

Η παρούσα έκδοση αποτελεί τμήμα μιας σειράς από τρεις Τεχνικούς Οδηγούς του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) με αντικείμενο τη διαδικασία των Ενεργειακών Επιθεωρήσεων στα κτίρια και τη βιομηχανία. Στόχος των εκδόσεων αυτών είναι να αποτελέσουν ένα χρήσιμο και πρακτικό βοήθημα για τους Μηχανικούς και τους άλλους επιστήμονες που πρόκειται να ασχοληθούν με τον υπό θέσπιση θεσμό των Ενεργειακών Επιθεωρήσεων.

Οι Οδηγοί αυτοί εκδόθηκαν από το ΚΑΠΕ στα πλαίσια του έργου 124/375 της Κοινοτικής Πρωτοβουλίας ADAPT με τίτλο: «Εξειδίκευση Μηχανικών και άλλων Επιστημόνων στις Δράσεις της Ενεργειακής Επιθεώρησης». Το έργο συγχρηματοδοτήθηκε, βάσει του κανονισμού του Ευρωπαϊκού Κοινοτικού Ταμείου (ΕΚΤ), από τη Γενική Διεύθυνση για την Απασχόληση και τις Κοινωνικές Υποθέσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και εκτελέστηκε υπό την εποπτεία της Διεύθυνσης Κοινοτικών Πρωτοβουλιών του Υπουργείου Εργασίας.

Υπεύθυνο για την υλοποίηση του έργου αυτού ήταν το Τμήμα Εκπαίδευσης του ΚΑΠΕ, με την επιστημονική συνεργασία των Τμημάτων Ενεργειακής Πολιτικής και Προγραμματισμού και Εποπτείας - Υλοποίησης Ενεργειακού Προγραμματισμού. Το συντονισμό του έργου είχε ο Δρ. Χαράλαμπος Μαλαματένιος, Υπεύθυνος για την Οργάνωση του Τμήματος Εκπαίδευσης του ΚΑΠΕ. Το έργο υλοποιήθηκε την περίοδο 1998-2000.

Διακρατικός εταίρος του προγράμματος ήταν ο γαλλικός οργανισμός ARMINES – Centre d' Energétique, οι συνεργάτες του οποίου συνέβαλαν πολλαπλά στη διεκπεραίωση του έργου, το οποίο έτσι διατήρησε τη δέουσα ευρωπαϊκή διάσταση, καθώς και στη συγγραφή μέρους των περιεχομένων των Οδηγών αυτών. Ειδικά για τον Οδηγό αυτό, μέρος των Κεφαλαίων 2, 3, 4, 5 και 6 έχει προκύψει, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, από την εργασία που παραδόθηκε στα πλαίσια του προγράμματος από το ARMINES – Centre d' Energétique. Τα αυθεντικά Κεφάλαια περιλαμβάνονται και στο βιβλίο: *Krarti, M., 2000, "Energy Audit for Buildings, Engineering Approach", CRC Press LCC*, ο συγγραφέας του οποίου (καθ. M. Krarti, University of Colorado at Boulder) εργάστηκε στο πρόγραμμα εκ μέρους του εταίρου ARMINES – Centre d' Energétique. Για το λόγο αυτό, απαγορεύεται η αντιγραφή οποιουδήποτε τμήματος των Κεφαλαίων αυτών χωρίς προηγουμένως την έγκριση του ΚΑΠΕ, του συγγραφέα και του οίκου CRC Press LCC.

Οι απόψεις που εκφράζονται στην παρούσα έκδοση δεν απηχούν κατ' ανάγκη τις απόψεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η οποία συγχρηματοδότησε την παραγωγή των Οδηγών. Το ΚΑΠΕ και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν παρέχουν οποιαδήποτε εγγύηση, εκπεφρασμένη ή εξυπονοούμενη, όσον αφορά τις πληροφορίες που περιλαμβάνονται σε αυτήν την έκδοση, ούτε αναλαμβάνουν οποιαδήποτε ευθύνη όσον αφορά τη χρήση, ή τις όποιες ζημίες μπορούν να προκύψουν ως αποτέλεσμα της χρήσης, αυτών των πληροφοριών.

ΟΔΗΓΟΣ 2: ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΜΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ

2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

2.1. Εισαγωγή

2.2. Απλοποιημένα εργαλεία για την επιθεώρηση του κτιριακού κελύφους

2.2.1. Μέθοδος βαθμομερών

2.2.2. Υπολογισμός της εξοικονόμησης ενέργειας

2.2.3. Εκτίμηση του συντελεστή BLC του κτιρίου

2.2.4. Υπολογισμός των βαθμομερών

2.3. Επιλεγμένες επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος

2.3.1. Μόνωση των ελλειπώς μονωμένων στοιχείων του κτιριακού κελύφους

2.3.2. Βελτιώσεις στα παράθυρα

2.3.3. Ελάττωση της διήθησης του αέρα

3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1. Εισαγωγή

3.2. Βελτίωση του συντελεστή ισχύος

3.3. Μετατροπές ηλεκτρικών κινητήρων

3.3.1. Αντικατάσταση με ενεργειακά αποδοτικούς κινητήρες

3.3.2. Υπολογισμοί εξοικονόμησης ενέργειας

3.4. Ενεργειακά αποδοτικός φωτισμός

3.4.1. Εισαγωγή

3.4.2. Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα φωτισμού

3.4.3. Συστήματα ελέγχου του φωτισμού

3.5. Ποιότητα ηλεκτρικής ενέργειας

3.5.1. Εισαγωγή

3.5.2. Ολική αρμονική παραμόρφωση

3.6. Επιλεγμένα παραδείγματα μέτρων εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας

3.6.1. Διόρθωση του συντελεστή ισχύος- υπολογισμός μεγέθους του πυκνωτή

3.6.2. Εγκατάσταση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης – ενεργειακό όφελος

4. ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

4.1. Εισαγωγή

4.2. Βασικές αρχές καύσης και τύποι καυσίμων

4.3. Διαμορφώσεις των λεβήτων και συνιστώσες τους

4.3.1. Τύποι λεβήτων

4.3.2. Συστήματα καύσης

4.3.3. Θερμική απόδοση του λέβητα

4.4. Βελτίωση της απόδοσης του λέβητα

4.4.1. Ρύθμιση υφιστάμενου λέβητα

4.4.2. Λέβητες υψηλής απόδοσης

4.4.3. Λέβητες με υπομονάδες

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Μεθοδολογία ελέγχου απόδοσης καύσης

5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ

5.1. Εισαγωγή

5.2. Βασικές αρχές της ψύξης

5.3. Τύποι των ψυκτικών συστημάτων

5.3.1. Αυτόνομα κλιματιστικά συστήματα

5.3.2. Κεντρικά ψυκτικά συστήματα

5.4. Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας

5.4.1. Σχέσεις που χρησιμοποιούνται

5.4.2. Αντικατάσταση της ψυκτικής μονάδας

5.4.3. Βελτίωση του συστήματος ελέγχου της ψυκτικής μονάδας

5.4.4. Εναλλακτικά ψυκτικά συστήματα

6. ΜΕΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC

6.1. Εισαγωγή

6.2. Τύποι των συστημάτων HVAC

6.3. Εξαερισμός

6.3.1. Μείωση του αέρα εξαερισμού

6.3.2. Εξοικονομητές αέρος

6.4. Συστήματα ελέγχου της εσωτερικής θερμοκρασίας

6.5. Αναβάθμιση του συστήματος του ανεμιστήρα

6.5.1. Εισαγωγή

6.5.2. Αρχές λειτουργίας των ανεμιστήρων

6.5.3. Ρύθμιση του μεγέθους

7. ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

7.1. Εισαγωγή

7.2. Σημαντικές τεχνολογίες

7.3. Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας

7.3.1. Τεχνολογίες ελέγχου των διεργασιών και ενεργειακής διαχείρισης

7.3.2. Τεχνικές ενοποίησης και εντατικοποίησης των διεργασιών

7.3.3. Τεχνολογίες ψύξης

7.3.4. Αντλίες και μετατροπείς θερμότητας, οργανικός κύκλος Rankine

7.3.5. Συμπαράγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού υψηλών θερμοκρασιών

7.3.6. Τεχνικές και τεχνολογίες καύσης

7.3.7. Κινητήρες ρυθμιζόμενων στροφών

7.4. Βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις ενεργοβόρες βιομηχανίες

7.4.1. Βιομηχανία κεραμικών

7.4.2. Βιομηχανία τσιμέντου

7.4.3. Βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΜΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ

Κατά το σχεδιασμό για εξοικονόμηση ενέργειας σε νέα έργα ή μετασκευές, πρέπει να ενθαρρύνονται οι καινοτομίες. Πάντως, οποιαδήποτε καινοτομία, ανεξαρτήτως του οφέλους που μπορεί να επιφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας, θα αποτύχει εάν δεν μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα στις συμβατικές κατασκευαστικές πρακτικές και εάν δεν είναι σύμφωνη με τις προτιμήσεις των ιδιοκτητών-χρηστών, τις μεθόδους χρηματοδότησης και τους σχετικούς με τα κτίρια κώδικες και πρότυπα. Αν και ακολουθούνται οι ίδιες διαδικασίες και χρησιμοποιούνται οι ίδιες πληροφορίες ανεξάρτητα του εάν η σχεδίαση γίνεται με κριτήρια ενεργειακής αποδοτικότητας ή μη, απαιτείται σημαντικά μεγαλύτερη προσοχή και προσπάθεια για τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα ακόλουθα:

- ⇒ Στις ολικές τιμές των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας U των τοίχων, των πατωμάτων, των οροφών και των υαλοπινάκων.
- ⇒ Στο μέγιστο ποσοστό της επιφάνειας των παραθύρων (υαλοπινάκων).
- ⇒ Στον προσανατολισμό του κτιρίου σε σχέση με την έκθεση των παραθύρων.
- ⇒ Στις ώρες λειτουργίας για κάθε χώρο και επιφάνεια κατά τις εργάσιμες ημέρες, τα Σαββατοκύριακα και τις αργίες.
- ⇒ Στην απόδοση των συστημάτων υπό πλήρες ή/και μερικό φορτίο.
- ⇒ Στη δυνατότητα ελέγχου, επαναρύθμισης, εκκίνησης/διακοπής και ελάττωσης των φορτίων.
- ⇒ Στην ανάκτηση και αποθήκευση της θερμότητας.
- ⇒ Στην απόδοση των ηλεκτρικών κινητήρων.

Είτε πρόκειται για νέο έργο είτε για μετασκευή παλαιού, απαιτείται η μείωση μίας ή περισσοτέρων από τις ακόλουθες παραμέτρους ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας:

- ⇒ των ωρών λειτουργίας του συστήματος,
- ⇒ των φορτίων του κλιματισμού,
- ⇒ των φορτίων του φωτισμού,
- ⇒ των εκτός αιχμής φορτίων.

Η μείωση των αναγκών και η μετατόπιση των φορτίων σε περιόδους εκτός αιχμής δεν μειώνει την συνολική ζήτηση ενέργειας της εγκατάστασης. Στην ουσία, μειώνεται η μέγιστη ζήτηση του ηλεκτρικού φορτίου, επομένως και η απαιτούμενη ισχύς της εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής-συμπαραγωγής. Από τις παραπάνω δυνατότητες μείωσης της κατανάλωσης, οι ώρες λειτουργίας συνήθως έχουν τη μεγαλύτερη επίπτωση στην εξοικονόμηση ενέργειας. Με άλλα λόγια, η κατανάλωση ενέργειας ενός μη αποδοτικού

μηχανολογικού, αντλητικού ή ηλεκτρικού συστήματος που διακόπτεται η λειτουργία του όταν δεν χρησιμοποιείται θα είναι γενικά χαμηλότερη από αυτή των περισσότερων αποδοτικών συστημάτων που λειτουργούν όταν δεν υπάρχει ανάγκη.

Ο κυριότερος από όλους τους παράγοντες εξοικονόμησης ενέργειας, που καθορίζει την ετήσια κατανάλωση ενέργειας μιας εγκατάστασης, είναι ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται η εγκατάσταση. Αυτό είναι περισσότερο σημαντικό από τον τύπο ή τη δυναμικότητα των ψυκτικών συστημάτων, των διεργασιών και της ποσότητας της μόνωσης, των υαλοπινάκων ή του φωτισμού. Είναι πάντως σημαντικό, εάν όχι καθοριστικό, για τον επιθεωρητή να έχει ένα συγκεκριμένο διάγραμμα λειτουργίας για κάθε ενέργεια που λαμβάνει χώρα στην εγκατάσταση, πριν γίνει η αξιολόγηση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας.

Αυτό το διάγραμμα αποτελεί μέρος του σχεδιαστικού προγράμματος του έργου και πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία για κάθε χώρο και περιοχή:

- ⇒ Μια λεπτομερή περιγραφή των εργασιών που εκτελούνται.
- ⇒ Τον τύπο του εξοπλισμού δροσίσιμου.
- ⇒ Τον αριθμό των εργατών ή του προσωπικού ανά βάρδια για τις εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας, τα Σάββατα, τις Κυριακές και τις αργίες.
- ⇒ Το ποσοστό του εξοπλισμού που λειτουργεί μια δεδομένη χρονική στιγμή και το μέσο ποσοστό της πλήρους ισχύος για όλο τον εξοπλισμό ανά βάρδια για τις εργάσιμες ημέρες, τα Σαββατοκύριακα και τις αργίες. Εάν δεν είναι διαθέσιμη αυτή η πληροφορία, τότε είναι απαραίτητο το ποσοστό της πλήρους ισχύος κάθε τμήματος του εξοπλισμού που λειτουργεί για κάθε ώρα σε κάθε βάρδια για τις εργάσιμες ημέρες, τα Σαββατοκύριακα και τις αργίες.

Τέλος, υπενθυμίζεται ότι ο σκοπός μιας τυπικής ενεργειακής επιθεώρησης είναι τριπλός:

- ⇒ Η αποτίμηση της ποσότητας ενέργειας που καταναλώνεται ετησίως και ο σκοπός για τον οποίο καταναλώνεται αυτή.
- ⇒ Ο καθορισμός των περιοχών που υπάρχει δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας (ανάκτηση δροσίσιμου) και των περιοχών που χάνεται ενέργεια.
- ⇒ Η λήψη των στοιχείων που απαιτούνται για την προετοιμασία των σχεδίων και των προδιαγραφών για τη μείωση, την ανάκτηση ή την εξάλειψη των απωλειών που βρέθηκαν κατά την επιθεώρηση.

Είναι γενική πρακτική να τίθενται προτεραιότητες στις συστάσεις της ενεργειακής επιθεώρησης, ξεκινώντας με τις περισσότερα οικονομικά αποδοτικές επιλογές και προχωρώντας προς τις λιγότερο αποδοτικές. Πριν προταθεί ή γίνει οποιαδήποτε τροποποίηση σε ένα συγκεκριμένο σύστημα, ο υπεύθυνος μηχανικός πρέπει να μελετήσει προσεκτικά όλες τις πιθανές επιπτώσεις που αυτές οι τροποποιήσεις θα έχουν στο σύνολο της εγκατάστασης. Πράγματι, η μείωση της ενεργειακής χρήσης σε ένα ή περισσότερα

υποσυστήματα μπορεί τελικά να επιφέρει αύξηση στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση της εγκατάστασης.

2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

2.1. Εισαγωγή

Γενικά, οι αρχιτέκτονες σχεδιάζουν το κέλυφος μιας κατασκευής ώστε να καλύπτει ποικίλες αισθητικές και δομικές ανάγκες. Πριν από την πετρελαϊκή κρίση του 1973, η ενεργειακή απόδοση των στοιχείων του κελύφους σπάνια θεωρούνταν ως σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό των κτιρίων. Έκτοτε, έχουν αναπτυχθεί αρκετά πρότυπα-κανονισμοί για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσής τους. Για την ανάλυση των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας, είναι αναγκαία η πληροφορία εάν το κτίριο κατασκευάστηκε ή τροποποιήθηκε σύμφωνα με συγκεκριμένα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης. Εάν συμβαίνει αυτό, η επέμβαση στο κέλυφος του κτιρίου μπορεί να μην είναι οικονομικά αποδοτική, ειδικά για τα πολυώροφα εμπορικά κτίρια.

Οι βελτιώσεις στο κτιριακό κέλυφος μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικές εάν το κτίριο έχει κατασκευαστεί χωρίς καμία πρόβλεψη ενεργειακής αποδοτικότητας, π.χ. σε κατασκευές χωρίς καθόλου μόνωση στους τοίχους και τις οροφές. Εξάλλου, η μετασκευή του κτιριακού κελύφους θα πρέπει να γίνεται μετά από προσεκτική μελέτη των θερμικών φορτίων του κτιρίου. Πράγματι, στα χαμηλά κτίρια (κατοικίες, μικρά εμπορικά κτίρια ή αποθήκες) κυριαρχούν οι απώλειες λόγω μεταφοράς και τα φορτία διήθησης, ενώ τα εσωτερικά φορτία είναι μικρά. Στις πολυώροφες εμπορικές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις και στα κτίρια ιδρυμάτων συνήθως κυριαρχούν τα εσωτερικά θερμικά φορτία λόγω του εξοπλισμού, του φωτισμού και των ενοίκων, ενώ τα φορτία λόγω μεταφοράς επηρεάζουν μόνον τους περιμετρικούς χώρους.

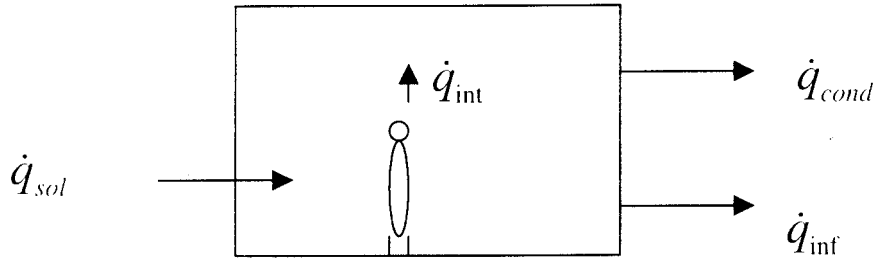
Η ακριβής εκτίμηση του ενεργειακού οφέλους που θα προκύψει από τις επεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου γενικά απαιτεί τη χρήση λογισμικού για λεπτομερή ωριαία προσομοίωση, διότι η μεταφορά θερμότητας στα κτίρια είναι πολύπλοκη και εμπλέκει διάφορους μηχανισμούς. Στα επόμενα, αναφέρονται κάποιες απλοποιημένες μέθοδοι υπολογισμού για την εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας που προκύπτει από επιλεγμένες βελτιώσεις του κτιριακού κελύφους, οι οποίες συνήθως προτείνονται για τη βελτίωση όχι μόνον της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου, αλλά και της θερμικής άνεσης των ενοίκων και της δομικής σταθερότητας του κελύφους.

2.2. Απλοποιημένα εργαλεία για την επιθεώρηση του κτιριακού κελύφους

Για να προσδιοριστεί η οικονομική αποτελεσματικότητα οποιασδήποτε παρέμβασης στο κέλυφος του κτιρίου, πρέπει να προσδιοριστεί η εξοικονόμηση στη χρήση της ενέργειας σ' αυτό. Στη συνέχεια, παρέχεται μια γενική διαδικασία υπολογισμού που βασίζεται στην μέθοδο των βαθμομερών, με συμβουλές για τον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων που απαιτούνται για την εύρεση των ενεργειακών κερδών.

2.2.1. Μέθοδος βαθμομερών

Η μέθοδος των βαθμομερών δίνει μια προσέγγιση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων ενός κτιρίου, που οφείλονται στις απώλειες μεταφοράς θερμότητας μέσω του κελύφους, καθώς και σε οποιοδήποτε ηλιακό και εσωτερικό θερμικό κέρδος. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη χρονικά μη-μεταβαλλόμενη ανάλυση της θερμικής ισορροπίας στα όρια του κτιρίου, στο οποίο συνήθως λαμβάνουν χώρα αρκετές ροές θερμότητας, περιλαμβανομένων της αγωγής, της διήθησης, των ηλιακών και των εσωτερικών κερδών, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1. Απλοποιημένο μοντέλο θερμικού ισοζυγίου κτιρίου

Η καθαρή απώλεια (ή κέρδος) θερμότητας σε οποιαδήποτε στιγμή καθορίζεται από το θερμικό ισοζύγιο (πρώτος θερμοδυναμικός νόμος) του κτιρίου. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου, το στιγμιαίο θερμικό ισοζύγιο δίνει:

$$\dot{q}_H = BLC \cdot (T_i - T_o) - \dot{q}_g \quad (2.1)$$

όπου T_i και T_o είναι η θερμοκρασία του χώρου και του περιβάλλοντος αντίστοιχα, και q_g τα καθαρά θερμικά κέρδη λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας (q_{sol}), των εσωτερικών κερδών (άνθρωποι, φώτα και εξοπλισμός) (q_{int}) και, σε μερικές περιπτώσεις, λόγω των απωλειών του εδάφους (q_{grad}), εάν αυτές είναι σημαντικές: $\dot{q}_g = \dot{q}_{sol} + \dot{q}_{int} - \dot{q}_{grad}$. Τέλος, BLC είναι ο συντελεστής φορτίου του κτιρίου, τροποποιημένος ώστε να περιλαμβάνει την επίδραση των απωλειών λόγω μεταφοράς και διήθησης. Για οποιοδήποτε κτίριο, αυτός μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$BLC = \sum_{j=1}^{N_E} U_{T,j} \cdot A_j + \dot{m}_{inf} \cdot c_{p,a} \quad (2.2)$$

Η εξίσωση (2.1) μπορεί να ανασυνταχθεί ώστε να εισαχθεί η θερμοκρασία ισοζυγίου του κτιρίου (T_b):

$$\dot{q}_H = BLC \cdot \left[\left(T_i - \frac{\dot{q}_g}{BLC} \right) - T_o \right] = BLC \cdot (T_b - T_o) \quad (2.3)$$

Συνεπώς, η θερμοκρασία ισοζυγίου ρυθμίζει την προκαθορισμένη εσωτερική θερμοκρασία (T_i) με την αύξηση της θερμοκρασίας που προκύπτει λόγω της μείωσης του θερμικού φορτίου του κτιρίου, η οποία προέρχεται από τα εσωτερικά φορτία. Πριν την πετρελαϊκή

κρίση, οι απώλειες μεταφοράς και διήθησης ήταν σημαντικές (σχετικά υψηλές τιμές του BLC σε σχέση με τα εσωτερικά κέρδη). Υπολογίζεται ότι τα καθαρά εσωτερικά φορτία συμβάλλουν κατά 3°C στα περισσότερα κτίρια. Έτσι, η θερμοκρασία ισοζυγίου υποτίθεται ότι είναι 18°C για όλα τα κτίρια.

