμως, στις περιόδους που η ζήτηση θερμότητας είναι χαμηλή, ο ατμός, ο οποίος δε χρησιμοποιείται οδηγείται στο θάλαμο καύσης του αεριοστρόβιλου με αποτέλεσμα να αυξάνεται η παραγόμενη ισχύς, λόγω αύξησης της παροχής μάζας στον αεριοστρόβιλο. Έτσι η εγκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει μεταξύ μίας λειτουργίας μέγιστης παραγωγής ωφέλιμης θερμότητας (με ελάχιστη έγχυση ατμού στο θάλαμο καύσης), έως μία λειτουργία μέγιστης ηλεκτροπαραγωγής, με μέγιστη έγχυση ατμού στο θάλαμο καύσης και ελάχιστη παραγωγή ωφέλιμης θερμότητας (Πολύ μεταβλητός λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια). Ο κύκλος αυτός λειτουργίας ονομάζεται “Cheng Cycle” ή STIG (Steam Injection Gas turbine) και απεικονίζεται στο Σχήμα 10.

Στα βασικά πλεονεκτήματα μίας τέτοιας εγκατάστασης περιλαμβάνονται το χαμηλό κόστος επένδυσης, για σχετικά καλούς βαθμούς απόδοσης, η μικρή πολυπλοκότητα της μονάδας, στην οποία είναι δυνατή και η λειτουργία χωρίς επιτήρηση, καθώς επίσης και η γρήγορη αλλαγή φορτίου που δίνει τη δυνατότητα αντιμετώπισης φορτίων αιχμής.



Σχήμα 10 Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοιχτού τύπου και έγχυση ατμού στο θάλαμο καύσης [24]

Στο Σχήμα 11, παρουσιάζεται η περιοχή λειτουργίας μίας εγκατάστασης που λειτουργεί σύμφωνα με τον κύκλο Cheng.



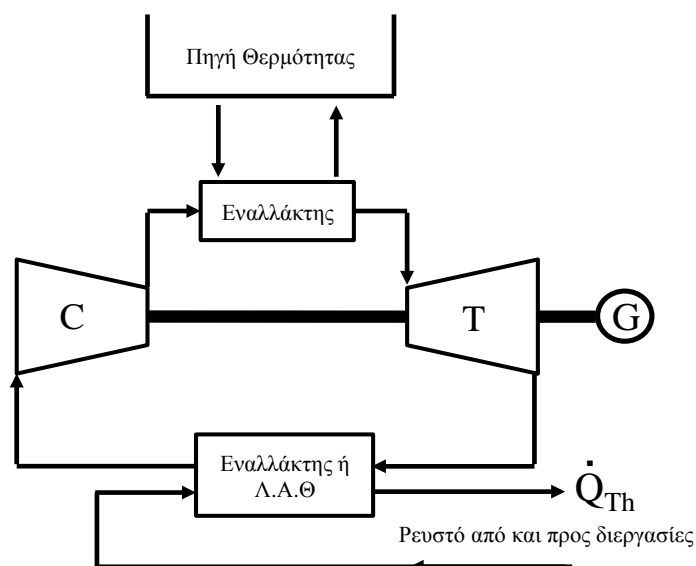
Σχήμα 11 Περιοχή λειτουργίας εγκατάστασης με αεριοστρόβιλο και έγχυση ατμού στο θάλαμο καύσης [24]

Συστήματα αεριοστρόβιλου κλειστού τύπου

Στα συστήματα κλειστού κύκλου (Σχήμα 12), το ρευστό που κυκλοφορεί είναι συνήθως αέρας ή ήλιο. Σε τέτοια συστήματα, το ρευστό μετά τη συμπίεσή του, θερμαίνεται με χρήση εναλλάκτη θερμότητας, μέχρι κάποια κατάλληλη θερμοκρασία και μετά εκτονώνεται στο στρόβιλο για την παραγωγή ενέργειας. Μετά την έξοδο από το στρόβιλο το ρευστό οδηγείται σε άλλον εναλλάκτη, για την ψύξη του και την εκ νέου εισαγωγή του στο συμπιεστή, για την επανάληψη του κύκλου.

Το βασικότερο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων έναντι των αεριοστρόβιλων ανοικτού τύπου είναι ότι το εργαζόμενο ρευστό δε συμμετέχει στην καύση (εξωτερική). Λόγω αυτού, το

ρευστό που ρέει εντός των διαφόρων τμημάτων της εγκατάστασης είναι πλήρως καθαρό με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η μηχανική και η χημική διάβρωσή τους. Επιπλέον, λόγω του γεγονότος ότι η καύση δεν εκτελείται στον θάλαμο καύσης ενός αεριοστρόβιλου, αλλά σε εξωτερική εγκατάσταση, δεν υπάρχει περιορισμός στο είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Με λίγα λόγια, ένα σύστημα αεριοστρόβιλου κλειστού τύπου επιτρέπει την ενεργειακή αξιοποίηση καυσίμων όπως ο άνθρακας, η βιομάζα ή ακόμα και θερμότητας η οποία προέρχεται από ηλιακούς συλλέκτες ή από κάποια άλλη πηγή θερμότητας.



Σχήμα 12 Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού τύπου

Ένα βασικό μειονέκτημα αυτών των εγκαταστάσεων είναι, ότι λόγω του ότι η συναλλαγή θερμότητας πραγματοποιείται μέσω ενός εναλλάκτη αερίου-αερίου (άρα με μέσα με χαμηλό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας), ο εναλλάκτης αυτός έχει πολύ μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής, με αποτέλεσμα να είναι αντισυμβαλόμενες εγκαταστάσεις με πολλά προβλήματα στεγανοποίησης.

Τα συστήματα ΣΗΘ με αεριοστρόβιλο ανοικτού κυκλώματος και λέβητα ανάκτησης θερμότητας των καυσαερίων:

- κατασκευάζονται για ισχύ από 100 έως 30000 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 25 – 35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 55 – 60% και ολικό βαθμό απόδοσης 85 – 90%,
- ο λόγος C είναι 0.6 – 1.1 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 - 20 έτη.

3.2.3. Μικροστρόβιλος (microturbine)

Οι μικροστρόβιλοι είναι στην ουσία πολύ μικροί αεριοστρόβιλοι. Αναπτύχθηκαν ως πηγές ισχύος για στάσιμες και κινητές εφαρμογές τα τελευταία έτη. Αρχικά βασίζονταν στην τεχνολογία στροβιλοσυμπιεστών φορτηγών που αξιοποιούν την ενέργεια των καυσαερίων για να συμπιέσουν τον αναρροφόμενο αέρα της μηχανής. Οι μικροστρόβιλοι είναι μηχανικά

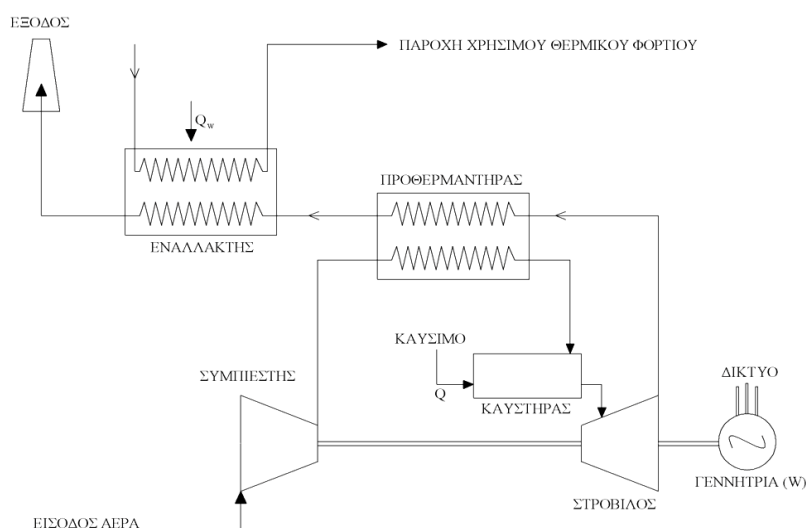
απλές, μικρών διαστάσεων κατασκευές. Παλαιότερα υπήρχε ένα μεγάλο πλήθος ανταγωνιστικών συστημάτων υπό ανάπτυξη, κυρίως κατά τη δεκαετία του 1990. Σήμερα, ύστερα από μία περίοδο εμπορικής διάδοσης, τα εμπορικά συστήματα μικροστροβίλων ΣΗΘ έχουν κλίμακα ισχύος που κυμαίνεται μεταξύ 30-250 kW για συστήματα απλού στροβίλου, ενώ μπορούν να φτάσουν και τα 1000 kW για συστήματα πολλαπλών στροβίλων.

Το σύστημα ΣΗΘ με μικροστρόβιλο είναι κατά κανόνα μονάδα μικρού μεγέθους, υψηλής ταχύτητας και συμπεριλαμβάνει το στρόβιλο (turbine), το συμπιεστή (compressor), τη γεννήτρια και τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο.

Τυπικά, λειτουργεί με καύσιμο το φυσικό αέριο, αλλά δέχεται για τη λειτουργία της και άλλα βιομηχανικά καύσιμα, όπως προπάνιο, ελαφρύ πετρέλαιο (diesel) και κηροζίνη, αλλά και ανανεώσιμα καύσιμα όπως βιοαέριο ή αέριο σύνθεσης από αεριοποίηση στερεής βιομάζας.

Κατά τη λειτουργία της μηχανής, ο αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή και μετά από τη συμπίεσή του στα 3-5 βαθιέρχεται από τον προθερμαντήρα, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται από τα καυσαέρια εκτόνωσης. Στη συνέχεια, ο αέρας εισέρχεται στον καυστήρα, όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο, το οποίο αναφλέγεται και καίγεται. Ο αναφλεκτήρας (ignitor) χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και κατόπιν η φλόγα είναι αυτοσυντηρούμενη. Τα καυσαέρια μετά την καύση εισέρχονται στο στρόβιλο σε θερμοκρασία 900-950 °C όπου και εκτονώνονται μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια σε μηχανική. Τα αέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο εισέρχονται στον προθερμαντήρα και στη συνέχεια στον εναλλάκτη θερμότητας (θερμαντική στήλη) για την πρόσδοση θερμότητας και τη θέρμανση νερού.

Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται η διάταξη και ο τρόπος λειτουργίας του μικροστροβίλου.



Σχήμα 13 Διάταξη και τρόπος λειτουργίας μικροστροβίλου

Οι μικροστρόβιλοι είναι κατάλληλοι για εφαρμογές αποκεντρωμένης παραγωγής λόγω της ευελιξίας τους όσον αφορά τη διασυνδεσιμότητά τους. Σε αυτές τις εφαρμογές, η αξιοπιστία

είναι πολύ σημαντική καθώς οι τοποθεσίες αυτές μπορεί να βρίσκονται μακριά από το δίκτυο και ως εκ τούτου τυχόν προβλήματα στη λειτουργία έχουν μεγάλες αρνητικές οικονομικές συνέπειες.

Σε γενικές γραμμές η διαθεσιμότητα εμπορικών μικροστροβίλων είναι περιορισμένη καθώς η δυναμικότητα παραγωγής τους δεν έχει φτάσει οικονομικά αποδεκτά επίπεδα.

Οι κυριότερες προκλήσεις για την τεχνολογία ποικίλλουν. Αφενός, εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους, είναι πολύ ακριβή η κατασκευή πτερυγίων που να ελαχιστοποιούν τις απώλειες διακένων αποτελεσματικά. Επιπλέον, λόγω της μικρής διαμέτρου τους σε συνδυασμό με τη μικρή τους ισχύ, οι μικροστροβίλοι πρέπει να λειτουργούν σε πολύ υψηλές ταχύτητες για να λειτουργήσουν με καλό βαθμό απόδοσης.

Στην περίπτωση που ο μικροστροβίλος είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, το σύστημα ελέγχου ακολουθεί συνήθως το θερμικό φορτίο. Η παραγόμενη ηλεκτρική ή θερμική ισχύς του μικροστροβίλου μπορεί να μειωθεί με μείωση της περιστροφικής ταχύτητας του άξονα. Ταυτόχρονα μειώνεται και η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο ώστε να αποφευχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του προθερμαντήρα. Αυτό επηρεάζει το σημείο λειτουργίας του μικροστροβίλου και το βαθμό απόδοσής του.

Οι μικροστροβίλοι λειτουργούν ιδανικά με καλής ποιότητας καύσιμα όπως φυσικό αέριο, υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο, diesel και κηροζίνη. Στην περίπτωση που γίνεται χρήση χαμηλής ποιότητας καυσίμου, όπως βιοαέριο ή βιομηχανικά καυσαέρια, το καύσιμο συχνά περιέχει οξέα συστατικά και μπορεί να απαιτεί προεπεξεργασία. Οι μικροστροβίλοι έχουν χαμηλό χρόνο εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας, της τάξεως των λίγων λεπτών.

Τα συστήματα ΣΗΘ με μικροστροβίλους:

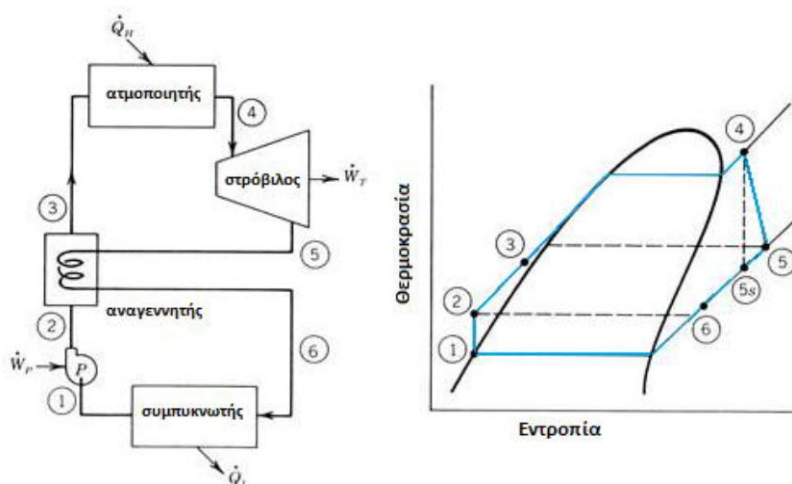
- κατασκευάζονται για ισχύ 30 έως 300 kW
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 20÷30%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% (στην περίπτωση της εγκατάστασης συστήματος ανάκτησης θερμότητας έως και 65%) και ολικό βαθμό απόδοσης 70÷80%,
- ο λόγος C είναι 0.2÷0.5 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 έτη.

3.2.4. Κύκλος ORC

Μεταξύ των σύγχρονων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για αποκεντρωμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, τα συστήματα ORC είναι εμπορικά διαθέσιμα σε κλίμακες ισχύος κάτω των 2MW. Αυτό διότι σε αυτά τα εύρη ισχύος, ο συμβατικός κύκλος Rankine νερού-ατμού γίνεται πολύ αναποτελεσματικός με αυξημένο κόστος, λόγω των πολύ υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών. Η εφαρμογή του κύκλου ORC βασίζεται στη δυνατότητα αντικατάστασης του νερού ως εργαζόμενου μέσου με μια οργανική ουσία χαμηλότερης θερμοκρασίας ατμοποίησης. Αυτό επιτρέπει τη λειτουργία του συστήματος σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις, με μικρότερη παραγωγή ισχύος. Μικρά συστήματα συμπαραγωγής από βιομάζα είναι ήδη εμπορικά διαθέσιμα από διάφορους κατασκευαστές. Η

ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται μεταξύ 100-160 kW. με λόγο θερμικής προς ηλεκτρική ισχύ ίσο περίπου με 5:1.

Ο ORC είναι ένας κύκλος παρόμοιος με τον απλό κύκλο Clausius-Rankine με βασική διαφορά ότι το εργαζόμενο μέσο είναι κάποιο οργανικό μέσο αντί του νερού-ατμού. Ο ORC συνίσταται στην ατμοποίηση του οργανικού μέσου και κατόπιν την εκτόνωσή του σε στρόβιλο προς παραγωγή μηχανικού έργου. Το χαμηλής πίεσης ρεύμα που εξέρχεται από το στρόβιλο συμπυκνώνεται και μετά επανέρχεται με τη βοήθεια αντλίας στην υψηλή πίεση του κύκλου. Βάσει των παραπάνω είναι εύκολα κατανοητό ότι τα κύρια στοιχεία μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι παρόμοια με μίας συμβατικής ατμοηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε άλλες εκδοχές το σύστημα περιλαμβάνει και έναν αναγεννητή με σκοπό την αύξηση της απόδοσης της εγκατάστασης. Αναφορικά με την πολυπλοκότητά του το σύστημα ORC είναι κατά τι απλούστερο από αυτό ενός κύκλου ατμού καθώς δεν υπάρχει η ανάγκη ύπαρξης τυμπάνου συνδεδεμένου με τον λέβητα, αντί αυτού αρκεί ένας μοναδικός εναλλάκτης θερμότητας για να υλοποιήσει τις τρεις φάσεις της θέρμανσης του εργαζόμενου μέσου. Έτσι, μία τυπική διάταξη που υλοποιεί τον οργανικό κύκλο Rankine αποτελείται από τις συνιστώσες που φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 14 Κύκλος ORC

Πέραν από τον υποκρίσιμο ORC, έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον συγκεντρώνει και ο υπερκρίσιμος κύκλος ORC, ο οποίος είναι αντικείμενο μελέτης και της παρούσας εργασίας, και υπερτερεί έναντι του υποκρίσιμου ORC λόγω των μειωμένων εξεργειακών απωλειών που συνεπάγεται πιο αποδοτική αξιοποίηση της θερμότητας. Άλλωστε, ο υπερκρίσιμος κύκλος είναι πιο εφικτός στα οργανικά μέσα καθώς το κρίσιμο σημείο επιτυγχάνεται σε χαμηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες σε σύγκριση με το νερό. Η βασική διαφοροποίηση υπερκρίσιμου έναντι του υποκρίσιμου κύκλου, όπως είναι προφανές, είναι ότι μετά την αντλία το οργανικό μέσο έχει αποκτήσει αρκετά υψηλότερη πίεση ώστε η θέρμανση από τον εναλλάκτη να το μετατρέψει σε υπερκρίσιμο ρευστό χωρίς να μεσολαβεί διφασική περιοχή, όπως στον υποκρίσιμο κύκλο.

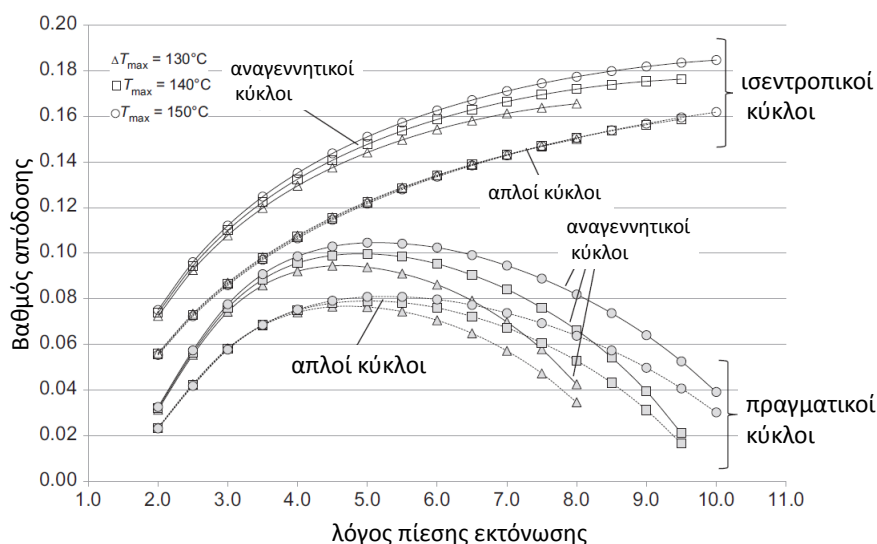
Ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων οικιακής συμπαραγωγής με κύκλο ORC είναι σχετικά χαμηλός, καθώς δεν υπερβαίνει το 10 %. Ωστόσο η τεχνολογία διαθέτει επιπλέον πλεονεκτήματα, όπως αξιοπιστία, ασφάλεια, χαμηλό θόρυβο ενώ σχετίζεται με μειωμένες εκπομπές ρύπων.

Παράλληλα, όσον αφορά την ευελιξία της τεχνολογίας, τα πλεονεκτήματα του κύκλου ORC είναι τα ακόλουθα:

- παρέχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης θερμικών ροών σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως καυσαέρια που εξέρχονται από ένα λέβητα, ή το ζεστό νερό που παράγεται από ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποτελεσματική αξιοποίηση βιομάζας σε αποκεντρωμένη συμπαραγωγή, γεγονός που καθιστά την τεχνολογία ελκυστική καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο κόστος μεταφοράς του καυσίμου.
- η τεχνολογία ORC δίνει τη δυνατότητα να αποδεσμεύεται ως ένα βαθμό η παραγωγή ηλεκτρισμού από τη διαθεσιμότητα της πηγής θερμότητας με την εφαρμογή αποθήκευσης ζεστού νερού μεταξύ του λέβητα, των ηλιακών συλλεκτών και του κύκλου.

Όσον αφορά την οικονομικότητα, το κόστος λειτουργίας συστημάτων ORC για οικιακή συμπαραγωγή είναι πολύ μειωμένο, ενώ το κόστος αγοράς είναι υψηλό, καθώς είναι μία αναπτυσσόμενη τεχνολογία προς το παρόν και η αγορά σχετικά περιορισμένη.

Ο βαθμός απόδοσης ενός απλών και αναγεννητικών συστημάτων ORC χαμηλής θερμοκρασίας ως συνάρτηση του λόγου πίεσης εκτόνωσης απεικονίζεται στο Σχήμα 15.

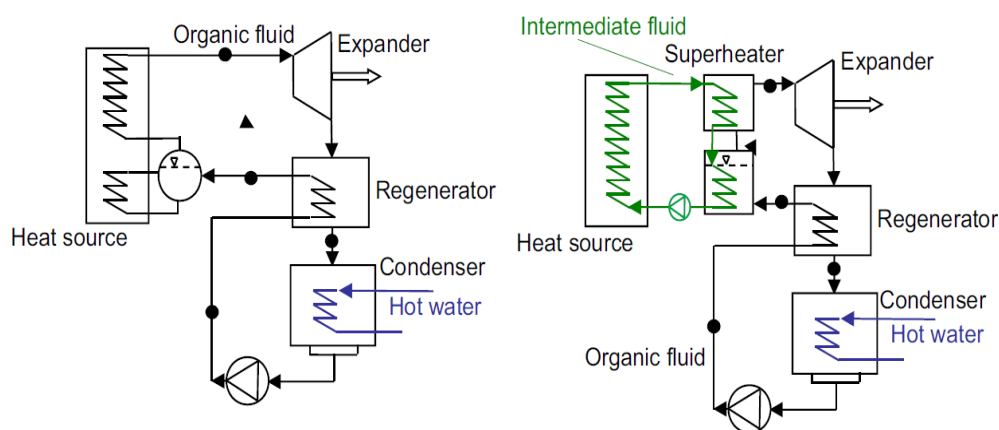


Σχήμα 15 Βαθμός απόδοσης συστήματος ORC. Εργαζόμενο μέσο: R245fa, θερμοκρασία συμπύκνωσης 40 °C

Πρέπει να σημειωθεί πως η θερμοκρασία συμπύκνωσης του κύκλου ORC, η οποία και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την παραγωγή θερμότητας, επηρεάζει πολύ το βαθμό απόδοσης

του κύκλου. Όταν αυτή είναι στους 40 °C, παραγόμενη θερμότητα επαρκεί για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ή για θέρμανση χώρου με χρήση πάνελ ακτινοβολίας. Σημειώνεται πως για θέρμανση χώρου με πιο συμβατικά συστήματα είναι αναγκαία υψηλότερη θερμοκρασία, ίση με τουλάχιστον 60 °C.

Μία βασική σχεδιαστική παράμετρος των συστημάτων ORC είναι ο τρόπος σύνδεσης μεταξύ του ρεύματος της πηγής θερμότητας και του εργαζόμενου μέσου του κύκλου. Έτσι η σύνδεση αυτή μπορεί να είναι άμεση ή έμμεση, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 16. Στην περίπτωση της άμεσης διασύνδεσης, το ρευστό της πηγής θερμότητας διέρχεται απευθείας από τον ατμοποιητή του κύκλου ORC, ενώ στην περίπτωση της έμμεσης σύνδεσης, γίνεται χρήση ενός ενδιάμεσου κυκλώματος για τη μεταφορά θερμότητας από την πηγή θερμότητας (πχ. λέβητας) στο εργαζόμενο μέσο. Η εφαρμογή άμεσων συστημάτων δίνει τη δυνατότητα χρήσης τυποποιημένων συστημάτων με καθορισμένα στοιχεία εξοπλισμού για διάφορες εφαρμογές: ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας από μικρές βιομηχανικές διεργασίες, αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας ή γεωθερμίας καθώς και ενσωμάτωση με μηχανές εσωτερικής καύσης ή λέβητες βιομάζας.



Σχήμα 16 Άμεση και έμμεση σύνδεση της πηγής θερμότητας με το σύστημα ORC

Οι μηχανές ORC:

- κατασκευάζονται συνήθως για ισχύ από 1 έως 3000 kW.
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 5-20%, θερμικό βαθμό απόδοσης 70-85 % και ολικό βαθμό απόδοσης 85-95%,

3.2.5. Μηχανή Stirling

Η μηχανή Stirling είναι μια μηχανή εξωτερικής καύσης. Το εργαζόμενο αέριο (υδρογόνο, ήλιο, κλπ.) συμπιέζεται εναλλάξ σε ένα ψυχρό και ένα θερμό κύλινδρο και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου δύο εμβόλων, με αποτέλεσμα την περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα. Ο θεωρητικός κύκλος Stirling απεικονίζεται στο Σχήμα 17.

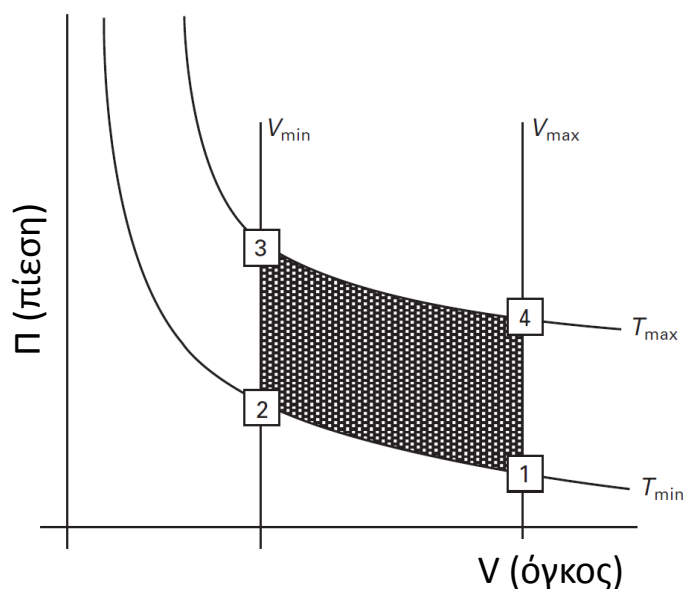
Τα σημεία του κύκλου είναι τα ακόλουθα:

1. Το εργαζόμενο αέριο βρίσκεται στο μέγιστο όγκο και στην ελάχιστη θερμοκρασία και περιέχεται στο ψυχρό μέρος του κυλίνδρου. Το έμβολο εξωθεί το αέριο προς το

θερμό μέρος του κυλίνδρου χωρίς να παράγει θερμότητα και χωρίς να αυξάνει τη θερμοκρασία του. Στην πραγματικότητα, φυσικά, θα πρέπει να καταναλωθεί έργο για τη συμπίεση του ψυχρού αερίου στο θερμό μέρος του κυλίνδρου και αναπόφευκτα η θερμοκρασία αυξάνεται πριν το αέριο μεταβεί στην κατάσταση 2.

2. Στο σημείο αυτό, προσδίδεται θερμότητα στο αέριο και αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεσή του μέχρι να φτάσει στην κατάσταση 3.
3. Από το σημείο 3 μέχρι το σημείο 4, το αέριο εκτονώνεται, ασκώντας έργο στο έμβολο. Σε αυτό το στάδιο παράγεται ωφέλιμη ισχύς από τη μηχανή.
4. Στο σημείο 4, το αέριο έχει το μέγιστο όγκο και μετακινείται προς το ψυχρό μέρος της μηχανής όπου ψύχεται ώστε να ξεκινήσει τον καινούργιο κύκλο.

Θεωρητικά, το έργο της μηχανής είναι ίσο με το εμβαδόν της σκιασμένης περιοχής που απεικονίζεται στο Σχήμα 17.



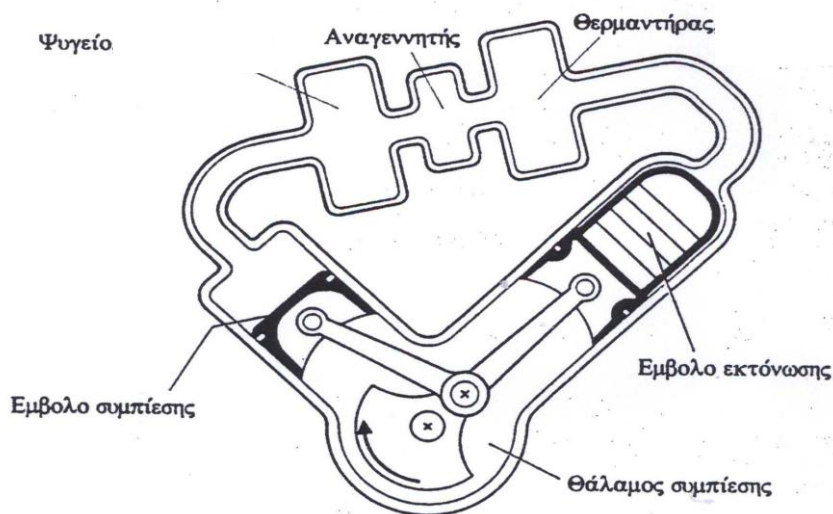
Σχήμα 17 Θεωρητικός θερμοδυναμικός κύκλος μηχανής Stirling

Η μηχανή εργάζεται με θερμότητα από μια εξωτερική πηγή: καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας από την άμεση καύση καυσίμου εισάγονται στον εναλλάκτη θέρμανσης της μηχανής σε υψηλή θερμοκρασία και θερμότητα μεταφέρεται στη μηχανή. Η θερμοκρασία λειτουργίας του εναλλάκτη αυτού είναι μεταξύ 700 και 800 °C. Κατά συνέπεια το θερμό μέρος της μηχανής μπορεί να βρίσκεται μέχρι και στους 800 °C ενώ το ψυχρό μέρος της βρίσκεται περίπου στους 80 °C. Στη μηχανή, θερμότητα μετατρέπεται σε έργο και θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας απορρίπτεται στον ψύκτη. Ο τελευταίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας (40-60 °C). Οι μηχανές Stirling είναι εμπορικά διαθέσιμες με καθαρή ηλεκτρική ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 35 και 140 kW. Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει τη χρήση διάφορων καυσίμων, π.χ. υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από

βιομάζα ακόμα και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στο Σχήμα 18 απεικονίζεται ένας κινητήρας Stirling.

Η μηχανή Stirling επιτρέπει συνεχή, ελεγχόμενη καύση που έχει σαν αποτέλεσμα υψηλό βαθμό απόδοσης καύσης και μειωμένες εκπομπές. Μπορεί να λειτουργεί χωρίς βαλβίδες και σύστημα έναυσης, επιτρέποντας κατ' αυτό τον τρόπο υψηλές περιόδους λειτουργίας χωρίς συντήρηση και χαμηλά κόστη.

Μία σημαντική διαφορά μεταξύ των ΜΕΚ και της μηχανής Stirling είναι ότι, στην περίπτωση των ΜΕΚ, είναι δυνατόν να ρυθμιστεί η παραγόμενη ισχύς σχεδόν άμεσα με έλεγχο της παροχής του καυσίμου. Αντίθετα, στις μηχανές Stirling υπάρχει σημαντική χρονοκαθυστέρηση μεταξύ της εισόδου καυσίμου και της παραγωγής ισχύος, που οφείλεται στην ύπαρξη σημαντικής ποσότητας αποθηκευμένης θερμότητας στο θερμό μέρος της μηχανής που συνεχίζει να μεταφέρει ενέργεια στο εργαζόμενο αέριο ακόμα και αν η παροχή καυσίμου αποκοπεί πλήρως. Αν και αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα σε στάσιμες εφαρμογές που δεν απαιτούν άμεσες μεταβολές ισχύος, είναι ένα σημαντικό ζήτημα σε περιπτώσεις όπου η μηχανή Stirling λειτουργεί για παραγωγή θερμότητας και βρίσκεται σε σύζευξη με κάποιο θερμοστάτη. Επιπλέον, η αποθηκευμένη θερμότητα θα πρέπει πρώτα να απορριφθεί στο σύστημα διανομής πριν το σταμάτημα της μηχανής προκειμένου να αποφευχθεί η σπατάλη της και να αποτραπεί υπερθέρμανση της μηχανής.



Σχήμα 18 Κινητήρας Stirling

Κατά γενική ομολογία, τα βασικά χαρακτηριστικά της μηχανής Stirling που την καθιστούν ιδανική τεχνολογία για οικιακή ΣΗΘ είναι οι χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, ο υψηλός χρόνος ζωής, ο χαμηλός θόρυβος και οι δονήσεις και οι χαμηλές εκπομπές.

Αν και θεωρητικά ο βαθμός απόδοσης των μηχανών Stirling μπορεί να είναι υψηλός, στην πράξη οι οικονομικοί και τεχνικοί περιορισμοί των εφαρμογών οικιακής κλίμακας έχουν σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα εμπορικά συστήματα να έχουν βαθμό απόδοσης κάτω του 15%. Ωστόσο, σημαντικά υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης είναι εφικτοί.

Οι μηχανές Stirling:

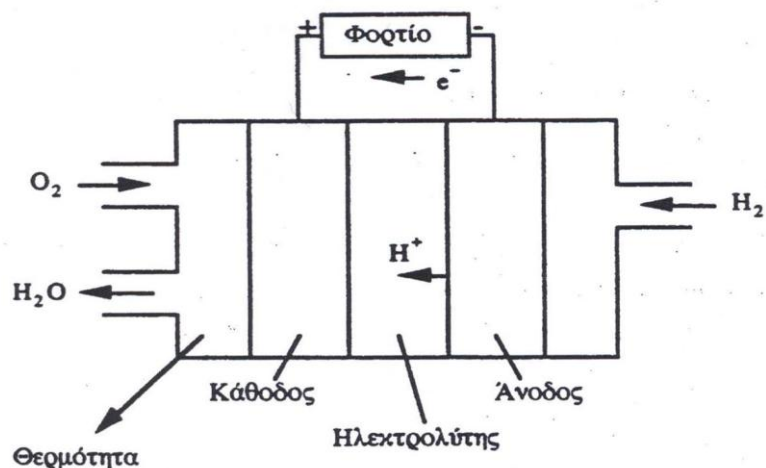
- κατασκευάζονται συνήθως για ισχύ από 3 έως 100 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 15-20%, θερμικό βαθμό απόδοσης 60-70% και ολικό βαθμό απόδοσης 85-90%,
- αν και ακριβότεροι από τις ΜΕΚ είναι λιγότερο ρυπογόνοι. Η ηχορύπανση και η χημική ρύπανση που προκαλούν είναι αισθητά μικρότερη και έτσι συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος,
- απαιτούν συντήρηση σε μεγάλα χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα να λειτουργούν αρκετές χιλιάδες ώρες συνεχώς.

Ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ $C_{\text{των συστημάτων ORC και Stirling}}$ κυμαίνεται μεταξύ 0,1-0,4.

3.2.5. Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου βασίζονται σε μια ηλεκτροχημική διεργασία μετατροπής της χημικής ενέργειας του υδρογόνου σε ηλεκτρισμό. Σε εφαρμογές ΣΗΘ, η θερμότητα γενικά ανακτάται με τη μορφή ζεστού νερού ή ατμού χαμηλής πίεσης (<2 bar) και η ποιότητα της θερμότητας βασίζεται στον τύπο της κυψέλης καυσίμου και της θερμοκρασίας λειτουργίας της. Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν υδρογόνο, που μπορεί να προέρχεται από φυσικό αέριο, αέριο σύνθεσης από άνθρακα, μεθανόλη, καθώς και άλλα καύσιμα υδρογονανθράκων. Οι κυψέλες καυσίμου κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τύπο της ηλεκτροχημικής διεργασίας που αξιοποιούν. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες, όπως οι κυψέλες φωσφορικού οξέως (PAFC), μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC), τετηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC), στερών οξειδίων (SOFC) και αλκαλικές (AFC). Τα συστήματα PAFC είναι εμπορικά διαθέσιμα σε δύο κλίμακες ισχύος, 200 και 400 kW, ενώ δύο επιπλέον κλίμακες ισχύος υφίστανται για τα συστήματα MCFC, 300 και 1200 kW. Τα κόστη κεφαλαίου των κυψελών καυσίμου παραμένουν υψηλά εξαιτίας των μικρού όγκου παραγωγικών μεθόδων. Ωστόσο, οι κυψέλες καυσίμου διατηρούν υψηλή ζήτηση για εφαρμογές ΣΗΘ εξαιτίας των χαμηλών τους εκπομπών, χαμηλού θορύβου και σημαντικών επιχορηγήσεων.

Συνήθως, το σύστημα ΣΗΘ με κυψέλη καυσίμου λειτουργεί με τη χρήση υδρογόνου και οξυγόνου, τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους, παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται ηλεκτρική τάση, η οποία προκαλεί ροή ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα) στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Δεδομένου ότι η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται μια απλή διάταξη κυψέλης καυσίμου.



Σχήμα 19 Απλή διάταξη κυψέλης καυσίμου

Το επιθυμητό καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο που μπορεί όμως να παραχθεί και από κάποιο άλλο καύσιμο, φορέα υδρογόνου, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, όπως η αμμωνία, το φυσικό αέριο, παράγωγα του πετρελαίου, το υγρό προπάνιο και η βιομάζα. Καθαρό υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί με την ηλεκτρόλυση νερού, όταν αυτή επιτυγχάνεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή, αιολική και γεωθερμία. Σήμερα, το καταλληλότερο καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου είναι το φυσικό αέριο.

Οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου χαρακτηρίζονται από τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν και συνοψίζονται παρακάτω (Πίνακας 5) :

Πίνακας 5 Κατηγορίες κυψελών καυσίμου

Τύπος	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	Ηλεκτρολύτης	Καύσιμο	Οξειδωτικό
AFC	80	KOH	H ₂	O ₂ /αέρας
PEM	80	στερεό πολυμερισμένο	H ₂	O ₂ /αέρας
PAFC	200	H ₃ PO ₄	Φυσικό αέριο (Φ.Α.) Εξωτερική αναμόρφωση	Αέρας
MCFC	650	Li ₂ CO ₃ +K ₂ CO ₃	Άνθρακας και Φ.Α. Εσωτερική αναμόρφωση	Αέρας
SOFC	1000	ZrO ₂	Άνθρακας και Φ.Α. Εσωτερική αναμόρφωση	Αέρας

AFC :Alcaline Fuel Cells (αλκαλικές κυψέλες καυσίμου)

PEM :Polymer Electrolyte Membranes (κυψέλες καυσίμου πολυμερικής μεμβράνης)

PAFC :Phosphoric Acid Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέως)

MCFC :Molten Carbonate Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων)

SOFC :Solid Oxide Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου)

Τα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου είναι:

- Αρθρωτή (modular) δομή για την επίτευξη μονάδων με επιθυμητή ισχύ.
- Υψηλός βαθμός απόδοσης
- Ευκολία αυτοματισμού
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων
- Χαμηλή στάθμη θορύβου

Μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής.

Οι κυψέλες καυσίμου κατασκευάζονται από $5kW_e$ και άνω και παρουσιάζουν:

- Ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 45-50%, θερμικό βαθμό απόδοσης 20-25% και ολικό βαθμό απόδοσης συστήματος 65-70%,
- Ο λόγος C είναι 1-2 και
- Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τόσο μεγαλύτερο είναι και το ωφέλιμο θερμικό φορτίο το οποίο μπορεί να ανακτηθεί από τον εναλλάκτη.
- Κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας ($<80^{\circ}C$) δεν ενδείκνυνται για ΣΗΘ.

3.2.6.Συστήματα συμπαραγωγής με Ατμοστρόβιλο

Τα συστήματα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο αντιπροσωπεύουν το ένα τρίτο της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ. Ωστόσο, η μέση ηλικία των συστημάτων αυτών είναι περίπου 45 έτη. Σήμερα, οι ατμοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται κυρίως για συστήματα λεβήτων στερεών καυσίμων, βιομηχανικής απορριπτόμενης θερμότητας καθώς και απορριπτόμενης θερμότητας ατμοστρόβιλων. Οι ατμοστρόβιλοι εμφανίζονται σε μια μεγάλη ποικιλία σχεδίων και πολυπλοκότητας ώστε να προσαρμόζονται κατάλληλα την επιθυμητή εφαρμογή και τις απαιτήσεις απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν εγκαταστάσεις απλού ατμοστρόβιλου αντίθλιψης ή ατμοστρόβιλων συμπύκνωσης για χαμηλά εύρη ισχύος, έως και πολύπλοκες διατάξεις πολλαπλών ατμοστρόβιλων για υψηλότερη ισχύ. Σε βιομηχανικές εφαρμογές, οι ατμοστρόβιλοι είναι γενικότερα απλού σχεδιασμού και πιο απλής κατασκευής ώστε να έχουν υψηλότερη αξιοπιστία και χαμηλότερο κόστος.

Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε συστήματα συμπαραγωγής ατμοστρόβιλου παρουσιάζονται παρακάτω.

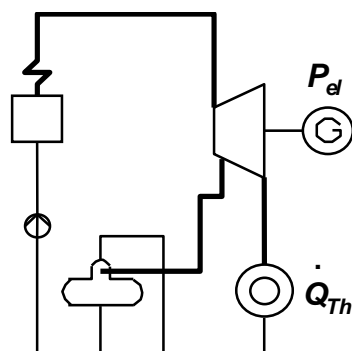
Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Σε λέβητα παράγεται ατμός υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, ο οποίος εκτονώνεται σε κατάλληλα διαμορφωμένο ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω συζευγμένης με τον άξονα του στρόβιλου γεννήτριας Σχήμα 20. Η ιδιαιτερότητα του στρόβιλου αντίθλιψης έγκειται στο ότι στην έξοδό του, η πίεση του ατμού είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Λόγω της υψηλής πίεσης, αλλά και της θερμοκρασίας του, ο ατμός από έναν στρόβιλο αντίθλιψης είναι κατάλληλος για διάφορες θερμικές διεργασίες.

Τα πλεονεκτήματα τέτοιων συστημάτων είναι αρκετά. Έχουν απλή μορφή και χαμηλό κόστος. Παράλληλα διέπονται από μικρή, έως και μηδενική ανάγκη ψυκτικού νερού, ενώ παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τα άλλα συστήματα ατμοστρόβιλου που θα

παρουσιαστούν στη συνέχεια (περίπου 85 %). Αυτό οφείλεται κυρίως στην απουσία του συμπυκνωτή που αποβάλλει ποσότητα θερμότητας στο περιβάλλον.

Σημαντικό μειονέκτημα βέβαια αυτών των μονάδων είναι ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι άμεσα συνδεδεμένη με την παραγωγή θερμότητας, γεγονός που καθιστά αδύνατη την ανεξάρτητη λειτουργία του τμήματος ηλεκτροπαραγωγής, από το δίκτυο θέρμανσης. Έτσι, μία τέτοια μονάδα συμπαραγωγής λειτουργεί με λόγο ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια, σταθερό ($\sigma=ct$).

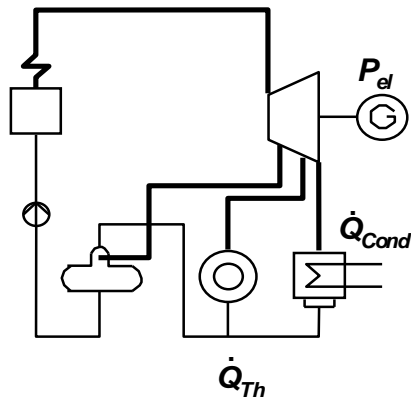


Σχήμα 20 Στρόβιλος αντίθλιψης [24]

Συστήματα συμπαραγωγής ατμοστροβίλου συμπύκνωσης με απομάστευση

Προκειμένου να αυξηθεί η ευελιξία της μονάδας συμπαραγωγής, χρησιμοποιούνται συστήματα με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης και απομάστευσης. Όπως και στα συστήματα με στρόβιλο αντίθλιψης, ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο προς εκτόνωση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αυτό διαφοροποιείται ως προς το γεγονός ότι, η θερμική ενέργεια παράγεται από ποσότητα ατμού η οποία απομαστεύεται από ενδιάμεση βαθμίδα του στροβίλου και οδηγείται στη θερμική κατανάλωση. Η υπόλοιπη ποσότητα του ατμού εκτονώνεται πλήρως στο στρόβιλο από τον οποίο εξέρχεται σε πίεση κενού Σχήμα 21. Τα συμπυκνώματα από το συμπυκνωτή και τη θερμική κατανάλωση οδηγούνται στο τροφοδοτικό δοχείο από το οποίο μέσω της τροφοδοτικής αντλίας οδηγούνται πάλι στο λέβητα για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού.

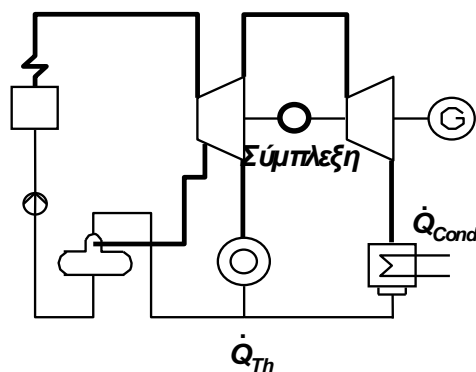
Η τεχνολογία αυτή είναι ακριβότερη αυτής του στροβίλου αντίθλιψης, λόγω της ανάγκης ύπαρξης συμπυκνωτή και παρουσιάζει επιπλέον χαμηλότερο συνολικό βαθμό απόδοσης της τάξης του 80 %, αφού μέρος της θερμότητας αποβάλλεται στο περιβάλλον. Το μεγάλο πλεονέκτημά της όμως έναντι των στροβίλων αντίθλιψης είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα ανεξάρτητης ρύθμισης της ηλεκτρικής και της θερμικής ισχύος, που παράγεται από την εγκατάσταση. Έτσι, μία τέτοια εγκατάσταση έχει μεταβαλλόμενο λόγο ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ και δύναται να λειτουργεί και ως μονάδα ηλεκτροπαραγωγής σε περιόδους στις οποίες η ζήτηση θερμικής ενέργειας, είναι μηδενική (σ =μεταβλητό).



Σχήμα 21 Στρόβιλος συμπύκνωσης με απομάστευση [24]

Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο και σύστημα αποσύμπλεξης χαμηλής πίεσης

Το σύστημα αυτό (Σχήμα 22) αποτελεί μια παραλλαγή του συστήματος που αναφέρθηκε προηγουμένως. Η διαφορά είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα σύμπλεξης και αποσύμπλεξης της βαθμίδας χαμηλής πίεσης του ατμοστρόβιλου, με αποτέλεσμα ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ να είναι ακόμα πιο μεταβλητός. Τέτοια συστήματα έχουν εφαρμογές σε εγκαταστάσεις βιομάζας στην κεντρική Ευρώπη, καθώς το χειμώνα απαιτείται η παραγωγή μεγάλων ποσών θερμότητας. Στην περίπτωση αυτή, ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης αποσυμπλέκεται και έτσι η εγκατάσταση λειτουργεί, ως συμπαραγωγική με στρόβιλο αντίθλιψης. Αντίθετα το καλοκαίρι, που η ζήτηση σε ωφέλιμη θερμική ισχύ είναι ελάχιστη έως μηδενική, υπάρχει σύμπλεξη των δύο βαθμίδων και η εγκατάσταση λειτουργεί ως ηλεκτροπαραγωγική. Προφανώς, μια τέτοια εγκατάσταση έχει αυξημένο κόστος επένδυσης, αλλά οδηγεί σε υψηλής ευελιξίας συμπαραγωγικό ενεργειακό σύστημα

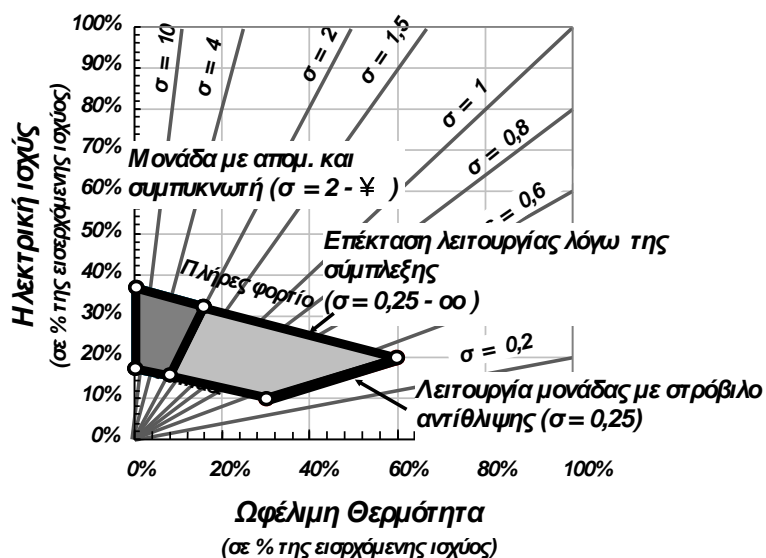


Σχήμα 22 Στρόβιλος συμπύκνωσης με απομάστευση και σύστημα αποσύμπλεξης χαμηλής πίεσης [24]

Συμπεράσματα συστημάτων συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο

Τα συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο συναντώνται πολύ συχνά στην περίπτωση αποκεντρωμένων ενεργειακών συστημάτων. Βασικό δείκτη για την επιλογή ενός

τέτοιου συστήματος συμπαραγωγής αποτελεί η επιθυμητή ευελιξία του συστήματος, η οποία εκφράζεται με το λόγο ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ (λόγος σ). Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 23), παρουσιάζεται η εξάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος από τη θερμική, για τα τρία συστήματα που συζητήθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 23 Εξάρτηση ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ για τις τρεις τεχνολογίες συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο [24]

Τα συστήματα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο απομάστευσης:

- κατασκευάζονται για ισχύ από 150 έως 100000 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35 – 40%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40 – 45%, ολικό βαθμό απόδοσης ΣΗΘ 75 – 80%, ενώ
- ο λόγος C κυμαίνεται από 0.07 έως 0,57 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 30 έτη.

3.2.7 Σύγκριση συστημάτων ΣΗΘ για ενδεικτικά είδη κτηρίων

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6) απεικονίζεται η προτεινόμενη τεχνολογία ΣΗΘ ανά είδος κτηρίου, με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογίας, όπως περιγράφηκαν προηγουμένως.

Πίνακας 6 Προτεινόμενες τεχνολογίες ΣΗΘ ανά είδος κτηρίου

ΕΙΔΟΣ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΣΧΥΟΣ kW_e	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	5 – 50	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ
		ΜΗΧΑΝΗ STIRLING
		ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
		ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	50 – 250	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ
		ΜΗΧΑΝΗ DIESEL
		ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
		ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ	500 – 2000	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ
		ΜΗΧΑΝΗ DIESEL
		ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
		ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ (για μεγάλη ισχύ)
ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ	200 – 2000	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ
		ΜΗΧΑΝΗ DIESEL
		ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
		ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ (για μεγάλη ισχύ)
ΚΤΗΡΙΑ ΓΡΑΦΕΙΩΝ	200 – 500	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ
		ΜΗΧΑΝΗ DIESEL
ΑΘΛΗΤΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ – ΠΙΣΙΝΕΣ	100 – 300	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ
		ΜΗΧΑΝΗ DIESEL
		ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ	200 – 1000	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ
		ΜΗΧΑΝΗ DIESEL
		ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ	200 – 500	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ
		ΜΗΧΑΝΗ DIESEL
		ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

Πίνακας 7 Συγκριτικός Πίνακας συστημάτων ΣΗΘ για κτήρια

Α/Α	ΒΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ %	ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ %	ΟΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ %	C	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ Σ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (°C)
1	ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ	1	5000	32 – 35	40 – 45	75 – 80	0,5 – 0,2	Θ.Ν Α.Χ.Π	400 – 450
2	ΜΗΧΑΝΗ DIESEL	100	20000	35 – 40	40 – 45	70 - 80	0,7 – 0,2	Θ.Ν Α.Χ.Π	320 – 450
3	ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	100	30000	25 – 35	55 – 60	85 – 90	0,6 – 1,1	Θ.Ν Α.Χ.Π Α.Μ.Π	400 – 600
4	ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ	30	300	20 – 30	40-45	65-70	0,2 – 0,5	Θ.Ν	200 – 300
5	Κύκλος ORC και STIRLING	3	3000	5 – 20	70-85	85 – 95	0,1 – 0,4	Θ.Ν	400 - 500
6	ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	5	συνήθως 30 αλλά και έως 120	45 – 50	20 – 25	65 – 70	1 – 2	Θ.Ν Α.Χ.Π Α.Μ.Π	140 - 200
7	ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ	150	100000	35 – 40	40 – 45	75-80	0,07 – 0,57	Α.Χ.Π Α.Μ.Π	180 – 200

3.3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ, ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

3.3.1. Γενικά

Η χρονική περίοδος κατά την οποία απαιτείται θέρμανση των κτηρίων στην Ελλάδα είναι σχετικά μικρή (της τάξεως των 5 μηνών). Έτσι, η εφαρμογή της ΣΗΘ στον κτηριακό τομέα αποκλειστικά για κάλυψη των θερμικών φορτίων μπορεί να είναι αντιοικονομική, λόγω των περιορισμένων ετήσιων ωρών λειτουργίας. Τα κτήρια αυτά όμως έχουν ανάγκη για ψύξη για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Ψύξη μπορεί να παραχθεί από τη θερμότητα ενός σταθμού ΣΗΘ, μέσω των κύκλων απορρόφησης ή προσρόφησης, με μονάδες τριπαραγωγής.

Τριπαραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού, χρήσιμης θερμότητας και ψύξης από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

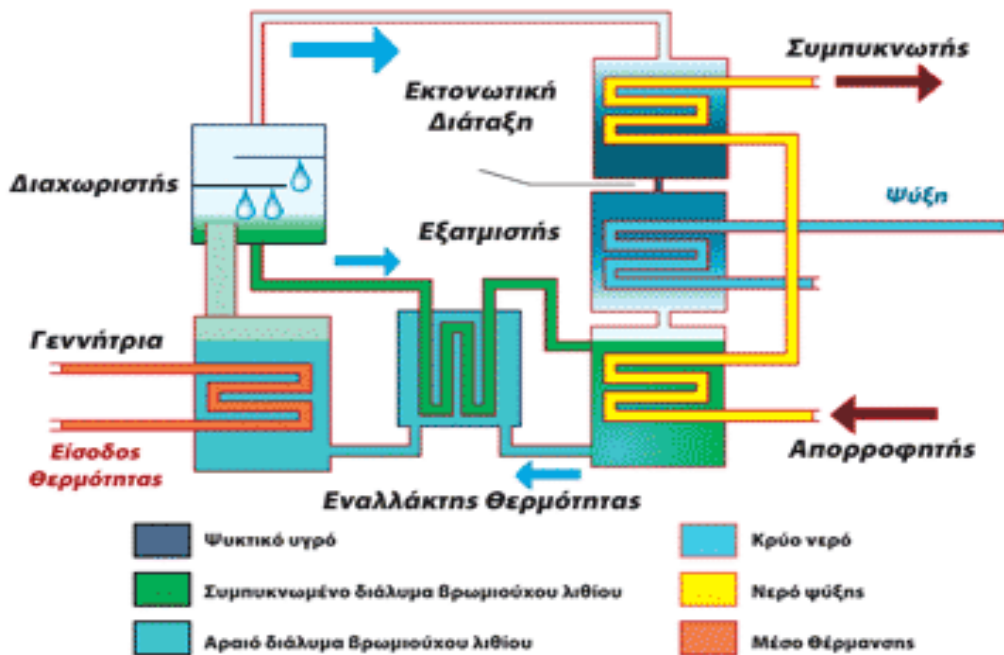
Η μέθοδος της τριπαραγωγής βρίσκει εφαρμογή, στον κτηριακό τομέα, κυρίως σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, κτήρια γραφείων και εμπορικά κέντρα ή σε συστήματα τηλεθέρμανσης - τηλεψύξης. Γενικά, χρησιμοποιείται σε κτήρια με ταυτόχρονες συνεχείς ανάγκες για ηλεκτρισμό και θέρμανση ή/και ψύξη που υπερβαίνουν τις 4.500-5.000 ώρες ετησίως. Οι μονάδες τριπαραγωγής βασίζονται κυρίως σε παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), μικροστροβίλους, συστήματα με οργανικό κύκλο Rankine (ORC), κυψέλες καυσίμου ή μηχανές Stirling, συνδυασμένες με κύκλο απορρόφησης ή προσρόφησης για ψύξη.

3.3.2. Βασικές αρχές ψύξης με απορρόφηση

Οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν τις διεργασίες της συμπύκνωσης-εξάτμισης, για την παραγωγή ψύξης. Διαθέτουν εξατμιστή και συμπυκνωτή, όπου εκτονώνεται το ψυκτικό μέσο. Ωστόσο, αντί του μηχανικού συμπιεστή, οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν θερμότητα, ως ενεργειακή πηγή π.χ. μονάδα ΣΗΘ. Η θερμότητα αυτή παράγεται είτε με άμεση καύση, με χρήση καυστήρα, είτε με έμμεση καύση, με χρήση ατμού, ζεστού νερού ή από περίσσεια/ανάκτηση θερμότητας. Οι μηχανές απορρόφησης, που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο, τροφοδοτούνται με ατμό, ζεστό νερό ή τα αέρια καύσης, που μπορούν να παράγονται και από συστήματα ΣΗΘ.

Στην πιο απλή σχεδιάσή της, η μηχανή απορρόφησης αποτελείται από εξατμιστή, συμπυκνωτή, απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος. Στον κύκλο απορρόφησης, η συμπίεση ατμού του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με συνδυασμό του απορροφητή, της αντλίας διαλύματος και της γεννήτριας.

Η βασική αρχή της μηχανής ψύξης με απορρόφηση φαίνεται στο Σχήμα 24 και πιο αναλυτικά στο Παράρτημα ΙΙΙ.



Σχήμα 24 Αρχή λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονού σταδίου. [7]

Ο ατμός του ψυκτικού μέσου που παράγεται στον εξατμιστή απορροφάται σε ένα απορροφητικό υγρό μέσα στον απορροφητή. Το απορροφητικό που έχει απορροφήσει το ψυκτικό μέσο, το «ασθενές απορροφητικό», διοχετεύεται με αντλίες στη γεννήτρια όπου το ψυκτικό μέσο αποδεσμεύεται ως ατμός. Ο ατμός αυτός θα συμπυκνωθεί στο συμπυκνωτή. Το αναγεννημένο ή «ισχυρό απορροφητικό» οδηγείται στη συνέχεια πίσω στον απορροφητή για να συλλέξει εκ νέου ψυκτικό ατμό. Θερμότητα παρέχεται στη γεννήτρια, σε συγκριτικά υψηλή θερμοκρασία και απορρίπτεται από τον απορροφητή, σε συγκριτικά χαμηλό επίπεδο.

Οι ροές θερμότητας στο βασικό κύκλο είναι οι εξής:

- παροχή θερμότητας και παραγωγή ψύξης, σε χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο,
- απόρριψη θερμότητας στο συμπυκνωτή, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο,
- απόρριψη θερμότητας από τον απορροφητή, σε ενδιάμεσο θερμοκρασιακό επίπεδο,
- παροχή θερμότητας στη γεννήτρια, σε υψηλό θερμοκρασιακό επίπεδο.

Σε έναν κύκλο απορρόφησης, ψυκτικό μέσο και απορροφητικό συγκροτούν το «ζεύγος εργασίας».

Τα μέσα τα οποία κυρίως χρησιμοποιούνται είναι:

- διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (Li-Br) ως απορροφητικό, με νερό ως ψυκτικό μέσο
- αμμωνία (NH_3) ως ψυκτικό με νερό ως απορροφητικό.

Για συστήματα ψύξης “ νερού - βρωμιούχου λιθίου ”, η πηγή θερμότητας πρέπει να είναι σε ελάχιστη θερμοκρασία των 70-90°C για συστήματα μονού σταδίου. Σε συστήματα που χρησιμοποιούν “αμμωνία – νερό” η θερμική ενέργεια παρέχεται σε θερμοκρασία 100-120 °C (μονού σταδίου).

Το ζεύγος “νερού - βρωμιούχου λιθίου” χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ψύξης αέρα, όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 0 °C. Το ζεύγος “αμμωνίας-νερού” χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε εφαρμογές κατάψυξης, με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης, μικρότερες των 0 °C. Τα επίπεδα πίεσης της μηχανής αμμωνίας-νερού είναι συνήθως υψηλότερα της ατμοσφαιρικής πίεσης, ενώ οι μηχανές “νερού - βρωμιούχου λιθίου” λειτουργούν κατά κανόνα σε μερικό κενό.

Το σύστημα διπλού σταδίου χρησιμοποιεί δύο συγκροτήματα γεννήτριας-απορροφητήρα σε στάδια (σειρά), προκειμένου να χρησιμοποιήσει τη θερμότητα που παρέχεται περίπου δύο φορές. Η θερμότητα παρέχεται σε περίπου 170°C στην πρώτη γεννήτρια και η θερμότητα που απορρίφθηκε από τον αντίστοιχο συμπυκνωτή χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια στη δεύτερη γεννήτρια σε χαμηλότερο επίπεδο, της τάξης των 100°C όπως σε συστήματα μονού σταδίου.

Τα πλεονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης έναντι των συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων βασισμένα σε κύκλο συμπίεσης είναι:

- Πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- Ελάχιστα κινούμενα τμήματα, με αποτέλεσμα το μεγάλο χρόνο ζωής, την αυξημένη αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος συντήρησης,
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών,
- Φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα με μηδενικές εκπομπές ρύπων και ουσιών καταστροφής του όζοντος.

Τα μειονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης έναντι των συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων βασισμένα σε κύκλο συμπίεσης είναι:

- Μονάδες μεγάλης ισχύος με μεγάλο βάρος
- Σχετικά υψηλό αρχικό κόστος
- Κατανάλωση νερού σε πύργους ψύξης
- Χαμηλός συντελεστής συμπεριφοράς.

3.3.3. Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα ‘νερού-διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (LiBr)

Τα περισσότερα συστήματα απορρόφησης που βασίζονται στο “νερό-διάλυμα βρωμιούχου λιθίου” έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές ψύξης αέρα. Τα συστήματα αυτά εμφανίστηκαν περί το 1900, πολύ πριν από αυτά του κύκλου συμπίεσης. Για ιστορικούς λόγους, η μονάδα μέτρησης δίνεται σε RT (ψυκτικοί τόνοι - Refrigeration Tons) από τους κατασκευαστές και 1 RT αντιστοιχεί σε ψυκτική ικανότητα περίπου 3,52 kW_ψ.

• Συστήματα μονού σταδίου

Οι περισσότεροι κατασκευαστές προσφέρουν συστήματα μονού σταδίου 100 έως 1500 RT, δηλαδή 350 kW_ψ - 5200 kW_ψ. Αυτά μπορούν να τροφοδοτηθούν απευθείας με καυσαέρια ή με ατμό θερμοκρασίας από 110 έως 120 °C. Εναλλακτικά, μπορούν να τροφοδοτηθούν με υπέρθερμο νερό στους 115 έως 150°C και με μέγιστη πίεση 9 bar.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς (Coefficient of Performance – COP) μιας ψυκτικής διάταξης απορρόφησης, που ορίζεται ως ο λόγος παραγόμενης ψυκτικής, Q_c , προς την προσδιδόμενη θερμική ισχύ, Q_{th} , είναι της τάξης του 0,7.

$$COP = Q_c / Q_{th}$$

- **Συστήματα διπλού σταδίου**

Τα συστήματα διπλού σταδίου είναι περίπου στο ίδιο φάσμα ψυκτικής ισχύος με αυτά του μονού σταδίου. Η ελάχιστη ικανότητα ψύξης που προσφέρεται στην αγορά είναι λίγο υψηλότερη από αυτή των συστημάτων μονού σταδίου (περί τα 500 kW_ψ). Ο ατμός είναι το προτιμώμενο μέσο «τροφοδοσίας» για ένα τέτοιο σύστημα, σε πιέσεις από 9 - 10 bar, που αντιστοιχεί σε περιοχή θερμοκρασιών 175 έως 185°C. Το σύστημα διπλού σταδίου εκκινεί επίσης και με υπέρθερμο νερό, η θερμοκρασία του οποίου κυμαίνεται μεταξύ 155 - 205 °C. Ο συντελεστής συμπεριφοράς σε κάθε περίπτωση είναι 0,9 έως 1,2. Αυτό σημαίνει ότι ο πύργος ψύξης που απαιτείται για έναν ψύκτη διπλού σταδίου είναι μικρότερος από ό,τι για έναν μονού σταδίου κατά περίπου 40%.

Η πολυπλοκότητα των ψυκτών διπλού σταδίου έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους τους σε αντίθεση με αυτούς του μονού σταδίου. Όλες οι εμπορικά διαθέσιμες μηχανές συστημάτων κύκλου απορρόφησης απορρίπτουν θερμότητα σε ένα κύκλωμα πύργου ψύξης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι θερμοκρασίες στο κύκλωμα πύργου ψύξης είναι 32 - 37°C. Οι μονάδες διπλού σταδίου γενικά προτιμώνται περισσότερο από αυτές του μονού σταδίου, λόγω της αυξημένης ενεργειακής αποδοτικότητας και της μειωμένης κατανάλωσης νερού.

Το κόστος μιας μονάδας ανά kW_ψ της ψυκτικής ικανότητας εξαρτάται από το μέγεθός της, αλλά γίνεται σχεδόν σταθερό πάνω από 2000 kW_ψ. Ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι το σύστημα διπλού σταδίου είναι τουλάχιστον 20% ακριβότερο (μπορεί να φθάσει και στο 30-40% ανάλογα με τη χρήση του συστήματος) από το αντίστοιχο σύστημα μονού σταδίου με την ίδια ικανότητα. Ο λόγος για το υψηλότερο κόστος είναι η επιπλέον γεννήτρια και ο συμπυκνωτής κατά τον σχεδιασμό.

Δεύτερος εμπειρικός κανόνας είναι ότι μια μονάδα τροφοδοτούμενη με ζεστό νερό είναι περίπου 25% πιο ακριβή από ότι μία μονάδα ατμού με την ίδια ικανότητα. Η αιτία είναι ότι το μέγεθος των αγωγών, που απαιτούνται για μια δεδομένη παροχή θερμικής ενέργειας στο μηχανήμα απορρόφησης, είναι μεγαλύτερο με ζεστό νερό από ότι με ατμό.

Πίνακας 8 Κόστος συστημάτων απορρόφησης LiBr (τιμές 2017) [7]

Τεχνολογία	Απλής βαθμίδας		Διπλής βαθμίδας				
	Ζεστό νερό		Ατμός ΧΠ	Ατμός ΥΠ		Καυσαέρια	
Πηγή θερμότητας							
Ονομαστική ψυκτική ισχύς (kW)	176	1547	4642	1161	4642	1161	3517
Κόστος εγκατάστασης (€/kW ψύξης)	1433	549	430	717	525	788	478

3.3.4. Ψύξη με απορρόφηση με συστήματα Αμμωνίας-Νερού (NH₃-H₂O)

Τα συστήματα “αμμωνίας-νερού” έχουν σχεδιαστεί κυρίως για βιομηχανικές εφαρμογές ψύξης, π.χ. ψύξη των τροφίμων ή διαδικασία κατάψυξης, με θερμοκρασίες εξάτμισης περίπου στους -60°C. Αυτό το είδος των μηχανών είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες κοντά ή χαμηλότερες των 0°C, δεδομένου ότι οι μονάδες “νερού-βρωμιούχου λιθίου” δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε αυτό το εύρος θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία στην οποία ο ατμός πρέπει να παρέχεται για την «τροφοδοσία» της μονάδας εξαρτάται από τη διαθέσιμη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου και για τη θερμοκρασία ψύξης που πρέπει να επιτευχθεί. Τα συστήματα αυτά δεν ενδείκνυνται για εγκαταστάσεις σε κτήρια με μονάδες ΣΗΘ.

3.3.5. Σύνοψη τεχνολογιών ψύξης με απορρόφηση

Ο Πίνακας 9 συνοψίζει το φάσμα των βασικών παραμέτρων που αφορούν ψύκτες απορρόφησης.

Πίνακας 9 Σύγκριση ψυκτών απορρόφησης NH₃ και LiBr (τιμές 2010).