Ολοκληρώνοντας τα στιγμιαία θερμικά φορτία κατά την περίοδο θέρμανσης (μόνο οι θετικές τιμές του q_H χρησιμοποιούνται), μπορεί να υπολογιστεί το συνολικό θερμικό φορτίο του κτιρίου. Στην πράξη, η ολοκλήρωση προσεγγίζεται με την άθροιση των μέσων τιμών για μικρά χρονικά διαστήματα (μία ώρα ή ημέρα). Χρησιμοποιώντας τις ημερήσιες μέσες τιμές, το θερμικό φορτίο υπολογίζεται ως:

$$Q_H = 24 \cdot \sum_{i=1}^{N_H} q_{H,i}^+ = 24 \cdot BLC \cdot \sum_{i=1}^{N_H} (T_b - T_{o,i})^+ \quad (2.4)$$

Η άθροιση γίνεται μέχρι τον αριθμό N_H , δηλαδή σε όλη την περίοδο θέρμανσης.

Από την εξίσωση (2.4), ορίζονται οι “βαθμοημέρες θέρμανσης” (DD_H) ως συνάρτηση μόνον της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας ισοζυγίου, ως εξής:

$$DD_H(T_b) = \sum_{i=1}^{N_H} (T_b - T_{o,i})^+ \quad (2.5)$$

Η συνολική χρήση ενέργειας (E_H) για την κάλυψη του θερμικού φορτίου του κτιρίου μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας σταθερή την αποδοτικότητα του εξοπλισμού θέρμανσης κατά την περίοδο θέρμανσης (αρκετοί κατασκευαστές παρέχουν για τους λέβητες ή τους φούρνους τους την ετήσια απόδοση χρήσης καυσίμου) ως:

$$E_H = \frac{Q_H}{\eta_H} = \frac{24 \cdot BLC \cdot DD_H(T_b)}{\eta_H} \quad (2.6)$$

Η μέθοδος των βαθμοημερών, που εκφράζεται από την εξίσωση (2.6), μπορεί να εφαρμοστεί επίσης για τον καθορισμό του ψυκτικού φορτίου με τον καθορισμό των βαθμοημερών της περιόδου δροσίσιμου (DD_C), χρησιμοποιώντας μια εξίσωση παρόμοια με την εξίσωση (2.5):

$$DD_C(T_b) = \sum_{i=1}^{N_C} (T_{o,i} - T_b)^+ \quad (2.7)$$

όπου N_C είναι ο αριθμός των ημερών της περιόδου δροσίσιμου.

Με τη μέθοδο των βαθμοημερών μπορεί να υπολογισθεί με αρκετή ακρίβεια η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ιδιαίτερα στα κτίρια των οποίων οι απώλειες οφείλονται κυρίως στο κέλυφος, περιλαμβανομένων της διήθησης και του αερισμού. Δυστυχώς, η μέθοδος αυτή δεν είναι τόσο ακριβής για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων εξαιτίας διάφορων παραγόντων, όπως είναι η επίδραση της θερμικής μάζας του κτιρίου, που επιβραδύνει τη δράση των εσωτερικών κερδών, οι ήπιες εξωτερικές θερμοκρασίες το

καλοκαίρι, που έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλα σφάλματα στην εκτίμηση των βαθμομερών ψύξης, και οι υψηλές μεταβολές στη διήθηση και τον αερισμό, όταν οι ένοικοι ανοίγουν τα παράθυρα ή εφαρμόζονται κύκλοι εξοικονομητή.

2.2.2. Υπολογισμός της εξοικονόμησης ενέργειας

Όταν εφαρμόζεται ένα μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας για τη βελτίωση της απόδοσης του κτιριακού κελύφους (π.χ. προσθήκη θερμικής μόνωσης στην οροφή ή μείωση της επιφάνειας των οπών του κελύφους του κτιρίου), ο BLC του κτιρίου μειώνεται. Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει αλλαγή στην προκαθορισμένη εσωτερική θερμοκρασία και στα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου, λόγω της επέμβασης στο κέλυφος μειώνεται αντίστοιχα η θερμοκρασία ισοζυγίου, όπως προκύπτει από τον ορισμό της [εξίσωση (2.3)]. Έτσι, η επέμβαση στο κέλυφος μειώνει το θερμικό φορτίο, συνεπώς και την κατανάλωση ενέργειας, αφού και ο BLC και οι $DD_H(T_b)$ μειώνονται. Η εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας λόγω της επέμβασης υπολογίζεται γενικά ως εξής:

$$\Delta E_{H,R} = E_{H,E} - E_{H,R} = \frac{24 \cdot (BLC_E \cdot DD_H(T_{b,E}) - BLC_R \cdot DD_H(T_{b,R}))}{\eta_H} \quad (2.8)$$

Η απόδοση του συστήματος θέρμανσης θεωρείται ότι παραμένει η ίδια πριν (δείκτης E) και μετά (δείκτης R) την επέμβαση, εκτός εάν αντικατασταθεί ή τροποποιηθεί το σύστημα θέρμανσης. Σε πολλές εφαρμογές, η μεταβολή στη θερμοκρασία ισοζυγίου που προκαλείται από την επέμβαση είναι αρκετά μικρή. Τότε, οι βαθμομέρες (DD_H) μπορούν να θεωρηθούν σταθερές πριν και μετά τη μετατροπή και η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί ευκολότερα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta E_{H,R} = \frac{24 \cdot (BLC_E - BLC_R) \cdot DD_H(T_{b,E})}{\eta_H} \quad (2.9)$$

Σημειώνεται ότι, όταν τροποποιείται μόνο ένα στοιχείο του κελύφους του κτιρίου (π.χ. η οροφή), η διαφορά ($BLC_E - BLC_R$) είναι ισοδύναμη με τη διαφορά των τιμών UA του στοιχείου πριν και μετά την επέμβαση (δηλ. $UA_{roof,E} - UA_{roof,R}$). Έτσι, για να εφαρμόσει την εξ. (2.8) ή (2.9) ο ενεργειακός επιθεωρητής πρέπει να γνωρίζει τις βαθμομέρες θέρμανσης και το υφιστάμενο ολικό θερμικό φορτίο του κτιρίου. Στα επόμενα παρέχονται μερικές συμβουλές για τον τρόπο υπολογισμού αυτών των παραμέτρων.

2.2.3. Εκτίμηση του συντελεστή BLC του κτιρίου

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για την εκτίμηση του BLC , οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια. Ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία, ο επιθεωρητής μπορεί να επιλέξει την κατάλληλη μέθοδο:

1. Άμεσος υπολογισμός: Ο επιθεωρητής θα πρέπει να έχει όλα τα στοιχεία (από τα αρχιτεκτονικά σχέδια ή από άμεση επίπτευση του χώρου) που απαιτούνται για τον

προσδιορισμό των τιμών R και U όλων των στοιχείων του κτιριακού κελύφους και των αντίστοιχων επιφανειών. Υπάρχουν αρκετές αναφορές (ASHRAE 1997, CSTB Refs) στις οποίες παρέχονται οι τιμές R για διάφορα κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται συνήθως στα κτίρια. Επιπλέον, ο επιθεωρητής θα πρέπει να υπολογίσει τα επίπεδα διήθησης/αερισμού, είτε με χρήση πρακτικών κανόνων είτε με απευθείας μετρήσεις. Με αυτά τα δεδομένα, ο συντελεστής *BLC* μπορεί να υπολογιστεί μέσω της εξίσωσης (2.2).

2. Έμμεση εκτίμηση: Σ' αυτή τη μέθοδο, ο επιθεωρητής μπορεί να βασισθεί στην κατανάλωση ενέργειας της εγκατάστασης (για το σκοπό αυτό αρκούν τα μηνιαία στοιχεία) και στη συσχέτισή της με την εξωτερική θερμοκρασία για να λάβει μια προσέγγιση του *BLC*. Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με τη μέθοδο PRISM (Fels, 1986). Σημειώνεται ότι, η εξωτερική θερμοκρασία πρέπει να είναι ο μέσος όρος της περιόδου για την οποία υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία της εγκατάστασης.

2.2.4. Υπολογισμός των βαθμομερών

Στοιχεία για τις βαθμομέρες θέρμανσης μπορούν να βρεθούν από διάφορες πηγές, ιδιαίτερα οι βαθμομέρες για τη θερμοκρασία ισοζυγίου των 18°C. Ο πίνακας 2.1 παρουσιάζει τις τιμές DD_H (18°C) ενός έτους για 14 αντιπροσωπευτικές τοποθεσίες σε διάφορες κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα και τη Γαλλία.

Πίνακας 2.1. Βαθμομέρες θέρμανσης επιλεγμένων πόλεων στην Ελλάδα και τη Γαλλία

Τοποθεσία (Ελλάδα)	DD_H (18°C) ενός έτους	Τοποθεσία (Γαλλία)	DD_H (18°C) ενός έτους
Αθήνα	1100	Embrun	3087
Ηράκλειο	782	Bourg-St Maurice	3426
Θεσσαλονίκη	1725	Besançon	2995
Ιεράπετρα	674	St Quentin	3085
Ιωάννινα	2065	Le Bourget (Paris)	2758
Καλαμάτα	983	Lyon	2656
Κέρκυρα	1185	Marignane (Marseille)	1760
Κομοτηνή	1926	Bordeaux	2205
Λάρισα	1855	Toulouse	2205
Μήλος	1142	Toulon	1376
Σκύρος	1157	La Rochelle	2179
Μυτιλήνη	1297	Nantes	2413
Πάτρα	1124	Deauville	2961
Χίος	1150	Ouessant	2314

2.3. Επιλεγμένες επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος

Γενικά, τα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού κελύφους είναι δαπανηρά, αφού απαιτούν επεμβάσεις έντασης εργασίας (π.χ. η προσθήκη θερμικής μόνωσης ή η αντικατάσταση παραθύρων). Έτσι, οι περίοδοι αποπληρωμής των περισσότερων επεμβάσεων στα κτιριακά κελύφη είναι μάλλον μεγάλης διάρκειας, που και πάλι μπορούν να αιτιολογηθούν για λόγους πέραν των ενεργειακών, όπως είναι η βελτίωση της θερμικής άνεσης ή η μείωση της συμπύκνωσης των υδρατμών για την αποφυγή δομικών αστοχιών. Πάντως, υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος μπορούν να αιτιολογηθούν με βάση μόνο τη βελτίωση στην ενεργειακή αποδοτικότητα. Κάποιες από αυτές περιγράφονται στη συνέχεια, μαζί με παραδείγματα για την απεικόνιση του τρόπου υπολογισμού των ενεργειακών οφελών και της περιόδου αποπληρωμής τους.

2.3.1. Μόνωση των ελλειπώς μονωμένων στοιχείων του κτιριακού κελύφους

Όταν ένα στοιχείο του κτιριακού κελύφους δεν είναι μονωμένο ή δεν επαρκεί η μόνωσή του, μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτική η προσθήκη μόνωσης με στόχο τη μείωση των απωλειών λόγω μετάδοσης. Αν και ο υπολογισμός της εξοικονόμησης ενέργειας που προκύπτει από μια τέτοια επέμβαση απαιτεί λεπτομερή προσομοίωση ώστε να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις της θερμικής μάζας του κτιρίου ή/και του συστήματος κλιματισμού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξ. (2.8) ή (2.9) για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης ενέργειας κατά την περίοδο θέρμανσης. Εάν το κτίριο θερμαίνεται και ψύχεται ταυτόχρονα, η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της προσθήκης μόνωσης στο κτιριακό κέλυφος υπολογίζεται αθροίζοντας τα ενεργειακά κέρδη λόγω της μείωσης στη θέρμανση και αυτά λόγω της μείωσης στην ψύξη.

Παράδειγμα 2.1: Ένα μηχανουργείο έχει στέγη 500 m^2 με μεταλλικό σκελετό χωρίς μόνωση. Να προσδιοριστεί η περίοδος αποπληρωμής για την προσθήκη μόνωσης ($R=2,0^\circ\text{C m}^2/\text{W}$). Το κτίριο είναι ηλεκτρικά θερμαινόμενο και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι $\$0,07/\text{kWh}$. Το μηχανουργείο βρίσκεται στο Παρίσι (Le Bourget) και λειτουργεί 24 ώρες / ημέρα, 7 ημέρες / εβδομάδα, καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. Θεωρείται ότι το κόστος εγκατάστασης της μόνωσης είναι $\$15/\text{m}^2$.

Λύση: Με βάση το εγχειρίδιο της ASHRAE, η τιμή του U για την οροφή με μεταλλικό σκελετό είναι περίπου $1,44 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Για να προσδιοριστεί η εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της προσθήκης μόνωσης, γίνεται η υπόθεση ότι οι ετήσιες βαθμοημέρες πριν και μετά την επέμβαση παραμένουν οι ίδιες και συμπίπτουν με αυτές των 18°C . Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2.9), με τη βελτιωμένη τιμή U της οροφής ίση με $0,37 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ και την απόδοση του συστήματος θέρμανσης ίση με τη μονάδα (ηλεκτρικό σύστημα), η εξοικονόμηση ενέργειας υπολογίζεται ότι είναι:

$$\Delta E = 24 \cdot 500 \text{ m}^2 * [(1,44 - 0,37) \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}] * 2758^\circ\text{C}\cdot\text{ημέρα}/\text{έτος} = 35.413 \text{ kWh}/\text{έτος}$$

Έτσι, η περίοδος αποπληρωμής για την προσθήκη μόνωσης στην οροφή θα είναι:

$$\text{Αποπληρωμή} = \frac{500\text{m}^2 * 15\$/\text{m}^2}{35.413\text{kWh}/\text{yr} * 0,07\$/\text{kWh}} = 3,0 \text{ \textit{έτη}}$$

Επομένως, η προσθήκη μόνωσης στην περίπτωση αυτή φαίνεται ότι είναι οικονομικά αποδοτική και απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η οικονομική αποτελεσματικότητα αυτού του μέτρου.

2.3.2. Βελτιώσεις στα παράθυρα

Οι βελτιώσεις στα παράθυρα, όπως είναι η τοποθέτηση υαλοπινάκων υψηλής απόδοσης, ταινιών και επιστρώσεων στα παράθυρα ή τα παράθυρα θυέλλης, μπορεί να επιφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας στα θερμικά και ψυκτικά φορτία του κτιρίου. Οι βελτιώσεις αυτές μπορούν να επηρεάσουν τόσο τη μεταφορά θερμότητας όσο και τα ηλιακά κέρδη. Εξάλλου, τα ενεργειακά αποδοτικά παράθυρα δημιουργούν πιο άνετο περιβάλλον, με ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασιών και καλή ποιότητα φωτισμού.

Βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση μπορεί να γίνουν σε όλες τις συνιστώσες από τις οποίες αποτελείται ένα παράθυρο και περιλαμβάνουν:

- ♦ τη μόνωση των διακένων μεταξύ των υαλοπινάκων για τη μείωση της μεταφοράς θερμότητας με αγωγή,
- ♦ την εγκατάσταση πολλαπλής επίστρωσης ή ταινιών για τη μείωση της μεταφοράς θερμότητας μέσω ακτινοβολίας,
- ♦ την εισαγωγή αερίου αργού ή κρυπτού στο διάκενο μεταξύ των υαλοπινάκων, που μπορεί να μειώσει την μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής,
- ♦ την προσθήκη εξωτερικών σκιάστρων, που μπορεί να μειώσει τη μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κατειλημμένους χώρους.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης των επεμβάσεων στα παράθυρα, γενικά απαιτείται η χρήση δυναμικών ωριαίων μοντέλων, διότι τα παράθυρα επηρεάζουν τα θερμικά φορτία του κτιρίου μέσω αρκετών μηχανισμών. Πάντως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού που βασίζεται στην εξίσωση (2.8) για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης σε θερμική και ψυκτική ενέργεια, προκειμένου να γίνει μία αρχική εκτίμηση της οικονομικής αποδοτικότητας των επεμβάσεων στα παράθυρα.

Παράδειγμα 2.2: Εξετάζεται η περίπτωση αναβάθμισης των παραθύρων ενός κτιρίου κατοικιών από διπλούς υαλοπίνακες με μεταλλικό πλαίσιο ($U_E=4,61 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$) σε διπλούς υαλοπίνακες με ξύλινο πλαίσιο και με επικάλυψη τύπου "low-e" ($U_R=2,02 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$). Η συνολική επιφάνεια των παραθύρων είναι 200 m^2 . Το κτίριο βρίσκεται στη Νάντ (Γαλλία) και κλιματίζεται 24 ώρες/ημέρα, 7 ημέρες/εβδομάδα, καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. Η θέρμανση γίνεται με επιδαπέδιους ηλεκτρικούς θερμαντήρες και η ψύξη με κλιματιστικά παραθύρων.

Λύση: Για την εκτίμηση του ενεργειακού οφέλους από τις ανωτέρω βελτιώσεις, θα γίνει η υπόθεση ότι οι ετήσιες βαθμοήμερες θέρμανσης και ψύξης πριν και μετά την επέμβαση παραμένουν αμετάβλητες (αυτή η υπόθεση δικαιολογείται από το γεγονός ότι η συνεισφορά των παραθύρων στο BLC είναι σχετικά μικρή) και είναι αντίστοιχα $DD_H = 2244^\circ\text{C}\cdot\text{ημέρα/έτος}$ και $DD_C = 255^\circ\text{C}\cdot\text{ημέρα/έτος}$. Η εξοικονόμηση ενέργειας κατά την περίοδο θέρμανσης υπολογίζεται ότι είναι:

$$\Delta E = 24 \cdot 200 \text{ m}^2 \cdot [(4,61 - 2,02) \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}] \cdot 2244 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{ημέρα/έτος} = 27.897 \text{ kWh/έτος}$$

Εάν ο λόγος ενεργειακής απόδοσης (EER) για το σύστημα κλιματισμού είναι 8,0, η εξοικονόμηση ενέργειας κατά την περίοδο δροσίσιμου υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\Delta E = 24 \cdot 200 \text{ m}^2 \cdot [(4,61 - 2,02) \text{ W/m}^2] \cdot 255^\circ\text{C}\cdot\text{ημέρα/έτος} / 8,0 = 396 \text{ kWh/έτος}$$

Επομένως, το συνολικό ενεργειακό όφελος από την αναβάθμιση των παραθύρων είναι 28.293 kWh, που αντιστοιχεί σε περίπου \$2.829 ανά έτος εάν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι \$0,10/kWh. Το κόστος αντικατάστασης ολόκληρου του παραθύρου είναι αρκετά υψηλό (στο συγκεκριμένο έργο θεωρείται ότι είναι \$150/m²). Η συνολική περίοδος αποπληρωμής της επέμβασης υπολογίζεται τότε ότι είναι:

$$\text{Αποπληρωμή} = \frac{200 \text{ m}^2 \cdot 150 \text{ \$/m}^2}{28.293 \text{ kWh/έτος} \cdot 0,10 \text{ \$/kWh}} = 10,4 \text{ έτη}$$

Έτσι, η τροποποίηση των παραθύρων δεν είναι οικονομικά αποδοτική, βάσει μόνο της θερμικής απόδοσης. Πάντως, η εν λόγω επένδυση μπορεί να αιτιολογηθεί από άλλους παράγοντες, όπως είναι η βελτίωση του επιπέδου άνεσης μέσα στο χώρο.

2.3.3. Ελάττωση της διήθησης του αέρα

Σε αρκετά μικρά κτίρια, τα θερμικά φορτία λόγω της διήθησης του αέρα μπορεί να είναι σημαντικά. Υπολογίζεται ότι σε καλά μονωμένα κτίρια κατοικιών, η διήθηση μπορεί να συνεισφέρει έως και 40% στο συνολικό φορτίο του κτιρίου. Σύμφωνα με τους Tuluca et al. (1997), από μετρήσεις σε οκτώ κτίρια γραφείων στις ΗΠΑ βρέθηκε ότι ο μέσος ρυθμός διαφυγής του αέρα είναι από 0,1 έως 0,5 αλλαγές αέρα ανά ώρα (ACH), που αντιστοιχεί στο 10 έως 25% του μέγιστου θερμικού φορτίου. Όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.5.7 του “Οδηγού Ενεργειακής Επιθεώρησης Νο 1”, υφίστανται δύο τεχνικές μέτρησης για την εκτίμηση της ποσότητας του αέρα διήθησης, συγκεκριμένα η τεχνική του φυσητήρα και αυτή του αερίου δείκτη.