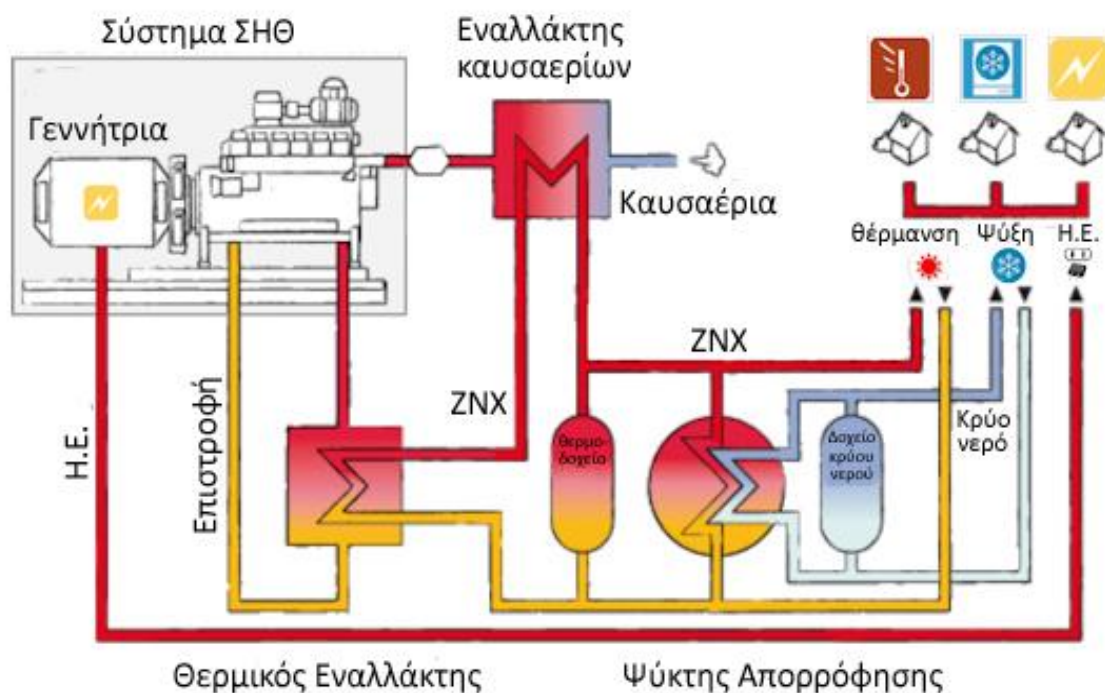
Εφαρμογή - Στάδιο	NH ₃ Απορρόφηση		LiBr – Απορρόφηση	
	Μονό	Μονό	Μονό	Διπλό
Ψυκτική Ικανότητα (kW _ψ)	20- 2500	300 – 5000	300 – 5000	300 – 5000
Συντελεστής συμπεριφοράς COP	0.6 – 0.7	0.5 – 0.6	0.5 – 0.6	0.9 – 1.1
Εύρος Θερμοκρασίας προσδιδόμενης θερμότητας (°C)	120 – 132	120 – 132	120 – 132	150 – 170*
Κόστος Συστήματος (€/ton)	1250 – 1750	870 - 920	870 - 920	930 – 980

- Υπάρχουν ψύκτες απορρόφησης που λειτουργούν με θερμό νερό (80-90 °C), έστω και αν ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι μικρότερος από αυτούς που λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Το κόστος συντήρησης των μηχανών απορρόφησης διαφοροποιείται σημαντικά, ανάλογα με το είδος της συμφωνίας του κατασκευαστή / εγκαταστάτη με τον χρήστη του συστήματος τριπαραγωγής. Στις περισσότερες περιπτώσεις η συμφωνία περιλαμβάνει τη συντήρηση ολόκληρου του συστήματος θέρμανσης / ψύξης / κλιματισμού. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρέχει και τη λειτουργία καθώς και συντήρηση όλου του συστήματος, στο πλαίσιο μιας ενιαίας σύμβασης παροχής ενεργειακών υπηρεσιών.

3.3.6. Σύστημα ΣΗΘ με ψύκτη απορρόφησης

Στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται μια ενδεικτική διάταξη συστήματος ΣΗΘ με ψύκτη απορρόφησης.



πηγή: CENERGY.com

Σχήμα 25 Σύστημα ΣΗΘ με ψύκτη απορρόφησης

3.3.7. Ψύξη με προσρόφηση

Η προσρόφηση περιλαμβάνει την κατανομή μορίων μεταξύ δύο φάσεων, μίας στερεής και μίας αέριας ή υγρής. Πρόκειται μία ευρέως γνωστή και εφαρμοσμένη τεχνολογία σε διεργασίες επεξεργασίας νερού, και καθαρισμού υγρών και αερίων ουσιών. Ωστόσο, μόλις το 1990 οι ερευνητές άρχισαν να διερευνούν την εφαρμογή της σε κύκλους ψύξης.

Αντίστοιχα με την ψύκτη με απορρόφηση, οι ψύκτες προσρόφησης λειτουργούν τροφοδοτούμενοι με θερμότητα σχετικά υψηλότερης θερμοκρασίας (η οποία ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία) και παράγουν ψύξη. Για αυτό το λόγο, βρίσκουν χρήση σε εφαρμογές εκμετάλλευσης απορριπτόμενης θερμότητας αλλά και σε εφαρμογές ηλιακής ψύξης. Φυσικά, μπορούν να ενσωματωθούν και σε ένα ευρύτερο σύστημα συμπαραγωγής μετατρέποντάς το σε σύστημα τριπαραγωγής, είτε αξιοποιώντας την πρωτογενώς παραγόμενη θερμότητα της αρχικής πηγής ενέργειας, είτε μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας που αποβάλλεται από την θερμοηλεκτρική μηχανή του συστήματος συμπαραγωγής (πχ ΜΕΚ).

Η ψύξη με προσρόφηση παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με την ψύξη με απορρόφηση, η οποία είναι επίσης μία τεχνολογία θερμικής ψύξης. Αυτά αφορούν την απλότητα του απαιτούμενου εξοπλισμού, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για τη χρήση ανορθωτή σύστασης. Επιπλέον, η ψύξη με προσρόφηση επιτρέπει την αξιοποίηση πηγών θερμότητας πολύ χαμηλής θερμοκρασίας, χαμηλότερης των 70 °C, που είναι η κατώτερη επιτρεπόμενη θερμοκρασία για ψύκτες απορρόφησης. Σε σύγκριση με τη συμβατική τεχνολογία ψύξης συμπίεσης ατμού, τα συστήματα με προσρόφηση δίνουν τη δυνατότητα αξιοποίησης απορριπτόμενης θερμότητας ή ηλιακής ενέργειας, έχουν μικρότερο κόστος λειτουργίας, δεν έχουν κινούμενα μέρη και δεν παρουσιάζουν ταλαντώσεις κατά τη λειτουργία τους. Το κύριο μειονέκτημα της τεχνολογίας ψύξης με προσρόφηση είναι η μειωμένη δυνατότητα προσρόφησης των προσροφητών η οποία έχει ως αποτέλεσμα μικρών τιμών συντελεστή συμπεριφοράς και ειδικής ψυκτικής ικανότητας.

Οι ψύκτες προσρόφησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ομάδες ανάλογα με τη φύση των επιφανειακών δυνάμεων που προκαλούν την προσρόφηση: 1) φυσικής προσρόφησης και 2) χημικής προσρόφησης. Σε αυτή τη βάση, υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες προσροφητών: οι φυσικοί, οι χημικοί και οι σύνθετοι προσροφητές. Σε γενικές γραμμές, τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός προσρόφηση περιλαμβάνουν μεγάλη εσωτερική επιφάνεια, υψηλή δυνατότητα αναγέννησης και αργή γήρανση, προκειμένου να διατηρείται η προσροφητική τους ικανότητα μετά από πολλούς κύκλους λειτουργίας.

Ο δείκτης που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την απόδοση των ψυκτών προσρόφησης είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP). Στην περίπτωση των ψυκτών προσρόφησης ο COP ορίζεται ως το ποσό της παραγόμενης ψύξης διαιρούμενο με το ποσό της προσδιδόμενης στον ψύκτη θερμότητα.

3.3.7.1 Προσροφητές

Οι πιο συνήθεις φυσικοί προσροφητές περιλαμβάνουν τον ενεργό άνθρακα, το ζεόλιθο και το τζελ πυριτίου (silicagel). Τα βασικά χαρακτηριστικά τους περιγράφονται ακολούθως.

Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από υλικά όπως το ξύλο, ο άνθρακας, το ορυκτέλαιο κλπ. Τα κενά μεταξύ των μικροκρυσταλλιτών του ενεργού άνθρακα, στους οποίους και λαμβάνει χώρα η διεργασία της προσρόφησης ονομάζονται πόροι. Η δομή των πόρων επομένως είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει τη λειτουργία τους σε εφαρμογές ψύξης. Σε γενικές

γραμμές, οι ενεργοί άνθρακες αποτελούν μία ανταγωνιστική λύση λόγω της υψηλής τους επιφάνειας και του μικρού του κόστους.

Τα υψηλά κόστη αναγέννησης των προσροφητών ενεργού άνθρακα έχουν οδηγήσει στην ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών, φθηνών προσροφητών όπως οι ζεόλιθοι. Ο ζεόλιθος είναι ένας αργιλοπυριτικός κρύσταλλος με τρισδιάστατη δομή αποτελούμενη από AlO_4 και SiO_4 . Οι πόροι του προσροφούν επιλεκτικά μόρια τα οποία χωρούν σε αυτούς και όχι μεγαλύτερα μόρια, λειτουργώντας έτσι ως «μοριακά κόσκινα».

Το τζελ πυριτίου είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς προσροφητές. Η ευρεία τους χρήση οφείλεται στη μεγάλη τους ψυκτική ικανότητα, το μικρό κόστος, την εμπορική διαθεσιμότητα και την ευκολία αναγέννησης στους $150\text{ }^\circ\text{C}$, σε αντίθεση με τους ζεόλιθους, που απαιτούν $350\text{ }^\circ\text{C}$. Για αυτό το λόγο, είναι ο καταλληλότερος προσροφητής για εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας όπως η απορριπτόμενη θερμότητα.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των χημικών προσροφητών είναι η μεγάλη προσροφητική ικανότητα και οι χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησής τους. Τα μειονεκτήματά τους είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα η οποία οδηγεί σε πιο χαμηλές ταχύτητες αντίδρασης και τη μειωμένη ανθεκτικότητα των προσροφητών με επαναλαμβανόμενους κύκλους λειτουργίας.

Το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) είναι ένας από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους χημικούς προσροφητές. Έχει πολύ μεγάλη προσροφητική ικανότητα σε στερεή κατάσταση, καθώς μπορεί να απορροφήσει υγρασία που φτάνει το 90 % του βάρους του σε συνθήκες περιβάλλοντος. Το μειονέκτημα του CaCl_2 είναι η εμφάνιση συσσωματώσεων στην επιφάνειά του, που οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του ψυκτικού κύκλου.

Επιπλέον χημικοί προσροφητές είναι το χλωριούχο λίθιο καθώς και οξειδία μετάλλων.

3.3.7.2 Ψυκτικά ρευστά

Ανάλογα με το είδος του προσροφητή χρησιμοποιούνται διάφορα ψυκτικά ρευστά, τα κυριότερα από τα οποία είναι το νερό, η αμμωνία, η μεθανόλη και η αιθανόλη.

Το νερό είναι το πιο παλιό ψυκτικό, λόγω της διαθεσιμότητάς του, του χαμηλού κόστους και του γεγονότος ότι είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Ωστόσο, ένα μειονέκτημά του είναι ότι δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές δημιουργίας πάγου κάτω των $0\text{ }^\circ\text{C}$.

Η αμμωνία χρησιμοποιείται ευρέως σε ψύκτες προσρόφησης, κυρίως με χλωριούχα μέταλλα. Τα πλεονεκτήματά της είναι η υψηλή ενθαλπία ατμοποίησης, η θερμική της ευστάθεια, καθώς και το ότι δεν καταστρέφει το όζον και δεν επιβαρύνει σημαντικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η χαμηλή θερμοκρασία τήξης της.

Η αιθανόλη χρησιμοποιείται επίσης ευρέως καθώς παγώνει σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία ($-114\text{ }^\circ\text{C}$), δεν είναι τοξική, έχει υψηλή θερμική ευστάθεια και καλή θερμότητα ατμοποίησης.

Η μεθανόλη από την άλλη, είναι επίσης μη τοξική και έχει υψηλή θερμότητα ατμοποίησης. Ωστόσο, ένα μειονέκτημά της είναι ότι έχει διαβρωτική συμπεριφορά, οδηγώντας έτσι στην απαίτηση κατάλληλων ανθεκτικών στη διάβρωση υλικών που οδηγούν σε υψηλότερα κόστη.

Με βάση τους προσροφητές και τα ψυκτικά ρευστά, προκύπτουν διάφοροι συνδυασμοί ζευγών λειτουργίας. Οι πιο συνήθεις είναι ο ζεόλιθος-νερό, το τζελ πυριτίου-νερό, ο ενεργός

άνθρακας-αμμωνία και το χλωριούχο ασβέστιο-μεθανόλη. Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά των ζευγών λειτουργίας ψυκτών προσρόφησης συνοψίζονται περιέχει ο Πίνακας 10.

Πίνακας 10 Σύγκριση ζευγών λειτουργίας προσρόφησης

Ζεύγος λειτουργίας	COP	Ειδική ψυκτική ισχύς (W/kg)	Θερμοκρασία ψύξης (°C)	Θερμοκρασία αναγέννησης (°C)
<u>Φυσικοί προσροφητές</u>				
EA/αμμωνία	0.61	2000	-5	100
EA/μεθανόλη	0.78	16	15	90
EA/αιθανόλη	0.8		3	80
Τζελ πυριτίου/νερό	0.61	208	12	82
Ζεόλιθος/νερό	0.4	600	6.5	350
<u>Χημικοί προσροφητές</u>				
Χλωριούχο μέταλλο/αμμωνία	0.6		-10	52
Χλωριούχο/μέταλλο/υδρογόνο	0.83	300	-50	85
Μεταλλικά οξειδία/νερό		78	100	200

Στη συνέχεια (Πίνακας 11) παρουσιάζονται τα στοιχεία απόδοσης διαφόρων συστημάτων ψύκτης προσρόφησης από τη βιβλιογραφία με βάση πειραματικές μελέτες.

Πίνακας 11 Βιβλιογραφική επισκόπηση πειραματικών μελετών σε ψύκτες προσρόφησης

Ψυκτικό ρευστό	Προσροφητής	$\theta_{εκρ} (^{\circ}C)$	$\theta_{συμπ} (^{\circ}C)$	$\theta_{απμ}$ ($^{\circ}C$)	COP	Ψυκτική ικανότητα (W/kg)
Αμμωνία	BaCl ₂	90	30	10	0.52- 0.55	300-680
	CaCl ₂ /ενεργός άνθρακας	144	29	-21	0.26	474
	CaCl ₂ /ενεργός άνθρακας	130	25	5	0.23	230
	CaCl ₂ /BaCl ₂	95	30	0	0.201	220.3
	CaCl ₂ /γραφίτη ς	140.3	25	-15	0.270	422.2
	CaCl ₂ /silica gel	125	27-35	-2.5	0.2	364
Νερό	SWS-8L	90	30	15	0.3	389
	Μικροπόροι ενεργού άνθρακα/silica gel/CaCl ₂	115	27	5	0.7	378
	Ενεργός άνθρακας	115	27	5	0.37	65
	SAPO-34 (silica gel)	60	31-35	15	0.122	169.74
	Silica gel	80	30	14	0.45	176
	Silica gel	82.1	31.6	12.3	0.49	
	Silica gel	85	32	20	0.331	
	Silica gel	80	30	15	0.53	68
	Silica gel	84.4	30.5	16.5	0.43	104.6
	Ζεόλιθος	80-90	41	18	0.42	
	ZSM-5 (ζεόλιθος)	100			0.06	91.2
Μεθανόλη	Silica gel/LiCl	85.2-88	25-31.4	-4-15.2	15.34	225
	Silica gel/LiCl	96	31	15	0.41	244
	LiCl/SiO ₂	85	30	10	0.32	2500

	CaCl ₂ /silica gel	84.8	29.8	15.3	0.41	
	Ενεργός άνθρακας	38-116	20.4	-1.1		
Αιθανόλη	SG/LiBr	90	30	-2-7	0.64-0.72	
	Ενεργός άνθρακας	100	30	14	0.236	59-181
Γλυκόλη	SWS-1L	95-100	35	7-12	0.25	150-200

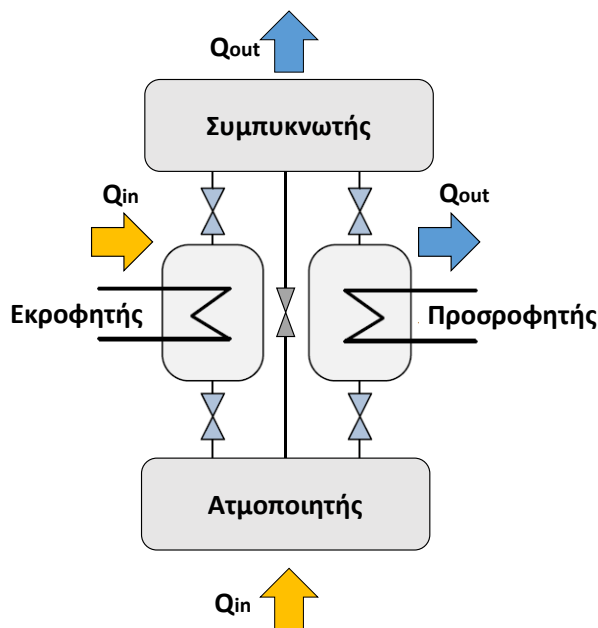
Ακολούθως (Πίνακας 12) συνοψίζονται οι μέσες τιμές των χαρακτηριστικών απόδοσης ψυκτών απορρόφησης με βάση υπολογιστικές και πειραματικές βιβλιογραφικές μελέτες.

Πίνακας 12 Μέσες τιμές χαρακτηριστικών απόδοσης ψυκτών προσρόφησης από τη βιβλιογραφία

Ψυκτικό ρευστό		Μέσο COP	Μέση ειδική ψυκτική ικανότητα (W/kg)
Αμμωνία	Υπολογιστικά	0.481	152
	Πειραματικά	0.283	366.8
Νερό	Υπολογιστικά	0.478	190
	Πειραματικά	0.382	180.2
Μεθανόλη	Υπολογιστικά	0.486	793
	Πειραματικά	0.344	234.5
Αιθανόλη	Υπολογιστικά	0.55	-
	Πειραματικά	0.532	120

3.3.7.3 Λειτουργία ψυκτών προσρόφησης

Μία απλή μορφή ενός ψύκτη προσρόφησης απεικονίζεται στο Σχήμα 26.



Σχήμα 26 Συστατικά στοιχεία ενός απλού ψύκτη προσρόφησης

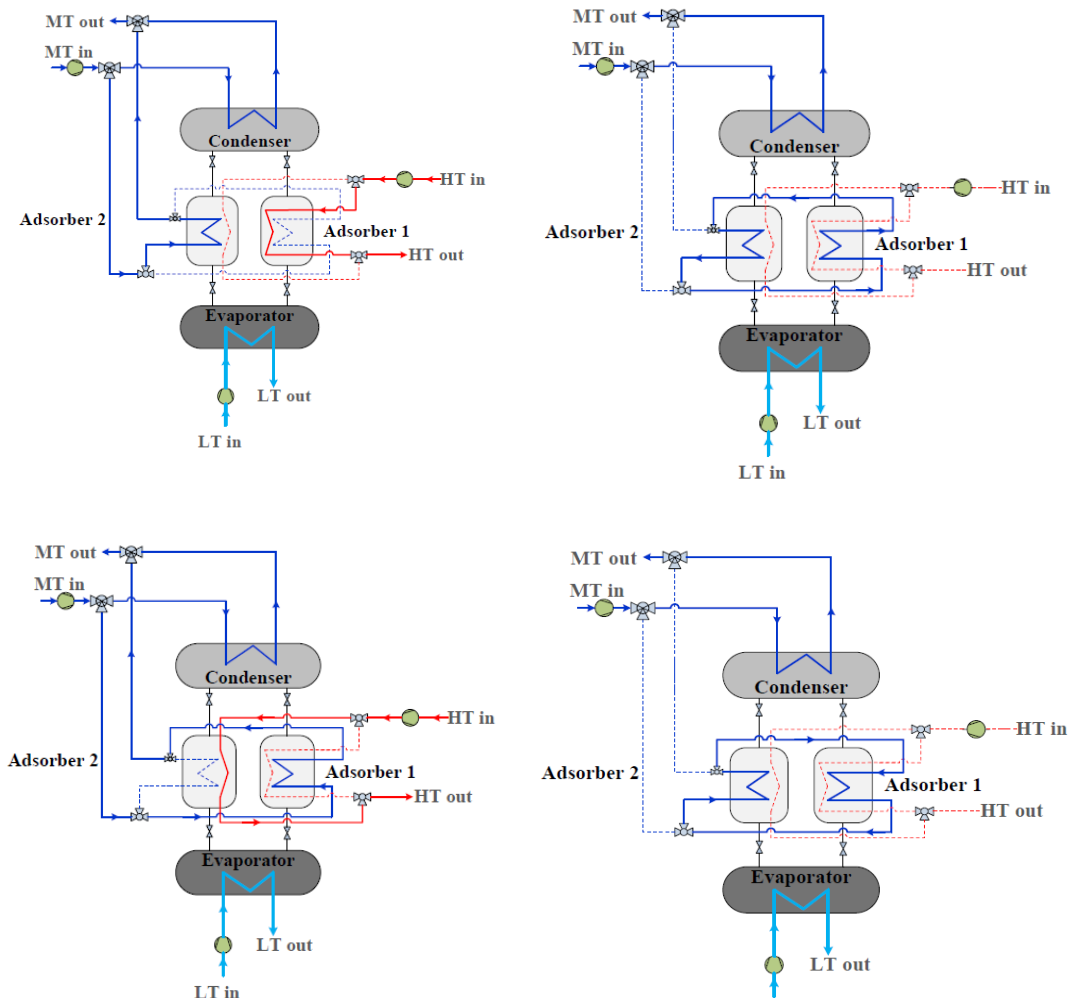
Ο ψύκτης προσρόφησης αποτελείται από 4 στοιχεία. Τον Ατμοποιητή, το Συμπυκνωτή, τον Προσοφητή και τον Εκροφητή (που λέγεται και Αναγεννητής). Ο ψύκτης προσρόφησης λειτουργεί κυκλικά. Όπως θα εξηγηθεί και στη συνέχεια, ο Προσοφητής και ο Εκροφητής εναλλάσσουν περιοδικά το ρόλο τους (δηλαδή ο Προσοφητής λειτουργεί σαν Εκροφητής και αντιστρόφως) κατά τη λειτουργία του ψύκτη, καθώς απορροφούν και αποβάλλουν θερμότητα. Αυτό συμβαίνει για να υπάρχει κατά το δυνατόν ομαλή και συνεχής λειτουργία.

Ο απλός κύκλος προσρόφησης αποτελείται από 2 βασικές φάσεις: την εκρόφηση και την προσρόφηση. Αρχικά ο εκροφητής (αριστερά) είναι κορεσμένος με ψυκτικό υγρό που βρίσκεται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία. Προκειμένου αυτό να απομακρυνθεί, γίνεται εκκίνηση της φάσης εκρόφησης: ο εκροφητής θερμαίνεται από μία εξωτερική πηγή θερμότητας, εξωθώντας το ψυκτικό από την επιφάνειά του και αυξάνοντας την πίεσή του. Το εκροφηθέν ψυκτικό ρευστό οδηγείται στο Συμπυκνωτή, όπου και ψυχόμενο μεταβαίνει σε υγρή φάση σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία.

Στη συνέχεια το ψυκτικό ρευστό στραγγαλίζεται διαμέσου της κεντρικής βαλβίδας και οδηγείται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία στον Ατμοποιητή, όπου απορροφά θερμότητα και ατμοποιείται. Ο χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας ατμός οδηγείται κατόπιν από τον ατμοποιητή στον Προσοφητή.

Εκεί λαμβάνει χώρα η διεργασία της προσρόφησης, κατά την οποία ο προσοφητής ψύχεται και το ψυκτικό ρευστό προσροφάται στην επιφάνειά του. Ο προσοφητής στη συνέχεια γίνεται εκροφητής και θερμαίνεται, με την επανάληψη του κύκλου.

Αναλυτικά η διαδικασία είναι η εξής και φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα. Με έντονο χρώμα φαίνεται σε κάθε στάδιο λειτουργίας τα ρεύματα το οποία είναι συνδεδεμένα με τον ψύκτη, ενώ με διακεκομμένη γραμμή απεικονίζονται τα ρεύματα που είναι αποσυνδεδεμένα.



Σχήμα 27 Διεργασίες λειτουργίας ενός ψύκτη προσρόφησης

Οι διεργασίες που υλοποιούνται κατά τον κύκλο προσρόφησης είναι αντίστοιχες με αυτές του κύκλου μηχανικής συμπίεσης ατμού. Η πρόσληψη θερμότητας από το ψυκτικό μέσο στον ατμοποιητή έχει σαν αποτέλεσμα την ατμοποίησή του και την επιθυμητή ψύξη του νερού ψύξης. Η φάση της συμπίεσης όμως γίνεται θερμοφυσικά μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας του θαλάμου προσρόφησης και όχι μηχανικά μέσω συμπιεστή. Κατά το πρώτο βήμα ο θάλαμος του προσροφητή όπου έχει προσποηθεί ο ατμός νερού θερμαίνεται από την πηγή θερμότητας στην υψηλή θερμοκρασία του κύκλου T_H . Η πίεση του θαλάμου αυξάνεται από την πίεση ατμοποίησης έως την πίεση συμπύκνωσης του ψυκτικού μέσου ενώ και η θερμοκρασία του αυξάνεται. Κατά το δεύτερο βήμα ο θάλαμος προσρόφησης συνεχίζει να δέχεται θερμότητα και η θερμοκρασία του συνεχίζει να αυξάνεται, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την αντίστροφη διαδικασία της προσρόφησης(αναγέννηση) του ατμού και

απομάκρυνσή του από τον προσροφητή. Ο ατμός αυτός στη συνέχεια κατευθύνεται στον συμπυκνωτή όπου υγροποιείται στην ήδη υψηλή πίεση του κύκλου, ενώ η θερμότητα συμπύκνωσης αποβάλλεται στο περιβάλλον στην θερμοκρασία $T_c(25-35\text{ }^\circ\text{C})$.

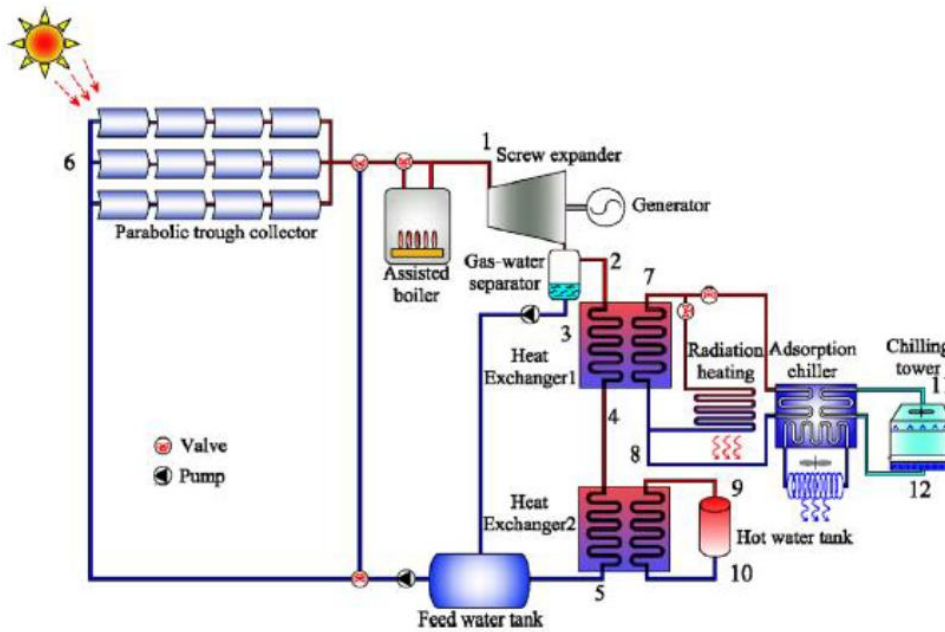
Στην έναρξη του τρίτου βήματος ο θάλαμος του προσροφητή αποσυνδέεται από τον συμπυκνωτή μέσω βαλβίδας και κατόπιν ψύχεται αποβάλλοντας τη θερμότητα στο περιβάλλον στη θερμοκρασία T_m . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της πίεσης του θαλάμου από την πίεση συμπύκνωσης στην πίεση ατμοποίησης. Κατά το τέταρτο βήμα ο θάλαμος προσρόφησης συνεχίζει να αποβάλλει θερμότητα και να μειώνεται η θερμοκρασία του ενώ συνδέεται με τον ατμοποιητή όπου το ψυκτικό μέσο προσλαμβάνοντας θερμότητα και από το κύκλωμα του ψυχρού νερού γίνεται ατμός. Στη συνέχεια η μειωμένη θερμοκρασία του θαλάμου προσρόφησης επιτρέπει την προσρόφηση των ατμών νερού από τον προσροφητή.

Ο παραπάνω βασικός ψυκτικός κύκλος προσρόφησης είναι μία διακοπτόμενη διαδικασία με αποτέλεσμα η ψύξη να μην είναι συνεχής. Για να επιτευχθεί συνεχής ψύξη απαιτούνται τουλάχιστον δύο θάλαμοι προσρόφησης. Κατά αυτή τη λειτουργία όταν ο ένας είναι στη φάση της προσρόφησης ο άλλος είναι στη φάση της αναγέννησης και η λειτουργία τους διαρκώς εναλλάσσεται όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

3.3.7.4 Παραδείγματα συστημάτων συμπαραγωγής με ψύξη προσρόφησης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται μερικά καινοτόμα συστήματα που συνδυάζουν την εφαρμογή ψυκτών προσρόφησης για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Ο στόχος είναι να παρουσιαστούν οι ευρείες δυνατότητες ενσωμάτωσης της τεχνολογίας.

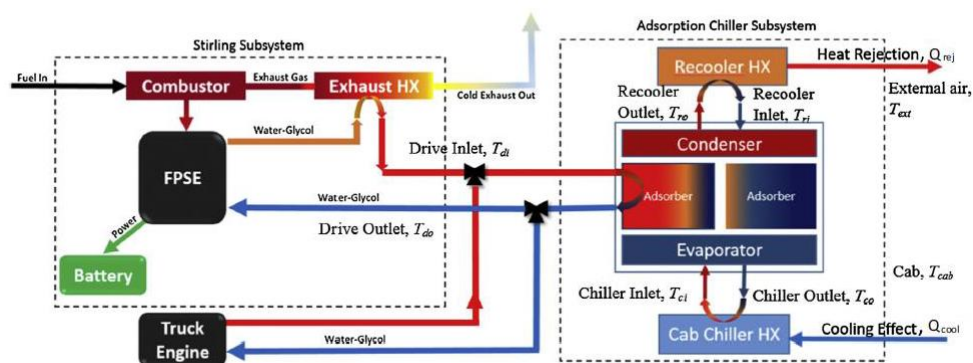
Ένα τέτοιο σύστημα απεικονίζεται στο Σχήμα 28. Το σχήμα αυτό είναι ένα σύστημα ηλιακής τριπαραγωγής, το οποίο περιλαμβάνει έναν κύκλο Rankine με κοχλιωτό εκτονωτή και 8 ψύκτες προσρόφησης. Ο ψύκτης παραλαμβάνει την απαιτούμενη θερμότητα από έναν εναλλάκτη που ψύχει τον ατμό που εξέρχεται από τον εκτονωτή, ενώ το ψυκτικό νερό για την προσρόφησης παραλαμβάνεται από έναν πύργο ψύξης.



Σχήμα 28 Σύστημα ηλιακής παραγωγής ηλεκτρισμού, θέρμανσης και ψύξης με ψύκτη προσρόφησης και κύκλο Rankine

Το παραπάνω σύστημα έχει τη δυνατότητα να παράγει ψύξη, θέρμανση και ηλεκτρισμό. Εάν και στη συγκεκριμένη περίπτωση η πρωταρχική πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή, αντίστοιχα συστήματα μπορούν να βρουν εφαρμογή και σε εφαρμογές ορυκτών καυσίμων με χρήση πηλεβήτων φυσικού αερίου ή σε εφαρμογές απορριπτόμενης θερμότητας από βιομηχανικές διεργασίες.

Το επόμενο σύστημα (Σχήμα 29) συνδυάζει έναν ψύκτη προσρόφησης με μία μηχανή Stirling για αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας από μηχανή φορτηγού. Σε αυτή την περίπτωση τα ωφέλιμα προϊόντα είναι ψύξη και μηχανική ισχύς. Ο κύκλος προσρόφησης τροφοδοτείται είτε με το νερό ψύξης της μηχανής Stirling είτε με τα καυσαερία της.



Σχήμα 29 Σύστημα ψύξης με προσρόφηση σε σύζευξη με μηχανή Stirling

4. ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΑΕΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα εναλλακτικά καύσιμα σταθμών ΣΗΘ είναι τα κάτωθι:

- φυσικό αέριο (ΦΑ)
- υγραέριο
- βιοαέριο
- μίγμα φυσικού αερίου και βιοαερίου
- πετρέλαιο {μαζούτ / ελαφρύ (Diesel)}

Η εμπορική εφαρμογή της πολύ μικρής- και της μικρής- ΣΗΘ γίνεται ως επί το πλείστον με καύσιμο φυσικό αέριο ή υγραέριο.

4.2. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ Φ.Α.

Η σύσταση του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα, δίνεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 13). Η σύσταση διαφέρει ανάλογα με την πηγή προέλευσής του (π.χ. Ρωσία ή Αλγερία).

Πίνακας 13 Φυσικές ιδιότητες Φ.Α.

ΣΥΣΤΑΣΗ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΡΩΣΙΚΟ	ΑΛΓΕΡΙΝΟ
	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ
Μεθάνιο	min 85 %	85,6 –96,6 %
Αιθάνιο	max 7 %	3,2- 8,5 %
Προπάνιο	max 3 %	0-3 %
Βουτάνιο	max 2 %	0-1,2 %
Πεντάνιο και βαρύτερα	max 1 %	0-0,7 %
Αζωτο	max 5 %	0,2-1,4 %
Διοξείδιο του άνθρακα	max 3 %	0 %
Υδρόθειο	max 5 mg/ m ³	Max 0,5 ppm
Μερκαπτάνη	max 15 mg/m ³	max 2,3 mg/m ³
Σύνολο Θείου	max 60 mg/m ³	max 30 mg/m ³
Πυκνότητα	0,685 kg/m ³	0,74 –0,82 kg/m ³
Μέση Ανωτέρα Θερμογόνος Ικανότητα	9.524 kcal/Nm ³	9.982 kcal/Nm ³
Μέση Κατωτέρα Θερμογόνος Ικανότητα	8.686 kcal/Nm ³	9.016 kcal/Nm ³

4.3. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ

Το υγραέριο αποτελεί μίγμα προπανίου και βουτανίου, οι οποίοι είναι υδρογονάνθρακες με τρία και τέσσερα άτομα άνθρακα, αντίστοιχα. Η χημική σύσταση του προπανίου είναι C_3H_8 ενώ του βουτανίου είναι C_4H_{10} . Τα μίγματα αυτών των υδρογονανθράκων που προορίζονται για την κατανάλωση περιέχουν ποσότητες άλλων ουσιών, όπως ακόρεστο προπάνιο (προπένιο) και ακόρεστο βουτάνιο (βουτένιο), καθώς και ίχνη από ελαφρύτερους και βαρύτερους υδρογονάνθρακες (αιθάνιο, μεθάνιο, πεντάνιο και άλλα). Για τη διάκριση αυτών των μιγμάτων από τις καθαρές μορφές των αερίων, αυτά είναι γνωστά ως “προπάνιο του εμπορίου” και “βουτάνιο του εμπορίου” και οι προδιαγραφές τους αναφέρονται στο Υπουργικό Διάταγμα με αριθμό 2912 76 20-7-1976. (Πίνακας 14).