Ενώ υπάρχουν αρκετές μελέτες για την εκτίμηση της κατανομής των διαφυγών στις κατοικίες, λίγες εργασίες είναι διαθέσιμες για τα εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια. Πάντως, κάποια δεδομένα υποδεικνύουν ότι τα επίπεδα στεγανότητας στα κελύφη των εμπορικών κτιρίων είναι παρόμοια με αυτά των συνήθων κατοικιών. Ειδικότερα, βρέθηκε ότι οι χαραμάδες των τοίχων (πλαίσια παραθύρων, έξοδοι καλωδιώσεων, υδραυλικές οπές) αποτελούν τις κύριες

πηγές διαφυγής του αέρα, τόσο στα εμπορικά κτίρια όσο και στις κατοικίες. Άλλες διέξοδοι διαφυγής του αέρα που εντοπίζονται σε μεγάλα κτίρια είναι διάμεσο των εσωτερικών χωρισμάτων (π.χ. ανελκυστήρες και φωταγωγοί) και των εξωτερικών θυρών (ειδικά στα εμπορικά καταστήματα).

Για να βελτιωθεί η στεγανότητα ως προς τον αέρα του κτιριακού κελύφους υπάρχουν αρκετές μέθοδοι και τεχνικές, που περιλαμβάνουν:

1. Τη στεγανοποίηση: Διάφοροι τύπων στεγανοποιητικών υλικών (ουρεθάνη, λατέξ, πολυβινύλιο, κ.λπ.) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σφράγιση διαφόρων χαραμάδων, π.χ. γύρω από τα πλαίσια των παραθύρων και των θυρών, και κάθε διάβασης μέσω των τοίχων, όπως είναι οι οπές των σωληνώσεων του νερού.
2. Το φράξιμο των χαραμάδων: Με την εφαρμογή συγκολλητικού ελαστικού αφρού μπορούν να σφραγιστούν τα παράθυρα και οι πόρτες.
3. Τη διαμόρφωση του τοπίου: Αυτό είναι ένα μάλλον μακροπρόθεσμο έργο που συνίσταται στη φύτευση θάμνων και/ή δένδρων γύρω από το κτίριο για την ελάττωση των επιδράσεων του ανέμου και της διήθησης του αέρα.
4. Τους ανεμοθραύστες: Αυτοί αποτελούνται από ένα ή περισσότερα αδιαπέρατα από τον αέρα στοιχεία που εγκαθίστανται στο εξωτερικό του κτιρίου ώστε να σχηματιστεί ένα συνεχές στρώμα γύρω από τους τοίχους του κτιρίου. Υπάρχουν αρκετοί τύποι ανεμοθραυστών, όπως είναι η υγρή άσφαλτος, το υγρό καουτσούκ, η ασφαλτόστρωση και τα φύλλα πλαστικού. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιούνται μεμβράνες για την παρεμπόδιση της κίνησης των υδρατμών μέσω του κελύφους του κτιρίου, που έτσι λειτουργούν και ως επιβραδυντές. Συνήθως είναι δαπανηρή η εγκατάσταση των συστημάτων αυτών σε υφιστάμενα κτίρια, εκτός εάν αποτελούν τμήμα της συνολικής επέμβασης στο κέλυφος του κτιρίου.

Για να καθοριστεί η εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της μείωσης της διήθησης του αέρα χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις (2.8) ή (2.9). Όποτε είναι διαθέσιμες οι ειδικά καθορισμένες για τα φορτία διήθησης βαθμομέρες $IDD_H(T_b)$, χρησιμοποιούνται αυτές αντί των συμβατικών βαθμομερών $DD_H(T_b)$. Οι βαθμομέρες θέρμανσης διήθησης για τη θερμοκρασία ισοζυγίου T_b ορίζονται ως ακολούθως:

$$IDD_H(T_b) = \sum_{i=1}^{N_H} \frac{\dot{V}}{\dot{V}_{ref}} (T_b - T_{o,i})^+ \quad (2.10)$$

όπου το πηλίκο \dot{V}/\dot{V}_{ref} υπολογίζεται ως:

$$\dot{V}/\dot{V}_{ref} = \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P} \cdot (f_s \cdot \Delta T + f_w \cdot v_w^2)}^{1/2} \quad (2.11)$$

ΔT είναι η διαφορά εσωτερικής-εξωτερικής θερμοκρασίας, v_w είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου για την υπό εξέταση περίοδο, ενώ f_s και f_w είναι οι συντελεστές απωλειών της καπνοδόχου και του ανέμου, αντίστοιχα.

Η υπόριζος ποσότητα στην εξ. (2.11) παρέχει μια εκτίμηση της ενεργούς επιφάνειας διαφυγής του αέρα, ενώ με \dot{V}_{ref} συμβολίζεται η παροχή αναφοράς του αέρα μέσω του κτιρίου για διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης ίσης με 4 Pa. Πάντως, οι συμβατικές βαθμομέρες (στις οποίες βασικά αγνοείται η κλιματική επίδραση στο ρυθμό διήθησης) δίνουν μια γενικά καλή προσέγγιση της εξοικονόμησης ενέργειας που προκύπτει από τη μείωση της διήθησης του αέρα.

Παράδειγμα 2.3: Εξετάζεται ένα βιομηχανικό κατάστημα με συνολικό θερμαινόμενο όγκο 1000 m^3 . Η μέτρηση των τιμών του αέρα διαφυγής για το κατάστημα έδειξε ένα ρυθμό διήθησης της τάξης των 1,5 ACH. Να προσδιοριστεί η εξοικονόμηση ενέργειας που θα προέλθει από τη στεγανοποίηση και άλλες βελτιωτικές εργασίες στο εξωτερικό του κελύφους, με στόχο τη μείωση της διήθησης του αέρα στο ήμισυ. Το κατάστημα βρίσκεται στη Λυών και θερμαίνεται με λέβητα αερίου απόδοσης 80%.

Λύση: Για τον καθορισμό των ενεργειακών κερδών, γίνεται η υπόθεση ότι οι ετήσιες βαθμομέρες θέρμανσης παραμένουν οι ίδιες πριν και μετά την επέμβαση και είναι περίπου αυτές των 18°C . Η υφιστάμενη διήθηση του αέρα έχει ισοδύναμη τιμή: $U \cdot A_{inf} = \dot{m} c_{p,a} = 500 \text{ W}/^\circ\text{C}$. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2.9), με τη νέα τιμή $U \cdot A$ να είναι $250 \text{ W}/^\circ\text{C}$ και την απόδοση του συστήματος θέρμανσης 80% (λέβητας αερίου), η εξοικονόμηση ενέργειας υπολογίζεται ότι είναι:

$$\Delta E = \frac{24}{0,80} \cdot [(500 - 250) \text{ W}/^\circ\text{C}] \cdot 2656^\circ\text{C} \cdot \text{ημέρα} / \text{έτος} = 19.920 \text{ kWh} / \text{έτος}$$

Το κόστος της στεγανοποίησης και των άλλων εργασιών υπολογίζεται σε περίπου \$1.500 (μόνο το κόστος των υλικών). Για μια τιμή του αερίου καυσίμου της τάξης των \$0,05/kWh, η περίοδος αποπληρωμής για τη μείωση της διήθησης υπολογίζεται ως:

$$\text{Αποπληρωμή} = \frac{\$1.500}{19.920 \text{ kWh} / \text{έτος} \cdot 0,05 \$ / \text{kWh}} = 1,5 \text{ έτη}$$

Επομένως, η στεγανοποίηση και η τοποθέτηση ταινιών μπορεί να δικαιολογηθεί αποκλειστικά και μόνο με βάση την επιτυγχανόμενη εξοικονόμηση ενέργειας.

3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1. Εισαγωγή

Στα περισσότερα κτίρια και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τα ηλεκτρικά συστήματα καταναλώνουν σημαντικό ποσοστό της συνολικά χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Οι κινητήρες, ο φωτισμός και τα κλιματιστικά αποτελούν τους πιο σημαντικούς καταναλωτές ενέργειας. Στα εμπορικά κτίρια, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον εξοπλισμό γραφείου, π.χ. από Η/Υ και εκτυπωτές, έχει γίνει σημαντική την τελευταία δεκαετία. Στον πίνακα 3.1 παρέχεται η κατανάλωση ηλεκτρισμού σε τρεις τομείς (οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό) για τις ΗΠΑ, τη Γαλλία και την Ελλάδα.

Πίνακας 3.1. Ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας ως προς τη συνολική κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια των ΗΠΑ¹, της Γαλλίας² και της Ελλάδας³

ΤΟΜΕΑΣ	Η.Π.Α.	ΓΑΛΛΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ
Κτίρια κατοικιών	61 %	52 %	26 %
Εμπορικά κτίρια	52 %	68 %	79 %
Βιομηχανικές εγκαταστάσεις	12 %	52 %	25 %

Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζονται μέθοδοι μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα συστήματα. Επίσης, όποτε απαιτείται, παρέχονται εν συντομία τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρικού συστήματος, για να δοθεί έμφαση στα σημαντικότερα σημεία που πρέπει να λαμβάνει υπόψη του ένας ενεργειακός επιθεωρητής όταν επιθεωρεί ένα ηλεκτρικό σύστημα.

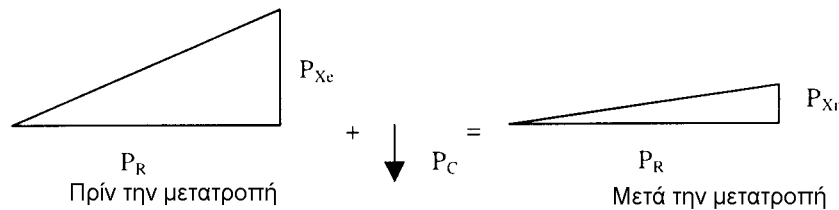
3.2. Βελτίωση του συντελεστή ισχύος

Η άεργος ισχύς πρέπει να παρέχεται από την ηλεκτρική εταιρεία, ακόμη και όταν δεν καταγράφεται από το βατόμετρο (όπως γίνεται με την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ισχύ). Το μέγεθος της άεργης ισχύος αυξάνεται καθώς ο συντελεστής ισχύος μειώνεται. Για να εξαιρεθεί η απώλεια ενέργειας λόγω της άεργης ισχύος, οι περισσότερες εταιρείες παροχής ενέργειας έχουν καθιερώσει τιμολόγια που επιβάλλουν πρόστιμα στους χρήστες με χαμηλό συντελεστή ισχύος. Επομένως, μπορεί να επέλθει σημαντική μείωση στο κόστος της παρεχόμενης ενέργειας με τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη μιας συστοιχίας πυκνωτών σε ολόκληρο το ηλεκτρικό σύστημα (σχήμα 3.1).

¹ Office of Technology Assessment (1995).

² Electricité de France (1997).

³ «Ενεργειακό Ισοζύγιο της Ελλάδας – 1998», Υπουργείο Ανάπτυξης.



Σχήμα 3.1. Επίδραση των πυκνωτών στο τρίγωνο ισχύος ενός ηλεκτρικού συστήματος

Το μέγεθος αυτών των πυκνωτών (P_C) συνήθως μετράται σε kVAr (κοινή μονάδα με την άεργο ισχύ) και μπορεί να ορισθεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1, με τη βοήθεια του τριγώνου ισχύος:

$$P_C = P_{Xe} - P_{Xr} = P_R(\tan\phi_e - \tan\phi_r) = P_R[\tan(\cos^{-1}pf_e) - \tan(\cos^{-1}pf_r)] \quad (3.1)$$

όπου P_R συμβολίζει την πραγματική ισχύ (σε kW), ενώ P_{Xe} και P_{Xr} είναι η άεργος ισχύς πριν και μετά την μετατροπή, αντίστοιχα. Η τελευταία ισότητα στην εξ. (3.1) προκύπτει με την εισαγωγή του συντελεστή ισχύος (πριν και μετά την μετατροπή).

Οι υπολογισμοί του εξοικονομούμενου κόστους λόγω της βελτίωσης του συντελεστή ισχύος εξαρτώνται από το είδος του τιμολογίου αγοράς της ενέργειας. Συνήθως απαιτούνται στοιχειώδεις υπολογισμοί για την εκτίμηση της ετήσιας εξοικονόμησης στους λογαριασμούς ηλεκτρικού. Σε όλα τα είδη τιμολογίων, υφίστανται τρεις επιλογές για την επιβολή προστίμου για χαμηλό συντελεστή ισχύος, οι οποίες είναι:

1. Ζήτηση τροποποιούμενης χρέωσης: Σ' αυτήν την περίπτωση, η χρέωση της ζήτησης αυξάνεται ανάλογα με ένα κλάσμα κατά το οποίο ο συντελεστής ισχύος είναι μικρότερος από μια συγκεκριμένη τιμή. Το μέγεθος των πυκνωτών πρέπει να επιλέγεται ώστε ο συντελεστής ισχύος του συστήματος να έχει τουλάχιστον αυτή τη συγκεκριμένη τιμή.
2. Χρέωση άεργου ισχύος: Η χρέωση για την άεργο ισχύ περιλαμβάνεται ως μέρος των λογαριασμών ηλεκτρικού. Σ' αυτή την περίπτωση, το μέγεθος των πυκνωτών πρέπει ιδανικά να εξαλείφει την άεργο ισχύ (ώστε ο συντελεστής ισχύος να είναι ίσος με τη μονάδα).
3. Χρέωση συνολικής ισχύος: Αυτό το τιμολόγιο είναι παρόμοιο με το προηγούμενο, αλλά η χρέωση γίνεται για τη συνολική ισχύ του κτιρίου/εγκατάστασης. Πάλι, οι πυκνωτές πρέπει να διαστασιολογούνται έτσι ώστε ο συντελεστής ισχύος να είναι ίσος με τη μονάδα.

3.3. Μετατροπές ηλεκτρικών κινητήρων

3.3.1. Αντικατάσταση με ενεργειακά αποδοτικούς κινητήρες

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ηλεκτρικών κινητήρων σε χρήση στα κτίρια και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις: οι επαγωγικοί κινητήρες και οι σύγχρονοι κινητήρες. Οι επαγωγικοί κινητήρες είναι οι συνηθέστεροι και αποτελούν το 90% της υπάρχουσας κινητήριας ισχύος. Και οι δύο

αυτοί τύποι έχουν ένα ακίνητο στάτορα και ένα περιστρεφόμενο ρότορα για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική. Μια βασική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων είναι ο τρόπος παραγωγής του μαγνητικού πεδίου του ρότορα. Στον επαγωγικό κινητήρα, το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτορα επάγει ένα ρεύμα, συνεπώς και ένα μαγνητικό πεδίο, στην περιέλιξη του ρότορα, που συνήθως είναι τύπου κλωβού.

Επειδή το μαγνητικό πεδίο επάγεται, ο ρότορας δεν μπορεί να περιστραφεί όπως το πεδίο του στάτορα (εάν γινόταν αυτό δεν θα μπορούσε να επάγεται ρεύμα στο ρότορα, διότι τότε το μαγνητικό πεδίο του στάτορα παραμένει αμετάβλητο σε σχέση με το ρότορα). Η διαφορά μεταξύ της ταχύτητας του ρότορα και της περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτορα ονομάζεται ολίσθηση. Στο σύγχρονο κινητήρα, το πεδίο του ρότορα παράγεται με την εφαρμογή συνεχούς ρεύματος στην περιέλιξη του ρότορα. Επομένως, ο ρότορας περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα με το μαγνητικό πεδίο του στάτορα και έτσι τα μαγνητικά πεδία του ρότορα και του στάτορα είναι σύγχρονα στην ταχύτητά τους.

Λόγω της κατασκευής του, ο επαγωγικός κινητήρας είναι βασικά ένα επαγωγικό φορτίο και έτσι έχει ένα συντελεστή ισχύος με υστέρηση, ενώ ο σύγχρονος κινητήρας μπορεί να εγκατασταθεί έτσι ώστε να έχει συντελεστή ισχύος με προπορεία (δηλαδή, δρα ως πυκνωτής). Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι ένας σύγχρονος κινητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την απόδοση μηχανικής ενέργειας όσο και για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος μιας συστοιχίας επαγωγικών κινητήρων. Αυτή η επιλογή μπορεί να είναι περισσότερο οικονομικά αποδοτική από την προσθήκη μιας συστοιχίας πυκνωτών.

Μία παράμετρος σημαντική για τον χαρακτηρισμό ενός ηλεκτρικού κινητήρα υπό συνθήκες πλήρους φορτίου είναι η απόδοση μετατροπής του κινητήρα (η), δηλαδή ο λόγος της μηχανικής ισχύος προς την πραγματική ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται από τον κινητήρα: $\eta_M = P_M / P_R$. Λόγω των διάφορων απωλειών (τριβές, απώλειες πυρήνα λόγω εναλλαγής του μαγνητικού πεδίου και απώλειες αντίστασης της περιέλιξης), η απόδοση του κινητήρα συνήθως κυμαίνεται από 75 έως 95%, ανάλογα με το μέγεθός του. Στον παραπάνω ορισμό, P_M είναι η παραγόμενη μηχανική ισχύς του κινητήρα, εκφραζόμενη σε kW ή ίππους (Hp), η οποία αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο κατά την επιλογή ενός κινητήρα.

Με βάση την απόδοσή τους, οι κινητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: συνήθους απόδοσης και υψηλής/εξαιρετικής απόδοσης κινητήρες. Οι ενεργειακά αποδοτικοί κινητήρες είναι 2 έως 10 ποσοστιαίες μονάδες περισσότερο αποδοτικοί από τους συνήθους απόδοσης κινητήρες, ανάλογα με το μέγεθος. Στον πίνακα 3.2 συνοψίζονται οι μέσες αποδόσεις των συνήθους και υψηλής απόδοσης κινητήρων που είναι σήμερα διαθέσιμοι στο εμπόριο. Η βελτιωμένη απόδοση των κινητήρων υψηλής/εξαιρετικής απόδοσης οφείλεται στον καλύτερο σχεδιασμό τους με χρήση καλύτερων υλικών για τη μείωση των απωλειών, η οποία πάντως συνοδεύεται από υψηλότερη τιμή (10 έως 30% περίπου μεγαλύτερη από αυτή των συνήθους απόδοσης κινητήρων). Έτσι, εξηγείται μερικώς γιατί μόνον το ένα πέμπτο των κινητήρων που πωλούνται στις ΗΠΑ είναι ενεργειακά αποδοτικοί.

Πίνακας 3.2. Τυπικές αποδόσεις κινητήρων (Hoshide, 1994)

ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ kW (Hp)	ΜΕΣΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΓΙΑ ΣΥΝΗΘΟΥΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	ΜΕΣΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΓΙΑ ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ
0.75 (1.0)	0.730	0.830
1.12 (1.5)	0.750	0.830
1.50 (2.0)	0.770	0.830
2.25 (3.0)	0.800	0.865
3.73 (5.0)	0.820	0.876
5.60 (7.5)	0.840	0.885
7.46 (10)	0.850	0.896
11.20 (15)	0.860	0.910
14.92 (20)	0.875	0.916
18.65 (25)	0.880	0.926
22.38 (30)	0.885	0.928
29.84 (40)	0.895	0.930
37.30 (50)	0.900	0.932
44.76 (60)	0.905	0.933
55.95 (75)	0.910	0.935
74.60 (100)	0.915	0.940
93.25 (125)	0.920	0.942
111.9 (150)	0.925	0.946
149.2 (200)	0.930	0.953

3.3.2. Υπολογισμοί εξοικονόμησης ενέργειας

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι υπολογισμού του ενεργειακού οφέλους από την αντικατάσταση με κινητήρα υψηλής απόδοσης, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

Μέθοδος 1: Απλοποιημένη μέθοδος

Η μέθοδος αυτή έχει κατά κόρον χρησιμοποιηθεί και ακόμα χρησιμοποιείται από τους περισσότερους ενεργειακούς μηχανικούς για τον καθορισμό της εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους που προκύπτει από την αντικατάσταση ενός κινητήρα. Σ' αυτή τη μέθοδο γίνονται δύο υποθέσεις, ότι ο κινητήρας λειτουργεί υπό πλήρες φορτίο και ότι η μεταβολή στην ταχύτητά του είναι αμελητέα.

Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ισχύος που οφείλεται στην αντικατάσταση του κινητήρα υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\Delta P_R = P_M \cdot \left(\frac{1}{\eta_E} - \frac{1}{\eta_R} \right) \quad (3.2)$$

όπου P_M είναι η μηχανική ισχύς εξόδου του κινητήρα, η_E είναι η απόδοση σχεδιασμού (σε πλήρες φορτίο) του υπάρχοντος κινητήρα (πριν τη μετατροπή) και η_R είναι η απόδοση σχεδιασμού του αποδοτικού κινητήρα (μετά τη μετατροπή). Το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την αντικατάσταση του κινητήρα είναι επομένως:

$$\Delta kWh = \Delta P_R \cdot N_h \cdot LF_M \quad (3.3)$$

όπου N_h είναι ο αριθμός των ωρών λειτουργίας του κινητήρα ανά έτος και LF_M είναι ο συντελεστής φορτίου του κινητήρα κατά τη διάρκεια του έτους.