Πίνακας 14 Φυσικές ιδιότητες Υγραερίου

	Προπάνιο	η- Βουτάνιο
Χημικός Τύπος	C_3H_8	C_4H_{10}
Μοριακό Βάρος	44,094	58,120
Σημείο πήξης υγρού σε 760mmHg (°C)	-187,7	-138,3
Σημείο βρασμού υγρού σε 760mmHg (°C)	-42,1	-0,5
Πυκνότητα υγρού σε 15,5°C (kg/lit)	0,507	0,583
Σχετική πυκνότητα αερίου (αέρας = 1) σε S.C.	1,522	2,006
Κρίσιμη θερμοκρασία (°C)	96,8	152,0
Κρίσιμη πίεση-απόλυτη (bar)	42,6	38,0
Λόγος όγκου αερίου προς υγρό σε Π.Σ.	272,7	237,8
Λανθάνουσα θερμότητα στο σημείο βρασμού 1 atm σε kcal/kg	101,7	92,3
Λανθάνουσα θερμότητα στο σημείο βρασμού σε kcal/Lit	51,5	53,1
Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα (*) σε Π.Σ. (kcal/kg)	12.048	11.851
Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα (*) σε Π.Σ. (kcal/m ³)	22.766	29.875

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά ισχύουν για το καθαρό προπάνιο (pure Propane) και το καθαρό η-βουτάνιο (pure η-Butane). Οι συνθήκες περιβάλλοντος 15,5°C (60 °F) και 760 mmHg είναι οι διεθνώς αναφερόμενες ως -πρότυπες συνθήκες (Standard Conditions –S.C). Στον πίνακα χρησιμοποιείται η συντομογραφία Π.Σ. (S.C). (*) Στην Ελληνική βιβλιογραφία και νομοθεσία αναφέρεται και ως Ανώτερη Θερμογόνος **Δύναμη**.

4.4. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο παράγεται σε κατάλληλους χωνευτές (digesters) από την αναερόβια χώνευση (AX) κτηνοτροφικών, κυρίως, αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα χοιροστασιών, πτηνοτροφείων, βουστασιών καθώς και άλλων αγροτοβιομηχανικών μονάδων (ελαιουργείων, σφαγείων, τυροκομείων, ιχθυοτροφείων κ.α.), λύματα των βιολογικών καθαρισμών, καθώς και

από την αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος απορριμμάτων στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄) κατά 55-70% και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) κατά 30-45%. Επίσης περιέχει ελάχιστες ποσότητες άλλων αερίων, όπως άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο και η κατώτερη θερμογόνος ικανότητά του κυμαίνεται από 20 έως 25 MJ/m³.

Μετά την ΑΧ ή την αεριοποίηση, το βιοαέριο υφίσταται καθαρισμό (που συνίσταται σε απομάκρυνση των σωματιδίων H₂S, NH₃, H₂O), αναβάθμιση (δηλ. απομάκρυνση CO₂ και προσθήκη προπανίου) και, τέλος, απόσπηση. Το παραγόμενο αέριο ονομάζεται **βιομεθάνιο** και διακρίνεται σε βιομεθάνιο ποιότητας L (89% CH₄), ή ποιότητας H (96% CH₄). Το βιομεθάνιο που προέρχεται από την τεχνολογία της ΑΧ ανήκει στα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, ενώ αυτό που προέρχεται από την αεριοποίηση θεωρείται βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς.

Η σύσταση και οι ελάχιστες ποιοτικές προδιαγραφές και απαιτήσεις που πρέπει να πληροί το βιομεθάνιο για χρήση του ως καύσιμο μεταφορών ή για έγχυση στο δίκτυο του ΦΑ παρουσιάζονται ακολούθως (Πίνακας 15 και Πίνακας 16).

Πίνακας 15 Σύσταση και ιδιότητες βιοαερίου, βιο-μεθανίου και αερίου σύνθεσης

Συστατικό	Σύμβολο	Βιοαέριο	Βιομεθάνιο	Αέριο σύνθεσης (Με αέρα)	Αέριο σύνθεσης (Με ατμό)
Μεθάνιο	CH ₄	55-70%	>97%	3-7%	4-14%
Διοξείδιο άνθρακα	CO ₂	30-45%	<1%	11-19%	15-30%
Υδρογόνο	H ₂	-	-	6-19%	26-55%
Άζωτο	N ₂	<2%	<2%	42-60%	0%
Οξυγόνο	O ₂	<0,5%	<0,5%	-	-
Υδρόθειο	H ₂ S	<500 ppm	<0,5 mg/Nm ³	-	-
Υδρογονάνθρακες	C _n H _m	<100 ppm	<10 ppm	0,5-2,%	0,5-2,%
Νερό	H ₂ O	κορεσμένο	< 0,03 g/m ³	-	-

Πηγή : [8], [21]

Πίνακας 16 Σύγκριση συστατικών διαφόρων αερίων καυσίμων

Συστατικό	Σύμβολο	Αέριο ΧΥΤΑ	Αέριο ιλύος βιολογικών απόβλητων	Αέριο ιλύος βιομηχανικών απόβλητων	Φυσικό αέριο
Μεθάνιο	CH ₄	47%	67%	77%	91.1%
Διοξείδιο άνθρακα	CO ₂	35%	33%	23%	0.5%
Άζωτο	N ₂	16%	0.2%	Ίχνη	0.6%
Οξυγόνο	O ₂	2%	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη
Υδρογόνο	H ₂	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη
Υδρόθειο	H ₂ S	300 ppm	<10 ppm	<10 ppm	Ίχνη
Διάφοροι Υδρογονάνθρακες	C _n H _m	50 ppm	<10 ppm	<10 ppm	7.8 %

Πηγή : [8]

Κυριότερες πηγές για την παραγωγή βιοαερίου είναι οι ενεργειακές καλλιέργειες (καλαμπόκι – σιτηρά, κ.α) όπως επίσης οι ΧΥΤΑ και τα λύματα βιολογικών καθαρισμών.

4.6. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Με βάση την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων ΣΗΘ, η σύνδεσή τους με το δίκτυο διανομής ΦΑ μπορεί να γίνει είτε στο δίκτυο μέσης πίεσης (ονομαστική πίεση 19 bar με συνήθη πίεση τροφοδοσίας 1 ή 2 bar), είτε στο δίκτυο χαμηλής πίεσης (ονομαστική πίεση 4 bar ή 25 mbar) με συνήθη πίεση τροφοδοσίας 25 ή 300 mbar και 25 mbar αντίστοιχα.

Ακολουθώς (Πίνακας 17) συνοψίζονται οι δυνατότητες σύνδεσης.

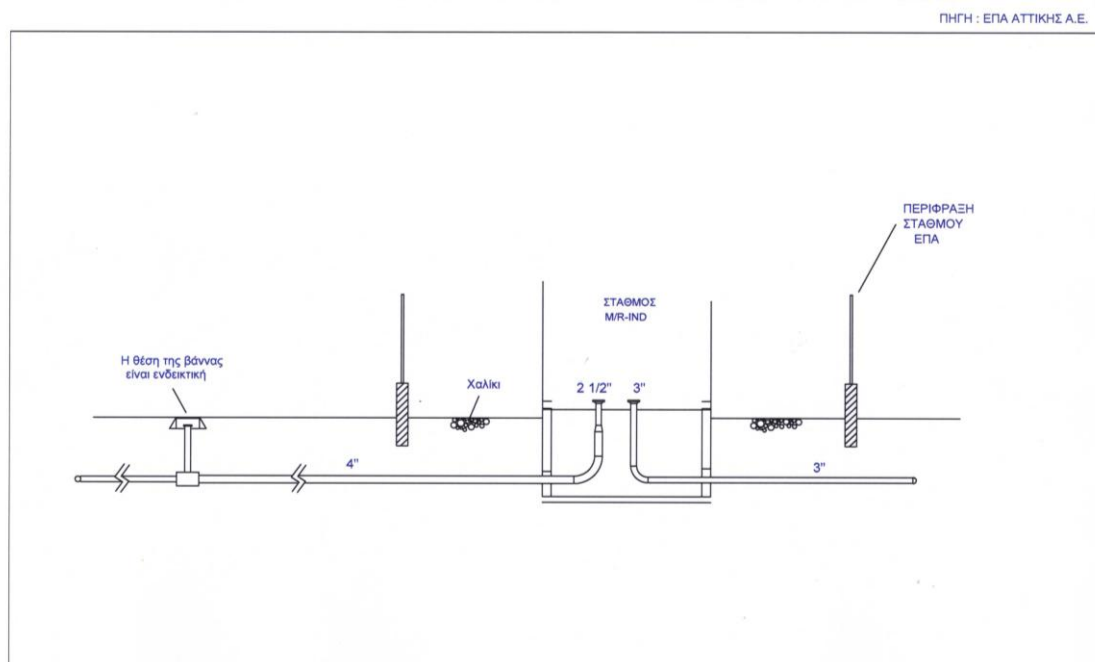
Πίνακας 17 Πιέσεις τροφοδοσίας μονάδων ΣΗΘ

Δίκτυο Διανομής	Πίεση Παροχής	Τύπος Σταθμού Ρύθμισης και Μέτρησης Φ.Α.	Πίεση τροφοδοσίας εσωτερικής εγκατάστασης
Μέσης Πίεσης	19 bar	MR-IND	1 bar ή 2 bar
Χαμηλής Πίεσης	4 bar	MRS	300 mbar
Χαμηλής Πίεσης	4 bar	Μετρητής	25 mbar
Χαμηλής Πίεσης	25 mbar	Μετρητής	25 mbar

Για την τροφοδότηση της μονάδας ΣΗΘ από το δίκτυο της μέσης πίεσης 19 bar απαιτείται η εγκατάσταση από το Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Φυσικού Αερίου ενός ρυθμιστικού σταθμού υποβιβασμού της πίεσης των 19 bar στην πίεση του εσωτερικού δικτύου του καταναλωτή (συνήθως 1 ή 2 bar). Σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με το μήκος του

εσωτερικού δικτύου και την πίεση λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘ, ενδέχεται να απαιτηθεί η εγκατάσταση και δεύτερης ρυθμιστικής διάταξης υποβιβασμού της πίεσης στο εσωτερικό δίκτυο.

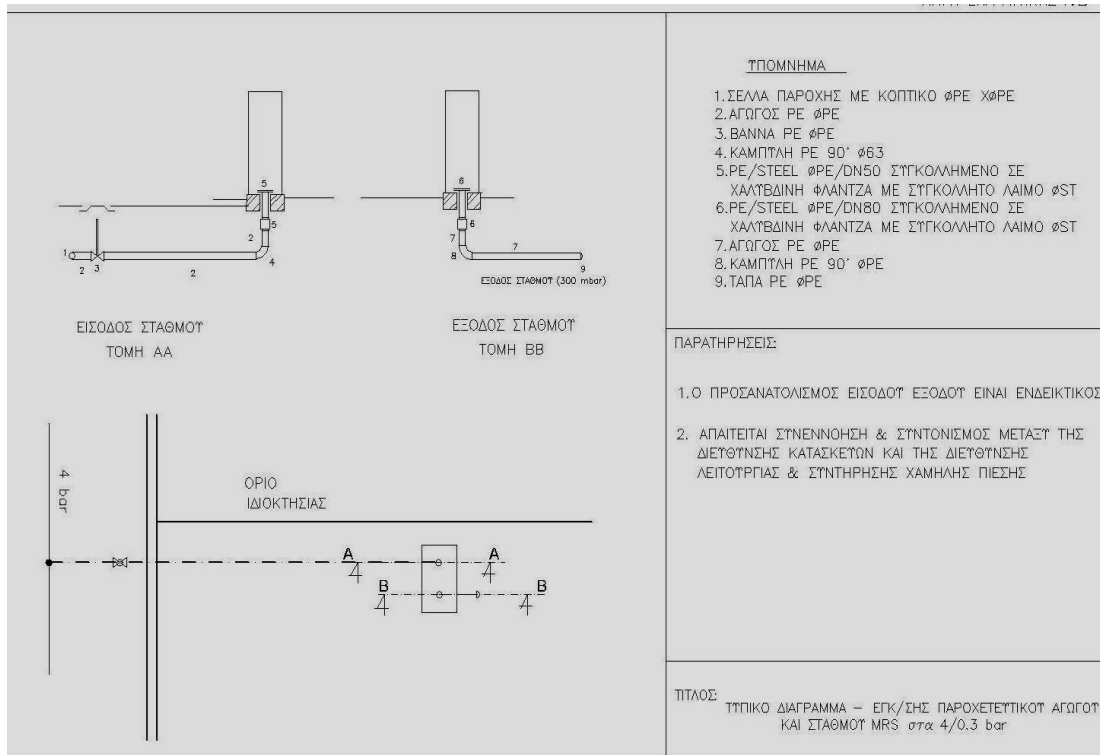
Στο Σχήμα 30 απεικονίζεται σχηματικό μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης του καταναλωτή με "βιομηχανικού τύπου σταθμό (MR – IND)" με το δίκτυο μέσης τάσης των 19 bar, όπως απαιτείται για την τροφοδοσία μονάδων ΣΗΘ.



Σχήμα 30 Σχηματικό διάγραμμα σταθμού υποβιβασμού της πίεσης από το δίκτυο των 19 bar

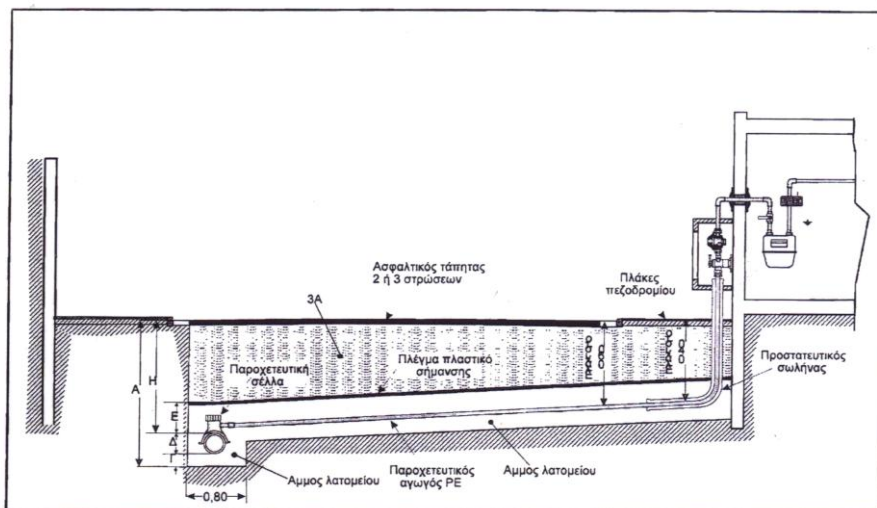
Για την τροφοδότηση μονάδας ΣΗΘ από το δίκτυο Χαμηλής πίεσης των 4 bar (σύνηθες αστικό δίκτυο), απαιτείται η εγκατάσταση ρυθμιστικού σταθμού υποβιβασμού της πίεσης από την πίεση του δικτύου Χαμηλής πίεσης στην πίεση τροφοδοσίας του εσωτερικού δικτύου, πριν το σταθμό ΣΗΘ.

Στο Σχήμα 31 απεικονίζεται σχηματικό διάγραμμα σύνδεσης του καταναλωτή με σταθμό υποβιβασμού τύπου MRS στα 4/300 mbar, για την τροφοδοσία μονάδων ΣΗΘ, με πίεση εσωτερικού δικτύου 300 mbar.



Σχήμα 31 Τυπικό διάγραμμα σταθμού υποβιβασμού της πίεσης από το δίκτυο των 4 bar

Στο Σχήμα 32 απεικονίζεται σχηματικό διάγραμμα σύνδεσης του καταναλωτή με ρυθμιστική μετρητική διάταξη υποβιβασμού τύπου “Ρυθμιστή/Μετρητή ή ΣΕΤ στα 4/25 mbar”, για πίεση εσωτερικού δικτύου 25 mbar.



Σχήμα 32 Σχηματικό διάγραμμα σύνδεσης με ρυθμιστική μετρητική διάταξη της πίεσης από το δίκτυο των 4 bar.

Για την τροφοδότηση της μονάδας ΣΗΘ από το δίκτυο Χαμηλής πίεσης των 25 mbar (π.χ. ιστορικό κέντρο Αθηνών) απαιτείται η εγκατάσταση μόνο μετρητικής διάταξης.

4.7. ΙΣΧΥΟΝΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ Φ.Α.

Κατά τη σχεδίαση και λειτουργία εφαρμόζονται οι απαιτούμενοι κανονισμοί εγκαταστάσεων φυσικού αερίου. Οι ισχύοντες σχετικοί Τεχνικοί Κανονισμοί για τις εσωτερικές εγκαταστάσεις Φ.Α. δίνονται αναλυτικά στη βιβλιογραφία [9].

5.ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η σύνδεση και λειτουργία των συστημάτων ΣΗΘ στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι οι ισχύουσες τιμές εμπορίας της ηλεκτρικής ενέργειας, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και οι τεχνικές απαιτήσεις της εγκατάστασης, τα επίπεδα ζήτησης του θερμικού φορτίου, η διαθεσιμότητα του καυσίμου και η ύπαρξη επαρκών εγκαταστάσεων για τη μεταφορά του, κλπ. Η ικανοποίηση όλων αυτών των παραγόντων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη σχετικών διαφοροποιήσεων για τη σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ σε διαφορετικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, σε κάθε περίπτωση η σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ που, βρίσκονται εγκατεστημένα σε κτηριακές εγκαταστάσεις, όπως και κάθε μονάδας Διασπαρμένης Παραγωγής στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να πραγματοποιείται έτσι ώστε να μην προκαλούνται ανεπίτρεπτες διαταραχές της παροχής ηλεκτρικής ισχύος των ήδη συνδεδεμένων Παραγωγών ή Καταναλωτών. Ειδικότερα, όταν συμβαίνουν διαταραχές της κανονικής λειτουργίας των συστημάτων ή/και του δικτύου, από διάφορα σφάλματα ή άλλα αίτια, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι επιπτώσεις τους περιορίζονται στο ελάχιστο δυνατόν, ενώ δεν θα πρέπει να δημιουργούνται επικίνδυνες καταστάσεις για τον εξοπλισμό ή και την ασφάλεια προσώπων [10].

Τα δίκτυα διανομής γενικά χαρακτηρίζονται από ροή ισχύος προς μία μόνο κατεύθυνση, αυτή προς το μέρος της κατανάλωσης [11]. Όμως, η σύνδεση των μονάδων διασπαρμένης παραγωγής και, ειδικά, των συστημάτων ΣΗΘ μπορεί να προκαλέσει καταστάσεις ροής ισχύος προς δύο κατευθύνσεις στους κλάδους του δικτύου. Επίσης, οι εγκαταστάσεις των συστημάτων ΣΗΘ μπορεί να παρέχουν ισχύ στο δίκτυο, ενώ σε άλλες χρονικές περιόδους μπορεί να τροφοδοτούνται από αυτό. Το θέμα αυτό αντιμετωπίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου, γιατί η έλλειψη των απαραίτητων τεχνικών κανόνων μπορεί να προκαλέσει καταστάσεις στις οποίες τα συστήματα ΣΗΘ μπορεί να εγχέουν ισχύ στο δίκτυο όταν συμβαίνουν βραχυκυκλώματα χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον Διαχειριστή. Επίσης, εάν δεν καθορισθεί ένα κοινό πλαίσιο ένταξης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο, υπάρχει ο κίνδυνος σύνδεσής τους σε διάφορα σημεία του δικτύου (νόμιμα ή παράνομα) χωρίς κάτι τέτοιο να έχει γνωστοποιηθεί στον Διαχειριστή Δικτύου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, σφάλματα των συστημάτων μπορεί να μη γίνονται αντιληπτά από τον Διαχειριστή Δικτύου ενώ υπάρχει σοβαρή πιθανότητα το προσωπικό που καλείται να τα αντιμετωπίσει να μην γνωρίζει την κατεύθυνση της ροής ισχύος στο δίκτυο. Οι καταστάσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην ασφάλεια ανθρώπων και εξοπλισμού του δικτύου.

5.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ

Θεωρητικά, υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι και περιπτώσεις λειτουργίας στους οποίους διακρίνονται οι μονάδες παραγωγής των συστημάτων ΣΗΘ ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους [12] [13]. Ειδικότερα, το σύστημα ΣΗΘ μπορεί να λειτουργεί για:

- i. να καλύπτει τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού φορτίου βάσης και του αντίστοιχου θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή. Σε οποιοσδήποτε καταστάσεις που μπορεί να υπάρχουν για τη μη επαρκή ικανοποίηση των απαιτήσεων του ηλεκτρικού ή/και θερμικού φορτίου της εγκατάστασης, επιπρόσθετες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να παρέχονται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ επιπρόσθετες ποσότητες θερμικής ισχύος μπορεί να παρέχονται από κατάλληλους λέβητες που ευρίσκονται σε κατάσταση αναμονής.
- ii. την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, επιπλέον των απαιτήσεων του συνολικού ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή, η οποία εγχέεται (πωλείται) προς το δίκτυο διανομής ενώ ολόκληρη η παραγόμενη θερμική ισχύς της χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή. Εναλλακτικά, το σύστημα ΣΗΘ λειτουργεί κύρια για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης, ενώ η επιπρόσθετη παραγόμενη θερμική ισχύς αποβάλλεται ανεκμετάλλευτη προς το περιβάλλον. Όμως, αυτή η λειτουργική πρακτική μειώνει σημαντικά το συνολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος ΣΗΘ και, γενικότερα, δεν πρέπει να εφαρμόζεται.
- iii. την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με ή χωρίς εξαγωγή (πώληση) προς το δίκτυο διανομής, ενώ η παραγόμενη θερμική ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης και η επιπρόσθετη θερμική ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών με τους οποίους υπάρχουν σχετικές συμβάσεις προμήθειας και πώλησης θερμικής ενέργειας.
- iv. την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εγχέεται ολοκληρωτικά στο δίκτυο διανομής, χωρίς να χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του ηλεκτρικού φορτίου των εγκαταστάσεων των καταναλωτών (σύνδεση παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας). Η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται για την ικανοποίηση του ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή παρέχεται από το δίκτυο διανομής διαμέσου διαφορετικής σύνδεσης (σύνδεση καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας). Η παραγόμενη θερμική ισχύς του συστήματος ΣΗΘ χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή, ενώ η επιπρόσθετη ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών. Αυτή η λειτουργική πρακτική χρησιμοποιείται όταν η μοναδιαία τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο διανομής είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή προμήθειας της ηλεκτρικής ενέργειας από τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτεί τη σύναψη ειδικής σύμβασης λειτουργικής ενίσχυσης, με το Λειτουργό της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ ΑΕ) ή τη ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε ως Διαχειριστή των Μη-

Διασυνδεδεμένων Νησιών σε περίπτωση που το σύστημα ΣΗΘ εγκαθίσταται σε κάποια από αυτά τα νησιά, με εικοσαετή χρονική διάρκεια ισχύος και έχει ως απαραίτητη προϋπόθεση τον χαρακτηρισμό του συστήματος ΣΗΘ ως σύστημα ΣΗΘ Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).

Στην Ελλάδα εφαρμόζεται κύρια η τελευταία περίπτωση λειτουργίας (iv), ενώ αναμένεται μαζί με την πρώτη περίπτωση λειτουργίας (i) να αποτελέσει τη βασική λειτουργική πρακτική και σε πολλά μελλοντικά συστήματα ΣΗΘ. Συνδυασμός των περιπτώσεων (i) & (iv) μπορεί να υπάρξει στην περίπτωση λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ ως σταθμού αυτοπαραγωγού καθώς και σε σχήμα συμψηφισμού της παραγόμενης και εγχεόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με την καταναλισκόμενη¹.

5.3. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Ο καθορισμός της διαδικασίας σύνδεσης ενός συστήματος ΣΗΘ στο δίκτυο διανομής (αφορά περιπτώσεις όπου προβλέπεται έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας και όπου απαιτείται και σύναψη Σύμβασης Σύνδεσης), πρέπει να στηρίζεται στην αρχή ότι πραγματοποιείται με τον πιο οικονομικό τρόπο, χωρίς να παραβιάζονται τα όρια διαταραχών που θέτει ο Κώδικας διαχείρισης του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ) (ΦΕΚ Β' 78/2017). Γενικά, είναι προτιμότερο τα συστήματα ΣΗΘ να συνδέονται όσο το δυνατό πλησιέστερα προς τα φορτία, έτσι ώστε να περιορίζονται οι ροές ισχύος των κλάδων του δικτύου διανομής. Επιπλέον, πρέπει να αποφεύγονται λειτουργικές καταστάσεις εκτός των επιτρεπόμενων ορίων και να επιδιώκεται όσο το δυνατό μεγαλύτερη βελτίωση των τάσεων και μείωση των απωλειών ισχύος. Η επιλογή του ΣΚΣ θα αποφασίζεται μετά από το σχετικό έλεγχο και εάν ικανοποιούνται όλες οι απαιτούμενες προϋποθέσεις σύνδεσης στο δίκτυο διανομής. Επιπρόσθετα, μετά από την έναρξη της λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ θα ελέγχεται ο βαθμός ικανοποίησης όλων των απαιτούμενων προϋποθέσεων. Όταν το ΣΣΔ διαφοροποιείται από το ΣΚΣ, όπως συμβαίνει κατά τη σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ μέσω αποκλειστικής γραμμής διανομής, μπορεί να γίνονται δεκτά ευρύτερα όρια από αυτά που ισχύουν για το ΣΚΣ. Σημειώνεται ότι εάν κατά τη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ διαπιστωθούν αποκλίσεις και διαταραχές μεγαλύτερες από τα επιτρεπόμενα όρια, λόγω μη ακριβών στοιχείων που χορηγήθηκαν, ο ιδιοκτήτης του υποχρεούται στην άμεση λήψη διορθωτικών μέτρων, σύμφωνα με τις υποδείξεις του Διαχειριστή Δικτύου.

Τα μέσα ζεύξης και προστασίας που χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίζεται η ασφαλής σύνδεση των εγκαταστάσεων των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο διανομής περιγράφονται στη Σύναψη Σύμβασης και είναι συνοπτικά και ενδεικτικά τα ακόλουθα:

¹εφόσον αυτό καθοριστεί με Υπουργική Απόφαση που προβλέπεται σύμφωνα με το άρθρο 14Α του ν3468/06, όπως αυτός τροποποιήθηκε από το ν4414/16, για αυτοπαραγωγούς για την κάλυψη ιδίων αναγκών τους, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού.

- **Μετασχηματιστής Ισχύος:** Για τη σύνδεση του συστήματος μικρής ΣΗΘ στο δίκτυο Μέσης Τάσης απαιτείται να εγκατασταθούν ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές ισχύος με κατάλληλες τιμές φαινόμενης ισχύος έτσι ώστε να μετασχηματίζεται η τάση στο επίπεδο της Χαμηλής Τάσης.
- **Συσκευή Αποσύνδεσης:** Ένας χειροκίνητος διακόπτης που θα αποσυνδέει τη μονάδα ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής θα παρέχεται, θα εγκαθίσταται και θα συντηρείται από το Χρήστη. Εάν ο διακόπτης αυτός είναι εγκατεστημένος προς τη μεριά του δικτύου διανομής, η εγκατάστασή του θα πραγματοποιείται από το Διαχειριστή Δικτύου ενώ το αντίστοιχο κόστος θα το αναλαμβάνει ο Χρήστης. Ο Διαχειριστής Δικτύου διατηρεί το δικαίωμα να ενεργοποιεί το διακόπτη όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο για λόγους συντήρησης και επισκευής του εξοπλισμού του. Επίσης, η διαδικασία αποσύνδεσης μπορεί να πραγματοποιείται χωρίς να προηγείται ενημέρωση του Χρήστη σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης του δικτύου διανομής, όταν διαπιστώνεται ότι η λειτουργία της εγκατάστασης μπορεί να θέτει σε κίνδυνο τη λειτουργία του Δικτύου ή τους υπόλοιπους Χρήστες του και εφόσον αυτό κρίνεται απαραίτητο για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του προσωπικού του Διαχειριστή Δικτύου.
- **Αυτόματος Διακόπτης Γεννήτριας (ΑΔΓ):** Κάθε μονάδα ΣΗΘ περιλαμβάνει έναν ΑΔΓ με τον οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχός της και επιτυγχάνεται η προστασία της μέσω των κατάλληλων αισθητηρίων. Ο ΑΔΓ βρίσκεται συνήθως κοντά στη μονάδα ΣΗΘ και είναι συχνά της ίδιας τάσεως.
- **Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (ΑΔΔ):** Είναι το στοιχείο που επιτρέπει τη ζεύξη ή την απομόνωση των εγκαταστάσεων των συστημάτων ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής και απαιτείται σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν περισσότερες από μια μονάδες ΣΗΘ σε απόσταση μεταξύ τους και, κυρίως, όταν προβλέπεται η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης. Ο ΑΔΔ ελέγχεται μέσω κατάλληλου εξοπλισμού που περιλαμβάνει ηλεκτρονόμους υπερεντάσεως των αυτόματων διακοπών οι οποίοι διαρρέονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί θα πρέπει να συνεργάζονται με τα προηγούμενα μέσα προστασίας του δικτύου διανομής που προκαλούν την οριστική διακοπή, όπως είναι για παράδειγμα οι ηλεκτρονόμοι χρονικής καθυστέρησης των διακοπών ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής.
- **Ηλεκτρονόμοι Ορίων Τάσεως και Συχνότητας:** Οι προστασίες αυτές συμβάλλουν στην απομόνωση της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής σε περιπτώσεις σφαλμάτων (βραχυκυκλωμάτων), διότι τα σφάλματα αυτά συνοδεύονται από σημαντικές αποκλίσεις των τάσεων από τις ονομαστικές τιμές τους. Απαιτούνται ηλεκτρονόμοι υπέρτασης, υπότασης, υπερσυχνότητας και υποσυχνότητας. Οι προστασίες των ορίων συχνότητας αφορούν κύρια την ανίχνευση της νησιδοποίησης (σε συνδυασμό με τον έλεγχο των ορίων τάσεως), διότι μετά από την αποσύνδεση από το δίκτυο διανομής μεταβάλλεται απότομα η ταχύτητα περιστροφής των μονάδων ΣΗΘ και, επομένως, η συχνότητα της παραγόμενης τάσης. Μία επιπρόσθετη προστασία για την αποφυγή της νησιδοποίησης είναι η προστασία ομοπολικής τάσης. Σε συγκεκριμένες

καταστάσεις λειτουργίας, που κύρια αφορούν συστήματα ΣΗΘ μεγάλης ισχύος, μπορεί να είναι αναγκαία η εγκατάσταση προστασιών που θα εξασφαλίζουν πιο αποτελεσματικά την απομόνωση του συστήματος ΣΗΘ σε γεγονότα μονίμων σφαλμάτων στο δίκτυο διανομής. Η εγκατάσταση των προστασιών αυτών θα αποφασίζεται από το Διαχειριστή Δικτύου σε συνεργασία με τον ιδιοκτήτη του συστήματος ΣΗΘ.

- **Ρυθμιστής Τάσης:** Μπορεί να απαιτείται ανάλογα με το σύστημα ΣΗΘ που εγκαθίσταται και χρειάζεται για να διατηρεί την τάση εξόδου της αντίστοιχης μονάδας σε συγκεκριμένη τιμή.
- **Γείωση:** Η μέθοδος γείωσης που επιλέγεται για την εγκατάσταση του συστήματος ΣΗΘ δεν αφορά την κατάσταση κανονικής λειτουργίας του δικτύου διανομής. Όμως, κατά τη διάρκεια σφαλμάτων στο δίκτυο, η γείωση έχει ξεχωριστή σημασία διότι αποτελεί ένα μέσο για την προστασία ανθρώπων και εξοπλισμού. Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι γείωσης οι οποίες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά κάθε συστήματος και μπορεί να περιλαμβάνουν την απευθείας γείωση χωρίς την ύπαρξη σύνθετης αντίστασης, τη γείωση μέσω ωμικής αντιστάσεως ή επαγωγικού πηνίου, τη χρησιμοποίηση πολλαπλών σημείων γείωσης, κλπ. Γενικά, σημειώνεται ότι η γείωση της εγκατάστασης ΣΗΘ πρέπει να γίνει σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και τους κανόνες του Διαχειριστή Δικτύου Διανομής.

Η λειτουργία κάθε μονάδας ΣΗΘ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης στο δίκτυο και είναι πιθανό να απαιτείται η βελτίωση του συστήματος προστασίας και η αναβάθμιση των χρησιμοποιούμενων γραμμών διανομής έτσι ώστε να μην προκαλούνται υπερβάσεις των επιτρεπτών ορίων λειτουργίας. Οι διαδικασίες που απαιτούνται για την προστασία του συστήματος ΣΗΘ και του δικτύου διανομής πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την απομονωμένη και τη μη απομονωμένη λειτουργία του δικτύου. Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής αποτελούν τον κύριο τρόπο ανίχνευσης των σφαλμάτων που συμβαίνουν σε αυτό και παραδοσιακές διατάξεις και μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την προστασία των συστημάτων ΣΗΘ. Όμως, η συνεισφορά των βραχυκυκλωμάτων που συμβαίνουν στα συστήματα ΣΗΘ είναι σημαντική και η προστασία του δικτύου διανομής από τα σφάλματα αυτά αποτελεί μία περισσότερο πολύπλοκη διαδικασία. Λόγω των λειτουργικών χαρακτηριστικών των συστημάτων ΣΗΘ, η συνεισφορά των ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων είναι περιορισμένη. Οι σύγχρονες γεννήτριες των συστημάτων ΣΗΘ μικρής ισχύος θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με εξελιγμένες συσκευές διέγερσης έτσι ώστε οι τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης να γίνονται αρκετά μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες τιμές του συστήματος προστασίας. Επομένως, η ενεργοποίηση του συστήματος προστασίας και η απομόνωση του συστήματος ΣΗΘ εξαρτάται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής, ενώ πρέπει να εξασφαλίζεται ότι κατά τη διάρκεια των βραχυκυκλωμάτων η μονάδα ΣΗΘ δε θα τροφοδοτεί το υπόλοιπο δίκτυο. Επίσης, κατά τη διαδικασία επαναφοράς τα επιμέρους τμήματα του δικτύου πρέπει να είναι συγχρονισμένα και, για το σκοπό αυτό, απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού στα σημεία

επαναφοράς έτσι ώστε η διαφορά της τάσης στα δύο τμήματα του δικτύου να λαμβάνει τη μικρότερη δυνατή τιμή. Τέλος, σημειώνεται ότι συχνά απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού αναγνώρισης των καταστάσεων νησιδοποίησης των τμημάτων του δικτύου διανομής από τα σημεία τροφοδότησης του. Στις καταστάσεις αυτές μπορεί να απαιτείται η ενεργοποίηση κατάλληλου εξοπλισμού ζεύξης που ευρίσκεται κανονικά σε κατάσταση ανοικτής λειτουργίας, έτσι ώστε να μπορούν να επανατροφοδοτηθούν τα αντίστοιχα φορτία σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα [14].