Μέθοδος 2: Μέθοδος ονομαστικής μηχανικής ισχύος

Σε αυτή τη μέθοδο, η μέγιστη ηλεκτρική ζήτηση του υπάρχοντος κινητήρα υποτίθεται ότι είναι ανάλογη με τη μέση μηχανική ισχύ εξόδου:

$$P_{R,E} = \frac{P_M}{\eta_{op,E}} \cdot LF_M \cdot PDF_M \quad (3.4)$$

όπου:

- $\eta_{op,E}$ είναι η απόδοση του κινητήρα για μέση λειτουργία υπό μερικό φορτίο. Για να βρεθεί αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθεί η καμπύλη απόδοσης του κινητήρα. Εάν δεν είναι διαθέσιμη η καμπύλη απόδοσης του υφιστάμενου κινητήρα, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια οποιαδήποτε γενική καμπύλη.
- LF_M είναι ο συντελεστής φορτίου του υπάρχοντος κινητήρα, δηλαδή ο λόγος του μέσου φορτίου λειτουργίας του κινητήρα προς την ονομαστική μηχανική ισχύ. Στις περισσότερες εφαρμογές ο κινητήρας είναι υπερδιαστασιολογημένος και λειτουργεί κάτω από το δυναμικό του.
- PDF_M είναι ο συντελεστής μέγιστης ζήτησης, δηλαδή το κλάσμα του συνήθους φορτίου λειτουργίας που δημιουργείται κατά τη μέγιστη ζήτηση του κτιρίου. Για τις περισσότερες εφαρμογές ο PDF_M μπορεί να θεωρηθεί ίσος με τη μονάδα, εφόσον οι κινητήρες συχνά συμβάλλουν στη μέγιστη ζήτηση του κτιρίου.

Εφόσον το μηχανικό φορτίο δεν μεταβάλλεται μετά την εγκατάσταση ενός ενεργειακά αποδοτικού κινητήρα, είναι δυνατόν να μελετηθεί η χρήση ενός μικρότερου κινητήρα ισχύος $P_{M,R}$, εάν αν ο υφιστάμενος κινητήρας είναι υπερδιαστασιολογημένος με ισχύ $P_{M,E}$. Σ' αυτήν την περίπτωση, ένας μικρότερος ενεργειακά αποδοτικός κινητήρας μπορεί να λειτουργεί με υψηλότερο συντελεστή φορτίου από τον υφιστάμενο. Ο νέος συντελεστής φορτίου του ενεργειακά αποδοτικού κινητήρα μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$LF_R = LF_E \cdot \frac{P_{M,R}}{P_{M,E}} \quad (3.5)$$

Επιπλέον, οι ενεργειακά αποδοτικοί κινητήρες συχνά λειτουργούν με μεγαλύτερη ταχύτητα από τους κινητήρες που αντικαθιστούν, λόγω των μικρότερων εσωτερικών απωλειών. Αυτό όμως μπορεί να έχει αρνητικό αποτέλεσμα, επειδή μειώνεται η ενεργός απόδοση του

ενεργειακά αποδοτικού κινητήρα κατά ένα συντελεστή που ονομάζεται ποινή ολίσθησης ($SLIP_P$). Εάν $\omega_{M,E}$ είναι η ταχύτητα περιστροφής του υφιστάμενου κινητήρα και $\omega_{M,R}$ η ταχύτητα περιστροφής του ενεργειακά αποδοτικού κινητήρα, ο συντελεστής ποινής ολίσθησης ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$SLIP_P = \left(\frac{\omega_{M,R}}{\omega_{M,E}} \right)^3 \quad (3.6)$$

Χρησιμοποιώντας μια εξίσωση παρόμοια με την (3.5), η μέγιστη ηλεκτρική ζήτηση του εναλλακτικού κινητήρα (δηλαδή του ενεργειακά αποδοτικού) υπολογίζεται ως:

$$P_{R,R} = \frac{P_{M,R}}{\eta_{op,R}} \cdot LF_{M,R} \cdot PDF_{M,R} \cdot SLIP_P \quad (3.7)$$

και η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ισχύος λόγω της αντικατάστασης του κινητήρα είναι:

$$\Delta P_R = P_{R,E} - P_{R,R} \quad (3.8)$$

Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται με χρήση της εξίσωσης (3.3).

Μέθοδος 3: Μέθοδος επιτόπιας μέτρησης

Σ' αυτή τη μέθοδο, η ηλεκτρική ζήτηση του κινητήρα μετράται επί τόπου. Συνήθως λαμβάνονται μετρήσεις της έντασης (I_M), της τάσης (V_M) και του συντελεστή ισχύος (pf_M) για τον κινητήρα που πρόκειται να αντικατασταθεί. Στους τριφασικούς κινητήρες (συνήθεις στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και στις περισσότερες εγκαταστάσεις κλιματισμού των εμπορικών κτιρίων), η ηλεκτρική ισχύς που χρησιμοποιείται από τον υφιστάμενο κινητήρα μπορεί είτε να μετρηθεί άμεσα είτε να υπολογιστεί από τις τιμές της έντασης, της τάσης και του συντελεστή ισχύος ως ακολούθως:

$$P_{R,E} = \sqrt{3} \cdot V_M \cdot I_M \cdot pf_M \quad (3.9)$$

Ο συντελεστής φορτίου του υφιστάμενου κινητήρα υπολογίζεται από το λόγο της μετρούμενης έντασης προς την ονομαστική ένταση πλήρους φορτίου I_{FL} , ως:

$$LF_{M,E} = \frac{I_M}{I_{FL}} \quad (3.10)$$

Έχει αποδειχτεί ότι η εξίσωση (3.10) είναι πολύ πιο ακριβής για την εκτίμηση του λόγου του φορτίου του κινητήρα από την προσέγγιση που βασίζεται στο λόγο των ταχυτήτων του κινητήρα (δηλ., μετρούμενη ταχύτητα προς την ονομαστική κανονική ταχύτητα). Πρέπει να σημειωθεί ότι, η εξίσωση (3.10) συνιστάται για λόγους φορτίου μεγαλύτερους από 50%, διότι

σε αυτούς τους λόγους φορτίου ένας συνηθισμένος κινητήρας καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα που είναι ανάλογο προς το ωφέλιμο φορτίο. Η μεθοδολογία υπολογισμού της ηλεκτρικής ισχύος και της εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ίδια με αυτή που περιγράφεται στη μέθοδο ονομαστικής μηχανικής ισχύος, με χρήση των εξισώσεων (3.5) έως (3.8).

3.4. Ενεργειακά αποδοτικός φωτισμός

3.4.1. Εισαγωγή

Ο φωτισμός συμμετέχει κατά ένα μεγάλο ποσοστό στη χρήση της ενέργειας στα εμπορικά κτίρια. Για παράδειγμα, το 30 έως 50% της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα γραφεία χρησιμοποιείται για φωτισμό. Επιπλέον, η θερμότητα που παράγεται από τον φωτισμό συμβάλλει στα θερμικά φορτία που πρέπει να απομακρυνθούν από το ψυκτικό σύστημα. Συνήθως, οι ενεργειακές μετατροπές των συσκευών φωτισμού είναι πολύ οικονομικά αποδοτικές, με περιόδους αποπληρωμής στις περισσότερες εφαρμογές μικρότερες από 2 έτη.

Για την πληρέστερη κατανόηση των μέτρων που πρέπει να ληφθούν για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των συστημάτων φωτισμού, μια απλή εκτίμηση της συνολικής χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό παρέχεται από την εξίσωση:

$$kWh_{Lit} = \sum_{j=1}^J N_{Lum,j} \cdot WR_{Lum,j} \cdot N_{h,j} \quad (3.11)$$

όπου $N_{Lum,j}$ είναι ο αριθμός των φωτιστικών τύπου j που πρέπει να τροποποιηθούν στο κτίριο (ένα φωτιστικό σώμα περιλαμβάνει ένα πλήρες σύστημα αντισταθμιστικής διάταξης, καλωδίωσης, περιβλήματος και λαμπτήρων), $WR_{Lum,j}$ είναι το επίπεδο κατανάλωσης ισχύος κάθε φωτιστικού τύπου j (συνυπολογίζονται και οι λαμπτήρες και οι αντισταθμιστικές διατάξεις) και $N_{h,j}$ είναι ο αριθμός των ωρών λειτουργίας ανά έτος των φωτιστικών τύπου j .

Υπάρχουν τρεις επιλογές για τη μείωση της ενεργειακής χρήσης για φωτισμό, οι οποίες περιλαμβάνουν:

1. Μείωση της ισχύος των φωτιστικών, που περιλαμβάνει και τις φωτιστικές πηγές (λαμπτήρες) και τις διατάξεις μετασχηματισμού της τάσης (ballasts), δηλαδή μείωση του όρου $WR_{Lum,j}$ στην εξ. (3.11). Την τελευταία δεκαετία νέες τεχνολογίες, όπως είναι οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού και οι ηλεκτρονικές διατάξεις αντιστάθμισης, έχουν αυξήσει την αποδοτικότητα των συστημάτων φωτισμού.
2. Μείωση του χρόνου χρήσης των συστημάτων φωτισμού μέσω συστημάτων ελέγχου του φωτισμού, δηλαδή μείωση του όρου $N_{h,j}$ στην εξίσωση (3.11). Έχουν αναπτυχθεί αυτόματα συστήματα ελέγχου για τη μείωση της χρήσης των συστημάτων φωτισμού ώστε ο φωτισμός να παρέχεται μόνο όταν απαιτείται. Σ' αυτά περιλαμβάνονται τα

συστήματα ανίχνευσης παρουσίας και τα συστήματα μείωσης του φωτισμού μέσω της χρήσης του φυσικού φωτός.

3. Μείωση του αριθμού των φωτιστικών, συνεπώς μείωση του όρου $N_{Lum,j}$ στην εξίσωση (3.11). Αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί μόνο στις περιπτώσεις όπου είναι δυνατή η αφαίρεση φωτιστικών, λόγω υπερφωτισμού.

Εδώ περιγράφονται μόνον τα μέτρα που σχετίζονται με τις γενικές δράσεις που αναφέρονται στις επιλογές (1) και (2). Για την εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας από την εφαρμογή κάποιου μέτρου στο σύστημα φωτισμού χρησιμοποιείται η εξίσωση (3.11). Η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό πρέπει να υπολογιστεί πριν και μετά τη μετατροπή και η διαφορά των δύο καταναλώσεων αντιπροσωπεύει το ενεργειακό όφελος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται παραδείγματα μετατροπής στο σύστημα φωτισμού, μαζί με υπολογισμούς των προκύπτοντων ενεργειακών κερδών.

3.4.2. Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα φωτισμού

Οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση των συστημάτων φωτισμού παρέχουν ευκαιρίες για μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια. Σ' αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται οι δυνατότητες που παρέχουν οι υψηλής απόδοσης λαμπτήρες φθορισμού, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, οι συμπαγείς λαμπτήρες αλογόνου και οι ηλεκτρονικές αντισταθμιστικές διατάξεις. Στην αρχή, περιγράφονται εν συντομία οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνει υπόψη του ένας ενεργειακός επιθεωρητής ώστε να επιτευχθεί και να διατηρηθεί ένα παραδεκτό επίπεδο ποιότητας και άνεσης του συστήματος φωτισμού. Επίσης, συνοψίζονται οι αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας κάθε διαθέσιμης τεχνολογίας φωτισμού. Τέλος, εκτιμάται η εξοικονόμηση ενέργειας που αναμένεται από τη μετατροπή των υπάρχοντων συστημάτων φωτισμού με τη χρήση οποιασδήποτε από τις νέες τεχνολογίες.

Τρεις είναι οι παράγοντες που συνήθως καθορίζουν το σωστό επίπεδο φωτισμού ενός συγκεκριμένου χώρου, ειδικότερα: η ηλικία των ενοίκων, οι απαιτήσεις ταχύτητας και ακρίβειας, και η αντίθεση του φόντου (ανάλογα με τη δραστηριότητα που διεξάγεται). Είναι κοινή εσφαλμένη αντίληψη ότι ο υπερφωτισμός ενός χώρου συνεπάγεται και υψηλότερη οπτική ποιότητα. Πράγματι, έχει αποδειχθεί ότι ο υπερφωτισμός μπορεί να ελαττώσει την ποιότητα του φωτισμού και το επίπεδο οπτικής άνεσης σε ένα χώρο, πέρα από την όποια σπατάλη ενέργειας. Επομένως, είναι σημαντικό κατά την αναβάθμιση ενός συστήματος φωτισμού να καθορίζεται και να διατηρείται ένα επαρκές επίπεδο φωτισμού, όπως αυτό καθορίζεται από τα σχετικά πρότυπα. Στον πίνακα 3.3 συνοψίζονται τα συνιστώμενα επίπεδα φωτισμού για διάφορες δραστηριότητες και εφαρμογές σε επιλεγμένες χώρες, που βασίζονται στα πιο πρόσφατα πρότυπα φωτισμού.

Πίνακας 3.3. Συνιστώμενα επίπεδα φωτισμού για διάφορες εφαρμογές, σε επιλεγμένες χώρες (σε LUX στο οριζόντιο επίπεδο)

ΕΦΑΡΜΟΓΗ	ΓΑΛΛΙΑ	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	ΙΑΠΩΝΙΑ	ΗΠΑ/ΚΑΝΑΔΑΣ
----------	--------	----------	---------	-------------

	AEF (92&93)	DIN5035 (90)	JIS (89)	IESNA (93)
Γραφεία				
Γενικά	425	500	300-750	200-500
Ανάγνωση	425	500	300-750	200-500
Σχέδιο (λεπτομερές)	850	750	750-1500	1000-2000
Αίθουσες διδασκαλίας				
Γενικά	325	300-500	200-750	200-500
Πίνακας	425	300-500	300-1500	500-1000
Καταστήματα				
Γενικά	100-1000	300	150-750	200-500
Περιοχές εργασίας	425	500	750-1000	200-500
Νοσοκομεία				
Κοινόχρηστοι χώροι	100	100-300	-	-
Δωμάτια ασθενών	50-100	1000	150-300	100-200
Βιομηχανίες				
Κεντημάτων	850	750	750-1500	1000-2000
Ηλεκτρονικών	625-1750	100-1500	1500-3000	1000-2000

Λαμπτήρες φθορισμού υψηλής απόδοσης:

Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι στα εμπορικά κτίρια (71% των εμπορικών χώρων στις ΗΠΑ). Η σχετικά μεγάλη αποδοτικότητά τους, η κατανομή του διάχυτου φωτισμού και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους είναι οι λόγοι της μεγάλης απήχησής τους. Γενικά, ένας λαμπτήρας φθορισμού αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα με ένα ζεύγος ηλεκτροδίων σε κάθε άκρη. Ο σωλήνας είναι γεμάτος με μίγμα αδρανούς αερίου (κυρίως Αργού) και υγρού υδραργύρου υπό χαμηλή πίεση. Όταν ο λαμπτήρας ανάβει, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό τόξο ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Ο υδράργυρος εξατμίζεται και εκπέμπει ακτινοβολία στο υπεριώδες φάσμα. Αυτή η υπεριώδης ακτινοβολία διεγείρει μια στρώση φωσφόρου στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα, η οποία εκπέμπει το ορατό φως.

Οι υψηλής απόδοσης λαμπτήρες φθορισμού χρησιμοποιούν μίγμα Κρυπτού-Αργού που αυξάνει την απόδοση κατά 10-20%, δηλαδή από τη συνηθισμένη απόδοση των 70 στα 80 lumens/Watt περίπου. Με βελτιώσεις στη στρώση του φωσφόρου μπορεί να αυξηθεί ακόμη περισσότερο η απόδοση σε 100 lumens/Watt. Από την άλλη, σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η διαχείριση και η απόσυρση των λαμπτήρων αυτών, λόγω του ότι ο υδράργυρος που περιέχουν μπορεί να είναι τοξικός και επιβλαβής για το περιβάλλον. Τελευταία, δοκιμάζεται μια νέα τεχνολογία για την αντικατάσταση του υδραργύρου με θείο στην παραγωγή της ακτινοβολίας διέγερσης της στρώσης του φωσφόρου στις λάμπες φθορισμού. Οι λαμπτήρες θείου δεν είναι βλαβεροί και έχουν περιβαλλοντικό πλεονέκτημα έναντι των λαμπτήρων φθορισμού με υδράργυρο.

Οι λαμπτήρες φθορισμού κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα, διαμέτρους, μήκη και ισχείς. Η συνήθης ονοματολογία που χρησιμοποιείται στους λαμπτήρες αυτούς είναι: *F.S.W.C -T.D*, όπου:

- ◆ Το *F* σημαίνει λαμπτήρας φθορισμού.
- ◆ Το *S* αναφέρεται στο σχήμα του λαμπτήρα. Εάν είναι κυκλικός ο γυάλινος σωλήνας χρησιμοποιείται το γράμμα *C*, ενώ εάν είναι ευθύγραμμος δεν εμφανίζεται κανένα γράμμα.
- ◆ *W* είναι η ονομαστική ισχύς σε Watt (μπορεί να είναι 4, 5, 8, 12, 15, 30, 32, 34, 40, κ.λπ.).
- ◆ Το *C* αφορά το χρώμα που εκπέμπει ο λαμπτήρας: *W* για λευκό, *CW* για ψυχρό λευκό και *BL* για μαύρο φως.
- ◆ Το *T* αναφέρεται σε σωληνωτό λαμπτήρα.
- ◆ Το *D* αντιστοιχεί στη διάμετρο του λαμπτήρα σε όγδοα της ίντσας (1/8 in = 3.15mm) και είναι, για παράδειγμα, 12 (D=1.5in=38mm) στους παλαιότερους και λιγότερο ενεργειακά αποδοτικούς λαμπτήρες, και 8 (D=1.0in=31.5mm) στους πιο σύγχρονους και ενεργειακά αποδοτικούς λαμπτήρες.

Έτσι, το F40CW-T12 αφορά ένα λαμπτήρα φθορισμού που έχει ευθύγραμμο σωλήνα, χρησιμοποιεί 40W ηλεκτρικής ενέργειας, δίνει ψυχρό λευκό φωτισμό, και είναι σωληνωτός με διάμετρο 38mm (1,5in). Μεταξύ των συνηθέστερων μετατροπών στα συστήματα φωτισμού είναι η αναβάθμιση των συμβατικών λαμπτήρων φθορισμού 40W T12 με περισσότερο αποδοτικούς, όπως είναι οι τύπου 32W T8.

Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL):

Αυτοί είναι μικρού μεγέθους λαμπτήρες φθορισμού με μικρή διάμετρο και μικρότερο μήκος. Οι συμπαγείς λαμπτήρες είναι λιγότερο αποδοτικοί από τους λαμπτήρες μεγάλου μεγέθους, παρέχοντας μόνο 35 έως 55 lumens/Watt. Πάντως, είναι περισσότερο ενεργειακά αποδοτικοί και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Τελευταία, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού γνωρίζουν ευρεία διάδοση ως υποκατάστατα εξοικονόμησης ενέργειας των λαμπτήρων πυρακτώσεως, παρότι μπορεί να έχουν ορισμένα μειονεκτήματα. Πέρα από το υψηλό τους κόστος, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού είναι ψυχρότεροι και γι' αυτό δίνουν λιγότερο ευχάριστη αντίθεση από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Συμπαγείς λαμπτήρες αλογόνου:

Οι συμπαγείς λαμπτήρες αλογόνου χρησιμοποιούνται για άμεση αντικατάσταση των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Είναι περισσότερο ενεργειακά αποδοτικοί, παρέχουν λευκότερο φως και διαρκούν περισσότερο από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Στην πραγματικότητα, οι λαμπτήρες πυρακτώσεως μετατρέπουν μόνο το 15% της ηλεκτρικής ενέργειας σε ορατό φως, αφού το 75% εκπέμπεται ως υπέρυθρη ακτινοβολία και το 10% καταναλώνεται από το καιγόμενο νήμα. Στους λαμπτήρες αλογόνου, το νήμα εισάγεται σε ένα σωλήνα από χαλαζία ο οποίος εμπεριέχεται σε ένα γυάλινο βολβό. Μια επιλεκτική στρώση στην εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα από χαλαζία επιτρέπει στην ορατή ακτινοβολία να διαπεράσει, αλλά ανακλά την υπέρυθρη ακτινοβολία πίσω προς το νήμα. Αυτή η ανακυκλούμενη υπέρυθρη ακτινοβολία επιτρέπει στο νήμα να διατηρεί τη θερμοκρασία λειτουργίας του με 30%

μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι λαμπτήρες αλογόνου επιδέχονται ρύθμιση του φωτισμού τους και δεν παρουσιάζουν προβλήματα ποιότητας ισχύος ή συμβατότητας, όπως μπορεί να συμβεί με τους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού.

Ηλεκτρονικές αντισταθμιστικές διατάξεις:

Οι αντισταθμιστικές διατάξεις ("ballasts") αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα των φωτιστικών φθορισμού, διότι παρέχουν το επίπεδο τάσης που απαιτείται για την εκκίνηση του ηλεκτρικού τόξου και τη ρύθμιση της έντασής του. Πριν από την εξέλιξη των ηλεκτρονικών ballasts στις αρχές της δεκαετίας του '80, χρησιμοποιούνταν μόνο μαγνητικά ή «πυρήνα-πηνίου» ballasts για τη λειτουργία των λαμπτήρων φθορισμού. Ενώ η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος διατηρείται στα 50 Hz (ή 60 Hz στις ΗΠΑ) από τα μαγνητικά ballasts, τα ηλεκτρονικά χρησιμοποιούν την τεχνολογία στερεάς κατάστασης για να παράγουν ρεύμα υψηλής συχνότητας (20 – 60 kHz), το οποίο αυξάνει την ενεργειακή απόδοση των φωτιστικών φθορισμού διότι το φως πάλλεται γρηγορότερα και φαίνεται λαμπρότερο. Όταν χρησιμοποιούνται με λαμπτήρες υψηλής απόδοσης (π.χ. T8), τα ηλεκτρονικά ballasts μπορούν να αποδώσουν 95 lumens/Watt, έναντι των 70 lumens/Watt των συμβατικών μαγνητικών. Πάντως, πρέπει να αναφερθεί ότι οι αποδοτικές μαγνητικές διατάξεις αντιστάθμισης μπορούν να αποδώσουν παρόμοια lumens/watt με τις ηλεκτρονικές.

Άλλα πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών αντισταθμιστικών διατάξεων έναντι των αντιστοίχων μαγνητικών περιλαμβάνουν:

- Υψηλότερο συντελεστή ισχύος. Ο συντελεστής ισχύος των ηλεκτρονικών ballasts είναι συνήθως μεταξύ 0,90 και 0,98. Εντούτοις, τα συμβατικά μαγνητικά ballasts έχουν χαμηλό συντελεστή ισχύος (μικρότερο από 0,80), εκτός εάν προστεθεί ένας πυκνωτής, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.2.
- Λιγότερα προβλήματα τρεμοπαίγματος. Αφού τα μαγνητικά ballasts λειτουργούν με ρεύμα 50 Hz εναλλάσσουν το ηλεκτρικό τόξο περίπου 120 φορές ανά δευτερόλεπτο, με αποτέλεσμα το τρεμόπαιγμα να είναι αντιληπτό, ειδικά εάν ο λαμπτήρας είναι παλαιός ή όταν μειώνεται η λειτουργία του κάτω από το 50% της ισχύος του. Πάντως, η εναλλαγή του ηλεκτρικού τόξου στα ηλεκτρονικά ballasts είναι μερικές χιλιάδες φορές το δευτερόλεπτο και το τρεμόπαιγμα αποφεύγεται, ακόμα και όταν οι λαμπτήρες λειτουργούν στο 5% της ισχύος τους.
- Λιγότερα προβλήματα θορύβου. Τα μαγνητικά ballasts χρησιμοποιούν ηλεκτρικά πηνία και παράγουν ένα βόμβο, ο οποίος μπορεί να αυξηθεί με τη γήρανση. Αυτός ο θόρυβος δεν υπάρχει στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα των ηλεκτρονικών αντισταθμιστικών διατάξεων.

3.4.3. Συστήματα ελέγχου του φωτισμού

Όπως φαίνεται από την εξίσωση (3.11), εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται με τη μη λειτουργία υπό πλήρη ισχύ του συστήματος φωτισμού στις περιπτώσεις που ο φωτισμός δεν είναι απαραίτητος. Ο έλεγχος λειτουργίας του συστήματος φωτισμού μπορεί να γίνει με

αρκετούς τρόπους, συμπεριλαμβανομένων των χειροκίνητων διακοπών και των «dimmers», των ανιχνευτών παρουσίας και των αυτόματων συστημάτων μείωσης με τη χρήση αισθητήρων φυσικού φωτός.

Ενώ με τη χειροκίνητη λειτουργία ή/και ρύθμιση μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας, τα αποτελέσματά της είναι συνήθως απρόβλεπτα διότι εξαρτώνται από τη συμπεριφορά των ενοίκων. Μια πιο αποτελεσματική μέθοδος για εξοικονόμηση ενέργειας παρέχουν τα προγραμματιζόμενα συστήματα ελέγχου του φωτισμού, που όμως μπορούν επίσης να επηρεασθούν από τις συχνές ρυθμίσεις των ενοίκων. Μόνο τα αυτόματα συστήματα λειτουργίας ή/και ρύθμισης του φωτισμού μπορούν να ανταποκριθούν σε πραγματικό χρόνο στις αλλαγές λόγω παρουσίας ατόμων και στις κλιματικές αλλαγές. Μερικά από τα αυτόματα συστήματα ελέγχου του φωτισμού περιγράφονται παρακάτω.

Ανιχνευτές παρουσίας:

Οι ανιχνευτές παρουσίας εξοικονομούν ενέργεια με το αυτόματο σβήσιμο των φώτων σε χώρους που δεν είναι κατειλημένοι. Γενικά, οι ανιχνευτές παρουσίας είναι κατάλληλοι για τις περισσότερες εφαρμογές ελέγχου του φωτισμού και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις αναβαθμίσεις των συστημάτων φωτισμού. Είναι σημαντικό να επιλέγονται και να εγκαθίστανται σωστά οι ανιχνευτές παρουσίας για να παρέχουν αξιόπιστο φωτισμό κατά τη διάρκεια ενοίκησης. Στην πράξη, οι περισσότερες αστοχίες των ανιχνευτών παρουσίας προέρχονται από εσφαλμένη επιλογή και κακή τοποθέτηση. Ειδικότερα, ο ενεργειακός επιθεωρητής πρέπει να επιλέγει τη σωστή τεχνολογία ανίχνευσης κίνησης που χρησιμοποιείται στους ανιχνευτές παρουσίας.

Δύο τύποι τεχνολογιών ανίχνευσης κίνησης είναι διαθέσιμοι στην αγορά:

1. *Ανιχνευτές υπερέυθρων*, που καταγράφουν την υπέρυθρη ακτινοβολία από τις διάφορες επιφάνειες του χώρου καθώς και από το ανθρώπινο σώμα. Όταν ο επεξεργαστής που είναι συνδεδεμένος με τους ανιχνευτές υπερέυθρων λάβει μια σταθερή μεταβολή στη θερμική κατάσταση του περιβάλλοντος (π.χ. όταν υπάρξει κίνηση στο χώρο), τότε ανάβουν τα φώτα. Τα φώτα παραμένουν αναμένα μέχρις ότου να μην καταγράφονται σημαντικές θερμοκρασιακές μεταβολές. Οι ανιχνευτές υπερέυθρων λειτουργούν ικανοποιητικά μόνον εάν υπάρχει άμεση οπτική επαφή με τους ενοίκους και συνιστάται η χρήση τους σε μικρούς κλειστούς χώρους με κανονικό σχήμα και χωρίς διαχωριστικά.
2. *Ανιχνευτές υπερήχων*, που λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή του σονάρ, όπως τα ραντάρ των υποβρυχίων και των αεροδρομίων, εκπέμποντας έναν υψηλής συχνότητας (25-40 kHz) ήχο που δεν είναι αντιληπτός από τον άνθρωπο, ο οποίος ανακλάται από τις επιφάνειες του χώρου (έπιπλα, ένοικοι, κ.λπ.) και καταγράφεται από ένα δέκτη. Όταν στο χώρο κινούνται άνθρωποι, η μορφή των ηχητικών κυμάτων μεταβάλλεται. Τα φώτα παραμένουν αναμένα μέχρις ότου να μην ανιχνεύεται καμία κίνηση σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ. 5 λεπτά). Αντίθετα με την υπέρυθρη ακτινοβολία, τα εμπόδια δεν παρενοχλούν τα ηχητικά κύματα. Όμως, οι αισθητήρες αυτοί

μπορεί να μη λειτουργούν σωστά σε μεγάλους χώρους, όπου υπάρχει τάση να δημιουργούνται ασθενείς ανακλάσεις.

Στον πίνακα 3.4 (από μια μελέτη του EPRI) παρουσιάζονται τα τυπικώς αναμενόμενα ενεργειακά οφέλη από μετατροπές με χρήση ανιχνευτών παρουσίας. Όπως φαίνεται, σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να προκύψει σε χώρους όπου η ενοίκηση είναι διακοπτόμενη, όπως είναι οι χώροι συνεδριάσεων, αναπαύσεως, αποθήκευσης και τα εργαστήρια.

Πίνακας 3.4. Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας μέσω των ανιχνευτών παρουσίας

ΧΩΡΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	ΕΥΡΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ
Γραφεία (μεμονωμένα)	25-50 %
Γραφεία (ανοικτοί χώροι)	20-25 %
Χώροι ανάπαυσης	30-75 %
Χώροι συνεδριάσεων	45-65 %
Διάδρομοι	30-40 %
Χώροι αποθήκευσης	45-65 %
Εργαστήρια	50-75 %

Συστήματα μείωσης της έντασης του φωτισμού:

Τα συστήματα ελέγχου μέσω της μείωσης του φωτισμού επιτρέπουν τη μεταβολή της έντασης του φωτισμού βάσει του επιπέδου του φυσικού φωτισμού, χειροκίνητων ρυθμίσεων και της ενοίκησης. Η απαλή και συνεχής μείωση στο φωτισμό ονομάζεται συνεχής ρύθμιση, σε αντίθεση με τη βαθμωτή ρύθμιση, στην οποία η παραγωγή του λαμπτήρα μειώνεται με προκαθορισμένα βήματα. Ο ενεργειακός επιθεωρητής, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού για την ακριβή εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω των συστημάτων μείωσης του φωτισμού που χρησιμοποιούν αισθητήρες φυσικού φωτός, μπορεί να προβλέψει το ποσοστό του χρόνου που το φυσικό φως είναι αρκετό για να καλύψει τις ανάγκες σε φωτισμό.

3.5. Ποιότητα ηλεκτρικής ενέργειας

3.5.1. Εισαγωγή

Σε ιδανικές συνθήκες λειτουργίας, το ηλεκτρικό ρεύμα και η τάση μεταβάλλονται κατά ημιτονοειδή τρόπο με τον χρόνο. Παρ' όλα αυτά, το ηλεκτρικό ρεύμα παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω προβλημάτων στο σύστημα παραγωγής/διανομής, όπως είναι οι πτώσεις τάσης, οι σπινθήρες ή τα μεταβατικά ρεύματα, οι οποίες μπορεί να μειώσουν τη ζωή του ηλεκτρικού εξοπλισμού, περιλαμβανομένων των κινητήρων και των συστημάτων φωτισμού. Εξάλλου, ο αυξανόμενος αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών που συνδέονται στο σύστημα

τελευταία μπορεί να προκαλέσει διαταραχή της ημιτονοειδούς κυματομορφής του ρεύματος ή/και της τάσης καταλήγοντας σε κακή ποιότητα ενέργειας, η οποία μπορεί να προκαλέσει απώλειες ενέργειας και να βλάψει τόσο τη διανομή του ηλεκτρισμού όσο και τις συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο. Επομένως, είναι σημαντικό για έναν ενεργειακό επιθεωρητή να γνωρίζει αυτά τα προβλήματα και να λαμβάνει μέτρα για τη βελτίωση της ποιότητας της ενέργειας των ηλεκτρικών συστημάτων.

3.5.2. Ολική αρμονική παραμόρφωση

Η ποιότητα ισχύος μπορεί να οριστεί ως η έκταση κατά την οποία ένα ηλεκτρικό σύστημα παραμορφώνει την ημιτονοειδή μορφή του ρεύματος ή της τάσεως, η οποία αντιστοιχεί στην ιδανική ποιότητα ισχύος ενός ηλεκτρικού συστήματος, συχνά αναφερόμενη και ως βασική αρμονική. Όταν η ισχύς παραμορφώνεται λόγω, για παράδειγμα, μιας ηλεκτρονικής αντισταθμιστικής διάταξης (η οποία τροποποιεί την συχνότητα του ρεύματος που παρέχεται στα συστήματα φωτισμού), πρέπει να προστεθούν αρκετές αρμονικές στη βασική αρμονική για να αναπαραστήσουν τη μεταβολή ως προς τον χρόνο της τάσεως ή του ρεύματος.

Οι κυματομορφές με υψηλή παραμόρφωση περιέχουν μεγάλο αριθμό αρμονικών. Ενώ οι άρτιες αρμονικές (δεύτερη, τέταρτη, ...) τείνουν να αλληλοεξουδετερωθούν, στις περιττές αρμονικές (τρίτη, πέμπτη, ...) οι κορυφές συμπίπτουν και αυξάνουν σημαντικά τα αποτελέσματα της παραμόρφωσης. Για την ποσοτικοποίηση του επιπέδου παραμόρφωσης της τάσης και της έντασης, καθορίζεται ένας αδιάστατος αριθμός, η ολική αρμονική παραμόρφωση (*THD*), με ανάλυση σε σειρά Fourier που γίνεται στις κυματομορφές της τάσης και της έντασης, οριζόμενη αντίστοιχα ως:

$$THD_V = \sqrt{\sum_{k=1}^{N_V} V_k^2} / V_1^2 \quad (3.12)$$

$$THD_I = \sqrt{\sum_{k=1}^{N_I} I_k^2} / I_1^2$$

Στον πίνακα 3.5 παρουσιάζεται η *THD* της έντασης για επιλεγμένα φορτία φωτισμού και εξοπλισμού γραφείου. Γενικά, έχει βρεθεί ότι οι συσκευές με υψηλή *THD* της έντασης συμβάλλουν στην *THD* της τάσης ανάλογα με τη συμμετοχή τους στο συνολικό ηλεκτρικό φορτίο του κτιρίου. Επομένως, ο ενεργειακός επιθεωρητής πρέπει να λάβει υπόψη του καταρχήν τις συσκευές υψηλής ισχύος για τη μείωση της *THD* της τάσης ολόκληρου του κτιρίου/εγκατάστασης και έτσι μπορεί να προσδιορίσει ποιες συσκευές να διορθώσει πρώτα προκειμένου να βελτιώσει την ποιότητα ισχύος του συνολικού ηλεκτρικού συστήματος. Συνήθως, για τη μείωση των τιμών της *THD* της έντασης προστίθενται φίλτρα αρμονικών στις ηλεκτρικές συσκευές. Στο ακόλουθο παράδειγμα δίνεται μια απλή υπολογιστική διαδικασία που μπορεί να εφαρμόσει ένας ενεργειακός επιθεωρητής για να διαπιστώσει την επίδραση μιας ηλεκτρικής συσκευής στην *THD* της έντασης.

Πίνακας 3.5. Συνήθη χαρακτηριστικά ποιότητας ισχύος (συντελεστής ισχύος και THD ρεύματος) για επιλεγμένα ηλεκτρικά φορτία (Πηγή: NLRIP, 1995)

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (W)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	THD ΕΝΤΑΣΗΣ (%)
Συστήματα φωτισμού πυρακτώσεως			
Λαμπτήρας πυρακτώσεως 100-W	101	1,0	1
Συμπαγή συστήματα φωτισμού φθορισμού			
Λαμπτήρας 13-W με μαγνητικό ballast	16	0,54	13
Λαμπτήρας 13-W με ηλεκτρονικό ballast	13	0,50	153
Συστήματα φωτισμού φθορισμού μεγάλου μεγέθους			
(2 λαμπτήρες ανά αντισταθμιστική διάταξη-ballast)			
Λαμπτήρας T12 40-W με μαγνητικό ballast	87	0,98	17
Λαμπτήρας T12 40-W με ηλεκτρονικό ballast	72	0,99	5
Λαμπτήρας T12 40-W με μαγνητικό ballast	93	0,98	22
Λαμπτήρας T12 40-W με ηλεκτρονικό ballast	75	0,99	5
Λαμπτήρας T10 40-W με μαγνητικό ballast	63	0,98	6
Λαμπτήρας T10 40-W με ηλεκτρονικό ballast			
Λαμπτήρας T8 32-W με ηλεκτρονικό ballast			
Συστήματα φωτισμού εκκένωσης υψηλής τάσεως			
Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης 400-W με μαγνητικό ballast	425	0,99	14
Λαμπτήρας μετάλλου-αλιδίου 400-W με μαγνητικό ballast	450	0,94	19
Εξοπλισμός γραφείου			
Υπολογιστής γραφείου χωρίς οθόνη	33	0,56	139
Έγχρωμη οθόνη υπολογιστή	49	0,56	138
Εκτυπωτής Laser (σε αναμονή)	29	0,40	224
Εκτυπωτής Laser (κατά την εκτύπωση)	799	0,98	15
Εξωτερικό fax/modem	5	0,73	47

Παράδειγμα: Εκτιμείστε την επίδραση στην THD της έντασης δύο συσκευών: ενός συμπαγή λαμπτήρα φθορισμού 13-W με ηλεκτρονικό ballast και ενός εκτυπωτή laser κατά την εκτύπωση. Να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα του πίνακα 3.5.

Λύση: Και οι δύο συσκευές λειτουργούν με μια RMS τάση 120 V (δηλαδή $V_{rms} = 120$ V). Οι RMS τιμές του ρεύματος μπορούν να καθοριστούν από την πραγματική ισχύ που καταναλώνεται και τον συντελεστή ισχύος που δίνονται στον πίνακα 3.5, καθώς και από την ακόλουθη εξίσωση:

$$I_{rms} = \frac{P_R}{V_{rms} \cdot pf}$$

Η ανωτέρω εξίσωση δίνει RMS εντάσεις 0,22 A για τον CFL και 6,79 A για τον εκτυπωτή.

Αυτές οι τιμές είναι οι RMS για τη βασική αρμονική της έντασης κάθε συσκευής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εξίσωση (3.12) της THD για την εκτίμηση της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος για κάθε συσκευή:

$$I_{tot} = I_{rms} \cdot THD_I$$

Οι προκύπτουσες τιμές των 0,33 A για τον CFL και 1,2 A για τον εκτυπωτή δείχνουν ότι, έστω και εάν ο εκτυπωτής έχει σχετικά μικρή THD έντασης (15%), η πραγματική παραμόρφωση του ρεύματος που προκύπτει από τον εκτυπωτή είναι παραπάνω από τρεις φορές μεγαλύτερη αυτής του CFL, επειδή ο εκτυπωτής είναι μεγαλύτερης ισχύος.

Η IEEE (1992) προτείνει ως μέγιστη επιτρεπτή τιμή για την THD της τάσης 5% στην είσοδο λειτουργίας του κτιρίου (στο σημείο δηλαδή όπου το σύστημα διανομής του δικτύου συνδέεται με το ηλεκτρικό σύστημα του κτιρίου). Με βάση μια μελέτη των Verderber et al. (1993), η THD της τάσης φθάνει το όριο του 5% όταν το 50% περίπου των ηλεκτρικών φορτίων του κτιρίου έχει THD έντασης 55% ή όταν το 25% των ηλεκτρικών φορτίων του κτιρίου έχει THD έντασης 115%.

Όταν η ηλεκτρική συσκευή έχει συντελεστή ισχύος ίσο με τη μονάδα ($pf=1$) τότε υπάρχει μικρή ή μηδενική *THD* έντασης, αφού η συσκευή έχει μόνο ωμικό φορτίο και μετατρέπει αποτελεσματικά την τάση και το ρεύμα εισόδου σε ωφέλιμη ηλεκτρική ισχύ. Έτσι, ο συντελεστής ισχύος και η *THD* της έντασης είναι αλληλοσχετιζόμενα μεγέθη και τα δύο μαζί καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της ποιότητας ισχύος. Από τον πίνακα 3.5 προκύπτει ότι, τα συστήματα φωτισμού με ηλεκτρονική αντισταθμιστική διάταξη έχουν συνήθως υψηλό συντελεστή ισχύος και μικρή *THD* έντασης. Αυτή η καλή ποιότητα ισχύος επιτυγχάνεται με τη χρήση πυκνωτών που μειώνουν τη διαφορά φάσης μεταξύ ρεύματος και τάσης (βελτιώνοντας έτσι το συντελεστή ισχύος) και φίλτρων που μειώνουν τις αρμονικές (αυξάνοντας την τιμή της *THD* της έντασης).

Τα προβλήματα που εμφανίζονται λόγω της κακής ποιότητας ισχύος περιλαμβάνουν:

1. Υπερφόρτωση των ουδέτερων αγωγών σε τριφασικά συστήματα με τέσσερις καλωδιώσεις. Σε ένα σύστημα με μηδενική *THD*, εάν το σύστημα είναι καλά ισορροπημένο, ο ουδέτερος αγωγός δεν μεταφέρει ρεύμα. Πάντως, όταν η *THD* της έντασης γίνεται σημαντική, τα ρεύματα δεν αλληλοεξουδετερώνονται λόγω των περιπτώσεων αρμονικών και συσσωρεύονται στον ουδέτερο αγωγό, ο οποίος υπερθερμαίνεται και έτσι μπορεί να προκληθεί πυρκαγιά.
2. Μείωση της ζωής των μετασχηματιστών και των πυκνωτών, η οποία προέρχεται κυρίως από την παραμόρφωση της τάσης.
3. Παρεμβολές στα συστήματα επικοινωνιών. Οι ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με υψηλές συχνότητες, όπως είναι οι ηλεκτρονικές αντισταθμιστικές διατάξεις (συχνότητες λειτουργίας 20 έως 40 kHz) μπορούν να παρεμβληθούν και να διαταράξουν τη λειτουργία

των συστημάτων επικοινωνίας, όπως είναι τα ραδιόφωνα, τα τηλέφωνα και τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης (EMS).