Στο Παράρτημα Ι παρατίθενται τα πρότυπα ασφαλείας λειτουργίας και οι απαιτήσεις του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ΣΗΘ.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ικανοποιούνται οι ειδικές συνθήκες, χαρακτηριστικά και δυνατότητες λειτουργίας όπως αυτές περιγράφονται στον ΕΔΔΗΕ και εξειδικεύονται κάθε φορά στις επιμέρους Συμβάσεις Σύνδεσης που υπογράφουν οι κάτοχοι των συστημάτων ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ (Παραγωγοί) με το Διαχειριστή του Δικτύου, που αφορούν μεταξύ άλλων και

-την επιλογή του κατάλληλου τρόπου σύνδεσης (επιλογή Σημείου Κοινής Σύνδεσης με υψηλότερη ισχύ βραχυκύκλωσης, επέκταση υφιστάμενων εγκαταστάσεων του Δικτύου, σύνδεση σε υψηλότερο επίπεδο τάσης),

- την επιλογή εξοπλισμού παραγωγής με τροποποιημένα χαρακτηριστικά και λήψη από τον Παραγωγό μέτρων περιορισμού των επιπτώσεων, καθώς και

-την επιβολή τυχόν λειτουργικών περιορισμών στον σταθμό που μπορεί να αφορούν υποχρεώσεις για ρύθμιση της αέργου ισχύος του σταθμού ή/και υποχρεώσεις για περιορισμό της ενεργού ισχύος του σταθμού.

Ειδικότερα εξετάζεται το προκαλούμενο επίπεδο διαταραχών της Ποιότητας Τάσης του Δικτύου από τη σύνδεση και λειτουργία του σταθμού, το οποίο θα πρέπει να υπολείπεται των ορίων σχεδιασμού του άρθρου 70 του ΕΔΔΗΕ. Οι εξεταζόμενες διαταραχές αφορούν:

- τις αργές μεταβολές της τάσης,
- τις προκαλούμενες ταχείες διακυμάνσεις της τάσης,
- τις αναμενόμενες εκπομπές flicker από τη λειτουργία του σταθμού
- τις εκπομπές αρμονικών από διατάξεις μετατροπών ισχύος που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις του σταθμού.
- την προκαλούμενη ασυμμετρία των τάσεων του Δικτύου.

Η Σύμβαση Σύνδεσης που συνάπτει ο Παραγωγός με το Διαχειριστή περιέχει τα ειδικά χαρακτηριστικά και προδιαγραφές λειτουργίας όπως αυτές περιγράφονται στα άρθρα 70 (Όρια σχεδιασμού για διαταραχές της Ποιότητας Τάσης), 71 (Μελέτες ικανότητας υποδοχής ισχύος σταθμών παραγωγής), 72 (Μέσα ζεύξης και προστασίας), 73 (Προστασία απόξευξης σταθμών παραγωγής), 74 (Τεχνικές απαιτήσεις για τον εξοπλισμό σταθμών παραγωγής που

συνδέονται στο Δίκτυο), 75 (Απαιτήσεις εξοπλισμού επικοινωνίας, τηλεοπτικής και τηλελέγχου), 77 (Περιορισμοί απορρόφησης και έλεγχος αέργου Ισχύος), 78 (Περιορισμός της ενεργού ισχύος εξόδου σταθμών παραγωγής) του ΕΔΔΗΕ και όπως αυτά ορίζονται και εξειδικεύονται στο Εγχειρίδιο Πρόσβασης στο Δίκτυο.

Ειδικά για τις περιπτώσεις αυτοπαραγωγών λαμβάνεται κατά περίπτωση υπόψη η εγκατεστημένη ισχύς και τα χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής και του κύριου εξοπλισμού κατανάλωσης, η Συμφωνημένη Μέγιστη Ισχύς Παραγωγής, η Συμφωνημένη Μέγιστη Ισχύς Κατανάλωσης καθώς και η χρονική τους διακύμανση.

5.4. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ

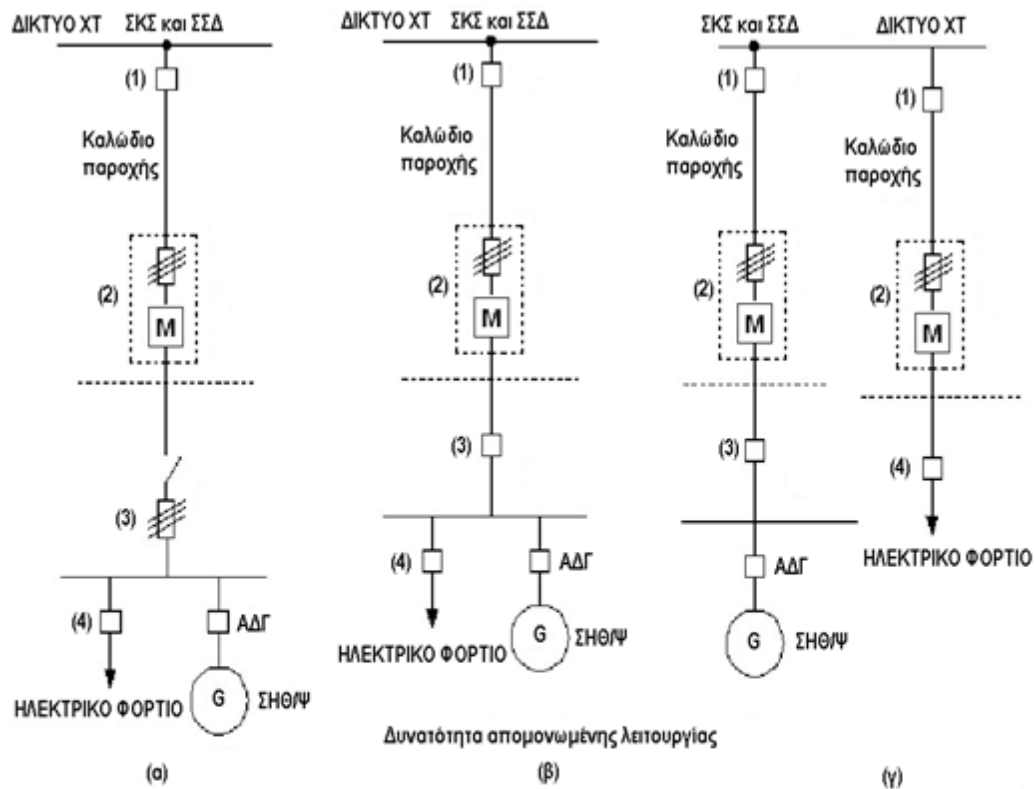
Στο δίκτυο ΧΤ συνδέονται γενικά εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ των οποίων η μέγιστη παραγόμενη ισχύς δεν είναι μεγαλύτερη από 100 kW_e ενώ η σύνδεση μονοφασικών μονάδων ΣΗΘ μπορεί να γίνεται μόνο όταν η ισχύς τους δεν ξεπερνά τα 5 kW_e. Στο Σχήμα 33 φαίνονται ενδεικτικά τρία μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης ενός συστήματος ΣΗΘ σε δίκτυο ΧΤ². Σε όλες τις περιπτώσεις, το ΣΚΣ συμπίπτει με το ΣΣΔ, το οποίο είναι το σημείο σύνδεσης του καλωδίου παροχής στη γραμμή ΧΤ, όταν πρόκειται για εναέριο δίκτυο, ή το κιβώτιο σύνδεσης του υπογείου καλωδίου παροχής, όταν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο. Εάν πραγματοποιείται απ' ευθείας σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ στους ζυγούς ΧΤ μέσω αποκλειστικής γραμμής διανομής, τα ΣΚΣ και ΣΣΔ διαφοροποιούνται. Όμως, δεν προβλέπεται η εγκατάσταση ανεξάρτητων μετρητικών διατάξεων στην άφιξη και αναχώρηση της γραμμής διανομής.

Το διάγραμμα (α) αντιστοιχεί σε εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ με πολύ μικρή ισχύ που μπορεί να είναι και μονοφασικές. Το γενικό μέσο ζεύξης – προστασίας της εγκατάστασης μπορεί να είναι ο χειροκίνητος γενικός διακόπτης (φορτίου) και οι ασφάλειες ή άλλο αντίστοιχο μέσο. Η προστασία του συστήματος ΣΗΘ σε περίπτωση διαταραχών στο δίκτυο διανομής καθώς και η απομόνωσή του σε περίπτωση πλήρους διακοπής της σύνδεσής του, θα πρέπει να επιτυγχάνεται μέσω του ΑΔΓ ή άλλων κατάλληλων προστασιών, ενσωματωμένων στο σύστημα ελέγχου του, έτσι ώστε να αποκλείεται κατά το δυνατόν η περίπτωση απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης.

Το διάγραμμα (β) μπορεί να χρησιμοποιείται για μεγαλύτερης ισχύος συστήματα ΣΗΘ και πιο σύνθετες εγκαταστάσεις ενώ κύρια διαφέρει από το (α) στο γενικό μέσο ζεύξης και προστασίας το οποίο περιλαμβάνει οπωσδήποτε διακόπτη ισχύος (αυτόματο διακόπτη). Αυτός ο διακόπτης ισχύος σε συνεργασία με τον ΑΔΓ μπορεί να επιτρέψει και την

²Η εξειδίκευση αναφορικά με τη σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο θα περιγράφεται στο Εγχειρίδιο Πρόσβασης στο Δίκτυο του ΕΔΔΗΕ, το οποίο μέχρι και το πρώτο τετράμηνο του 2017 δεν έχει εκδοθεί.

απομονωμένη λειτουργία της εγκατάστασης σε περιπτώσεις διακοπής της σύνδεσης στο δίκτυο διανομής.



- (1) Κιβώτιο σύνδεσης (για υπόγειο δίκτυο) ή συνδετήρες καλωδίου παροχής (εναέριο δίκτυο)
- (2) Διάταξη ζεύξης και μέτρησης, προσιπή σε προσωπικό του Διαχειριστή Δικτύου
- (3) Γενικό μέσο ζεύξης και προστασίας της εγκατάστασης
- (4) Προστασία γραμμών καταναλώσεων

Σχήμα 33 Μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης συστημάτων πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ σε δίκτυο διανομής ΧΤ

Το διάγραμμα (γ) αντιστοιχεί σε λειτουργική κατάσταση του συστήματος ΣΗΘ σύμφωνα με την οποία ολόκληρη η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος εγχέεται στο δίκτυο διανομής μέσω της αντίστοιχης ζεύξης ενώ η ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του αντίστοιχου καταναλωτή ικανοποιείται μόνο από το δίκτυο διανομής.

Σημειώνεται ότι και στις τρεις περιπτώσεις σύνδεσης που φαίνονται στα διαγράμματα (α),(β) και (γ), η ζήτηση του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης ικανοποιείται από την παραγόμενη θερμική ισχύ του συστήματος ΣΗΘ, ενώ η επιπρόσθετη ισχύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών. Επίσης, η μετρητική διάταξη είναι λειτουργικά παρόμοια και περιλαμβάνει τον μετρητή και το μέσο

προστασίας του, όπως και στην περίπτωση των καταναλωτών. Το είδος και πλήθος των μετρητών μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης και καθορίζεται στη Σύμβαση Αγοραπωλησίας. Τέλος, τα διαγράμματα (β) και (γ) μπορούν να εφαρμόζονται σε ακόμη πιο σύνθετες εγκαταστάσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να περιλαμβάνουν τη λειτουργία περισσότερων συστημάτων ΣΗΘ ή/και άλλου τύπου μονάδων παραγωγής, όπως μονάδες φυσικού αερίου. Στις περιπτώσεις αυτές, η διαμόρφωση του εξοπλισμού προστασίας της εγκατάστασης μπορεί να διαμορφώνεται ανάλογα και μπορεί να περιλαμβάνει την εγκατάσταση χωριστού γενικού μέσου ζεύξης-προστασίας για κάθε εγκατεστημένη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τη διάταξη και κατασκευή των γειώσεων καθώς και τις τιμές αντιστάσεώς τους, ισχύουν οι κανονισμοί που εφαρμόζονται σε ανάλογης ισχύος εγκαταστάσεις καταναλωτών ΧΤ.

Οι απαιτήσεις για τις διατάξεις ζεύξης και προστασίας μέχρι και την έκδοση του Εγχειριδίου Πρόσβασης στο Δίκτυο του ΕΔΔΗΕ είναι προς το παρόν οι ακόλουθες:

- Για τα συστήματα ΣΗΘ με ασύγχρονες γεννήτριες, η ζεύξη τους θα πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς να υπάρχει τάση στους ακροδέκτες τους και ενώ περιστρέφονται με ταχύτητα η οποία απέχει λιγότερο από 5% από τις σύγχρονες στροφές. Με την εγκατάσταση «διατάξεων ομαλής εκκίνησης», είναι δυνατό να επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση των ρευμάτων ζεύξης και, επομένως, των προκαλούμενων διαταραχών που σημαίνει ότι η εγκατάστασή τους είναι ιδιαίτερα επιθυμητή.
- Για τα συστήματα ΣΗΘ με σύγχρονες γεννήτριες, πρέπει να εξασφαλίζονται οι ακόλουθες ελάχιστες συνθήκες συγχρονισμού:
 - Διαφορά τάσης $\Delta U < \pm 10 \%$
 - Διαφορά συχνότητας $\Delta f < \pm 0,5 \text{ Hz}$
 - Διαφορά φασικής γωνίας $\Delta \phi < \pm 10^\circ$
- Εάν προβλέπεται η δυνατότητα της απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ, στο διάγραμμα (β) θα πρέπει να εγκαθίσταται ΑΔΔ ο οποίος θα διαθέτει διάταξη συγχρονισμού αντίστοιχη αυτής των σύγχρονων γεννητριών.
- Οι πυκνωτές αντιστάθμισης κάθε μοναδιαίας εγκατάστασης συστημάτων ΣΗΘ θα πρέπει να συνδέονται μετά τον παραλληλισμό της μονάδας ΣΗΘ και να τίθενται αυτόματα εκτός λειτουργίας με το άνοιγμα του διακόπτη της μονάδας. Το ίδιο ισχύει και για τις διατάξεις κεντρικής αντιστάθμισης εγκαταστάσεων ΣΗΘ οι οποίες δεν διαθέτουν δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας.
- Για εγκαταστάσεις με σύγχρονες και ασύγχρονες μονάδες πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ απαιτούνται οι προστασίες που φαίνονται στον Πίνακα 18. Ο βασικός σκοπός είναι η ανίχνευση των σφαλμάτων που συμβαίνουν στο δίκτυο διανομής και η άμεση αποσύνδεση της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από αυτό. Σημειώνεται ότι είναι δυνατή η απομονωμένη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ, μόνο σε περιπτώσεις που η συγκεκριμένη λειτουργική διαδικασία έχει προβλεφθεί κατά τον σχεδιασμό του και έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα.

- Για τις σύγχρονες μονάδες πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ θα πρέπει να υπάρχει προστασία υπερέντασης. Οι ρυθμίσεις των προστασιών επιλέγονται από τον Διαχειριστή Δικτύου, εντός του εύρους των αντίστοιχων περιοχών, και μπορούν να διαφοροποιούνται από τις συνιστώμενες τιμές που φαίνονται στον Πίνακας 18 μόνο εάν οι ιδιαίτερες συνθήκες του δικτύου διανομής και του συστήματος ΣΗΘ το επιβάλλουν.
- Ο έλεγχος της τάσης πρέπει να γίνεται και στις τρεις φάσεις, για να εξασφαλίζεται ότι οι περιπτώσεις στις οποίες εκδηλώνονται μονοφασικές διακοπές ή βυθίσεις θα αναγνωρίζονται με ασφάλεια. Η χρονική καθυστέρηση διέγερσης των προστασιών υπότασης και υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα τρία δευτερόλεπτα. Γενικά, προτείνεται η επιλογή των ρυθμίσεων να είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, διότι έτσι εξασφαλίζεται η αποσύνδεση του συστήματος ΣΗΘ πριν από την ενδεχόμενη ταχεία επαναφορά της τάσης του δικτύου. Όμως, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η επιλογή πολύ μικρών τιμών χρονικής καθυστέρησης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα ανεπιθύμητων αποζεύξεων του συστήματος ΣΗΘ από το Δίκτυο. Τέλος, η χρονική καθυστέρηση της προστασίας συχνότητας πρέπει επίσης να ρυθμίζεται σε μικρές τιμές (μικρότερες από ένα δευτερόλεπτο).
- Η ανίχνευση των καταστάσεων της απομονωμένης λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ μπορεί να πραγματοποιείται και μέσω άλλων διατάξεων προστασίας, όπως για παράδειγμα ηλεκτρονόμων απότομης μεταβολής διανύσματος ή ηλεκτρονόμων απότομης μεταβολής φορτίου. Επίσης, οι σύγχρονες μονάδες ΣΗΘ με μετατροπείς ισχύος συχνά διαθέτουν πιο προηγμένες διατάξεις ανίχνευσης, ενσωματωμένες στα κυκλώματα ελέγχου του μετατροπέα εξόδου, οι οποίες γίνονται αποδεκτές μετά από συνεργασία με τις αρμόδιες υπηρεσίες του Διαχειριστή Δικτύου. Εκτός από τις ελάχιστες υποχρεωτικές προστασίες που αναφέρονται παρακάτω (Πίνακας 18), μπορούν να εγκαθίστανται επιπρόσθετες προστασίες με πρωτοβουλία του Παραγωγού, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αρτιότερη προστασία του συστήματος ΣΗΘ. Επίσης, η παροχή της εγκατάστασης θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλο μέσο προστασίας έναντι σφαλμάτων, όπως συμβαίνει στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών ΧΤ.
- Το σύστημα προστασίας του ΑΔΔ (εάν χρησιμοποιείται) θα ασφαρίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου. Ο χρήστης του συστήματος ΣΗΘ θα υποβάλει την Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη που βεβαιώνει ότι η εγκατάσταση κατασκευάστηκε σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, όπως εφαρμόζονται στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών. Επίσης, θα υποβάλει στον Διαχειριστή Δικτύου το Τεχνικό Δελτίο Προστασιών και Ρυθμίσεων καλής λειτουργίας της εγκατάστασης που θα περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που αφορούν τα μέσα προστασίας και τη δήλωση για τις ρυθμίσεις και την καλή λειτουργία των ηλεκτρονόμων (όπου υπάρχουν). Η Υπεύθυνη Δήλωση και το Τεχνικό Δελτίο θα υποβάλλονται στο Διαχειριστή Δικτύου σε κάθε επανέλεγχο της ηλεκτρικής εγκατάστασης σύμφωνα με την Υ.Α. Φ.7.5/1816/88/5.3.2004 (ΦΕΚ Β' 470) που ισχύει κατά την έκδοση της παρούσας ΤΟΤΕΕ ή οποιαδήποτε άλλη την έχει αντικαταστήσει.

Πίνακας 18 Προστασία απόζευξης συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο ΧΤ

Τύπος Ηλεκτρονόμου	Περιοχή Ρυθμίσεων	Συνιστώμενη Ρύθμιση ^(*)
Υπότασης	$0,70 \cdot U_n \div 1,0 \cdot U_n$	$0,80 \cdot U_n$
Υπέρτασης	$1,0 \cdot U_n \div 1,15 \cdot U_n$	$1,10 \cdot U_n \div 1,15 \cdot U_n$
Υποσυχνότητας	48 ÷ 50 Hz	49,5 (48) Hz
Υπερσυχνότητας	50 ÷ 52 Hz	50,5 (51) Hz

όπου U_n είναι η ονομαστική τάση του δικτύου ΧΤ (230/400 V)

^(*) Οι τιμές εντός των παρενθέσεων αφορούν τα νησιωτικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

5.5. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ

Το βασικό κριτήριο για την επιλογή του τρόπου σύνδεσης στο δίκτυο διανομής ΜΤ αποτελεί το μέγεθος της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ και οι υπάρχουσες συνθήκες του δικτύου της αντίστοιχης περιοχής. Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι πάντοτε τριφασικές με ισχύ μεγαλύτερη από 100 kW. Ορισμένες σημαντικές παράμετροι είναι το εάν αφορά κατοικημένη περιοχή ή όχι, εάν υπάρχει η προοπτική σύνδεσης άλλων εγκαταστάσεων στο προσεχές μέλλον, κλπ. Η εξέταση για τον προσδιορισμό του ΣΚΣ θα πρέπει να αρχίζει από το πλησιέστερο προς το σύστημα ΣΗΘ σημείο του δικτύου διανομής και βαθμιαία να εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσης σε σημεία πλησιέστερα προς τον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ, δηλαδή σε σημεία με υψηλότερη στάθμη βραχυκύκλωσης.

Τα συστήματα ΣΗΘ σε κτηριακές εγκαταστάσεις είναι μικρής σχετικά ισχύος. Επομένως, πρώτα θα εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσής τους σε υφιστάμενη γραμμή διανομής και εάν αυτή δε μπορεί να πραγματοποιηθεί μπορεί να συνδέονται με αποκλειστική γραμμή διανομής στους ζυγούς ΜΤ του πλησιέστερου υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ, εάν ικανοποιούνται τα κριτήρια που περιγράφονται στην παρούσα Τεχνική Οδηγία.

Ο τρόπος και το σημείο του δικτύου διανομής στο οποίο θα πραγματοποιείται η σύνδεση, καθώς και το είδος των εγκαταστάσεων ζεύξης και μέτρησης, προσδιορίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου, ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου ΜΤ και τη θέση και το μέγεθος του σχετικού συστήματος ΣΗΘ. Ο εξοπλισμός ζεύξης πρέπει να περιλαμβάνει μέσο (συσκευή) με ικανότητα διακοπής του ρεύματος φορτίου, να εξασφαλίζει την απόζευξη κατά τρόπο που να επιτρέπει την ασφαλή εκτέλεση εργασιών και να είναι προσιτός ανά πάσα στιγμή στο προσωπικό του Διαχειριστή Δικτύου. Για λόγους καλής λειτουργίας, η εναέρια εγκατάσταση της ζεύξης περιορίζεται μόνο για εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ μικρής σχετικά ισχύος, όπως είναι αυτές που υπάρχουν σε κτηριακές εγκαταστάσεις.

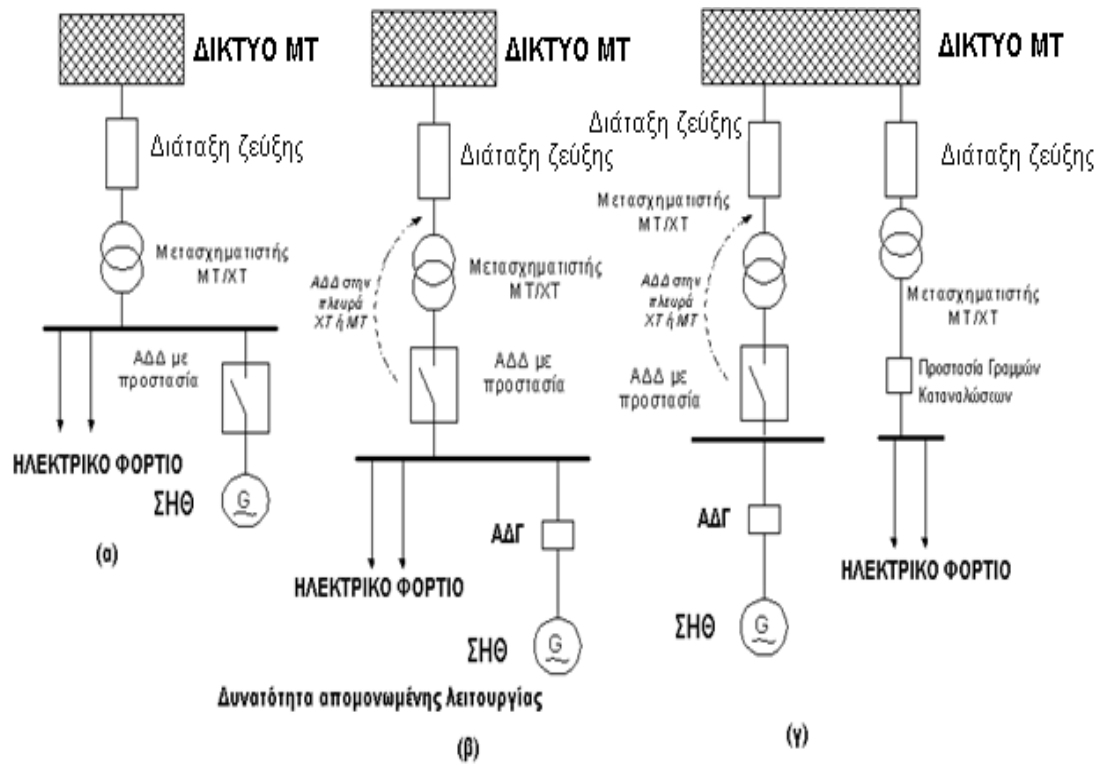
Η διάταξη της σύνδεσης θα πρέπει να είναι παρόμοια με αυτή των καταναλωτών ΜΤ. Το όριο διαχωρισμού της ευθύνης Διαχειριστή Δικτύου και Παραγωγού αποτελεί το ακροκιβώτιο του καλωδίου σύνδεσης προς την πλευρά του δικτύου διανομής, για παροχές από εναέριο

δίκτυο, ή το ακροκιβώτιο του καλωδίου εξόδου από τον πίνακα ζεύξης του Διαχειριστή Δικτύου, για παροχές από υπόγειο δίκτυο.

Στο Σχήμα 34 φαίνονται τυπικά μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο ΜΤ. Για μικρές εγκαταστάσεις αυτοπαραγωγών (με ισχύ έως 500 kVA), υποδεικνύεται ο τρόπος σύνδεσης του διαγράμματος (Σχήμα 34), όπου η διάταξη ζεύξης – μέτρησης θα πρέπει να εξασφαλίζει και την προστασία του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος της εγκατάστασής μέχρι και τους ζυγούς ΧΤ του μετασχηματιστή ισχύος. Ο μετασχηματιστής ισχύος, όπως και ο συνολικός υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ, ανήκει κατά κανόνα στην κυριότητα του χρήστη του συστήματος ΣΗΘ. Όμως, μπορεί, μετά από αίτημά του και με τη σύμφωνη γνώμη του Διαχειριστή Δικτύου, να κατασκευάζεται με δαπάνη του χρήστη του συστήματος ΣΗΘ και να ανήκει στον Διαχειριστή Δικτύου, ενώ η μέτρηση θα πραγματοποιείται στη ΧΤ, εάν η ισχύς της εγκατάστασης δεν υπερβαίνει τα 250 kVA. Εάν είναι επιθυμητή η απομονωμένη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ ή σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ΑΔΓ δεν εξασφαλίζει τις απαιτήσεις που τίθενται για τον ΑΔΔ, υποδεικνύεται η εφαρμογή του τρόπου συνδεσμολογίας του διαγράμματος (β) (Σχήμα 34). Ο ΑΔΔ μπορεί να εγκαθίσταται στην πλευρά της ΧΤ ή της ΜΤ. Τέλος, το διάγραμμα του (γ) (Σχήμα 34) αντιστοιχεί σε λειτουργική κατάσταση του συστήματος ΣΗΘ σύμφωνα με την οποία ολόκληρη η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος εγχέεται στο δίκτυο διανομής ΜΤ μέσω της αντίστοιχης ζεύξης, ενώ η ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του αντίστοιχου καταναλωτή ικανοποιείται μόνο από το δίκτυο διανομής.

Επισημαίνεται ότι τα όσα αναφέρονται στις ενότητες του κεφαλαίου 4 της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας είναι υπό την αίρεση τυχόν τροποποίησης και επικαιροποίησης στη βάση των όσων θα περιγράφονται, θα καθορίζονται και θα εξειδικεύονται στο Εγχειρίδιο Πρόσβασης Δικτύου του ΕΔΔΗΕ για τις μονάδες ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ³.

³ Επισημαίνεται ότι περαιτέρω των όσων θα καθορίζονται και θα περιγράφονται από το Εγχειρίδιο Πρόσβασης, ο Ευρωπαϊκός κανονισμός για τους σταθμούς παραγωγής (regulation for generators RfG) που τέθηκε σε εφαρμογή το 2016 θα πρέπει να μεταφερθεί και στην Ελλάδα μέχρι το τέλος του 2018, ο οποίος περιέχει συγκεκριμένες υποχρεώσεις για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας αναφορικά με τη σύνδεση και λειτουργία τους με το δίκτυο.



Σχήμα 34 Μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης συστημάτων μικρής ΣΗΘ σε δίκτυο διανομής ΜΤ

6. ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σε συνέχεια των όσων αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4, αναφορικά με τις διαφορετικούς τύπους και περιπτώσεις λειτουργίας στους οποίους διακρίνονται οι μονάδες παραγωγής των συστημάτων ΣΗΘ υπάρχει η περίπτωση πλεονάσματος παραγωγής θερμικής ενέργειας η οποία θα μπορούσε να διατεθεί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών άλλων χρηστών/τελικών καταναλωτών.

Η δυνατότητα αυτή, προϋποθέτει τόσο την ύπαρξη ή/και ανάπτυξη των κατάλληλων υποδομών δικτύου όσο και την απόκτηση άδειας διανομής θερμικής ενέργειας από τον κάτοχο του συστήματος ΣΗΘ και παραγωγού της θερμικής ενέργειας.

Η ύπαρξη ή όχι συστήματος διανομής θερμικής ενέργειας (δίκτυο τηλεθέρμανσης) αποτελεί και τη πιο βασική παράμετρο η οποία καθορίζει τόσο την οικονομικότητα όσο ως ένα βαθμό και την τεχνική δυνατότητα για ένα σύστημα ΣΗΘ που διαθέτει πλεόνασμα θερμικής ενέργειας να τη χρησιμοποιήσει για την κάλυψη θερμικών αναγκών άλλων χρηστών.

Σε κάθε περίπτωση, το πλεόνασμα της θερμικής ενέργειας με μετάδοσης θερμότητας, συνήθως μέσω εναλλακτών ατμού-νερού, χρησιμοποιείται για την παροχή ενός κατάλληλου (θερμοκρασιακά) θερμού ρευστού το οποίο διανέμεται μέσω αγωγών σε ένα αντλιοστάσιο διανομής, το οποίο και ουσιαστικά το κατευθύνει ανάλογα με τις ανάγκες των τελικών χρηστών.

Σε περίπτωση που το εν λόγω σύστημα ΣΗΘ, αποτελεί και το μοναδικό σταθμό παραγωγής θερμικής ενέργειας, τότε ουσιαστικά θα πρέπει να γίνει τεχνικο-οικονομική μελέτη ανάπτυξης ενός συστήματος τηλεθέρμανσης (ή και τηλεψύξης) λαμβάνοντας υπόψη την ανάπτυξη του δικτύου διανομής, το (ή τα) αντλιοστάσιο(α) διανομής, τους θερμικούς υποσταθμούς των χρηστών, καθώς και ενός συστήματος αποθήκευσης ρευστού σε υψηλή θερμοκρασία.

Σε αντίθετη περίπτωση, που το εν λόγω σύστημα ΣΗΘ πρόκειται να συνδεθεί με δίκτυο τηλεθέρμανσης που ήδη προϋπάρχει και λειτουργεί, άρα υπάρχει και τουλάχιστον μια επιπλέον μονάδα παραγωγής θερμικής ενέργειας, τότε πέρα από τις ιδιαίτερες τεχνικές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη (π.χ. θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά κυμαινόμενα και όχι σταθερά, προώθηση ρευστού σε ομάδες χρηστών ανάλογα με την περιοχή σύνδεσης στο υπάρχον δίκτυο τηλεθέρμανσης, τοπική αποθήκευση θερμού ρευστού), εισάγονται ένα πλήθος κανονιστικών διατάξεων και παραμέτρων τιμολόγησης και χρεώσεων χρήσης δικτύου που απαιτούν την ύπαρξη ενός εξειδικευμένου νομοθετικού και ρυθμιστικού πλαισίου για την αγορά θερμικής ενέργειας.

6.2. Ρυθμιστικό πλαίσιο αγοράς θερμικής ενέργειας

Αναφορικά με το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τις **άδειες διανομής θερμικής ενέργειας**, αυτό περιγράφεται μέχρι στιγμής με το άρθρο 14 του ν.3175/2003 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α΄ 207), όπως αυτό τροποποιήθηκε και ισχύει με την παρ.12 του άρθρου 37 του ν. 3734/2003 (ΦΕΚ Α΄ 8/28.1.2009). Ωστόσο το ειδικό πλαίσιο με τις αντίστοιχες κανονιστικές πράξεις που θα πρέπει να ρυθμίζει το πλαίσιο αδειοδότησης, λειτουργίας, κριτήρια αξιολόγησης και τη λήψη αδειών διανομής θερμικής ενέργειας, καθώς και τα σχετικά με τις μεθοδολογίες τιμολόγησης και χρεώσεων χρήσης δικτύου εκκρεμεί.

Ουσιαστικά για την παραγωγή και διανομή αποκλειστικά θερμικής ενέργειας, θα πρέπει να προβλέπεται να χορηγείται είτε Ενιαία Άδεια Παραγωγής και Διανομής Θερμικής Ενέργειας, αλλά με διακριτούς όρους και προϋποθέσεις για την κάθε δραστηριότητα είτε και διακριτές άδειες. Αν η θερμική ενέργεια που διανέμεται σε τρίτους παράγεται από εγκαταστάσεις συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, θα πρέπει να προβλεφθεί να χορηγείται διακριτή Άδεια Συμπαραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας και Θερμότητας και Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας.

Ιδιαίτερης σημασίας για τα συστήματα ΣΗΘ θα είναι η τυχόν πρόβλεψη στο πλαίσιο λειτουργίας της αγοράς θερμικής ενέργειας η δυνατότητα πρόσβασης αυτών σε τμήμα του δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας που ανήκει σε άλλον κάτοχο Άδειας Διανομής Θερμικής Ενέργειας. Ωστόσο το συγκεκριμένο θέμα ενσωματώνει πλήθος τεχνικών παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη (π.χ. υπάρχουσα θερμοκρασία ρευστού στο δίκτυο, απόσταση από τελικό χρήστη-καταναλωτή, ρυθμίσεις πίεσης θερμού ρευστού, λειτουργία αγοράς υποβολής προσφορών αξίας θερμικής ενέργειας και χαρακτηριστικών αυτών κλπ) που απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό από νομοθετικής και ρυθμιστικής πλευράς.

7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΗΘ

7.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η ΣΗΘ αποτελεί μια σημαντική τεχνολογία για τη μείωση των εκπομπών CO₂, την παράταση της εξάντλησης των πρωτογενών πηγών καυσίμων, την ενθάρρυνση της αποκεντρωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την τήρηση των διεθνών δεσμεύσεων της Χώρας, που σχετίζονται με τις κλιματικές αλλαγές.

Όπως σε όλες τις διαδικασίες καύσης υπάρχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, έτσι και στην περίπτωση της ΣΗΘ, μπορεί να προκληθεί τοπική αύξηση των εκπομπών NO_x και CO, σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Όμως σε εθνικό επίπεδο η χρήση συστημάτων ΣΗΘ παράγει σημαντικά λιγότερους ρύπους από τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής αλλά και θερμικής ενέργειας.

Οι κύριες εκπομπές συστημάτων ΣΗΘ είναι παρόμοιες με αυτές που εκλύονται από την καύση όλων των υδρογονανθράκων:

- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| • διοξείδιο του άνθρακα | CO ₂ |
| • μονοξείδιο του άνθρακα | CO |
| • διοξείδιο του θείου | SO ₂ |
| • οξείδιο του αζώτου | NO _x |
| • άκαυστοι υδρογονάνθρακες | C _n H _m |

Οι ποσότητες με τις οποίες παράγεται ο κάθε ρύπος, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση του καυσίμου και τα χαρακτηριστικά καύσης της τεχνολογίας ΣΗΘ που χρησιμοποιείται.

Οι εκπομπές CO₂ και SO₂ είναι ευθέως ανάλογες με την ποσότητα και τη σύνθεση του χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Η υψηλή αποδοτικότητα της ΣΗΘ, καθώς και η ταχεία ανάπτυξη της χρήσης του φυσικού αερίου, οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών αυτών.

7.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΗΘ

Τα κυριότερα αέρια από τη χρήση ΣΗΘ είναι τα ακόλουθα:

- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂):** Το CO₂ αποτελεί τη μεγαλύτερη συνιστώσα των προϊόντων της καύσης και η αύξηση των συγκεντρώσεών του στην ατμόσφαιρα, αποτελεί τη βασική αιτία της επιδείνωσης φαινομένου του θερμοκηπίου και των κινδύνων από την κλιματική αλλαγή. Η παραγωγή του είναι ανάλογη προς την ποσότητα του καυσίμου που καίγεται και έτσι η υψηλής αποδοτικότητας ΣΗΘ οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών του, σε σχέση με την απλή ΣΗΘ. Η εκπομπή CO₂ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό

από τη σύνθεση του καυσίμου: π.χ. η καύση λιθάνθρακα ή λιγνίτη παράγει σημαντικά υψηλότερες ποσότητες CO₂ από αυτές που παράγει η καύση φυσικού αερίου.

- **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO):** Το CO είναι ένα δηλητηριώδες αέριο που παράγεται μέσω της ατελούς καύσης και μπορεί να περιοριστεί σε αμελητέα επίπεδα, εάν υπάρξει ικανοποιητικός έλεγχος του αέρα και του καυσίμου κατά τη διάρκεια της καύσης.
- **Διοξείδιο του θείου (SO₂):** Το SO₂ είναι ένα όξινο αέριο που παράγεται μόνο κατά την καύση του θείου. Θείο περιέχεται σε καύσιμα όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας, το βιοαέριο. Το SO₂ με την παρουσία υγρασίας μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H₂SO₄) το οποίο, εάν συμπυκνωθεί, προκαλεί τη διάβρωση των μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην ανάκτηση της θερμότητας ή στα συστήματα εξάτμισης. Επιπλέον, είναι η αιτία της όξινης βροχής με τις γνωστές καταστρεπτικές συνέπειες.

Σε εγκαταστάσεις ΣΗΘ, οι εκπομπές SO₂ δεν μπορούν να μειωθούν με τη λήψη μέτρων που αφορούν στο σχεδιασμό των κινητήρων, μπορεί όμως να εξαλειφθούν από τα καυσαέρια, μέσω εγκατάστασης μονάδας αποθείωσης.

- **Οξείδια του αζώτου(NO_x):** Το NO_x είναι ένα μίγμα των οξειδίων του αζώτου που παράγονται από την καύση οποιουδήποτε καυσίμου στον αέρα. Η σύστασή του επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες της καύσης, όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος παραμονής και η αναλογία “αέρα/καυσίμου”. Στην ατμόσφαιρα, το NO_x υπόκειται σε διάφορες χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στο σχηματισμό του όζοντος και της αιθαλομίχλης. Συμβάλλει επίσης στη δημιουργία της όξινης βροχής. Το NO_x θεωρείται ένας από τους μεγαλύτερους αστικούς ρύπους, έχοντας ως βασική πηγή την κυκλοφορία των οχημάτων και τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεικτικά όρια εκπομπών NO_x, σε gr ανά GJ παραγόμενης χρήσιμης ενέργειας, που θέσπισε η Ολλανδική κυβέρνηση και αποδέχεται η COGENEUROPE, δίνονται στη συνέχεια (Πίνακας 19).

Πίνακας 19 Όρια εκπομπών NO_x [3]

Τεχνολογία	Όρια με εφαρμογή από το 2013 (g/GJ)*		Όριο με εφαρμογή από το 2020 (g/GJ)*	
	Αέριο	Υγρό καύσιμο	Αέριο	Υγρό καύσιμο
Μηχανή Stirling	25	130	20	100 ***
Παλινδρομική μηχανή	80 **	130 **	65 ***	100 ***
Στρόβιλος	40 **	-	35***	-
Κυψέλη καυσίμου	2,5	-	2	-

* 1 g/GJ περίπου ίσο με 2 ppm at 0% περιεκτικότητα O₂.

** Τα όρια εκπομπών αυτών αποτελούν Ολλανδική Τεχνική Οδηγία που τέθηκε σε ισχύ το 2010.

*** Ο μακροπρόθεσμος στόχος εκπομπών είναι 30 g/GJ (Gothenburg)

Σημαντικό εργαλείο αποτελεί και η αναφορά σε επίπεδα ρύπων κατά το πρότυπο “TA-Luft” το οποίο χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές αεριομηχανών για συστήματα ΣΗΘ. Βασικές αναφορές σε επίπεδα ρύπων κατά TA-Luft είναι για:

- $\text{NO}_x < 500 \text{ mg/Nm}^3$
- $\text{CO} < 1000 \text{ mg/Nm}^3$.

- **Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (C_nH_m):** Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες παράγονται σε μεγάλο βαθμό από παλινδρομικές μηχανές ΜΕΚ. Πρόκειται για μία από τις σημαντικότερες αιτίες δημιουργίας του νέφους και του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Αντίθετα, ο σχηματισμός των NO_x , CO και άκαυστων υδρογονανθράκων σχετίζεται άμεσα με τις συνθήκες καύσης και επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία, τη σχέση ‘αέρα/καυσίμου’ και τον χρόνο παραμονής. Οι εκπομπές των NO_x και CO μπορούν να μειωθούν με προσεκτικό σχεδιασμό και έλεγχο των χαρακτηριστικών καύσης. Προσαρμόζοντας τις συνθήκες καύσης για την επίτευξη εξαιρετικά χαμηλών εκπομπών, τίθεται σε κίνδυνο η βέλτιστη αποδοτικότητα του συστήματος. Η χρησιμοποίηση των καταλυτικών μετατροπών μπορεί να θεωρηθεί ως η βέλτιστη λύση.

7.3. ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ

Ισχύει η νομοθεσία που καθορίζει τα μέγιστα επίπεδα για τις εκπομπές θορύβου κατά την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας (πχ για Η/Ζ) και έχει ως στόχο να προστατεύσει όσους εργάζονται ή κατοικούν κοντά σε εγκαταστάσεις παραγωγής θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, όλες οι μονάδες ΣΗΘ, ανεξαρτήτως ισχύος, πρέπει να συμμορφωθούν με τους κανονισμούς αυτούς, ιδιαίτερα αυτές που βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Ο θόρυβος κατά τη λειτουργία των μηχανών ΣΗΘ είναι συνήθως άνω των 95 dB (A). Επομένως, όταν τοποθετούνται σε σπία ή διαμερίσματα, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τη μείωση των επιπέδων θορύβου.

Στις μονάδες ΣΗΘ που τοποθετούνται σε υπόγεια των κτηρίων ή σε μηχανοστάσια δεν απαιτείται η εγκατάσταση ακουστικού περιβλήματος, αφού εφαρμόζονται οι ίδιες τεχνικές μείωσης του θορύβου με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις υποδομών, που απαιτούν:

- ακουστικό αποσβεστήρα στους αγωγούς εισαγωγής-εξαγωγής αέρα στον χώρο καύσης,
- χρήση ηχομονωτικών υλικών στους τοίχους.
- αντικραδασμικά ελάσματα έδρασης
- αντικραδασμικούς συνδέσμους με τα δίκτυα σωληνώσεων

Στην περίπτωση υπαίθριας εγκατάστασης της μονάδας ΣΗΘ επιβάλλεται ο περιορισμός του θορύβου στο χώρο εγκατάστασης της, χρησιμοποιώντας ένα ακουστικό περίβλημα, το οποίο θα μειώσει το επίπεδο θορύβου κατά τουλάχιστον 25 dB (A). Έτσι, συχνά απαιτείται, για την αντιμετώπιση του θορύβου και των κραδασμών, η τοποθέτηση της μονάδας ΣΗΘ και

των συστημάτων ελέγχου σε μονωμένο κιβώτιο (container) με σιγαστήρες στους αγωγούς εισαγωγής και εξαγωγής αέρα και στους εξαεριστήρες. Η εγκατάσταση αυτή, με τις διπλές ηχομονωτικές πόρτες και χωρίς άλλα ανοίγματα, μειώνει το επίπεδο θορύβου της μονάδας συμπαραγωγής σε 30 dB (A) σε απόσταση 60 m από το μονωμένο κιβώτιο.

8. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ [14]

8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σημαντικό πρόβλημα για τον ενεργειακό μελετητή είναι η διαστασιολόγηση του συστήματος ΣΗΘ στο κτήριο, δηλαδή, η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας για τη μονάδα ΣΗΘ και συνεπώς ο σχεδιασμός όλου του συστήματος.

Πρέπει να τονισθεί ότι είναι απαραίτητο να υλοποιηθούν εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας στο περίβλημα του κτηρίου, πριν από τη μελέτη για την εγκατάσταση συστήματος ΣΗΘ.

Τα βασικά κριτήρια για τη βέλτιστη επιλογή του συστήματος ΣΗΘ αφορούν στην:

- οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης,
- εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας,
- αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ, προσφέροντας ηλεκτρική ενέργεια, ΖΝΧ, ατμό, θερμική/ψυκτική ενέργεια στους ενοίκους του κτηρίου,
- περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα από τη χρήση της ΣΗΘ.

Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο και οι ρυθμιστικές διατάξεις που αφορούν την εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας ΣΗΘ στο κτήριο, ώστε να συνυπολογιστούν τα όρια στο σχεδιασμό και στη λειτουργία της μονάδας ΣΗΘ (πχ επίπεδα θορύβου, όριο εκπομπών αερίων ρύπων, κλπ).

8.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ

Από την αρχική ιδέα για την εγκατάσταση συστήματος ΣΗΘ στο κτήριο έως τη μελέτη εφαρμογής, υπάρχουν τρία στάδια που πρέπει να υλοποιηθούν με επιτυχία:

- α. **προμελέτη,**
- β. **τεχνοοικονομική μελέτη** με επιλογή του συστήματος ΣΗΘ,
- γ. **μελέτη εφαρμογής.**

α. Κατά τη διάρκεια της **προμελέτης** για ένα υφιστάμενο κτήριο, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ενεργειακός έλεγχος (energy audit) για τη συλλογή πληροφοριών και στοιχείων από τις προηγούμενες ενεργειακές καταναλώσεις της υφιστάμενης κατάστασης. Το αποτέλεσμα της ενεργειακής επιθεώρησης θα δείξει αν στο κτήριο, πριν την εγκατάσταση της μονάδας ΣΗΘ, η εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (πχ μόνωση οροφής και περιβλήματος του κτηρίου, βελτίωση συστημάτων θέρμανσης / ψύξης / αερισμού, κλπ) ήταν επιτυχής, ή απαιτούνται πρόσθετα μέτρα. Επίσης, θα καταγράψει τις ηλεκτρικές και θερμικές / ψυκτικές καταναλώσεις, καθώς και τις ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής / ψυκτικής ενέργειας ανά m² ή άτομο. Τέλος, στη φάση της προμελέτης θα πρέπει να διερευνηθεί η δυνατότητα διασύνδεσης του συστήματος ΣΗΘ με τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμου.

Για τα κτήρια που βρίσκονται στη φάση σχεδιασμού ή αρχικής κατασκευής, παρόμοια πολιτική θα πρέπει να ακολουθηθεί κατά τη διάρκεια της προμελέτης, όμως η εγκατάσταση και η διασύνδεση του συστήματος ΣΗΘ με την υπόλοιπη εγκατάσταση είναι ευκολότερη και η πιθανότητα για οικονομική βιωσιμότητα πιο μεγάλη. Σημασία έχει, οι υποθέσεις και παραδοχές για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών/ψυκτικών/θερμικών φορτίων, να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερες προς την πραγματικότητα.

Κατά τη διάρκεια της προμελέτης παράγονται τεχνικά σχέδια για την κατανόηση των πιθανών εμποδίων ή προβλημάτων που θα προκύψουν.

Ένα πρώτο βήμα ενδεικτικού ελέγχου, που έχει ως στόχο να διευκολύνει την αρχική αξιολόγηση των δυνατοτήτων της εφαρμογής ενός συστήματος μικρής ΣΗΘ, παρουσιάζεται στη συνέχεια (Πίνακας 20).

Για παράδειγμα, η παρουσία 5 απαντήσεων ως ΝΑΙ, αποτελεί σοβαρή ένδειξη για περαιτέρω μελέτη βιωσιμότητας και αξιολόγησης εγκατάστασης συστήματος ΣΗΘ.

Πίνακας 20 Πίνακας ελέγχου για σύστημα ΣΗΘ

1. Κατανάλωση θερμότητας (ατμός, κεντρική θέρμανση, Z N X) π.χ. Κατανάλωση καυσίμου για παραγωγή θερμότητας	> 80,000 l/έτος πετρέλαιο ή > 80,000 m ³ /έτος ΦΑ	ΝΑΙ <input type="checkbox"/>	ΟΧΙ <input type="checkbox"/>
2.Υψηλή κατανάλωση ηλεκτρισμού	> 500,000 kWh/έτος	ΝΑΙ <input type="checkbox"/>	ΟΧΙ <input type="checkbox"/>
3. Υψηλό ηλεκτρικό φορτίο βάσης	min. 100 kW _{el} min. 5,000 ώρες/έτος	ΝΑΙ <input type="checkbox"/>	ΟΧΙ <input type="checkbox"/>
4. Λόγος ηλεκτρικής / θερμική ενέργεια, C	>0,7	ΝΑΙ <input type="checkbox"/>	ΟΧΙ <input type="checkbox"/>
5. Υπάρχον εγκατεστημένο σύστημα ηλεκτροπαραγωγικών ζευγών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εκτός της περίπτωσης απώλειας ισχύος (black-outs)		ΝΑΙ <input type="checkbox"/>	ΟΧΙ <input type="checkbox"/>

β. Κατά τη διάρκεια της **τεχνοοικονομικής μελέτης** επιλέγεται η μηχανή (ή οι μηχανές) ΣΗΘ που καλύπτει(-ουν) κατά κύριο λόγο το θερμικό φορτίο βάση του κτηρίου, ενώ συμβατικοί τρόποι (π.χ. λέβητες) καλύπτουν πιθανές αιχμές. Αυτό άλλωστε απαιτεί η Κοινοτική αλλά και η Ελληνική νομοθεσία.

Με βάση τα παραπάνω, υπολογίζονται όλα τα περιφερειακά εξαρτήματα ή/και συστήματα που απαιτούνται, ώστε η μονάδα να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα (πχ αντλίες, συνδέσεις με δίκτυα ενέργειας, κλπ).

Με βάση τις διαστάσεις της επιλεγμένης μηχανής ΣΗΘ υπολογίζεται η χωροταξική τοποθέτησή της στο λεβητοστάσιο / ψυχοστάσιο καθώς και τα έργα πολιτικού μηχανικού, εφόσον απαιτούνται.

Υπολογίζονται όλα τα πιθανά κόστη της επένδυσης, λαμβάνονται υπόψη:

- τα ίδια κεφάλαια,
- το τυχόν δανειακό κεφάλαιο, και εφόσον υπάρχει,
- η τυχόν εθνική/κοινοτική επιδότηση για το έργο ή

- η χρήση άλλων χρηματοοικονομικών εργαλείων, όπως η ΧΑΤ (ΤΡΦ) κύρια από Εταιρείες Παροχής Ενεργειακές Υπηρεσιών (ΕΠΕΥ – ESCO)

ενώ υπολογίζονται

- η απόσβεση της επένδυσης με τις ισχύουσες ενεργειακές τιμές (αγορά/πώληση ΗΕ),
- ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης και
- η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης.

Κατά τη διάρκεια της τεchnοοικονομικής μελέτης σχεδιάζονται γενικά σχέδια (μηχανολογικά, ηλεκτρολογικά, κλπ), υπό κλίμακα. Τέλος, συμπληρώνονται τα απαιτούμενα έντυπα παραγγελίας του εξοπλισμού, ώστε ο επενδυτής να μπορεί άμεσα να απευθυνθεί στην τράπεζα για την πληρωμή του εξοπλισμού, μέσω τραπεζικής εντολής.

γ. Κατά τη διάρκεια της **μελέτης εφαρμογής**, ο ενεργειακός μελετητής της εγκατάστασης ΣΗΘ σχεδιάζει τα τελικά σχέδια, με την καλύτερη δυνατή λεπτομέρεια.

Τα σχέδια αφορούν κυρίως:

- στη χωροθέτηση του συστήματος ΣΗΘ στο χώρο εγκατάστασης, με βάση τα ισχύοντα από τις πολεοδομικές, πυροσβεστικές και άλλες διατάξεις για συστήματα παραγωγής ενέργειας (πχ αερισμός χώρου, πυρόσβεση, κλπ),
- στη διασύνδεση του συστήματος ΣΗΘ με το υφιστάμενο εντός κτηρίου σύστημα παροχής καυσίμου (πετρελαίου ή αερίου), με βάση του ισχύοντες κανονισμούς που αναφέρονται και στη βιβλιογραφία,
- στη διασύνδεση του συστήματος ΣΗΘ με το υφιστάμενο δίκτυο, με βάση τους Κώδικες Διασύνδεσης και τις διατάξεις του Διαχειριστή του Ηλεκτρικού Δικτύου,
- στη σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ με το δίκτυο ύδρευσης του κτηρίου, με βάση τις ισχύουσες διατάξεις,
- το σύστημα απαγωγής των καυσαερίων του συστήματος ΣΗΘ και της διαδρομής του από το χώρο εγκατάστασης στο εξωτερικό περιβάλλον,
- στη διασύνδεση της παραγόμενης χρήσιμης θερμότητας από το σύστημα ΣΗΘ με το δίκτυο θέρμανσης και ΖΝΧ ή, αν εγκαθίσταται σύστημα τριπαραγωγής, με τη μονάδα απορρόφησης,
- στο σύστημα ελέγχου και αυτοματισμών, τόσο της μονάδας ΣΗΘ, όσο και όλης της εγκατάστασης,
- όποιο άλλο σχεδιάγραμμα απαιτείται από τις αρμόδιες αρχές (ΔΕΗ, ΕΠΑ, κλπ).

8.3. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ

8.3.1. Καθορισμός χωρικών ορίων συστήματος ΣΗΘ

Τα χωρικά όρια μιας μονάδας ΣΗΘ χαράσσονται γύρω από τη μονάδα.

Μια μονάδα ΣΗΘ, εγκατεστημένη σε κτήριο, προσφέρει ενεργειακά προϊόντα σε καταναλωτές, που ο χώρος τους δεν ανήκει στη μονάδα ΣΗΘ.

Καταναλωτής μπορεί να είναι μεμονωμένος (οι) καταναλωτής (ες) ηλεκτρικής ή θερμικής/ψυκτικής ενέργειας, ένα σύστημα τηλεθέρμανσης/τηλεψύξης, ή/και το ηλεκτρικό δίκτυο.

8.3.2. Καθορισμός χωρικών ορίων συστήματος ΣΗΘ

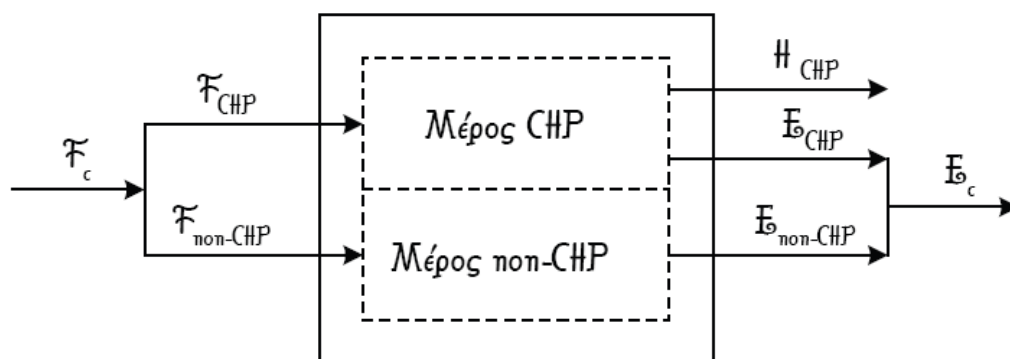
Για να αποτιμηθεί η δυνατότητα εφαρμογής μιας μονάδας ΣΗΘ είναι απαραίτητο να υπολογιστούν κάποιοι ενεργειακοί δείκτες, για όλη την εγκατάσταση.

Η αποδοτικότητα της ΣΗΘ προσδιορίζεται από την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Συνήθως τα συστήματα ΣΗΘ σχεδιάζονται για να καλύψουν τις θερμικές απαιτήσεις της εγκατάστασης και το πλεόνασμα Η.Ε. διοχετεύεται στο δίκτυο.

Αναλυτικά για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

Θεωρείται ότι η μονάδα αποτελείται από δύο μέρη (Σχήμα 35):

- το συμπαραγωγικό μέρος (συμβολικά, «Μέρος CHP» στο σχήμα) και
- στο μη-συμπαραγωγικό μέρος (συμβολικά, «Μέρος non-CHP» στο σχήμα 35).



Σχήμα 35 Χωρισμός μονάδας συμπαραγωγής σε συμπαραγωγικό και μη-συμπαραγωγικό μέρος.

Η ηλεκτρική ενέργεια του συμπαραγωγικού μέρους (ενέργεια από συμπαραγωγή) και του μη- συμπαραγωγικού μέρους υπολογίζονται με τις σχέσεις:

$$E_{CHP} = H_{CHP} \cdot C$$

$$E_{non-CHP} = E_c - E_{CHP}$$

Ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια του συμπαραγωγικού μέρους, C , προσδιορίζεται με την ακόλουθη διαδικασία.

Εάν η μονάδα συμπαραγωγής δεν περιλαμβάνει αμοστρόβιλο συμπύκνωσης – απομάστευσης, τότε ισχύει η σχέση:

$$C = \frac{\eta_e}{\eta_{CHP} - \eta_e}$$

Η ενέργεια καυσίμου του συμπαραγωγικού και μη-συμπαραγωγικού μέρους υπολογίζονται με τις σχέσεις:

$$F_{CHP} = \frac{E_{CHP} + H_{CHP}}{\eta_{CHP}}$$

$$F_{non-CHP} = F - F_{CHP}$$

Για λόγους πληρότητας και επαλήθευσης υπολογίζονται ο ηλεκτρικός, ο θερμικός και ο ολικός βαθμός απόδοσης του συμπαραγωγικού μέρους:

$$\eta_{e,CHP} = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}}$$

$$\eta_{h,CHP} = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}}$$

$$\eta_{CHP} = \eta_{e,CHP} + \eta_{h,CHP}$$

8.3.3. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας

Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (primary energy savings) που οφείλεται στη μονάδα συμπαραγωγής είναι:

$$PES = F_E + F_H - F_C$$

Οπού: F_E : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής.

F_H : Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από συμβατικό λέβητα.

F_C : Ενέργεια καυσίμου για ΣΗΘ.

Ο αντίστοιχος λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας (primary energy saving ratio) είναι:

$$PESR = \frac{F_E + F_H - F_C}{F_E + F_H} = \frac{PES}{F_E + F_H}$$

Με χρήση των τιμών αναφοράς των βαθμών απόδοσης, ο λόγος αυτός υπολογίζεται με τη σχέση:

$$PESR = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{er}} + \frac{\eta_h}{\eta_{hr}}}$$

Οι τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης συστημάτων θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας δίνονται αναλυτικά στις Υπουργικές Αποφάσεις (το χρόνο έκδοσης της ΤΟΤΕΕ είναι σε ισχύ η Υ.Α. 15641/14.07.2009 (ΦΕΚ Β' 1420)).

8.3.3.1. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας του συμπαραγωγικού μέρους

Εάν η ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή, E_{CHP} παραγόταν από μονάδα ηλεκτροπαραγωγής βαθμού απόδοσης, η_{er} , η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας θα ήταν:

$$F_{E,CHP} = \frac{E_{CHP}}{\eta_{er}}$$

Επομένως, η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που οφείλεται στο συμπαραγωγικό μέρος είναι:

$$PES_{CHP} = F_{E,CHP} + F_H - F_{CHP}$$

και ο αντίστοιχος λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας είναι:

$$PESR_{CHP} = \frac{PES_{CHP}}{F_{E,CHP} + F_H}$$

Με χρήση των τιμών αναφοράς των βαθμών απόδοσης, ο λόγος αυτός υπολογίζεται με τη σχέση:

$$PESR_{CHP} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{e,CHP}}{\eta_{er}} + \frac{\eta_{h,CHP}}{\eta_{hr}}}$$

Οι υπολογισμοί πρέπει να στηρίζονται σε πραγματικά στοιχεία, τα οποία έχουν συγκεντρωθεί με μετρήσεις κατά τη συγκεκριμένη περίοδο αναφοράς.

Για μονάδες συμπαραγωγής στο στάδιο της κατασκευής ή κατά το πρώτο έτος λειτουργίας, οπότε δεν έχουν συγκεντρωθεί ακόμη επαρκή μετρητικά δεδομένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στοιχεία από τον κατασκευαστή της μονάδας συμπαραγωγής ή μεγέθη που υπολογίζονται με τη βοήθεια μοντέλου προσομοίωσης της συγκεκριμένης μονάδας συμπαραγωγής.

Εάν ούτε αυτά υπάρχουν, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή του λόγου ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια που αναφέρεται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 21) αλλά **μόνο** κατά το πρώτο έτος λειτουργίας.

Στην περίπτωση της τριπαραγωγής, μέρος της χρήσιμης θερμότητας υποκαθιστά ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας δίνεται ως:

$$PESR_{CCHP} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{e,CHP}}{\eta_{er}} + \frac{\eta_{h,CHP}}{\eta_{hr}} + \frac{\eta_{c,CHP}}{COP * \eta_{cr}}}$$

όπου

$\eta_{c,CHP}$ είναι ο ψυκτικός βαθμός απόδοσης του συστήματος τριπαραγωγής

COP είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς του ηλεκτρικού ψύκτη,

η_{cr} είναι ο συντελεστής απόδοσης της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής για ψύξη, και

$\eta_{cr} = \text{συντελεστής απόδοσης συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής, } \eta_{er}^* \text{ απώλειες μετασχηματισμού * απώλειες μεταφοράς.}$

Πίνακας 21 Ενδεικτικές τιμές του λόγου ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια, C.

Τύπος μονάδας	Πρότυπος λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια (C) (μέσες τιμές)
Παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης	0,75
Ατμοστρόβιλος συμπύκνωσης - απομάστευσης	0,30
Ατμοστρόβιλος αντίθληψης	0,45
Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	0,55

Για μονάδες συμπαραγωγής πολύ μικρής κλίμακας μπορούν να χρησιμοποιούνται στοιχεία από τον κατασκευαστή.

Αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της συμπαραγόμενης ΗΕ από σύστημα ΣΗΘ δίνεται στην Υ.Α. 15641/14.07.2009 (ΦΕΚ Β' 1420) [1].

8.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΗΘ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

8.4.1.Ενεργειακή καταγραφή

Η ενεργειακή καταγραφή είναι μια συστηματική συλλογή και ανάλυση πληροφοριών από την ενεργειακή χρήση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των βελτιώσεων της ενεργειακής αποδοτικότητας του κτηρίου, του σχεδίου/ εξοπλισμού ή μιας συγκεκριμένης διαδικασίας.

Η ενεργειακή καταγραφή μπορεί να περιέχει τα παρακάτω σημεία:

- Συλλογή βασικών πληροφοριών και περιγραφών για το υπάρχον συμβατικό σύστημα ενεργειακής παροχής και απαιτήσεων. Οι πηγές των πληροφοριών θα μπορούσαν να είναι τα τεχνικά σχέδια του έργου, η επίσκεψη στον πιθανό χώρο εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ, πληροφορίες από τα τεχνικά φυλλάδια του εξοπλισμού, κτλ.
- Συλλογή δεδομένων για τις συνθήκες λειτουργίας, όπως οι πιέσεις, οι θερμοκρασίες, το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του κτηρίου, ο τόπος και τα χαρακτηριστικά σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο και το δίκτυο καυσίμου, κτλ.
- Καθορισμός όλων των μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης που δεν σχετίζονται με την μονάδα ΣΗΘ και της επίδρασής τους στην ενεργειακή κατανάλωση.

- Δημιουργία προφίλ φορτίων ηλεκτρισμού, θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου, με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, χρησιμοποιώντας είτε μετρητές, είτε, σε έλλειψη μετρητών, από τους λογαριασμούς ρεύματος και καυσίμου, κτλ.
- Υπολογισμός του πραγματικού κόστους ενέργειας (θερμικής / ηλεκτρικής) και άλλων δαπανών που σχετίζονται με την παραγωγή ή και την αγορά τους.

Οι απαραίτητοι πίνακες που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των δραστηριοτήτων για το υπάρχον ενεργειακό σύστημα, δίνονται στο Παράρτημα II.

8.4.2.Επιλογή εξοπλισμού και διαστάσεων

Η επιλογή και η διαστασιολόγηση του εξοπλισμού για νέες μονάδες ΣΗΘ γίνεται με τη χρήση των ακόλουθων κριτηρίων:

- απόδοση του εξοπλισμού,
- χωρητικότητα και απαιτήσεις χώρου,
- αρχικό κόστος εγκατάστασης συστήματος,
- λειτουργικό κόστος μονάδας ΣΗΘ,
- αξιοπιστία κατασκευαστή μονάδας ΣΗΘ,
- ευελιξία και ευκολία συντήρησης μονάδας ΣΗΘ.

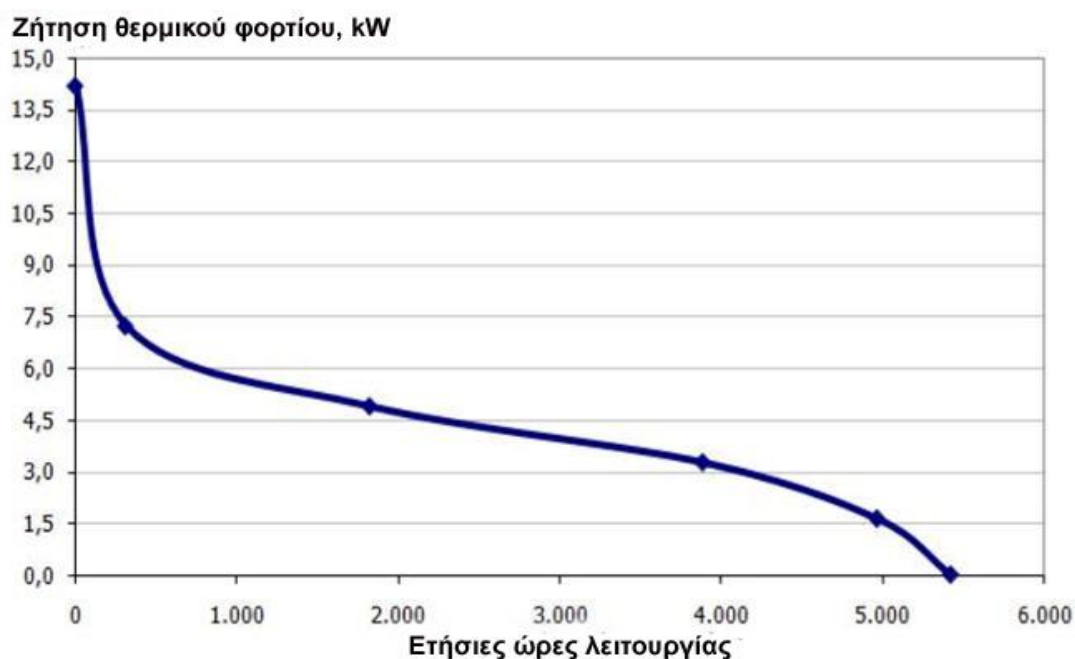
Περισσότεροι από έναν συνδυασμοί της μονάδας ΣΗΘ μπορούν να παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια στο κτήριο. Για αυτό τον λόγο, απαιτείται η ανάπτυξη διαφορετικών εναλλακτικών σεναρίων που θα βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες ΣΗΘ και αριθμό μονάδων, έτσι ώστε να επιλεγεί τελικά μια από αυτές που θα καλύπτει σε μεγαλύτερο βαθμό τα παραπάνω κριτήρια.

Στη διαστασιολόγηση της μονάδας ΣΗΘ μπορεί να βοηθήσει ο υπολογισμός των αθροιστικών καμπυλών απαιτήσεων θερμότητας για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης και των απαιτήσεων θερμότητας για ψύξη.