3.6. Επιλεγμένα παραδείγματα μέτρων εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας

3.6.1. Διόρθωση του συντελεστή ισχύος- υπολογισμός μεγέθους του πυκνωτή

Υπόβαθρο: Για να μειωθεί το πρόστιμο του χαμηλού συντελεστή ισχύος από την εταιρεία παροχής ενέργειας, μπορεί να εγκατασταθεί εν παραλλήλω με το ηλεκτρικό σύστημα μια διάταξη πυκνωτών. Τα οφέλη από την αύξηση του συντελεστή ισχύος μπορούν να καθοριστούν μόνο για κάθε ειδική περίπτωση, εφόσον ο υπολογισμός των οικονομικών οφελών σχετίζεται άμεσα με το εφαρμοζόμενο τιμολόγιο. Σε αυτό το υπόδειγμα υπολογισμού, προσδιορίζεται μόνον το μέγεθος σε kVAr των πυκνωτών προκειμένου να μπορέσει να αυξηθεί ο συντελεστής ισχύος από την υπάρχουσα τιμή σε μια ελάχιστη απαιτούμενη ώστε να μην υπάρχει πρόστιμο. Με βάση το μέγεθος αυτό, μπορεί να εκτιμηθεί το κόστος των πυκνωτών, επομένως και η οικονομική αποτελεσματικότητα της βελτίωσης του συντελεστή ισχύος.

Απαιτούμενα δεδομένα:

- ♦ pf_e : υφιστάμενος συντελεστής ισχύος (αυτή η ποσότητα μπορεί να μετρηθεί άμεσα ή να ληφθεί από τους λογαριασμούς του ρεύματος),
- ♦ pf_r : ο συντελεστής ισχύος που πρέπει να επιτευχθεί μετά από τη μετατροπή (αυτή η τιμή καθορίζεται από το είδος του τιμολογίου της ηλεκτρικής εταιρείας),
- ♦ P_R : η πραγματική ισχύς που χρησιμοποιείται από το ηλεκτρικό σύστημα σε συνθήκες αιχμής (αυτό το στοιχείο δίνεται από τους λογαριασμούς του ρεύματος).

Διαδικασία υπολογισμού: Το μέγεθος ενός πυκνωτή ή μιας διάταξης πυκνωτών σε kVAr καθορίζεται από τη σχέση: $P_C = P_R [\tan(\cos^{-1} pf_e) - \tan(\cos^{-1} pf_r)]$.

Παράδειγμα υπολογισμού:

Πρόβλημα: Η συνολική πραγματική ζήτηση ισχύος ενός κτιρίου είναι 500 kW με συντελεστή ισχύος $pf_e=0,70$. Να προσδιοριστεί το απαιτούμενο μέγεθος μιας διάταξης πυκνωτών που πρέπει να εγκατασταθούν παράλληλα με την ηλεκτρική σύνδεση του κτιρίου έτσι ώστε ο συντελεστής ισχύος να γίνει $pf_r=0,90$.

Λύση: Το μέγεθος σε kVAr του πυκνωτή είναι:

$$P_C = 500 [\tan(\cos^{-1} 0,70) - \tan(\cos^{-1} 0,90)] = 268 \text{ kVAr}$$

Έτσι, είναι ικανοποιητικός ένας πυκνωτής χωρητικότητας 275 kVAr.

3.6.2. Εγκατάσταση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης – ενεργειακό όφελος

Υπόβαθρο: Οι λαμπτήρες στους οποίους γίνεται αναφορά σ' αυτό το σημείο αντιπροσωπεύουν την επόμενη γενεά των υψηλής απόδοσης λαμπτήρων φθορισμού που σταδιακά διατίθενται στην αγορά. Αυτοί καταναλώνουν 40 Watt, αλλά έχουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των λαμπτήρων ίδιας ισχύος που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η αρχική ένταση φωτισμού αυτών των λαμπτήρων κυμαίνεται μεταξύ 3.300-3.700 lumens (περίπου 780-1.180 lumens μεγαλύτερη από αυτή των υφιστάμενων), καταλήγοντας σε 15-17% περίπου μεγαλύτερη απόδοση φωτός, λόγω κυρίως του στενότερου σώματος του σωλήνα και των ειδικών κραμάτων φωσφόρου. Επίσης, το αρχικό επίπεδο φωτισμού διατηρείται με αυτές τις λάμπες για μεγαλύτερο διάστημα, ενώ και η χρωματική απόδοση (ένα μέτρο της «ωφέλιμης» παραγωγής φωτός) είναι επίσης σημαντικά μεγαλύτερη γι' αυτούς τους λαμπτήρες. Επιπλέον, οι λαμπτήρες βελτιωμένης αποδοτικότητας έχουν συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους υφιστάμενους (υπολογιζόμενη σε 24.000-30.000 ώρες για 3 ώρες ανά άναμμα, έναντι των 20.000 ωρών). Σημειώνεται ότι αυτοί οι λαμπτήρες μπορούν να εγκατασταθούν σε όλα τα συνήθη φωτιστικά των 4-ποδών χωρίς μετατροπές.

Απαιτούμενα στοιχεία:

- WR_E : Ονομαστική ισχύς των υφιστάμενων φωτιστικών,
- WR_R : Ονομαστική ισχύς των ενεργειακά αποδοτικών φωτιστικών,
- N_{lum} : Αριθμός των φωτιστικών,
- N_h : Αριθμός των ωρών λειτουργίας ανά έτος του κάθε φωτιστικού.

Διαδικασία υπολογισμού: Η εξοικονόμηση ενέργειας σε kWh υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta kWh = N_{lum} \cdot (WR_E - WR_R) \cdot N_h \cdot \frac{1}{1000}$$

Παράδειγμα υπολογισμού:

Πρόβλημα: Ένα κτίριο έχει συνολικά 500 φωτιστικά με τέσσερις λαμπτήρες των 40W ανά φωτιστικό. Να προσδιοριστεί η εξοικονόμηση ενέργειας μετά την αντικατάστασή τους από δύο υψηλής αποδοτικότητας λαμπτήρες των 40W ανά φωτιστικό. Το κτίριο λειτουργεί 8 ώρες/ημέρα, 5 ημέρες/εβδομάδα, 50 εβδομάδες/έτος.

Λύση: Η εξοικονόμηση ενέργειας σε kWh είναι:

$$\Delta kWh = 500 \cdot (4 \cdot 40 - 2 \cdot 40) \cdot 8 \cdot 5 \cdot 50 \cdot \frac{1}{1000} = 80.000 kWh / \text{έτος}$$

Επομένως, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι 80.000 kWh/έτος.

4. ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

4.1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με μια έρευνα που διεξήχθη στις ΗΠΑ (ΕΙΑ, 1997), τέσσερις τύποι των συστημάτων θέρμανσης έχουν ευρεία χρήση στα εμπορικά κτίρια, συγκεκριμένα οι λέβητες, οι συμπαγείς μονάδες θέρμανσης, οι ανεξάρτητοι θερμοαντήρες χώρων και οι κλίβανοι. Οι λέβητες αποτελούν τον κύριο εξοπλισμό που αναλογικά χρησιμοποιείται στα θερμαινόμενα κτίρια, αφού παρέχουν θέρμανση περίπου στο 33% της συνολικής θερμαινόμενης επιφάνειας των εμπορικών κτιρίων στις ΗΠΑ.

Πάντως, λέβητες χρησιμοποιούνται μόνο στο 15% των θερμαινόμενων εμπορικών κτιρίων, ποσοστό σημαντικά μικρότερο από αυτό των κλιβάνων, που βρίσκονται σε χρήση σε περισσότερα από το 42% των εμπορικών κτιρίων των ΗΠΑ. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι οι λέβητες χρησιμοποιούνται συνήθως στα μεγάλα κτίρια, ενώ οι κλίβανοι στα μικρότερα. Από τους υφιστάμενους σε εμπορικά κτίρια των ΗΠΑ λέβητες, το 65% είναι αερίου, το 28% πετρελαίου και μόνο το 7% είναι ηλεκτρικοί. Η μέση απόδοση καύσης των υφιστάμενων λεβήτων κυμαίνεται μεταξύ 65 και 75%. Οι νέοι ενεργειακά αποδοτικοί λέβητες αερίου ή πετρελαίου μπορεί να έχουν αποδόσεις από 85 μέχρι και 95%.

4.2. Βασικές αρχές καύσης και τύποι καυσίμων

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούν οι λέβητες αποτελούνται από υδρογονάνθρακες που περιλαμβάνουν αλκίνια (C_nH_{2n-2}), π.χ. το ακετυλένιο ($n=2$), αλκένια (C_nH_{2n}), π.χ. το αιθυλένιο ($n=2$), και αλκάνια (C_nH_{2n+2}), π.χ. το οκτάνιο ($n=8$). Η τυπική αντίδραση της καύσης εμπλέκει ένα άτομο άνθρακα και δύο άτομα οξυγόνου με έκλυση θερμότητας, γνωστή ως θερμογόνος δύναμη (HV) του καυσίμου. Συνήθως η θερμογόνος δύναμη δίνεται όταν το καύσιμο είναι ξηρό, ενώ η υγρασία μειώνει τη θερμογόνο δύναμη σύμφωνα με τη σχέση: $HV=HV_{dry}(1-M)$, όπου M είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία του καυσίμου. Σημειώνεται ότι η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου αυξάνεται με την περιεκτικότητά του σε άνθρακα.

Τα υγρά ή αποστάξιμα καύσιμα ταξινομούνται γενικά σε κατηγορίες, ανάλογα με τις ιδιότητες τους. Για τα πετρελαϊκά καύσιμα υπάρχουν 6 διαφορετικοί βαθμοί, ανάλογα με το ιξώδες. Στον πίνακα 4.1 παρέχονται οι θερμογόνες δυνάμεις και η συνήθης χρήση των 5 πετρελαϊκών καυσίμων που πωλούνται στις ΗΠΑ. Το πετρελαϊκό καύσιμο N° 3 έχει πλέον ενσωματωθεί στο N° 2. Παρόμοια ταξινόμηση εφαρμόζεται και για τα καύσιμα diesel, όπου το diesel N° 1 χρησιμοποιείται σε κινητήρες υψηλών ταχυτήτων και το diesel N° 2 σε βιομηχανικές εφαρμογές και στα βαρέα οχήματα.

Πίνακας 4.1. Θερμογόνος δύναμη και ειδικό βάρος των πετρελαϊκών καυσίμων στις ΗΠΑ

Είδος καυσίμο	Ειδικό βάρος	Θερμογόνος δύναμη	Εφαρμογές
---------------	--------------	-------------------	-----------

υ		KWh/lit (MBtu/gal)	
No 1	0,805	9,7 (134)	Για εξάτμιση σε καυστήρες pot-type
No 2	0,850	10,4 (139)	Γενικής χρήσης οικιακή θέρμανση
No 3	0,903	10,9 (145)	Για καυστήρες χωρίς προθέρμανση
No 5	0,933	11,1 (148)	Απαιτεί προθέρμανση στους 75-95 °C
No 6	0,965	11,3 (151)	Απαιτεί προθέρμανση στους 95-115 °C

4.3. Διαμορφώσεις των λεβήτων και συνιστώσες τους

Συνήθως οι λέβητες έχουν αρκετές συνιστώσες, όπως είναι το μονωτικό περίβλημα, ο καυστήρας, το μηχανικό σύστημα απαγωγής καυσαερίων, σωλήνες και θάλαμοι για τα καυσαέρια και για την κυκλοφορία του νερού ή του ατμού, και συστήματα ελέγχου. Αρκετοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σχεδίαση των λεβήτων, όπως τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, η μέθοδος καύσης, η πίεση του ατμού και το δυναμικό. Πάντως, οι εμπορικοί και βιομηχανικοί λέβητες μπορούν να διακριθούν σε δύο κύρια είδη, τους λέβητες φλογοσωληνών ή υδροσωληνών, ανάλογα με τη σχετική θέση των θερμών αερίων της καύσης και του ρευστού που θερμαίνεται στο λέβητα. Παρακάτω περιγράφονται εν συντομία οι τύποι των λεβήτων και των καυστήρων τους.

4.3.1. Τύποι λεβήτων

Οι περισσότεροι εμπορικοί λέβητες κατασκευάζονται από ασάλι, ενώ μερικοί μικρότερου μεγέθους από χυτοσίδηρο. Στους ασάλινους λέβητες η θερμότητα της καύσης μεταφέρεται στο υγρό μέσω μιας διάταξης σωληνών, που μπορεί να είναι είτε υδροσωλήνες είτε φλογοσωλήνες.

Λέβητες φλογοσωληνών: Σ' αυτούς, τα προϊόντα της καύσης κυκλοφορούν μέσα σε σωλήνες βυθισμένους στο νερό του λέβητα. Για να αυξηθεί η επιφάνεια επαφής μεταξύ των θερμών αερίων και του νερού, χρησιμοποιούνται 2 έως 4 διαβάσεις για τους σωλήνες. Οι σωλήνες πολλαπλών διαβάσεων αυξάνουν την απόδοση του λέβητα, αλλά απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς ανεμιστήρα. Για οικονομικούς λόγους, η μέγιστη ισχύς των λεβήτων φλογοσωληνών περιορίζεται σε 10.000 kg ατμού ανά ώρα, σε πίεση λειτουργίας 16 atm (250 psi). Οι λέβητες αυτοί είναι γενικά απλοί στην εγκατάσταση και συντήρησή τους, ενώ έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται σε ξαφνικές και ευρείες διακυμάνσεις του φορτίου με μικρές μόνο μεταβολές της πίεσης.

Λέβητες υδροσωληνών: Σ' αυτούς τους λέβητες, το νερό ρέει μέσα σε σωλήνες που περιβάλλονται από τα καυσαέρια. Η κυκλοφορία του νερού οφείλεται στη διαφορά

πυκνότητας μεταξύ του κρύου νερού τροφοδοσίας και του μίγματος ζεστού νερού-ατμού στην έξοδο. Οι λέβητες αυτοί ταξινομούνται σε διάφορα είδη, ανάλογα με το σχήμα και τη θέση του τύμπανου, τη δυναμικότητα και τον αριθμό τους. Το μέγεθος των λεβήτων υδροσωλήνων κυμαίνεται από 400 kg ατμού ανά ώρα, μέχρι 1.000 MW. Οι μεγαλύτεροι βιομηχανικοί λέβητες παρέχουν περίπου 250.000 kg ατμού ανά ώρα.

Χυτοσιδηροί Λέβητες: Αυτοί χρησιμοποιούνται σε μικρές εγκαταστάσεις (κάτω της 1 MWh) όπου είναι σημαντική η μεγάλης διάρκειας λειτουργική ζωή. Αποτελούνται από προκατασκευασμένα τμήματα και έτσι είναι πιο εύκολη η επιτόπια συναρμολόγησή τους από τους ασάλινους λέβητες. Στις ίδιες δυναμικότητες, οι χυτοσιδηροί λέβητες είναι συνήθως πιο ακριβοί από τους λέβητες φλογοσωληνών ή υδροσωλήνων.

4.3.2. Συστήματα καύσης

Το σύστημα καύσης του λέβητα εξαρτάται από το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος καύσης για κάθε είδος καυσίμου.

Μονάδες αερίου: Το απλούστερο ως προς την καύση από τα συνήθη καύσιμα είναι το φυσικό αέριο, αφού αναμιγνύεται εύκολα με τον αέρα τροφοδοσίας. Η εισαγωγή του στον καυστήρα γίνεται μέσω στομίων που δημιουργούν πίδακες φυσικού αερίου, οι οποίοι αναμιγνύονται άμεσα με τον παρεχόμενο αέρα καύσης. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα σχεδιάσεων καυστήρων, ανάλογα με τον προσανατολισμό, τον αριθμό και τη θέση των στομίων. Ο έλεγχος των στομίων εισόδου του αερίου, ώστε όλες οι δίοδοι να είναι άφρακτες, πρέπει να αποτελεί μέρος της διαδικασίας τακτικής ρύθμισης και συντήρησης των λεβήτων αερίου. Επιπλέον, είναι σημαντικό να εντοπίζονται και να αντικαθίστανται όποια εξαρτήματα του καυστήρα δεν λειτουργούν σωστά ή λείπουν.

Μονάδες πετρελαίου: Τα πετρελαϊκά καύσιμα απαιτούν κάποια προετοιμασία και επεξεργασία πριν την τελική τροφοδοσία του καυστήρα, που συνήθως περιλαμβάνει:

- Τη χρήση πλεγμάτων και φίλτρων για τον καθαρισμό του καυσίμου και την απομάκρυνση των επικαθίσεων ή άλλων ξένων στερεών υλικών.
- Την προσθήκη προθερμαντήρων εν σειρά, ώστε να παρέχεται το καύσιμο με το κατάλληλο ιξώδες.
- Τη χρήση ψεκαστήρων για την τροφοδότηση του καυσίμου υπό μορφή μικρών σταγόνων πριν την ανάμιξη του με τον αέρα καύσης. Αυτό μπορεί να γίνει από έναν εκτοξευτήρα ενός άκρου με αρκετά στόμια που μπορούν να δημιουργήσουν λεπτό ψεκασμό. Επίσης, σε μικρούς λέβητες χρησιμοποιούνται δοχεία καυσίμου τα οποία περιστρέφουν το καύσιμο ώστε να επιτευχθεί λεπτός διαμερισμός.

Κατά τη ρύθμιση των κεντρικών συστημάτων θέρμανσης, πρέπει να εξετάζεται εάν ο καυστήρας είναι συμβατός με τη μονάδα του λέβητα. Ειδικότερα, είναι σημαντικό να πιστοποιείται ότι ο ψεκαστήρας έχει την κατάλληλη σχεδίαση, μέγεθος και θέση. Επίσης, τα

ακροφύσια πρέπει να καθαρίζονται και να εξετάζονται για τυχόν φθορές, ώστε να εξασφαλίζεται ότι το πετρέλαιο ψεκάζεται με το σωστό τρόπο.

Μονάδες άνθρακα: Ως πρωτογενές καύσιμο για τη λειτουργία του καυστήρα μερικών κεντρικών συστημάτων θέρμανσης χρησιμοποιείται ο άνθρακας. Η απόδοση αυτών των συστημάτων εξαρτάται από το σύστημα καύσης, τον τύπο του λέβητα-κλιβάνου και τα χαρακτηριστικά της στάχτης του άνθρακα. Μερικές μονάδες είναι εξοπλισμένες με συστήματα επανέγχυσης της στάχτης, με τα οποία η συλλεγόμενη στάχτη, που περιέχει άκαυστο άνθρακα, επανεισάγεται στον καυστήρα. Δύο κύρια συστήματα καύσης του άνθρακα υπάρχουν:

1. Συστήματα καύσης κονιοποιημένου άνθρακα, τα οποία κονιοποιούν, ξηραίνουν, ταξινομούν και μεταφέρουν τον άνθρακα στην είσοδο του αέρα στον καυστήρα. Γενικά, τα συστήματα αυτά θεωρούνται οικονομικότερα για τις μονάδες μεγάλης ισχύος (πάνω από 100.000 kg ατμού ανά ώρα).
2. Μονάδες τροφοδοσίας άνθρακα με κλίνη καύσης στη σχάρα του λέβητα, μέσω της οποίας τροφοδοτείται ο αέρας. Σε βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται αρκετές μέθοδοι καύσης με τροφοδοσία, όπως είναι οι μέθοδοι υποτροφοδοσίας, υπερτροφοδοσίας και διασποράς. Οι δύο πρώτες μέθοδοι απαιτούν ο άνθρακας να μεταφέρεται απευθείας στην κλίνη καύσης και συνήθως αντιδρούν βραδέως σε απότομες αλλαγές του φορτίου. Οι τροφοδότες διασποράς καίνε μερικώς τον αιωρούμενο άνθρακα πριν μεταφερθεί στη σχάρα, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σ' αυτούς πληθώρα καυσίμων, περιλαμβανομένων και των αποβλήτων.

4.3.3. Θερμική απόδοση του λέβητα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η καύση είναι μια χημική αντίδραση άνθρακα και οξυγόνου που παράγει θερμότητα. Το οξυγόνο προέρχεται από τον αέρα που παρέχεται στον καυστήρα για τη θέρμανση του λέβητα, ο οποίος περιέχει επίσης άζωτο που είναι άχρηστο για την καύση. Για να γίνει πλήρης καύση του καυσίμου υπό ιδανικές συνθήκες απαιτείται ένα συγκεκριμένο ποσό αέρα, γνωστό ως «στοιχειομετρικός αέρας». Εντούτοις, στις πραγματικές αντιδράσεις καύσης απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα αέρα από την ιδανική για να επιτευχθεί η πλήρης καύση του καυσίμου.

Ο κύριος τρόπος για την εξασφάλιση βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας στους λέβητες είναι η παροχή της σωστής ποσότητας περίσσειας αέρα για την καύση του καυσίμου. Είναι γενικά παραδεκτό ότι 10% περίσσεια αέρα δίνει το βέλτιστο λόγο αέρα/ καυσίμου για την πλήρη καύση. Η υπερβολική περίσσεια αέρα αυξάνει τις απώλειες καπνοδόχου και απαιτείται περισσότερο καύσιμο για την ανύψωση του εξωτερικού αέρα στη θερμοκρασία των καυσαερίων. Από την άλλη, εάν η τροφοδοσία του αέρα είναι ανεπαρκής, η καύση είναι ατελής και μειώνεται η θερμοκρασία της φλόγας.

Η ολική θερμική απόδοση ενός λέβητα ορίζεται ως ο λόγος της θερμότητας εξόδου (E_{out}) προς τη θερμότητα εισόδου (E_{in}):

$$\eta_b = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (4.1)$$

Η ολική απόδοση περιλαμβάνει την απόδοση της καύσης, τις απώλειες καπνοδόχου και τις απώλειες θερμότητας από τις εξωτερικές επιφάνειες του λέβητα. Η απόδοση της καύσης σχετίζεται με την αποτελεσματικότητα του καυστήρα ώστε να παρέχει το βέλτιστο λόγο καυσίμου/αέρα για την πλήρη καύση του καυσίμου.

Για τον καθορισμό της ολικής θερμικής απόδοσης του λέβητα απαιτούνται ορισμένες μετρήσεις. Ο έλεγχος που συνήθως εφαρμόζεται στους λέβητες είναι η ανάλυση των καυσαερίων με χρήση της συσκευής Orsat, για τον καθορισμό των συγκεντρώσεων κατ' όγκο των CO_2 , CO , O_2 , και N_2 στα αέρια της καύσης που εξέρχονται από την καπνοδόχο. Με βάση τη σύσταση και τη θερμοκρασία των καυσαερίων, μπορούν να γίνουν κάποιες ρυθμίσεις για να επιτευχθεί ο βέλτιστος λόγος αέρα-καυσίμου στο λέβητα, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσής του.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω γενικοί κανόνες για τη ρύθμιση της λειτουργίας του λέβητα:

- **Θερμοκρασία καμινάδας:** Όσο χαμηλότερη είναι αυτή, τόσο αποδοτικότερη είναι η καύση. Οι υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων σημαίνουν ότι δεν γίνεται καλή μεταφορά θερμότητας μεταξύ των θερμών καυσαερίων και του νερού. Οι θάλαμοι και οι σωλήνες μέσα στο λέβητα πρέπει να καθαρίζονται για να απομακρύνονται η αιθάλη, οι επικαθίσεις και επιστρώσεις, που μπορούν να μειώσουν τη μεταφορά της θερμότητας. Πάντως, η θερμοκρασία αυτή δεν πρέπει να είναι πολύ χαμηλή, για την αποφυγή συμπύκνωσης των υδρατμών στην καμινάδα, οι οποίοι αναμιγνύονται με θείο και μπορεί να προκαλέσουν διάβρωσή της. Ο πίνακας 4.2 παρέχει τις ελάχιστες θερμοκρασίες καμινάδας για συνήθεις τύπους καυσίμων.
- **Επίπεδο CO_2 :** Όσο υψηλότερο είναι αυτό, τόσο αποδοτικότερη είναι η καύση. Τα αποδεκτά κάτω όρια για το επίπεδο του CO_2 είναι 10% για τους λέβητες αερίου και 14% για τους λέβητες πετρελαίου. Εάν τα επίπεδα του CO_2 είναι χαμηλότερα από αυτά τα όρια, πιθανότατα η καύση είναι ατελής. Ο λόγος αέρα-καυσίμου θα πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να παρέχεται μεγαλύτερη περίσσεια αέρα.
- **Επίπεδο CO :** Δεν πρέπει να υφίσταται CO στα καυσαέρια. Πράγματι, τυχόν ίχνος CO υποδεικνύει ότι η αντίδραση της καύσης είναι ατελής, δηλαδή ότι δεν υπάρχει αρκετή περίσσεια αέρα. Η παρουσία του CO στα καυσαέρια μπορεί να ανιχνευθεί από την ύπαρξη καπνού, που οδηγεί στην απόθεση αιθάλης στους σωλήνες και τους θαλάμους του λέβητα.
- **Επίπεδο O_2 :** Όσο χαμηλότερο είναι το επίπεδο του O_2 τόσο πιο αποδοτική είναι η καύση. Το υψηλό επίπεδο O_2 αποτελεί ένδειξη υπερβολικής περισσειας αέρα. Το αποδεκτό άνω

όριο για το O₂ είναι 10% και, όταν υφίστανται επίπεδα μεγαλύτερα από αυτό, πρέπει να μειώνεται η περίσσεια αέρα.

Πίνακας 4.2. Ελάχιστη θερμοκρασία καμινάδας για την αποφυγή διάβρωσής της

Είδος καυσίμου σε χρήση από το λέβητα	Θερμοκρασιακό όριο (°C)
Πετρέλαιο	200
Ασφαλτούχος άνθρακας	150
Φυσικό αέριο	105

Όταν η περίσσεια αέρα δεν είναι αρκετή, μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες ρυθμίσεις:

1. Λειτουργία του λέβητα σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο καύσης και χειροκίνητη εκκίνηση των συστημάτων ελέγχου της καύσης.
2. Αφού αποκατασταθεί σταθερή λειτουργία, λήψη μιας πλήρους σειράς μετρήσεων (σύσταση και θερμοκρασία των καυσαερίων).
3. Αύξηση της περισσειας αέρα κατά 1 έως 2% και λήψη νέας σειράς μετρήσεων (αφού αποκατασταθούν συνθήκες σταθερής λειτουργίας του λέβητα).
4. Μείωση της περισσειας αέρα κατά μικρά βήματα, μέχρι μιας ελάχιστης τιμής της περισσειας O₂ (δηλαδή, όταν η καύση είναι ατελής και ένα σημαντικό επίπεδο CO – πάνω από 400 ppm – ανιχνεύεται στα καυσαέρια). Λήψη μετρήσεων μετά από κάθε αλλαγή (αφού αποκατασταθεί η ομαλή λειτουργία του λέβητα).
5. Σχεδίαση των δεδομένων των μετρήσεων για τον καθορισμό της διακύμανσης του επιπέδου του CO συναρτήσει του ποσοστού του O₂ στα καυσαέρια. Συνήθως λαμβάνεται ένα περιθώριο για την περίσσεια του O₂ που κυμαίνεται από 0,5 έως 2% πάνω από την ελάχιστη τιμή.
6. Ρύθμιση εκ νέου των συστημάτων ελέγχου του καυστήρα για να διατηρηθεί η περίσσεια του O₂ στο περιθώριο που καθορίστηκε στο βήμα 5.
7. Επανάληψη των βημάτων 1 - 6 για διάφορους ρυθμούς καύσης που απαντώνται κατά τη λειτουργία του λέβητα. Συνιστάται οι έλεγχοι να γίνονται από τους πιο υψηλούς προς τους πιο χαμηλούς ρυθμούς καύσης.

Οι νέες λειτουργικές ρυθμίσεις πρέπει να παρακολουθούνται για αρκετό χρονικό διάστημα (ένα ή δύο μήνες) ώστε να εξασφαλισθεί η σωστή λειτουργία του λέβητα. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τον καθορισμό της ολικής απόδοσης του λέβητα από τις μετρήσεις της σύστασης και της θερμοκρασίας των καυσαερίων. Μία από αυτές εφαρμόζεται τόσο στους λέβητες πετρελαίου όσο και στους λέβητες αερίου και παρατίθεται στο Παράρτημα (τέλος του κεφαλαίου). Το παράδειγμα 4.1 δείχνει πώς μπορεί να εφαρμοσθεί η τεχνική αυτή για τον καθορισμό της απόδοσης του λέβητα.

Παράδειγμα 4.1: Η ανάλυση των καυσαερίων ενός λέβητα πετρελαίου έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε CO₂ είναι 11%, με θερμοκρασία καυσαερίων 343°C. Να καθοριστεί η ολική θερμική απόδοση του λέβητα.

Λύση: Από τα σχήματα του Παραρτήματος προκύπτει ότι, η καύση γίνεται με περίσσεια αέρα 38% και περίσσεια O_2 6%. Η ολική θερμική απόδοση του λέβητα είναι περίπου 78%.

4.4. Βελτίωση της απόδοσης του λέβητα

Υπάρχουν αρκετά μέτρα με τα οποία μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση του λέβητα μιας υφιστάμενης εγκατάστασης, με εξοικονόμηση στην κατανάλωση καυσίμων από την εγκατάσταση. Ανάμεσα σ' αυτά τα μέτρα περιλαμβάνονται:

- Η ρύθμιση του υφιστάμενου λέβητα.
- Η αντικατάσταση του υφιστάμενου λέβητα με άλλον λέβητα υψηλής απόδοσης.
- Η χρήση λεβήτων με υπομονάδες.

Για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης στην κατανάλωση καυσίμων (ΔFU) λόγω της αλλαγής στην απόδοση του λέβητα χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta FU = \frac{\eta_{eff} - \eta_{std}}{\eta_{eff}} \cdot FU_{std} \quad (4.2)$$

όπου η_{std} , η_{eff} είναι αντίστοιχα η απόδοση του παλαιού και του νέου λέβητα, και FU_{std} είναι η κατανάλωση καυσίμων πριν από οποιαδήποτε μετασκευή του λέβητα. Είναι, επομένως, σημαντικό να υπολογίζεται και η παλαιά και η νέα ολική θερμική απόδοση του λέβητα προκειμένου να εκτιμηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας. Στη συνέχεια δίνεται μια λεπτομερέστερη περιγραφή των διάφορων μέτρων βελτίωσης του λέβητα, μαζί με κάποια εκτίμηση του αποτελέσματός τους.

4.4.1. Ρύθμιση υφιστάμενου λέβητα

Η θερμική απόδοση του λέβητα μπορεί να υπολογιστεί με την ανάλυση της σύστασης και της θερμοκρασίας των καυσαερίων, με χρήση της τεχνικής του Παραρτήματος. Εάν βρεθεί χαμηλή απόδοση λόγω λανθασμένης περισσειας του αέρα, ο λέβητας μπορεί να ρυθμιστεί και να βελτιωθεί η απόδοσή του, όπως περιγράφεται στη βήμα προς βήμα διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω. Για το σκοπό αυτό απαιτείται κατάλληλος εξοπλισμός, π.χ. ένας αναλυτής καυσαερίων και μία συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας. Στο παράδειγμα 4.2 παρουσιάζεται ένας τρόπος εκτίμησης της οικονομικής αποδοτικότητας της ρύθμισης του λέβητα.

Παράδειγμα 4.2: Ο λέβητας του παρ. 4.1 καταναλώνει 1.500.000 lit πετρελαίου ανά έτος. Το κόστος αγοράς των οργάνων που απαιτούνται για τη ρύθμιση του λέβητα, ώστε η περίσσεια O_2 να είναι μόνο 3%, είναι \$20.000. Να καθοριστεί η περίοδος αποπληρωμής των οργάνων, εάν το κόστος του καυσίμου είναι \$0,02/lit.

Λύση: Από το παρ. 4.1, ο υφιστάμενος λέβητας έχει περίσσεια O₂ 6% και ολική θερμική απόδοση περίπου 78% (δηλ., $\eta_{std}=0,78$). Μετά από τη ρύθμιση του λέβητα η περίσσεια O₂ είναι 3%. Η νέα απόδοση του λέβητα μπορεί να υπολογιστεί από τη θερμοκρασία των καυσαερίων (343°C) και την περίσσεια O₂ (3%) με χρήση των σχημάτων του Παραρτήματος, οπότε βρίσκεται ότι: $\eta_{eff}=84\%=0,84$. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.2), η εξοικονόμηση καυσίμου υπολογίζεται ως:

$$\Delta FU = \frac{0,84 - 0,78}{0,84} \cdot 1.500.000 \text{ lit / yr} = 107.140 \text{ lit / yr}$$

Επομένως, η απλή περίοδος αποπληρωμής των οργάνων είναι:

$$SBP = \frac{\$20.000}{107.140 \text{ lit / yr} \cdot \$0,20 / \text{lit}} \approx 1,0 \text{ έτος}$$

Άλλα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για την αύξηση της ολικής απόδοσης του λέβητα είναι τα εξής:

- Εγκατάσταση ελατηρίων στους φλογοσωλήνες για τη δημιουργία περισσότερης τύρβης, ώστε να αυξηθεί έτσι η μεταφορά θερμότητας μεταξύ των θερμών αερίων της καύσης και του νερού. Η βελτίωση στην απόδοση του λέβητα μπορεί να καθοριστεί με τη μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, η οποία θα μειωθεί όταν εγκατασταθούν τα ελατήρια. Πρακτικά, αναμένεται αύξηση κατά 2,5% της απόδοσης του λέβητα για κάθε μείωση της θερμοκρασίας καμινάδας κατά 50°C.
- Μόνωση του περιβλήματος του λέβητα για τη μείωση των απωλειών. Η βελτίωση στην απόδοση του λέβητα εξαρτάται από τη θερμοκρασία της επιφάνειάς του.
- Εγκατάσταση φουσητήρων αιθάλης για την απομάκρυνση των επικαθίσεων στους σωλήνες, που μειώνουν τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ των θερμών αερίων της καύσης και του νερού. Η βελτίωση στην απόδοση του λέβητα εξαρτάται από τη θερμοκρασία των καυσαερίων.
- Χρήση εξοικονομητών για τη μεταφορά ενέργειας από τα καυσαέρια στο νερό τροφοδοσίας. Η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν πρέπει να μειωθεί κάτω από τα όρια του πίνακα 4.2, για την αποφυγή προβλημάτων διάβρωσης. Πρακτικά, αναμένεται αύξηση κατά 1% της απόδοσης του λέβητα για κάθε αύξηση κατά 5°C της θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας.
- Χρήση προθερμαντήρων του αέρα για τη μεταφορά ενέργειας από τα καυσαέρια της καμινάδας στον αέρα της καύσης. Η θερμοκρασία καμινάδας δεν πρέπει να μειωθεί περισσότερο από τις τιμές του πίνακα 4.2.

Ο εξοπλισμός ανάκτησης θερμότητας από τα καυσαέρια (δηλαδή, οι εξοικονομητές και οι προθερμαντήρες αέρα) είναι συνήθως ο πιο οικονομικά αποδοτικός βοηθητικός εξοπλισμός που μπορεί να προστεθεί για τη βελτίωση της ολικής θερμικής απόδοσης του συστήματος του λέβητα.

4.4.2. Λέβητες υψηλής απόδοσης

Οι κατασκευαστές των λεβήτων συνεχώς βελτιώνουν τόσο την απόδοση της καύσης όσο και την ολική απόδοσή τους. Σήμερα, οι εμπορικού μεγέθους μονάδες μπορούν να επιτύχουν απόδοση καύσης μεγαλύτερη από 95%. Για τους συμβατικούς λέβητες, κατά παράδοση θεωρείται ικανοποιητική απόδοση πάνω από 85%. Μία από τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες καύσης που διατίθεται σήμερα στην αγορά είναι οι λέβητες αερίου παλμικής καύσης. Αυτή η τεχνολογία εφαρμόστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '80 σε οικιακούς θερμοαντήρες νερού και σήμερα υφίσταται σε αρκετούς λέβητες εμπορικού μεγέθους, για θέρμανση χώρων και νερού χρήσης.

Οι λέβητες παλμικής καύσης λειτουργούν ουσιαστικά όπως οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Ο αέρας και το αέριο καύσιμο εισάγονται σε ένα στεγανό θάλαμο καύσης σε κατάλληλες ποσότητες. Στη συνέχεια, το μίγμα αναφλέγεται με σπινθήρα και, όταν καεί πλήρως, απάγεται μέσω ενός σωλήνα εξαγωγής. Σχεδόν όλη η θερμότητα της καύσης χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού του λέβητα, αφού τα καυσαέρια έχουν σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, της τάξης των 50°C. Όταν θερμανθεί πλήρως ο θάλαμος καύσης, τα επόμενα μίγματα αέρα/καυσίμου (οι «παλμοί») αναφλέγονται αυτόματα (χωρίς ανάγκη ηλεκτρικού σπινθήρα). Έτσι, δεν απαιτείται ούτε καυστήρας που καταναλώνει καύσιμο, ούτε φλόγα που να διατηρείται συνεχώς αναμμένη.

Κατά τη λειτουργία τους οι παλμικοί λέβητες απάγουν τη λανθάνουσα θερμότητα από τα προϊόντα της καύσης, συμπυκνώνοντας τα καυσαέρια. Έτσι, αυξάνεται η απόδοση του λέβητα και τα καυσαέρια έχουν μικρή περιεκτικότητα σε υδρατμούς, οπότε αποφεύγονται τα προβλήματα διάβρωσης της καμινάδας. Η απόδοση των λεβήτων παλμικής καύσης μπορεί να φθάσει το 95 έως 99%. Όταν συνδυαστούν με άλλες υψηλής απόδοσης διατάξεις μεταφοράς της θερμότητας, η ολική θερμική απόδοση του συστήματος θέρμανσης μπορεί να ανέλθει στο 90%. Εξάλλου, οι λέβητες αυτοί μπορούν να φθάσουν στη θερμοκρασία λειτουργίας τους στο μισό χρόνο από αυτόν των συμβατικών, ενώ εκπέμπουν σαφώς λιγότερους ρύπους στην ατμόσφαιρα.

4.4.3. Λέβητες με υπομονάδες

Σχεδόν όλα τα συστήματα θέρμανσης είναι πιο αποδοτικά όταν λειτουργούν σε πλήρη ισχύ. Βελτιώσεις της απόδοσης στα φορτία αιχμής έχουν ως αποτέλεσμα τη μικρότερη κατανάλωση καυσίμου. Πάντως, η μείωση στην κατανάλωση καυσίμου δεν είναι απαραίτητα ανάλογη με τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος θέρμανσης. Εξάλλου, στις εγκαταστάσεις αυτές σπανίως υφίστανται φορτία αιχμής και ο λέβητας συνηθέστερα λειτουργεί υπό συνθήκες μερικού φορτίου. Μερικοί λέβητες μπορεί να λειτουργούν αναγκαστικά με κυκλικό ρυθμό εκκίνησης-διακοπής, που είναι όμως μια μη αποδοτική μορφή λειτουργίας, αφού όταν διακόπτεται χάνεται θερμότητα μέσω των καμινάδας προς το περιβάλλον και ψύχεται το νερό στους σωλήνες διανομής.

Αυτές οι απώλειες πρέπει να αναπληρωθούν κατά την επανεκκίνηση του λέβητα. Εάν η δυναμικότητα του λέβητα είναι υψηλότερη από το φορτίο, η κυκλική αυτή λειτουργία μπορεί να είναι συχνή και οι απώλειες σημαντικές, μειώνοντας έτσι την εποχιακή απόδοση του συστήματος θέρμανσης. Αντί της λειτουργίας του λέβητα με εκκίνηση-διακοπή, μπορούν να καθορισθούν έλεγχοι που χρησιμοποιούν βηματικούς (υψηλός/ χαμηλός/μηδενικός) ή μεταβλητούς ρυθμούς καύσης (από 100 μέχρι 15%). Ένα άλλο αποτελεσματικό μέτρο για την αποφυγή της κυκλικής λειτουργίας των λεβήτων είναι η εγκατάσταση ενός αριθμού μικρότερων λεβήτων ή λεβήτων με υπομονάδες.

Σε μια εγκατάσταση λέβητα με υπομονάδες, αρχικά εκκινεί ένας λέβητας για την κάλυψη των μικρών θερμικών φορτίων. Κατόπιν, καθώς αυξάνεται το φορτίο, νέοι λέβητες εκκινούν και μπαίνουν σε σειρά ώστε να αυξηθεί σταδιακά το δυναμικό του συστήματος θέρμανσης. Αντίστοιχα, καθώς μειώνεται το φορτίο, οι λέβητες βγαίνουν εκτός ο ένας μετά τον άλλον. Διαφόρων μεγεθών προκατασκευασμένα συστήματα λεβήτων με υπομονάδες, από περίπου 50 kWh έως 1 MWh, διατίθενται στο εμπόριο. Πάντως, και οι αυτόνομες μονάδες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με σωλήνες και καλωδιώσεις ώστε να διαμορφώσουν ένα αποδοτικό σύστημα θέρμανσης με υπομονάδες. Εξάλλου, οι πολλαπλοί λέβητες επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία στη χρήση του χώρου, αφού μπορούν να μεταφερθούν μέσω θυρίδων από τις οποίες δεν μπορεί να διέλθει ένας μεγάλος λέβητας. Έτσι, οι λέβητες με υπομονάδες μπορούν να τοποθετηθούν σε εγκαταστάσεις όπου υφίσταται περιορισμός χώρου.