Αναφορικά με τη διαστασιολόγηση της ψύξης με απορρόφηση, δηλαδή μιας μονάδας τριπαραγωγής, τα βασικά βήματα είναι τα ακόλουθα:

- Ποσοτικοποίηση των ψυκτικών απαιτήσεων
- Μείωση της ηλεκτρικής απαίτησης (που έχει προσδιοριστεί προηγουμένως στην ενεργειακή καταγραφή) για να χρησιμοποιηθεί για ψύξη από τους ψύκτες απορρόφησης
- Μετασχηματισμός των απαιτήσεων ψύξης σε θέρμανση
- Ποσοτικοποίηση των θερμικών απαιτήσεων των υπολοίπων χώρων
- Υπολογισμός νέων θερμικών απαιτήσεων
- Καθορισμός του κατάλληλου τύπου και μεγέθους της μονάδας ΣΗΘ και ψύκτη απορρόφησης
- Καθορισμός της στρατηγικής λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ, πχ ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται ή / και πωλείται στο Δίκτυο, απαίτηση για συμπληρωματική θερμότητα, κτλ. Πρέπει να τονισθεί ότι αυτό ισχύει γενικά και όχι μόνο για την περίπτωση ψύξης με απορρόφηση.

Με βάση τα ανωτέρω, η άθροιση των ολικών απαιτήσεων θερμότητας ως θερμική ισχύς (kW), καταλήγει σε μια τυπική καμπύλη διάρκειας θερμικής ζήτησης, όπως αυτή στο Σχήμα 36.



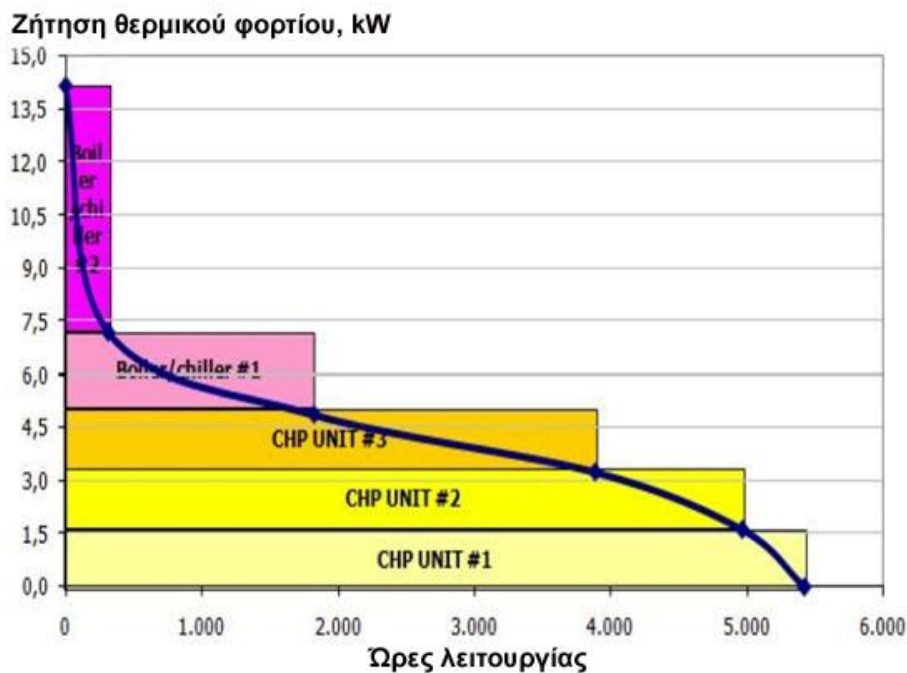
Σχήμα 36 Παράδειγμα καμπύλης διάρκειας θερμικής ζήτησης κτηρίου

Με βάση την καμπύλη που εμφανίζεται στο Σχήμα 36, επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα ΣΗΘ που θα καλύψει αποδοτικότερα και με ασφάλεια, τη ζήτηση θερμότητας. Είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται περισσότερες της μίας μονάδες ΣΗΘ για την κάλυψη των βασικών θερμικών φορτίων. Η κάλυψη των ετήσιων θερμικών απαιτήσεων για τα φορτία απεικονίζεται στο Σχήμα 37.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της επιλογής είναι:

- Δυνατότητα λειτουργίας υπό μερικά θερμικά φορτία, με καλύτερη απόδοση
- Υψηλή διαθεσιμότητα / ασφάλεια εφοδιασμού

Το μειονέκτημα είναι το υψηλότερο κόστος επένδυσης και συντήρησης των μονάδων ΣΗΘ. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αιχμιακές ζητήσεις θερμότητας, θα πρέπει να καλύπτονται από ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης, (πχ λέβητα), αφού είναι αντιοικονομικό να διαστασιολογείται μια μονάδα ΣΗΘ με βάση τη ζήτηση αιχμής λίγων ωρών ανά έτος.



Σχήμα 37 Κάλυψη ετήσιων θερμικών απαιτήσεων από σύστημα ΣΗΘ

8.5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΗΘ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

Η οικονομική ανάλυση είναι αυτή που αποδεικνύει αν η μονάδα ΣΗΘ είναι οικονομικά βιώσιμη. Σήμερα, οι μονάδες ΣΗΘ ή/και τριπαραγωγής σε κτήρια διοχετεύουν τη συμπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο Δίκτυο, ώστε να επωφεληθούν από την υψηλή τιμή αγοράς της συμπαραγόμενης ΗΕ, αγοράζουν την απαιτούμενη για τη λειτουργία τους ηλεκτρική ενέργεια από το Δίκτυο ενώ αξιοποιούν όλη η χρήσιμη θερμότητα που παράχθηκε από το σύστημα ΣΗΘ για την κάλυψη των θερμικών / ψυκτικών αναγκών στο κτήριο.

Το συνολικό κόστος μιας εγκατάστασης ΣΗΘ αποτελείται κυρίως από:

- **Κόστος επένδυσης:** Είναι το άθροισμα της αγοράς του συστήματος ΣΗΘ ή τριπαραγωγής, της σύνδεσης με τα δίκτυα παροχής καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας, των φίλτρων στο τμήμα καυσαερίων, των αγωγών, καλωδίων, συστημάτων ελέγχου και, τέλος, όλων των απαιτούμενων μηχανολογικών και περιβαλλοντικών μελετών. Τυχόν επιδότηση αφαιρείται από το κόστος επένδυσης. Σημειώνεται ότι στη περίπτωση νέου κτηρίου με εγκατάσταση ΣΗΘ, στο κόστος επένδυσης πρέπει να υπολογιστεί η διαφορά της επένδυσης με συμβατική λύση και της λύσης με ΣΗΘ.
- **Κόστος λειτουργίας και συντήρησης:** Το κόστος καυσίμου της μηχανής ΣΗΘ (ή/και τριπαραγωγής) αποτελεί το κύριο λειτουργικό κόστος. Προστίθενται τα έσοδα από τις πωλήσεις συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο και αφαιρούνται οι δαπάνες για την αγορά της απαιτούμενης στο κτήριο ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Το κόστος της εργασίας, των ανταλλακτικών και των άλλων εξαρτημάτων που απαιτούνται για την ετήσια συντήρηση του συστήματος ΣΗΘ, προστίθεται στο λειτουργικό κόστος.

- **Λειτουργικά έσοδα:** Τα έσοδα από τις πωλήσεις συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο Δίκτυο αποτελούν τα κύρια λειτουργικά έσοδα. Το διαφυγόν κόστος της παραγωγής θερμικής ενέργειας με συμβατικό τρόπο (π.χ. λέβητα) προστίθεται στα λειτουργικά έσοδα. Στην περίπτωση χρήσης Φ.Α., ως καύσιμο της εγκατάστασης ΣΗΘ, πρέπει να ληφθεί υπόψη το διαφορετικό τιμολόγιο που ισχύει ανάλογα τη χρήση. Αντίστοιχα στην περίπτωση τριπαραγωγής, το διαφυγόν κόστος της παραγωγής ψυκτικής ενέργειας με συμβατικό τρόπο (π.χ. ηλεκτρικό ψύκτη) προστίθεται στα λειτουργικά έσοδα.
- **Λειτουργικό όφελος:** Η διαφορά μεταξύ λειτουργικών εσόδων και λειτουργικών εξόδων. Αποτέλεσμα της οικονομικής ανάλυσης είναι:
 - ο υπολογισμός της περιόδου αποπληρωμής της επένδυσης,
 - της καθαρής παρούσας αξίας και
 - του εσωτερικού βαθμού απόδοσης.

Όλα τα παραπάνω, επιτρέπουν να ληφθεί απόφαση από τους μελετητές και τον επενδυτή, σχετικά με τη βιωσιμότητα του επιλεγμένου συστήματος ΣΗΘ.

9. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΗΘ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ [15]

9.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα εφαρμογής ΣΗΘ σε κτήρια με κάποια οικονομικά στοιχεία. Το πρώτο βήμα είναι ο προσδιορισμός των θερμικών/ψυκτικών αναγκών που καλείται να καλύψει το σύστημα ΣΗΘ και η ετήσια κατανομή τους. Σημειώνεται πως κατά το σχεδιασμό συστημάτων ΣΗΘ είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη η χρονική μεταβολή των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Οι κρίσιμότερες παράμετροι σχεδιασμού των συστημάτων ΣΗΘ είναι το είδος της τεχνολογίας του συστήματος, η οποία και σχετίζεται άμεσα με το βαθμό απόδοσής του, και η ονομαστική τιμή της εγκατεστημένης ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος του. Τα κριτήρια επιλογής των δύο αυτών παραμέτρων είναι πολύπλοκα, τεχνικά και οικονομικά και δεν αναλύονται περαιτέρω στο παρόν κεφάλαιο, του οποίου ο στόχος δεν είναι αυτός.

Γνωρίζοντας τη θερμική ισχύ και την κατανάλωση των συγκρινόμενων συστημάτων, το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό το στόχο είναι σημαντικός ο προσδιορισμός των ωρών ετήσιας λειτουργίας του συστήματος, που καθορίζονται από τις θερμικές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στη συνέχεια υπολογίζονται μία σειρά από μεγέθη, τα οποία και συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 22). Τα μεγέθη αυτά οδηγούν στην εκτίμηση της οικονομικής απόδοσης του συστήματος και του χρόνου αποπληρωμής της επένδυσης.

Πίνακας 22 Ενδεικτικός υπολογισμός απόσβεσης επένδυσης ΣΗΘ

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΤΡΟΠΟΣ ΕΥΡΕΥΣΗΣ
1. Προσδιορισμός θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων χρήστη, όπως μεταβάλλονται στο χρόνο	Αποτέλεσμα μελέτης
2. Υπολογισμός μέσης τιμής του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα , με βάση τις βασικές περιόδους λειτουργίας από πλευράς φορτίου και διάρκειας	Αποτέλεσμα μελέτης
3. Επιλογή τεχνολογίας ΣΗΘ	Σύμφωνα με τα αποτελέσματα 1 & 2
4. Ηλεκτρική ισχύς μηχανής ΣΗΘ , ώστε η αποδιδόμενη θερμική ισχύς να χρησιμοποιείται ωφέλιμα	Από τον κατασκευαστή της μονάδας ΣΗΘ
Ωρες λειτουργίας :	συντ. φορτίου x συνολικές ετήσιες ώρες
5. Τιμές ενεργειακών προϊόντων (ΗΕ/ΦΑ/κα)	
Τιμή προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας:	Συμφωνημένη με τον πάροχο Η.Ε.

Τιμή προμήθειας ισχύος :	Συμφωνημένη με τον πάροχο Η.Ε.
Τιμή προμήθειας πετρελαίου :	Τιμή πώλησης από προμηθευτές
Τιμή προμήθειας Φ.Α.:	Η τιμή δίνεται από τον πάροχο Φ.Α.

6. Αποτελέσματα λειτουργίας ΣΗΘ

Ετήσια θερμική ενέργεια που παράγει η ΣΗΘ	Θερμική ισχύς μονάδας ΣΗΘ x αριθμός μονάδων ΣΗΘ x ετήσιες ώρες λειτουργίας
Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η ΣΗΘ	Ηλεκτρική ισχύς ΣΗΘ x ετήσιες ώρες λειτουργίας
Ετήσιο Κόστος καυσίμου	(Ετήσια παραγωγή ΗΕ x κόστος μονάδας καυσίμου) / (ΚΘΙ x ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης ΣΗΘ)

7. Οικονομική αξιολόγηση ΣΗΘ [2]

Κόστος συμβατικού τρόπου κάλυψης ΗΕ , €	$K_{\eta} = \sum_{\mu=1}^{12} [\varepsilon_{\eta} \times T_{\Delta E H} \times I + \kappa_P \times P]_{\mu}$
Κόστος συμβατικού τρόπου κάλυψης ΘΕ, €	$K_{\theta} = c_{f\lambda} \times E_{\theta} / (ΚΘΙ_{\lambda} \times \eta_{\lambda})$
Ετήσιο κόστος καυσίμου ΣΗΘ, €	$K_{f\Sigma} = c_{f\Sigma} \times E_{\eta} / (ΚΘΙ_{\Sigma} \times \eta_{\theta})$
Ετήσιο λειτουργικό όφελος, €	$f_t = (K_{\eta} + \Pi + K_{\theta} - K_f - \Delta)_t$
Ετήσιο καθαρό όφελος, €/έτος	$F_t = f_t - A_L - \varphi \times f_{\varphi t}$
Απλός χρόνος αποπληρωμής, έτη	Κόστος επένδυσης/ετήσιο καθαρό όφελος

όπου

ε_{η}	μηνιαία παραγωγή ηλεκτρισμού του συστήματος ΣΗΘ
$T_{\Delta E H}$	τιμολόγιο κατανάλωσης της ΔΕΗ
I	ποσοστό της παραγόμενης από το σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο ιδιοκαταναλίσκεται (εκφρασμένο σε δεκαδικό αριθμό)
P	συμβατική ισχύς (αποτελεί συμφωνία μεταξύ επιχείρησης και ΔΕΗ)
κ_P	τιμή μονάδας συμβατικής ισχύος
μ	δείκτης μήνα
$c_{f\lambda}$	κόστος μονάδας καυσίμου του λέβητα
E_{θ}	ετήσιο ποσό θερμότητας που προήλθε από το σύστημα ΣΗΘ
$ΚΘΙ_{\lambda}$	κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου του λέβητα
η_{λ}	ενεργειακός βαθμός απόδοσης συμβατικού λέβητα
$c_{f\Sigma}$	κόστος μονάδας καυσίμου του συστήματος ΣΗΘ
E_{η}	ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού του συστήματος ΣΗΘ

$K_{ΘIΣ}$	κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου του συστήματος ΣΗΘ
η_e	ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ΣΗΘ
K_{η}	αξία ηλεκτρικής ενέργειας που έχει παραχθεί από το σύστημα ΣΗΘ
Π	πρόσοδος από την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας
K_{Θ}	αξία θερμικής ενέργειας που έχει παραχθεί από το σύστημα ΣΗΘ
K_f	κόστος καυσίμου του συστήματος ΣΗΘ
Δ	δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας (εκτός καυσίμου) του συστήματος ΣΗΘ
t	δείκτης που σημαίνει ότι τα μεγέθη μέσα στην παρένθεση αναφέρονται στο έτος t
F_t	καθαρό όφελος κατά το έτος t
φ	φορολογική κλίμακα του επενδυτή
f_t	λειτουργικό όφελος κατά το έτος t
$f_{\varphi t}$	φορολογητέα κέρδη κατά το έτος t
A_L	ετήσια δόση αποπληρωμής δανείου = $L * CRF (N_L, r)$
CRF	συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης, όπου N_L περίοδος αποπληρωμής δανείου, ποσού L προερχομένου από δανεισμό, με επιτόκιο δανεισμού, r .

Στη συνέχεια ακολουθούν κάποια απλοποιημένα παραδείγματα εφαρμογής της παραπάνω μεθοδολογίας

9.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Στα ακόλουθα παραδείγματα χρησιμοποιούνται οι παραδοχές είναι οι εξής (Πίνακας 23):

Πίνακας 23 Παραδοχές οικονομικής ανάλυσης συστημάτων ΣΗΘ

Μέση Τιμή Η.Ε. στη Μ.Τ. από πάροχο (τιμή Eurostat 2015)(€/kWh)	0.115
Κόστος πετρελαίου diesel(τιμή 2017)(€/lt)	1.25
ΚΘΙ καυσίμουdiesel (kWh/lt)	9,92
	28 €/MWh
Κόστος καυσίμου Φ.Α. (Τιμή Eurostat 2016)	ή 0,028 €/kWh

Επιπλέον, οι τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο υπολογίζονται με τη διαδικασία που προβλέπεται από τον Νόμο 4254.

Σημειώνεται πως ο στόχος των παραδειγμάτων που ακολουθούν δεν είναι η ακριβής διαστασιολόγηση και οικονομική ανάλυση των συστημάτων ΣΗΘ που παρουσιάζονται, αλλά να δώσουν μια γενική ιδέα της φιλοσοφίας που ακολουθείται για την εκτίμηση των βασικών οικονομικών παραμέτρων τους. Για αυτό το λόγο, έχουν γίνει κάποιες απλουστευτικές παραδοχές. Για παράδειγμα, έχει θεωρηθεί σε όλα τα παραδείγματα πως τα θερμικά φορτία είναι αμετάβλητα και σταθερά στο

χρόνο, κάτι που δεν ανταποκρίνεται γενικά στην πραγματικότητα. Προφανώς, απαιτείται λεπτομερής καταγραφή και παρακολούθηση των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων προκειμένου να γίνει ακριβής ανάλυση των συστημάτων αυτών και οικονομική βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησής τους. Εντούτοις, τα παραδείγματα που ακολουθούν μπορούν να δώσουν μια γενική αίσθηση των αρχών λειτουργίας και της οικονομικής αποδοτικότητας των συστημάτων ΣΗΘ.

9.2.1. Κτήριο κλινικής

Για την περίπτωση του κτηρίου της κλινικής, θεωρείται πως υπάρχει απαίτηση για την παραγωγή ΖΝΧ από 200 άτομα ημερησίως. Επιπλέον, θεωρείται πως το νερό θερμαίνεται από τους 10 °C στους 60 °C. Γίνεται ακόμα η παραδοχή πως το απαιτούμενο θερμικό φορτίο παράγεται κατά τις 18 ώρες της ημέρας κάθε μέρα.

Θεωρούμε πως το υπάρχον συμβατικό σύστημα θέρμανσης αποτελείται από λέβητα Φ.Α. με βαθμό απόδοσης 85 %.

Θεωρώντας ότι οι καταναλωτές ζεστού νερού είναι 200 και έχουν μέση ημερήσια κατανάλωση ίση με 60 lt, υπολογίζονται:

Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού του κτηρίου (lt)	200 x 60 = 12000
Ημερήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας (kWh) (μάζα νερού x Cp νερού (4,18kJ/kg) x(60-10)) και μετατροπή σε kWh από kJ	697
Ώρες ημερήσιας παραγωγής θερμότητας (h)	12
Απαιτούμενη ωφέλιμη θερμική ισχύς (kW _{th}) (ημερήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας/ώρες ημερήσιας παραγωγής θερμότητας)	58

Για να θερμανθεί το νερό από T_{εις} = 10° C σε T_{χρησ} = 60° C, το συμβατικό σύστημα λέβητα, με βαθμό απόδοσης 85%, θα πρέπει να μπορεί να παρέχει ισχύ τουλάχιστον ίση με:

Προσαύξηση ίση με 20%, λόγω απωλειών δικτύων (kW _{th})	69.6
Ονομαστική ισχύς του λέβητα, Q _κ (kW _{th}) (συνολική ισχύς με προσαύξηση/βαθμός απόδοσης λέβητα)	82

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου, συνήθως τα συστήματα ΣΗΘ λειτουργούν εκ παραλλήλου με κάποιο συμβατικό σύστημα, καλύπτοντας μέρος της απαιτούμενης θερμικής κατανάλωσης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, θεωρούμε πως το σύστημα ΣΗΘ καλύπτει το σύνολο της απαιτούμενης θερμότητας, για λόγους απλούστευσης των υπολογισμών και της παρουσίασης της μεθοδολογίας.

Θεωρούμε πως το σύστημα ΣΗΘ αποτελείται από ΜΕΚ με τα εξής στοιχεία:

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)	32
--------------------------------	----

Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)	48
Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	80
Ονομαστική ηλεκτρική ισχύς (kW_e)	46.4
Ονομαστική θερμική ισχύς (kW_{th})	69.6
Προσδιδόμενη ισχύς καυσίμου (kW_{th})	145
Ειδικό κόστος επένδυσης (€/kW _e)	1200
Κόστος επένδυσης (€)	55680

Επομένως από την ετήσια λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ προκύπτουν τα ακόλουθα στοιχεία:

Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια(kWh _e)	203232,0
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh _e) (από Ν. 4254)	98.16
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€) (παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χτιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας)	19950,5
Κατανάλωση Φ.Α. ΣΗΘ (kW_{th}) (ώρες x προσδιδόμενη ισχύς καυσίμου)	635100,0
Κόστος Φ.Α. ΣΗΘ (€) (κατανάλωση Φ.Α. επί τιμή αγοράς Φ.Α.)	17782,8
Κατανάλωση Φ.Α. συμβατικού συστήματος (kW_{th})	304848,0
Κόστος Φ.Α. συμβατικού συστήματος (€)	8535,7
Ετήσιο όφελος από λειτουργία ΣΗΘ (€) (Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας + Κόστος Φ.Α. συμβατικού συστήματος – Κόστος Φ.Α. ΣΗΘ)	10703,4
Περίοδος αποπληρωμής (έτη)	5.2

9.2.2. Ξενοδοχείο

Ξενοδοχείο έχει μέση ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου 48 kW_e, κεντρική θέρμανση και απαίτηση για ΖΝΧ, που δημιουργούν ανάγκη για θερμικό φορτίο, 90 kW_{th}, για 75% του χρόνου. Όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, θεωρούμε πως η θερμική και ηλεκτρική κατανάλωση έχουν σταθερές τιμές για όλη τη διάρκεια λειτουργίας/χρήσης, για λόγους απλούστευσης των υπολογισμών και διευκόλυνσης της παρουσίασης της μεθοδολογίας.

Οι ανάγκες καλύπτονται από λέβητα με καύσιμο πετρέλαιο diesel και σύνδεση στο δίκτυο Η.Ε.

Θεωρούμε την εγκατάσταση συστήματος ΣΗΘ το οποίο διαστασιολογείται ώστε να καλύπτει επακριβώς τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία του ξενοδοχείου, κάτι που δε συμβαίνει απαραίτητα σε πραγματικές εφαρμογές, όπου στα συστήματα ΣΗΘ μπορεί να διαστασιολογούνται ώστε να καλύπτουν εν γένει μέρος του θερμικού/ηλεκτρικού φορτίου και να συνεπικουρούνται από βοηθητικά συμβατικά συστήματα αιχμής. Έτσι η ηλεκτρική

κατανάλωση καλύπτεται από αγορά ενέργειας από το δίκτυο σε χαμηλή τιμή. Παράλληλα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται σε υψηλότερη τιμή.

Τα στοιχεία του συστήματος ΣΗΘ επομένως είναι τα ακόλουθα:

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)	31,3
Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)	58,8
Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	90,1
Ονομαστική ηλεκτρική ισχύς (kW _e)	48
Ονομαστική θερμική ισχύς (kW _{th})	90
Προσδιδόμενη ισχύς καυσίμου (kW _{th})	153
Ειδικό κόστος επένδυσης (€/kW _e)	2291
Κόστος επένδυσης (€)	110000
Ετήσια έξοδα συντήρησης μονάδας ΣΗΘ(€)	1800

Ο ετήσιος αριθμός ωρών λειτουργίας του συστήματος είναι {*συντ. λειτουργίας* x *συνολικές ώρες έτους*} = 0.75 x 8760 = 6570 ώρες

Θεωρούμε επιπλέον πως το υπάρχον συμβατικό σύστημα έχει βαθμό απόδοσης 80 % και πως έχει ετήσιος κόστος συντήρησης 600 €.

Επομένως από την ετήσια λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ προκύπτουν τα ακόλουθα στοιχεία:

Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh _e) (ηλεκτρική ισχύς x ώρες λειτουργίας)	315360
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh _e) (από Ν. 4254)	93.74
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€) (παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια x τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας)	29562,77
Κόστος από αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (€) (καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια x τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας)	36266,4
Κατανάλωση Φ.Α. ΣΗΘ (kW _{th}) (ώρες x προσδιδόμενη ισχύς καυσίμου)	1005210
Κόστος Φ.Α. ΣΗΘ (€) (κατανάλωση Φ.Α. επί τιμή αγοράς Φ.Α.)	28145,88
Κατανάλωση diesel συμβατικού συστήματος (kW _{th})	739125
Κόστος diesel συμβατικού συστήματος (€)	93135,7

Ετήσιο όφελος από λειτουργία ΣΗΘ (€) (Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας -Κόστος από αγορά ηλεκτρικής ενέργειας + Κόστος diesel συμβατικού συστήματος – Κόστος Φ.Α. ΣΗΘ – Κόστος συντήρησης ΣΗΘ + Κόστος συντήρησης συμβατικού συστήματος)	129619,0
Περίοδος αποπληρωμής (έτη)	1,92

9.2.3. Νοσοκομείο

Θεωρούμε πως στο νοσοκομείο υπάρχει η απαίτηση για θέρμανση χώρου τη χειμερινή περίοδο που αντιστοιχεί σε θερμική ισχύ $412,5kW_{th}$ για διάρκεια 5040 ωρών, καθώς και απαίτηση για ψύξη που αντιστοιχεί σε ψυκτική ισχύ $515 kW_{th}$ για διάρκεια 3600 ωρών. Όπως και στα προηγούμενα παραδείγματα, γίνεται η απλουστευτική παραδοχή πως τα φορτία αυτά είναι σταθερά και αμετάβλητα καθ' όλη τη διάρκεια των αντίστοιχων ωρών λειτουργίας. Επιπλέον, θεωρούμε πως το σύστημα ΣΗΘ καθώς και ο ψύκτης απορρόφησης διαστασιοποιούνται ώστε να καλύπτουν επακριβώς τα θερμικά και ψυκτικά φορτία.

Το υπό μελέτη σύστημα ΣΗΘ αποτελείται από ΜΕΚ καθώς και ψύκτη απορρόφησης που τροφοδοτείται από τη θερμότητα που παράγεται από το σύστημα ΣΗΘ, που τροφοδοτείται με Φ.Α. Στην περίπτωση που η θερμότητα του συστήματος ΣΗΘ δεν επαρκεί για τη λειτουργία του ψύκτη, τίθεται σε ισχύ συμβατικός λέβητας Φ.Α. Το σύστημα ΣΗΘ συγκρίνεται με συμβατικό σύστημα που αποτελείται από συμβατικό λέβητα θερμικής ισχύος $412kW_{th}$, που επίσης τροφοδοτείται από Φ. Α και αντλία θερμότητας για παραγωγή ψύξης ισχύος $515kW_{th}$.

Θεωρείται πως κατά τη χειμερινή περίοδο λειτουργεί μόνο το σύστημα ΣΗΘ χωρίς τον ψύκτη. Το καλοκαίρι, θεωρείται πως όλη η θερμότητα που παράγεται από το σύστημα ΣΗΘ προσδίδεται στον ψύκτη απορρόφησης για την παραγωγή ψύξης, επομένως η απαιτούμενη ποσότητα ΖΝΧ θεωρείται αμελητέα.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συμβατικού συστήματος δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Συμβατικό σύστημα

Βαθμός απόδοσης λέβητα (%)	80
Ονομαστική ισχύς λέβητα (kW_{th})	412,5
Προσδιδόμενη ισχύς καυσίμου Φ.Α. στο λέβητα (kW_{th})	515,6
COPσυμβατικής αντλίας θερμότητας	0,3
Ονομαστική ψυκτική ισχύς αντλίας θερμότητας (kW_{th})	515
Ηλεκτρική κατανάλωση αντλίας θερμότητας (kW_e)	123,8

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα κόστη του συστήματος ΣΗΘ με βάση όσα περιγράφηκαν

παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Σύστημα ΣΗΘ

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)	40
Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)	50
Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	90
Ονομαστική ηλεκτρική ισχύς ΣΗΘ (kW _e)	330
Ονομαστική θερμική ισχύς ΣΗΘ (kW _{th})	412,5
Προσδιδόμενη ισχύς καυσίμου Φ.Α. στο ΣΗΘ (kW _{th})	825
COP ψύκτη απορρόφησης	0,8
Ονομαστική ψυκτική ισχύς ψύκτη απορρόφησης (kW _{th})	515
Απαιτούμενη προσδιδόμενη θερμότητα στον ψύκτη απορρόφησης (kW _{th})	572
Κόστη επένδυσης (€)	
ΣΗΘ-MEK (ειδικό κόστος 1100 €/kW _e) (€)	363000
Ψύκτης απορρόφησης (ειδικό κόστος 1200 €/kW ψύξης) (€)	618000
Συνολικό κόστος συστήματος ΣΗΘ (€)	981000

Χειμερινή περίοδος:

Λειτουργία συμβατικού συστήματος

Ώρες λειτουργίας (h)	5040
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh _e)	0
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh _e)	-
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€)	-
Κατανάλωση Φ.Α. συμβατικού συστήματος (kW _{th}) (ώρες x ωφέλιμη θερμική ισχύς/βαθμός απόδοσης συμβατικού συστήματος)	2566666,7
Κόστος Φ.Α. συμβατικού συστήματος (€) (κατανάλωση Φ.Α. x τιμή Φ.Α.)	71866,7

Λειτουργία συστήματος ΣΗΘ

Ώρες λειτουργίας (h)	5040
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh _e) (ονομαστική ηλεκτρική ισχύς x ώρες)	1663200,0
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh _e) (από Ν. 4254)	98.62

Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€) (παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια x τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας)	164027,7
Κατανάλωση Φ.Α. ΣΗΘ (kW _{th}) (ώρες x ωφέλιμη θερμική ισχύς/θερμικός βαθμός απόδοσης ΣΗΘ)	4158000,0
Κόστος Φ.Α. ΣΗΘ (€) (κατανάλωση Φ.Α. x κόστος Φ.Α.)	116424,0

Κέρδος από λειτουργία συστήματος ΣΗΘ τη χειμερινή περίοδο (Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας - Κόστος Φ.Α. ΣΗΘ + Κόστος Φ.Α. συμβατικού συστήματος) : 208585,1 €

Θερινή περίοδος:

Λειτουργία συμβατικού συστήματος (αντλία θερμότητας)

Ώρες λειτουργίας (h)	3600
Παραγόμενη ψυκτική ενέργεια (kW _{th}) (ώρες x ονομαστική ψυκτική ισχύς)	1485000
Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh _e) (παραγόμενη ψυκτική ενέργεια x COP)	445500
Τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh _e)	0.115
Έξοδα από αγορά ηλεκτρικής ενέργειας(€) (καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια x τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας)	51232,5

Λειτουργία συστήματος ΣΗΘμε ψύκτη απορρόφησης

Ώρες λειτουργίας (h)	3600
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh _e) (ώρες x ονομαστική ηλεκτρική ισχύς ΣΗΘ)	1663200,0
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh _e) (από Ν. 4254)	98.62
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€) (παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια x τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας)	164027,7
Κατανάλωση Φ.Α. ΣΗΘ (kW _{th}) (ώρες x ωφέλιμη θερμική ισχύς/θερμικός βαθμός απόδοσης ΣΗΘ)	4158000,0
Κατανάλωση Φ.Α. ψύκτη απορρόφησης (kWh _{th}) (ώρες x (απαιτούμενη θερμότητα ψύκτη απορρόφησης-προσδιδόμενη από ΣΗΘ θερμότητα στον ψύκτη απορρόφησης))	575000
Κόστος Φ.Α. ΣΗΘ (€) (κατανάλωση Φ.Α. ΣΗΘ x τιμή αγοράς Φ.Α.)	83160,0
Κόστος Φ.Α. ψύκτη απορρόφησης (€) (κατανάλωση Φ.Α. ψύκτη απορρόφησης x τιμή αγοράς Φ.Α.)	16100

Κέρδος από τη λειτουργία συστήματος ΣΗΘ κατά τη θερινή περίοδο (Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας – Κόστος Φ.Α. ΣΗΘ – Κόστος Φ.Α. ψύκτη απορρόφησης

+ Έξοδα από αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αντλίας θερμότητας): 69135.2 €

Συνολικό ετήσιος κέρδος: 291375 €

Έτη αποπληρωμής: 3.53έτη

10. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ

10.1. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗΣ ΣΗΘ

Στις μονάδες πολύ μικρής συμπαραγωγής το όριο λειτουργίας μέχρι την πρώτη συντήρηση ανέρχεται στις 4.000 χιλιάδες ώρες, σε αντίθεση με τις μονάδες πάνω από τα 50 kW_e, όπου η πρώτη συντήρηση γίνεται περίπου στις 1500 ώρες λειτουργίας.

Όσον αφορά τις μονάδες πολύ μικρής ΣΗΘ, τα βασικά μέρη τα οποία χρήζουν αντικατάσταση είναι τα εξής:

- Λάδια μηχανής
- Φίλτρα μηχανής
- Φίλτρα αέρος
- Αναφλεκτήρας (μπουζί)
- Καλώδια ανάφλεξης

Τα σημεία οπτικού ελέγχου είναι τα ακόλουθα:

- Ψυκτικό υγρό
- Πίνακας ηλεκτρονικού ελέγχου
- Τριοδικός καταλύτης
- Αντικραδασμικά
- Καλωδιώσεις από συσκευή προς πίνακα ελέγχου

Τα σημεία ρύθμισης είναι:

- Ρύθμιση αερίου
- Ρυθμίσεις εκπομπών καυσαερίων

Ένα σημαντικό μέρος στο υδραυλικό σύστημα της πολύ μικρής ΣΗΘ είναι οι διαχωριστές σωματιδίων, όπου κρατούν τα σωματίδια από τη φθορά του υδραυλικού συστήματος (λάσπη). Αυτός είναι ένας από τους πιο βασικούς ελέγχους, ώστε οι εναλλάκτες να μην υποστούν εμπλοκή.

Ο βασικός προληπτικός έλεγχος της μηχανής ΣΗΘ γίνεται στις 8.000 ώρες λειτουργίας, όπου διενεργείται ενδοσκόπηση. Η ενδοσκόπηση περιλαμβάνει τον έλεγχο εσωτερικά της μηχανής για τυχόν εσωτερικές φθορές της.

10.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗΣ ΣΗΘ

Μέθοδοι δοκιμής που χρησιμοποιούνται για να καθορισθεί η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται με μορφή καυσίμων από το σύστημα πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ, καθώς επίσης και τα ποσά ενέργειας που παράγονται με τη μορφή χρήσιμης θερμότητας και της συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, βασίζονται στις τεχνικές προδιαγραφές των εταιρειών των συστημάτων ΣΗΘ.

Διαφορετικές δοκιμές-μεθοδολογίες εφαρμόζονται στην Ευρώπη, όπου η μέτρηση της παραγόμενης θερμότητας στην είσοδο και έξοδο του συστήματος γίνεται με βάση τα Ευρωπαϊκά πρότυπα για λέβητες, σχετιζόμενα με συστήματα πολύ μικρής ΣΗΘ. [16]

10.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΣΗΘ

Το πρότυπο EN 13203-2 ισχύει και για τα συστήματα πολύ μικρής ΣΗΘ.

11. ΕΠΙΛΟΓΟΣ [17]

Οι υφιστάμενες τεχνολογίες συμπαραγωγής για τον οικιακό και τριτογενή τομέα γίνονται όλο και πιο σημαντικές, λόγω της εμπορικής ανάπτυξης μικρών παραδοσιακών παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης καθώς και συστημάτων κυψελών καυσίμου, μηχανών με κινητήρα Stirling και μικροστροβίλων.

Από τεχνολογικής άποψης, τα συστήματα συμπαραγωγής, είτε με κυψέλες καυσίμου είτε με μηχανές Stirling, φαίνονται πολλά υποσχόμενες για οικιακές εφαρμογές. Ωστόσο, πριν αυτά τα συστήματα τύχουν ευρύτατης αποδοχής, το κόστος αγοράς τους και η αξιοπιστία τους θα πρέπει να βελτιωθεί σημαντικά. Επί του παρόντος, τα πλέον αξιόπιστα συστήματα που διατίθενται για οικιακή και για μικρής κλίμακας εμπορικές εφαρμογές ΣΗΘ, σε λογικό κόστος, είναι οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης.

Αν και η ηλεκτρική απόδοση της παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης είναι υψηλότερη σε σύγκριση με αυτή των μηχανών Stirling, οι κυψέλες καυσίμου υπόσχονται να προσφέρουν την υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση για τις οικιακές και μικρής κλίμακας εφαρμογές συμπαραγωγής. Θεωρητικά, οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης απαιτούν μεγαλύτερη περιοδική συντήρηση από ανταγωνιστικές τεχνολογίες, μειώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητά τους και αυξάνοντας το κόστος συντήρησης. Οι κυψέλες καυσίμου έχουν ελάχιστα κινούμενα μέρη και ως εκ τούτου έχουν τη δυνατότητα να έχουν πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης, αν και αυτό πρέπει να επιτευχθεί στην πράξη. Ωστόσο, τα βοηθητικά συστήματα, όπως οι αντλίες και οι ανεμιστήρες που απαιτούνται για τη λειτουργία των κυψελών καυσίμου μπορεί να είναι δαπανηρά στη συντήρησή τους, οδηγώντας σε τακτικές και έκτακτες διακοπές λειτουργίας των συστημάτων αυτών. Οι μηχανές με κινητήρες Stirling μικρής ισχύος (<20kW) απαιτούν χρόνο συντήρησης μετά από 5000 - 8000 ώρες λειτουργίας, που είναι μεγάλο διάστημα σε σχέση με τις παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (Otto) παρόμοιας ισχύος. Το μεγάλο χρονικό διάστημα για συντήρηση μειώνει σημαντικά το κόστος λειτουργίας τους σε σύγκριση με τις μηχανές Otto. Το εγκατεστημένο κόστος για τεχνολογίες, όπως οι κυψέλες καυσίμου και οι μηχανές Stirling, είναι σήμερα πιο ακριβό, με τις κυψέλες καυσίμου να απαιτούν το υψηλότερο κόστος εγκατάστασης.

Οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν υψηλότερες εκπομπές CO, NO_x, και σωματιδίων σε σύγκριση με ανταγωνιστικές τεχνολογίες για τις οικιακές εφαρμογές συμπαραγωγής και έτσι μειονεκτούν για περιοχές με αυστηρά κριτήρια εκπομπών. Η χρήση καταλυτών για την επίτευξη αποδεκτών επιπέδων εκπομπών είναι δυνατή, αλλά και δαπανηρή.

Οι κυψέλες καυσίμου έχουν εξαιρετικά χαμηλές εκπομπές NO_x και CO, ενώ και οι εκπομπές CO₂ είναι γενικά χαμηλότερες συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες, λόγω της υψηλότερης απόδοσής τους, ιδιαίτερα όταν οι εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με την

ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις κυψέλες, υπολογίζονται ως «αποφευχθείσες» από το συμβατικό μίγμα καυσίμων που εγχέει ΗΕ στο δίκτυο.

Οι εκπομπές από τις μηχανές με κινητήρα Stirling είναι δέκα φορές χαμηλότερες από αυτές που εκπέμπονται από μηχανές Otto εξοπλισμένες με καταλυτικούς μετατροπείς, καθιστώντας τις εκπομπές που παράγονται από κινητήρες Stirling συγκρίσιμες με εκείνες από σύγχρονους καυστήρες φυσικού αερίου.

Αν και η απόδοση και το κόστος για τους παλινδρομικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι εδραιωμένη, τα στοιχεία για τις κυψέλες καυσίμου και τις μηχανές Stirling βασίζονται σε περιορισμένο αριθμό έργων επίδειξης. Στοιχεία για τον πραγματικό χρόνο λειτουργίας τους, την πραγματική βελτίωση της αποτελεσματικότητας, καθώς και τις δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων αυτών, δεν είναι ευρέως γνωστά και σε πολλές περιπτώσεις, δεν είναι διαθέσιμες πλήρεις και αξιόπιστες πληροφορίες. Η αβεβαιότητα αυτή καθιστά δύσκολη την ουσιαστική σύγκριση των παλινδρομικών κινητήρων εσωτερικής καύσης, των κυψελών καυσίμου και των μηχανών Stirling για εφαρμογές συμπαραγωγής στον οικιακό και τον τριτογενή τομέα.

Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών του παλινδρομικού κινητήρα εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), των κυψελών καυσίμου και της μηχανής Stirling για πολύ μικρά και μικρά συστήματα ΣΗΘ, παρουσιάζεται στον Πίνακα 24. Οι πληροφορίες είναι αντιπροσωπευτικές των τεχνολογιών και παρέχεται ευκαιρία για άμεση σύγκριση των τριών τεχνολογιών.

Πίνακας 24 Σύγκριση ΜΕΚ, ΚΚ, μηχανής Stirling

	ΜΕΚ	Κυψέλες καυσίμου	Μηχανή Stirling
Ηλεκτρική Ισχύς (kW_e)	1-100	0,5-100	1-55
Ηλεκτρική απόδοση (επί % ΑΘΙ)	30-40	25-40 PEMFC 30-40 SOFC	30-40 Σήμερα 35-50 Μελλοντικά
Απόδοση θερμικής ανάκτησης (επί % ΑΘΙ)	45-60	30-50	45-60
Θερμοκρασία χρήσιμης θερμότητας ($^{\circ}C$)	85-110	80-100 PEMFC 950-1000 SOFC	200
Συνολική Απόδοση (επί % ΑΘΙ)	80-90	55-80 PEMFC 60-85 SOFC	80-90
Θερμική Ισχύς (kW_{th})	3-300	1-300	3-150
Διαθεσιμότητα (%)	85-98	95	85-90
Κόστος Συντήρησης ($\text{€}/kW_e h$)	0,008-0,012	0,016-0,024	0,005-0,01
Εκπομπές αερίων ρύπων NO_x , SO_x , CO_x , σωματίδια	Χαμηλές	Ελάχιστες	Χαμηλότερες

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://hachp.gr/modules/content/index.php?id=20>
- [2] 'Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας' Φραγκόπουλος κα, ΕΛΚΕΠΑ, 1993
- [3] Ευρωπαϊκός Σύνδεσμος Προώθησης ΣΗΘ – COGENEUROPE : www.cogeneurope.eu
- [4] 'Διαθέσιμες Τεχνολογίες Συμπαραγωγής' Γ. Μαλαχίας – Ι. Κατσάνης, έκδοση της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων, Τεύχος 1 (2006)
- [5] 'La Cogeneration' Méziane Boudellal, εκδότης Dunad Paris 2010, ISBN: 978-2-10-052881-5/
- [6] 'Θερμοδυναμική – Θεμελιώδεις αρχές και εφαρμογές' Η. Γυφτόπουλος – G.P. Beretta – Εκδόσεις Τζιόλα, 2007 ISBN: 978-960-418-137-7
- [7] <https://energy.gov/sites/prod/files/2017/06/f35/CHP-Absorption%20Chiller-compliant.pdf>
- [8] DVGW - Deutscher Verein des Gas - und Wasserfaches: www.dvgw.de
- [9] Οι ισχύοντες σχετικοί Τεχνικοί Κανονισμοί για τις εσωτερικές εγκαταστάσεις Φ.Α.:
- Τεχνικός Κανονισμός Εσωτερικών Εγκαταστάσεων Φυσικού Αερίου με πίεση λειτουργίας έως και 1 bar (Υ.Α. Δ3/Α/11346/30.06.2003, ΦΕΚ Β' 963).
 - Τεχνικός Κανονισμός Εσωτερικών Εγκαταστάσεων Φυσικού Αερίου με πίεση λειτουργίας άνω των 50 mbar και μέγιστη πίεση λειτουργίας έως και 19 bar (Υ.Α. Δ3/Α/5286/17.03.1997 ΦΕΚ Β' 236).
 - Τεχνικός Κανονισμός Υγραερίου στα Κτήρια, πλην βιομηχανικών (ΦΕΚ Β' 1257/2003).
 - Τεχνικός Κανονισμός Εσωτερικών Εγκαταστάσεων Φυσικού Αερίου με πίεση λειτουργίας έως και 500mbar» (Υ.Α. Δ3/Α/οικ.6598/20.03.2012, ΦΕΚ Β' 976).
 - Καθορισμός τεχνικών διανομής υγραερίου καθώς και εγκαταστάσεων για τη χρήση αυτού σε βιομηχανικές, βιοτεχνικές και επαγγελματικές δραστηριότητες (ΦΕΚ Β' 477/1993)
 - Για τη βιομάζα/ βιομεθάνιο μπορεί να εφαρμοστεί ο τεχνικός κανονισμός εσωτερικών εγκαταστάσεων φυσικού αερίου.
 - Για την περίπτωση χρήσης πετρελαίου ως καύσιμο σε εγκαταστάσεις ΣΗΘ, εφαρμόζονται οι προδιαγραφές των εμπορικών / βιομηχανικών εγκαταστάσεων θέρμανσης ή/και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.
- [10] ΔΕΗ, Διεύθυνση Ανάπτυξης και Διαχείρισης Δικτύων, "Τεχνικές Προδιαγραφές για τη Σύνδεση Παραγωγών στα Δίκτυα Διανομής", Αθήνα, Μάρτιος 2004.
- [11] European Association for the Promotion of Cogeneration, "A Guide to Cogeneration", Brussels, Belgium, March 2001.
- [12] Invenenergy Pty Ltd, 'Cogeneration for Residential Apartment Buildings in NSW – Challenges and Opportunities', Australia, July 2006.
- [13] International Energy Agency: "Cogeneration and District Energy", Paris, France, 2009.
- [14] 'Educogen Project: The European Educational Tool on Cogeneration', Second Edition, December 2001.
- [15] Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Green-building: «Τεχνική Ενότητα για την ΣΗΘ»

www.eu-greenbuilding.org

[16] Για μονάδες αερίου:

- EN 297 (no-fan, <70 kW, types B11 and B11BS),
- EN 303-3 (fan-assisted, <70 kW)
- EN 656 (type B, 70-300 kW)
- prEN 303-7 (fan-assisted, type B23, <1000 kW)
- prEN 13826 (other type B, 300-1000 kW)
- EN 483 (type C, <70 kW) Gas-fired heating boilers
- EN 677 (condensing, <70 kW)
- prEN15502-1, gas-fired heating boilers - part 2-1: specific standard for type c appliances and type b2, b3 and b5 appliances of a nominal heat input not exceeding 1000 kw

Για μονάδες πετρελαίου :

- EN 303-6 (combi, <70 kW)
- EN 304:1998/A1 1998
- EN 15035 (Room-sealed, type C13, C33 and C53)
- EN 15034 (Condensing, <1000 kW)
- EN 303-2 (fan-assisted, <70 kW)
- NEN-EN14792, "Gaskeur" method (Netherlands),
- DIN 4708-8 (Germany), etc.
- Η μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με βάση το «EN 15456: 2006, «Heating boilers - Electrical power consumption for heat generators - System boundaries - Measurements, 02.2006»
- EN 13203-4: Gas fired domestic appliances producing hot water - Part 4: Assessment of energy consumption of gas fired appliances combined heat and power (micro CHP) producing hot water and electricity not exceeding 70 kW heat input and 500 lt water storage capacity.

[17] 'Residential Cogeneration systems: A review of the current technologies'

Annex 42 of the International Energy Agency – Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, June 2005.

[18] 'Κώδικας Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας', διαθέσιμο στον ιστότοπο www.rae.gr

[19] El Paso Electric Company, 'Interconnection and Safety Standards – Cogeneration and Small Power Production', El Paso, Texas, USA, April 2004.

[20] Standard IEC 61000-3-6: 'Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 6: Assessment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV Power Systems', Basic EMC Publication, 1996(TR).

[21] Standard IEC 61000-3-7: 'Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 3: Limits – Section 7: Assessment of Emission Limits for Fluctuating Loads in MV and HV Power Systems', Basic EMC Publication, 1996 (TR).

[22] Standard EN 50160: 'Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems', 1999.

[23] S. Karellas, Online analysis of the composition of biogenous gases and their effect on microturbine and fuel cell systems, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 6 Energietechnik, Nr.537

[24] Ε. Κακαράς, Σ. Καρέλλας, Αποκεντρωμένα Θερμικά Συστήματα, Εκδόσεις Τσότρα

11.1. ΕΙΔΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΓΙΑ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ

1. ASHRAE Handbook «Fundamentals». American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Atlanta, Georgia, Edition 2009.
2. ASHRAE Handbook «Refrigeration». American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Atlanta, Georgia, Edition 2006.
3. European Commission, Directorate-General for Energy - SAVE II Programme "Energy Savings by CCHP plants in the Hotel Sector", May 2001.
4. European Commission - Sixth Framework Programme (2002 -2006) "Polygeneration in Europe – a technical report", July 2008.
5. Midwest CHP Application Center (MAC), University of Illinois at Chicago – Energy Resources Center, "CHP Resource Guide", Second Edition, September 2005.
6. Robert A. Zogg, Michael Y. Feng, Detlef Westphalen, "Guide to Developing Air-Cooled LiBr Absorption for Combined Heat and Power Applications", U.S. Department of Energy, April 2005.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Π.1.1. ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ

- Κάθε Χρήστης του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Η.Ε.) είναι υποχρεωμένος να ενημερώσει τον Διαχειριστή Δικτύου προτού πραγματοποιηθεί η αρχική ενεργοποίηση και η δοκιμή έναρξης της εγκατάστασής της μονάδας ΣΗΘ και ο Διαχειριστής Δικτύου διατηρεί το δικαίωμα να έχει παρόντα κάποιον εκπρόσωπό του κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής αυτής [18].
- Κάθε Χρήστης οφείλει να επιτρέπει στον Διαχειριστή Δικτύου, και ιδίως στους υπαλλήλους, στους εκπροσώπους και στους υπεργολάβους του Διαχειριστή την πρόσβαση σε κάθε τμήμα των εγκαταστάσεών του, εφόσον αυτό απαιτείται για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του Δικτύου. Ως δικαίωμα πρόσβασης νοείται ειδικότερα η είσοδος, η διέλευση και η παραμονή στις εγκαταστάσεις του Χρήστη, καθώς και η εγκατάσταση και χρήση οχημάτων, μηχανημάτων ή άλλου εξοπλισμού στους χώρους των εγκαταστάσεων του Χρήστη. Επίσης, ο Διαχειριστής Δικτύου μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες που αφορούν τις μετρητικές διατάξεις, τις οποίες θεωρεί αναγκαίες για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του συστήματος εκκαθάρισης.
- Η εγκατάσταση παραγωγής του Χρήστη πρέπει να αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο διανομής σε περιπτώσεις διακοπών της παροχής ηλεκτρικής ισχύος. Η ενεργοποίηση της εγκατάστασης θα πραγματοποιείται ξανά, σύμφωνα με τις ισχύουσες πρακτικές ασφαλείας του δικτύου διανομής.
- Εάν κατά την εύλογη κρίση του Διαχειριστή Δικτύου, για να διασφαλιστεί η ασφαλής και συντονισμένη λειτουργία των εγκαταστάσεων και των μηχανημάτων κάποιου Χρήστη με το δίκτυο διανομής, απαιτείται η εφαρμογή συμπληρωματικών όρων ή προδιαγραφών, ο Διαχειριστής Δικτύου ενημερώνει σχετικά τον Χρήστη. Ο Χρήστης οφείλει να συμμορφώνεται με τις συμπληρωματικές απαιτήσεις του Διαχειριστή, και έχει το δικαίωμα να ζητά από τον Διαχειριστή την προσκόμιση στοιχείων που να αποδεικνύουν την ανάγκη εφαρμογής των συμπληρωματικών όρων και προδιαγραφών.
- Ο Διαχειριστής Δικτύου δύναται να προβεί σε αποσύνδεση εγκαταστάσεων ή εξοπλισμού ορισμένου χρήστη σύμφωνα με τα οριζόμενα στη Σύμβαση Σύνδεσής του, εφόσον τούτο κρίνεται απολύτως αναγκαίο για την αντιμετώπιση Κατάστασης Έκτακτης Ανάγκης καθώς και σε περίπτωση δοκιμής αποκατάστασης του Δικτύου.
- Ο Χρήστης αναλαμβάνει την υποχρέωση συγχρονισμού της εγκατάστασης με το Δίκτυο διατηρώντας τις ισχύουσες πρακτικές ασφαλείας.

Π.1.2. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ

Εάν ο Χρήστης του συστήματος ΣΗΘ επιθυμεί να εγγείει ισχύ στο Δίκτυο Διανομής, είναι υπεύθυνος για την παροχή και συντήρηση των απαραίτητων εγκαταστάσεων που απαιτούνται για τη διεξαγωγή των μετρήσεων από τον Διαχειριστή Δικτύου. Όλοι οι μετρητές και οι διατάξεις καταγραφής θα παρέχονται και θα εγκαθίστανται από τον Διαχειριστή Δικτύου. Οι μετρητές που θα εγκαθίστανται ποικίλλουν ανάλογα με τις εφαρμοζόμενες τιμές και τη Σύμβαση Σύνδεσης. Η μετρητική διάταξη που θα εγκατασταθεί θα μετράει Ενεργό Ισχύ, Ενέργεια, Άεργο Ισχύ και Χρόνο Παροχής.

Οι διατάξεις ζεύξης και προστασίας πρέπει να έχουν τις απαιτούμενες ικανότητες διακοπής (εντάσεων φορτίου και βραχυκυκλώματος) και να εξασφαλίζουν την εκτέλεση των ακόλουθων λειτουργικών διαδικασιών του Δικτύου [19]:

- Χειροκίνητη ή αυτόματη ζεύξη – απόζευξη ολόκληρης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ ή συγκεκριμένων τμημάτων της από το δίκτυο διανομής.
- Αυτόματη απόζευξη ολόκληρης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ ή συγκεκριμένων τμημάτων της από το δίκτυο διανομής, σε περιπτώσεις μη ομαλής κατάστασης λειτουργίας του (βραχυκυκλώματα στοιχείων του δικτύου ή της εγκατάστασης) έτσι ώστε να αποφεύγονται βλάβες ή επικίνδυνες λειτουργικές καταστάσεις.
- Πρόληψη ανώμαλων λειτουργικών καταστάσεων και βλαβών των στοιχείων της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ, σε περιπτώσεις διαταραχών του δικτύου διανομής (για παράδειγμα, βυθίσεις και επαναφορά της τάσεως).
- Αποφυγή της απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ και τμήματος του δικτύου διανομής από το υπόλοιπο δίκτυο διανομής (νησιδοποίηση), εάν αυτό δεν προβλέπεται από το σχεδιασμό της.
- Περιορισμό της άσκοπης αποσύνδεσης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής η οποία έχει οικονομικές επιπτώσεις για τον ιδιοκτήτη της και μπορεί να προκαλεί προβλήματα ευστάθειας στο δίκτυο διανομής εάν η διείσδυση των αντίστοιχων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά μεγάλη.

Οι χρήστες του Δικτύου Διανομής Η.Ε. με συστήματα ΣΗΘ διασφαλίζουν ότι η σύνδεσή τους στο δίκτυο διανομής δεν προκαλεί διαταραχές ή διακυμάνσεις της τάσης παροχής στο σημείο σύνδεσης, οι οποίες υπερβαίνουν τα σχετικά όρια. Τα όρια διαταραχών ή διακυμάνσεων καθορίζονται στα πρότυπα IEC/61000-3-6 (Αρμονικές) [20] και IEC/61000-3-7 (Διακύμανση Τάσης) [21]. Ο Διαχειριστής Δικτύου μπορεί να καθορίζει διαφορετικά όρια διαταραχών ή διακυμάνσεων της τάσης παροχής στα σημεία σύνδεσης με τεκμηριωμένη έκθεσή του. Οι Χρήστες οφείλουν να λειτουργούν τις εγκαταστάσεις τους κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται οι προδιαγραφές που περιλαμβάνονται στον Κανονισμό της CENELEC EN 50160 [22].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Π.2. ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ

Π.2.1. Περιγραφή δραστηριοτήτων για το υπάρχον ενεργειακό σύστημα [15]

Ηλεκτρική Ενέργεια				
Είδος παροχής:				
Δίκτυο	Τοπικά παραγόμενη		Συνδυασμός δικτύου-τοπικής παραγωγής	
	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Σύντομη τεχνική περιγραφή του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (εξοπλισμός διασύνδεσης, τάση, κτλ.)				
Τιμή μονάδας παραγωγής (ηλεκτρισμός που εισάγεται και εξάγεται από το δίκτυο)				
Καύσιμο				
Σύντομη περιγραφή του είδους/ων καυσίμου που χρησιμοποιούνται (είδος, κατώτερη θερμογόνος ικανότητα,...)				
Τιμή μονάδας καυσίμου				
Θέρμανση				
Σύντομη τεχνική περιγραφή του συστήματος παροχής θερμότητας (είδος εξοπλισμού, θερμοκρασίες, κλπ)				

Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX)
Σύντομη τεχνική περιγραφή του συστήματος παροχής ζεστού νερού χρήσης
Ψύξη
Σύντομη τεχνική περιγραφή του συστήματος παροχής ψύξης
Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος παροχής ενέργειας

Π.2.2. Τυπική ημέρα: Καταγραφή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh ή MWh)

Ωρα	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
0-2												
2-4												
4-6												
6-8												
8-10												
10-12												
12-14												
14-16												
16-18												
18-20												
20-22												
22-24												
Σύνολο												

Π.2.3. Τυπική ημέρα: Καταγραφή της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας (kWh ή MWh)

Ωρα	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
0-2												
2-4												
4-6												
6-8												
8-10												
10-12												
12-14												
14-16												
16-18												
18-20												
20-22												
22-24												
Σύνολο												

Π.2.4. Τυπική ημέρα: Καταγραφή της κατανάλωσης ψυκτικής ενέργειας (kWh ή MWh)

Ωρα	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
0-2												
2-4												
4-6												
6-8												
8-10												
10-12												
12-14												
14-16												
16-18												
18-20												
20-22												
22-24												
Σύνολο												

Π.2.5. Μηνιαία κατανάλωση καυσίμων (kWh ή MWh)

Ιανουάριος _____
Φεβρουάριος _____
Μάρτιος _____
Απρίλιος _____
Μάιος _____
Ιούνιος _____
Ιούλιος _____
Αύγουστος _____
Σεπτέμβριος _____
Οκτώβριος _____
Νοέμβριος _____
Δεκέμβριος _____

ΣΥΝΟΛΟ _____

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Π.3. ΒΑΣΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Στην πιο απλή σχεδίασή της, η μηχανή απορρόφησης αποτελείται από εξαμιστή, συμπυκνωτή και στραγγαλιστική διάταξη, ενώ ο συμπιεστής έχει αντικατασταθεί με το σύστημα «απορροφητής- αντλία διαλύματος-αναγεννητής», όπως περιγράφεται παρακάτω (βλ. και σχήμα Π.3)

- Στον **εξαμιστή** εκτονώνεται το ψυκτικό υγρό, απορροφώντας θερμότητα υπό χαμηλή πίεση και χαμηλή θερμοκρασία. Έτσι, στο ψυκτικό στοιχείο, παράγεται π.χ. το ψυχρό νερό για τις ανάγκες κλιματισμού ή ψύξης, δηλ. η ψυκτική ισχύς, Q_c .

- Οι ψυχροί ατμοί του ψυκτικού μέσου απορροφούνται από κάποια ουσία (συνήθως διάλυμα άλατος ή και νερό), στον **«απορροφητή»**. Το διάλυμα αυτό είναι θερμό και φτωχό σε ψυκτικό μέσο («ισχυρό»). Γι' αυτό, όταν αναμιγνύεται με τους ατμούς, μπορεί να τους απορροφήσει, συμπυκνώνοντάς τους. Προκύπτει έτσι ένα διάλυμα πλούσιο σε ψυκτικό μέσο («ασθενές»). Κατά τη συμπύκνωση – υγροποίηση των ατμών υπό ενδιάμεση θερμοκρασία (αλλά και εξαιτίας της απορρόφησης των ατμών από το διάλυμα), από το μέσο αποβάλλεται θερμότητα Q_A .

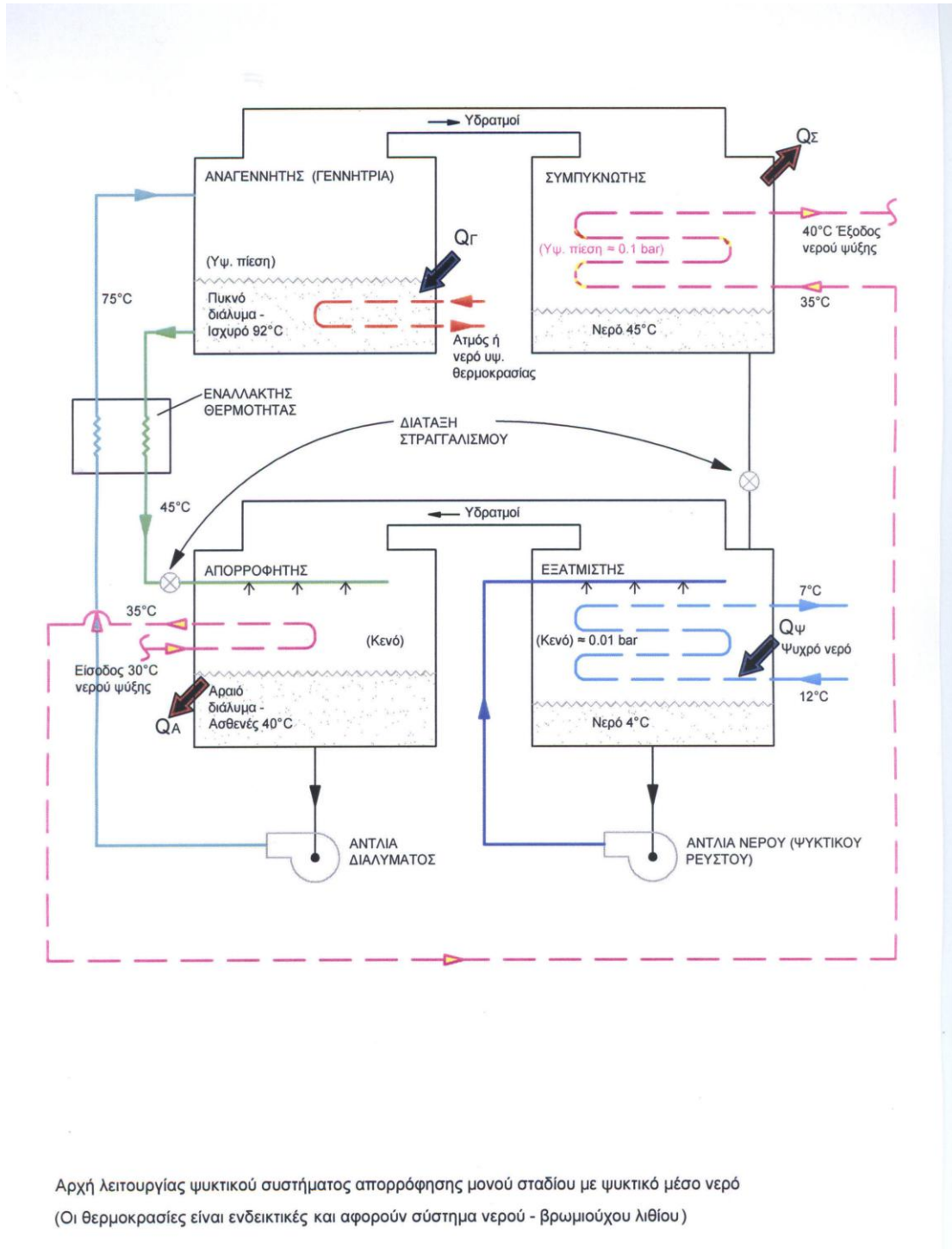
- Το «ασθενές» διάλυμα στον απορροφητή μεταφέρεται, με αντλία, σε χώρο υψηλής πίεσης, στον **«αναγεννητή»** ή **«γεννήτρια»**. Εκεί προσφέρεται στο διάλυμα θερμότητα Q_r , υπό υψηλή σχετικά θερμοκρασία, από διαθέσιμη θερμική πηγή, οπότε απελευθερώνεται ατμοποιούμενο το ψυκτικό μέσο. Έτσι, το διάλυμα «αναγεννάται», δηλαδή ξαναγίνεται «ισχυρό» και μπορεί, επιστρέφοντας στον απορροφητή, να απορροφήσει πάλι το εξατμιζόμενο ψυκτικό μέσο. Προηγουμένως **στραγγαλίζεται** για να αποκτήσει τη χαμηλή πίεση που επικρατεί εκεί.

- Οι θερμοί ατμοί του ψυκτικού μέσου που παράγονται στον αναγεννητή-γεννήτρια, οδηγούνται στον **συμπυκνωτή** όπου υγροποιούνται, υπό ενδιάμεση θερμοκρασία, αποβάλλοντας θερμότητα Q_s . Το υγρό ψυκτικό αναγκάζεται να περάσει στο χώρο του εξαμιστή, μέσω **διάταξης στραγγαλισμού**, προκειμένου να εκτονωθεί για να επαναληφθεί ο ψυκτικός κύκλος.

- Ένας **εναλλάκτης θερμότητας** παρεμβάλλεται μεταξύ απορροφητή και αναγεννητή, για βελτίωση της λειτουργίας και αύξηση της αποδοτικότητας της ψυκτικής διάταξης. Σ' αυτόν μεταφέρεται θερμότητα από το «ισχυρό» και θερμό διάλυμα του αναγεννητή (πριν μπει στον απορροφητή) στο «ασθενές» και ψυχρό διάλυμα του απορροφητή (πριν έλθει στον αναγεννητή), το οποίο έτσι προθερμαίνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται η απαίτηση θερμικής ενέργειας Q_r που δίνουμε στον αναγεννητή.

Η απαιτούμενη θερμική ενέργεια για τη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης είτε παράγεται με άμεση καύση, με χρήση καυστήρα, είτε χορηγείται με χρήση ατμού, ζεστού νερού ή από περίσσεια / ανάκτηση θερμότητας ή και από ενεργητικά ηλιακά συστήματα υψηλής

απόδοσης. Οι μηχανές απορρόφησης, που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο, τροφοδοτούνται με ατμό, ζεστό νερό ή τα αέρια καύσης, που μπορούν να παράγονται και από συστήματα ΣΗΘ.



Αρχή λειτουργίας ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονού σταδίου με ψυκτικό μέσο νερό
(Οι θερμοκρασίες είναι ενδεικτικές και αφορούν σύστημα νερού - βρωμιούχου λιθίου)

Σχήμα Π.3. Αρχή λειτουργίας ενός ψυκτικού συστήματος απορρόφησης μονού σταδίου.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς (Coefficient of Performance – COP) μιας ψυκτικής διάταξης απορρόφησης είναι ο λόγος παραγόμενης ψυκτικής προς την προσδιδόμενη θερμική ισχύ,

δηλαδή:
$$\text{COP} = \frac{Q_c}{Q_r}.$$

ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Ενέργεια

Joule	1 J	$1 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
British Thermal Unit	1 Btu	$1,055.04 \text{ J} = 1.055 \times 10^{10} \text{ erg} = 252 \text{ cal}$
Calorie	1 cal	4.186 J
	1 Therm	10^9 Btu

Ισχύς

Watt	1 W	$1 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^3 = 1 \text{ J/s}$
Horsepower	1 hp	$746 \text{ W} = 550 \text{ ft} \times \text{lbs/s} = 2,545 \text{ Btu/h}$

Πίση

Atmosphere	1 atm	$101,325 \text{ N/m}^2 = 14.696 \text{ lbf/in}^2 = 760 \text{ torr}$
Bar	1 bar	$10^5 \text{ N/m}^2 = 14.504 \text{ lbf/in}^2$
Torr	1 torr	$1 \text{ mm Hg} = 0.01934 \text{ lbf/in}^2$
Pascal	1 Pa	1 N/m^2
Στήλη νερού	1 mH ₂ O	$9,795.3 \text{ N/m}^2 \text{ at } 15^\circ\text{C}$

Θερμοκρασία

Fahrenheit	1 °F	5/9 °C
	$0^\circ\text{C} = 32^\circ\text{F} = 273.16 \text{ K}$	
Ισχύς / Επιφάνεια	$1 \text{ W/m}^2 = 0.3170 \text{ Btu/h} \times \text{ft}^2$	
Ενέργεια / Μάζα	$1 \text{ kJ/kg} = 0.4299 \text{ Btu/lb} = 0.23884 \text{ kcal/kg}$	
Ειδική θερμότητα	$1 \text{ kJ}/(\text{kg} \times ^\circ\text{C}) = 0.23884 \text{ Btu}/(\text{h} \times \text{ft} \times ^\circ\text{F})$	
Θερμική αγωγιμότητα	$1 \text{ W}/(\text{m} \times ^\circ\text{C}) = 0.5778 \text{ Btu}/(\text{h} \times \text{ft} \times ^\circ\text{F}) = 0.85894 \text{ kcal}/(\text{h} \times \text{m} \times ^\circ\text{C})$	

NO_x συντελεστές μετατροπής για Φυσικό Αέριο*

Από	Συντελεστής μετατροπής	Σε
g/GJ	$(20.95 - X)/5.618$	mg/nm ³
g/GJ	$(20.95 - X)/11.536$	ppm
g/GJ	18.953×10^{-4}	lb/MBtu

* X είναι η περιεκτικότητα O₂ στα καυσαέρια σε ποσοστό %

Ενεργειακές ισοτιμίες

	TOE	Ενέργεια (GJ)
1 tonne oil	1	41.9
1 tonne coal	0.7	29.3
1,000 m ³ natural gas	0.86	35.6
1 Mega-watt-hour	0.086	3.6
1 barrel	0.137	5.7

Προθέματα πολλαπλασίων και υποπολλαπλασίων

T	tera	10^{12}
G	giga	10^9
M	mega	10^6
k	kilo	10^3
h	hecto	10^2
da	deca	10^1
d	deci	10^{-1}
c	centi	10^{-2}
m	milli	10^{-3}
μ	micro	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	pico	10^{-12}
f	femto	10^{-15}
a	atto	10^{-18}