Οι εγκαταστάσεις λεβήτων με υπομονάδες είναι κατάλληλες για εφαρμογές με μεγάλη διακύμανση των φορτίων θέρμανσης, ατμού ή ζεστού νερού, όπως τα ξενοδοχεία, τα σχολεία ή τα πολυώροφα κτίρια. Οι λέβητες αυτοί μπορούν να αυξήσουν την ολική εποχιακή απόδοση του συστήματος θέρμανσης κατά 15 έως 30%. Για παράδειγμα, σε ένα εμπορικό κέντρο επιφάνειας 5.000 m² στην Αιόβα, με περισσότερα από 16 καταστήματα και εστιατόριο, εγκαταστάθηκαν 12 πολλαπλοί λέβητες δυναμικότητας 40 kWh ο καθένας. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του συστήματος, τα θερμικά οφέλη είναι περίπου 33% σε σχέση με ένα συμβατικό λέβητα αερίου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Μεθοδολογία ελέγχου απόδοσης καύσης

Δεδομένα μετρήσεων

Θερμοκρασία καυσαερίων: _____ °C (1)

Θερμοκρασία αέρα καύσης: _____ °C (2)

%O₂ στα καυσαέρια: _____ % (3)

%CO στα καυσαέρια: _____ % (4)

Περίσσεια αέρα:
(από το διάγραμμα A.1) _____ % (5)

Απώλειες ξηρών καυσαερίων
(από το διάγραμμα A.2) _____ % (6)

Απώλειες λόγω υδρογόνου:
(από το διάγραμμα A.3) _____ % (7)

Απώλειες από ακτινοβολία:
(από το διάγραμμα A.5) _____ % (8)

Απώλειες λόγω μονοξειδίου του άνθρακα:
(από το διάγραμμα A.4) _____ % (9)

Μη προβλέψιμες απώλειες:
(Συνήθως 1%) _____ % (10)

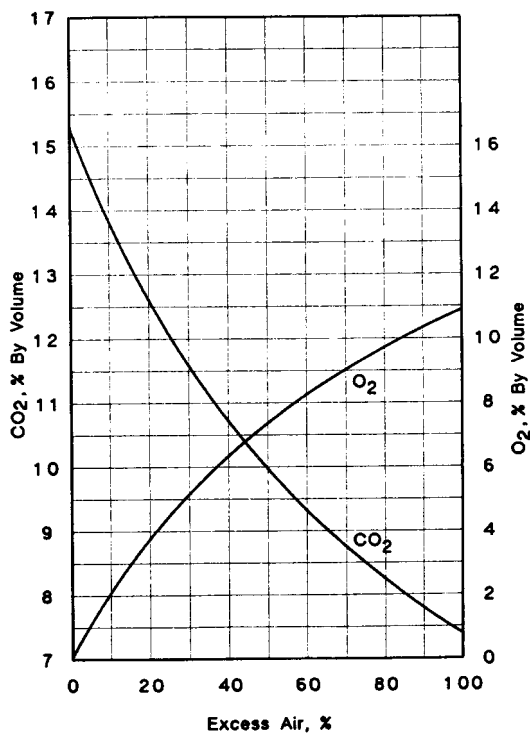
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

(Άθροισμα των (6) έως (10)): _____ % (11)

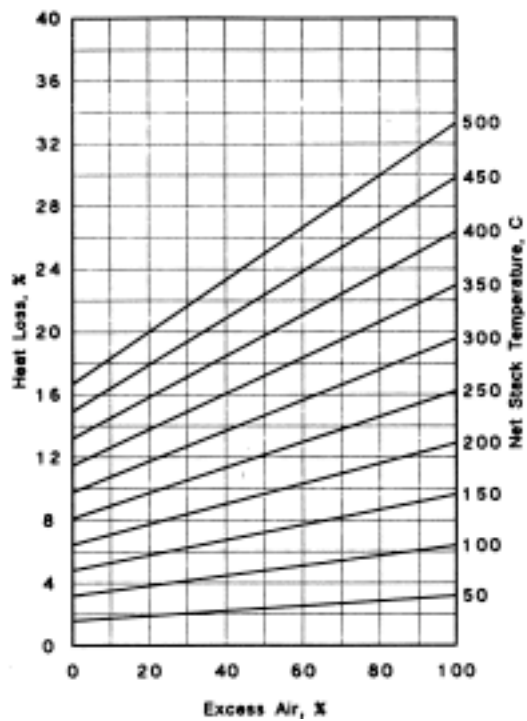
ΑΠΟΔΟΣΗ = 100 – (11)

= _____ %

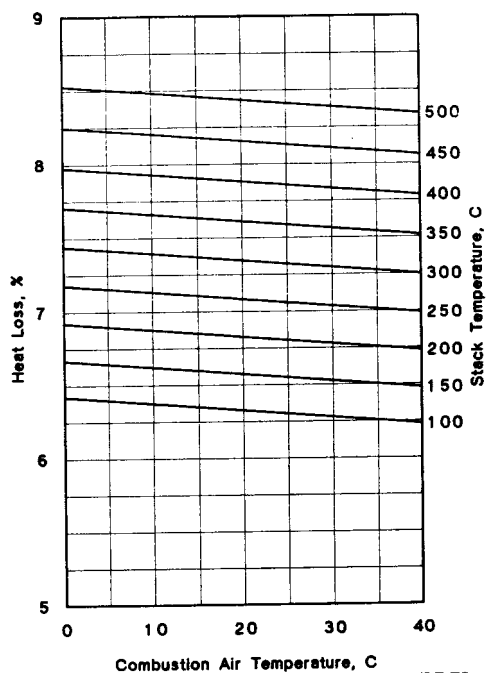
Σημείωση: Τα σχήματα που παρατίθενται στη συνέχεια ελήφθησαν από το εγχειρίδιο: "Combustion", Energy Management Series for industry, commerce and institutions, Vol. 5, Ministry of supply and services, Canada 1989.



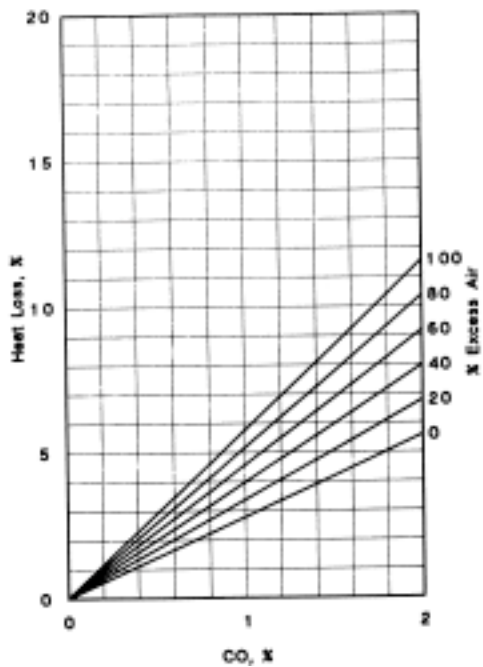
Διάγραμμα A.1. Προσδιορισμός περίσσειας αέρα



Διάγραμμα A.2. Απώλειες ξηρών καυσαερίων

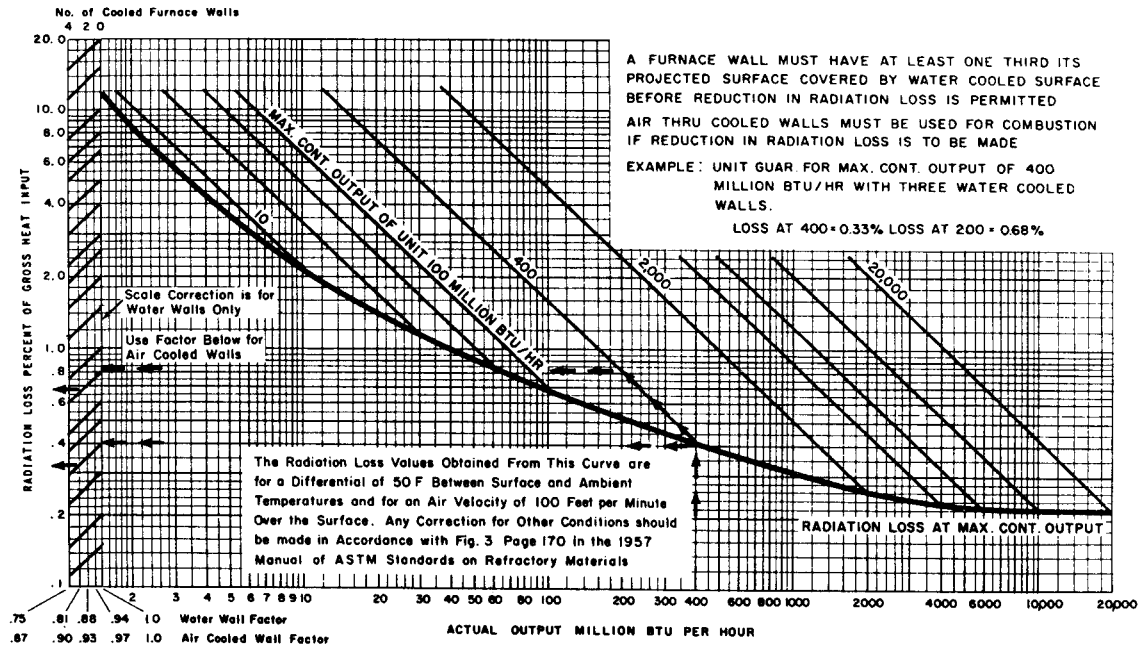


Διάγραμμα A.3. Απώλειες λόγω υδρογόνου



Διάγραμμα A.4. Απώλειες λόγω CO

RADIATION HEAT LOSS FROM BOILER WALLS



Διάγραμμα Α.5. Απώλειες από ακτινοβολία

5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ

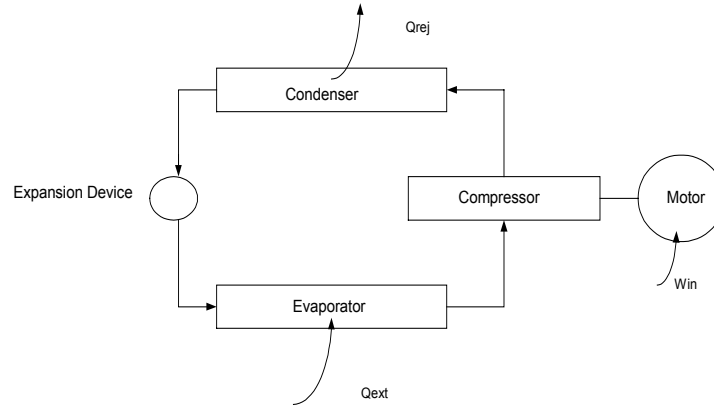
5.1. Εισαγωγή

Γενικά, τα ψυκτικά συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές βιομηχανικής ψύξης, αποθήκευσης τροφίμων και κλιματισμού. Σύμφωνα με μια έρευνα που διεξήχθη στις ΗΠΑ (EIA, 1997), στα εμπορικά κτίρια χρησιμοποιούνται αρκετοί τύποι ψυκτικών συστημάτων, όπως είναι οι ολοκληρωμένες μονάδες κλιματισμού, τα κεντρικά συστήματα ψύξης, τα ατομικά κλιματιστικά, οι αντλίες θερμότητας, η τηλεψύξη, οι εξατμιστικοί ψύκτες. Από αυτά, οι ολοκληρωμένες κλιματιστικές μονάδες αποτελούν τον κυριότερο εξοπλισμό σε χρήση, τόσο ως ποσοστό στο σύνολο των κλιματιζόμενων κτιρίων (42%) όσο και στο σύνολο της κλιματιζόμενης επιφάνειας (55%). Από την άλλη, τα κεντρικά συστήματα ψύξης χρησιμοποιούνται μόνο στο 4% των κλιματιζόμενων κτιρίων, αλλά ψύχουν το 27% της συνολικής επιφάνειας.

Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι τα κεντρικά συστήματα ψύξης συνήθως χρησιμοποιούνται στα μεγαλύτερα κτίρια, ενώ οι ολοκληρωμένες μονάδες στα μικρότερα. Εξάλλου, μια εκτεταμένη έρευνα για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις σε κτίρια γραφείων στην Ιαπωνία έδειξε ότι, το 48% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σ' αυτά καταναλώνεται στον κλιματισμό. Από αυτό το 48%, οι απώλειες ενέργειας αποτελούν το 28% και μόνο το υπόλοιπο 20% αντιστοιχεί στην πραγματική παραγωγή της απαραίτητης ψυκτικής ενέργειας από το σύστημα ψύξης, αυξάνοντας επίσης τους ρύπους που εκλύονται προς το περιβάλλον. Στη συνέχεια, γίνεται μια αναφορά στα εν χρήσει ψυκτικά συστήματα και στις αποδόσεις τους, ενώ παρατίθενται επίσης κάποια συνήθη μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσής τους.

5.2. Βασικές αρχές της ψύξης

Ένα συνηθισμένο ψυκτικό σύστημα αποτελείται από αρκετές συνιστώσες, που περιλαμβάνουν ένα συμπιεστή, συμπυκνωτή, εξατμιστή, μία διάταξη διαστολής και βοηθητικό εξοπλισμό. Το σχήμα 5.1 παρουσιάζει ένα απλό σύστημα ψύξης όπου ο συμπιεστής οδηγείται από έναν κινητήρα.



Σχήμα 5.1. Σύνηθες ψυκτικό σύστημα οδηγούμενο από ηλεκτρικό κινητήρα

Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόληψη της ψύξης γίνεται στον εξαμιστή, ενώ στο συμπυκνωτή γίνεται η απόρριψη της θερμότητας. Τόσο ο εξαμιστής όσο και ο συμπυκνωτής είναι εναλλάκτες θερμότητας. Στον εξαμιστή, η θερμότητα απάγεται προς το ψυκτικό μέσο από το νερό που κυκλοφορεί μέσα στις σερπαντίνες μιας μονάδας διαχείρισης του αέρα. Στον συμπυκνωτή, η θερμότητα απάγεται από το ψυκτικό μέσο και αποβάλλεται προς τον εξωτερικό αέρα (αερόψυκτοι συμπυκνωτές) ή σε νερό (υδρόψυκτοι συμπυκνωτές που συνδέονται με ψυκτικούς πύργους).

Ο συντελεστής απόδοσης (COP) καθορίζει την ενεργειακή αποδοτικότητα ενός ψυκτικού συστήματος και είναι ο λόγος της θερμότητας που απάγεται προς την απαιτούμενη παρεχόμενη ενέργεια. Στην περίπτωση των ηλεκτρικά οδηγούμενων ψυκτικών συστημάτων, σαν αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.1, ο COP μπορεί να οριστεί ως: $COP = Q_{ext}/W_{in}$, όπου τα Q_{ext} και W_{in} εκφράζονται με τις ίδιες μονάδες (δηλαδή W ή kW) ώστε ο COP να είναι αδιάστατος. Οι περισσότεροι κατασκευαστές παρέχουν τον COP για τα συστήματά τους υπό συνθήκες πλήρους φορτίου.

Η μέγιστη θεωρητική τιμή του COP αντιστοιχεί στον ιδανικό κύκλο Carnot, που αποτελείται από ισεντροπική συμπίεση και εκτόνωση και ισοθερμική εξάτμιση και συμπύκνωση. Στα πραγματικά συστήματα ψύξης δεν μπορεί να επιτευχθεί ο κύκλος Carnot, λόγω των απωλειών στη συμπίεση και την εκτόνωση του ψυκτικού μέσου, τις απώλειες πίεσης στις γραμμές μεταφοράς και τις απώλειες θερμότητας κατά την απόρριψη και την απορρόφηση. Πάντως, είναι χρήσιμη η σύγκριση του COP ενός πραγματικού ψυκτικού συστήματος με αυτή του κύκλου Carnot που λειτουργεί μεταξύ των ιδίων θερμοκρασιών για την εκτίμηση των δυνατοτήτων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης κατά το σχεδιασμό των ψυκτικών μονάδων.

Ο COP του ιδανικού κύκλου Carnot μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει της απόλυτης θερμοκρασίας του εξαμιστή (T_C - η χαμηλότερη θερμοκρασία του κύκλου) και του συμπυκνωτή (T_H - η υψηλότερη θερμοκρασία του κύκλου) ως ακολούθως:

$$COP_{Carnot} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (5.1)$$

Με τη χρήση των τυπικών συνθηκών για ψύκτες νερού σύμφωνα με τα πρότυπα ARI 550/590 (1998) ($T_H=308$ K και $T_C=280$ K), ο COP_{Carnot} υπολογίζεται σε 9,88. Σήμερα, οι πιο αποδοτικοί φυγοκεντρικοί ψύκτες έχουν COP περίπου 7,0 (70% του ιδανικού, σύμφωνα με τον κύκλο Carnot).

Η ισχύς των ψυκτικών συστημάτων εκφράζεται σε kW και καθορίζεται από τη μέγιστη ποσότητα της θερμότητας που μπορεί να εξαχθεί. Οι κατασκευαστές των ψυκτικών συστημάτων εκφράζουν την ισχύ τους σε τόνους (1 ton είναι περίπου 3,516 kW) και την ενεργειακή τους απόδοση σε kW/ton. Επίσης, η ενεργειακή αποδοτικότητα των ηλεκτρικά οδηγούμενων ψυκτικών συστημάτων μπορεί να εκφραστεί με το λόγο ενεργειακής αποδοτικότητας (EER), που είναι ο λόγος της θερμότητας που εξάγεται (σε Btu/h) προς την απαιτούμενη παρεχόμενη ενέργεια (σε Watt). Έτσι, η σχέση μεταξύ EER και COP είναι: $EER=3,414 \cdot COP$.

Τα παραπάνω ισχύουν για τις ΗΠΑ, αφού στην Ευρώπη ο EER ορίζεται ως ακριβώς ίδιος με τον COP. Πάντως, το υφιστάμενο Ευρωπαϊκό πρότυπο EN814 (CENELEC, 1997) καθορίζει ότι ο όρος COP πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για τη λειτουργία θέρμανσης των αντλιών θερμότητας. Στις άλλες περιπτώσεις, για τη δήλωση της ενεργειακής απόδοσης των κλιματιστικών και των αντλιών θερμότητας το πρότυπο απαιτεί τη χρήση του όρου EER. Το πρότυπο ARI 550/590 επιτρέπει τη δήλωση της ενεργειακής απόδοσης των ψυκτικών συστημάτων νερού που χρησιμοποιούν κύκλο συμπύεσης ατμού με μια από τις τρεις παραμέτρους COP, EER ή kW/ton.

Εφόσον τα ψυκτικά συστήματα λειτουργούν συχνά υπό συνθήκες μερικού φορτίου κατά τη διάρκεια του έτους, έχουν προταθεί και άλλοι συντελεστές απόδοσης στην προσπάθεια για καλύτερη εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης των ψυκτικών μονάδων σε ένα μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο τέτοιες παράμετροι, ο λόγος εποχιακής ενεργειακής απόδοσης (SEER) και η τιμή του ολοκληρωμένου μερικού φορτίου (IPLV). Το πρότυπο ARI 550/590 ορίζει την τιμή IPLV με τη σχέση: $IPLV = 0,01 \times A + 0,42 \times B + 0,45 \times C + 0,12 \times D$, με A τον COP (ή τον EER) σε 100% φορτίο, B σε 75%, C σε 50% και D σε 25% φορτίο.

5.3. Τύποι των ψυκτικών συστημάτων

Όπως αναφέρθηκε ήδη, υπάρχουν σήμερα αρκετοί τύποι ψυκτικών συστημάτων για τον κλιματισμό χώρων, οι πιο συνηθισμένοι από τους οποίους ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα αυτόνομα συστήματα και τους κεντρικούς ψύκτες.

5.3.1. Αυτόνομα κλιματιστικά συστήματα

Τα συστήματα αυτά είναι συνήθως εργοστασιακά συναρμολογημένες μονάδες που αποδίδουν είτε μόνο ψύξη είτε και θέρμανση, και περιλαμβάνουν τις ολοκληρωμένες μονάδες κλιματισμού, τα ατομικά κλιματιστικά, τις μονάδες κλιματισμού οικιακού τύπου και τις αντλίες θερμότητας. Σε σχέση με τα κεντρικά συστήματα, τα αυτόνομα κλιματιστικά έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής και μικρότερη απόδοση. Συνήθως εγκαθίστανται σε μικρά εμπορικά κτίρια (με λιγότερους από τρεις ορόφους), δηλαδή σε μικρά κτίρια γραφείων, εμπορικά καταστήματα ή σχολεία.

Οι ολοκληρωμένες κλιματιστικές μονάδες είναι συμπαγή συστήματα τοποθετημένα σε κλειστούς θαλάμους, και περιλαμβάνουν:

- *Συστήματα οροφής*, τα οποία συνήθως τοποθετούνται στην οροφή. Για εμπορικά κτίρια, οι μονάδες αυτές διατίθενται για την κάλυψη φορτίων από 17 έως 70 kW, αν και οι κατά παραγγελία μονάδες μπορούν να φθάσουν σε ισχύ τα 350 kW. Για τις κατοικίες, η συνηθισμένη ισχύς είναι μεταξύ 3 και 7 kW. Οι περισσότερες μονάδες είναι εξοπλισμένες με ένα σύστημα θέρμανσης (ενσωματωμένο λέβητα αερίου, ηλεκτρική αντίσταση, κ.λπ.) ώστε να παρέχουν και ψύξη και θέρμανση.
- *Κάθετα ολοκληρωμένα συστήματα*, τα οποία συνήθως σχεδιάζονται για εσωτερική εγκατάσταση. Τα περισσότερα συστήματα έχουν υδρόψυκτους συμπυκνωτές.
- *Διαιρούμενα ολοκληρωμένα συστήματα*, στα οποία ο αερόψυκτος συμπυκνωτής και ο συμπιεστής συνήθως εγκαθίστανται εξωτερικά του χώρου και ο εξατμιστής εγκαθίσταται σε μία εσωτερική μονάδα διαχείρισης του αέρα.

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για ψύξη και για θέρμανση με απλή αντιστροφή της ψυκτικής ροής μέσα σ' αυτές. Η καταβόθρα της θερμότητας (ή πηγή της) για την αντλία θερμότητας μπορεί να είναι ο αέρας, το νερό ή το έδαφος. Για εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές, οι αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα έχουν ισχύ μέχρι 90 kW, ενώ οι υδρονικές αντλίες θερμότητας μπορεί να έχουν υψηλότερο ψυκτικό δυναμικό. Οι αντλίες θερμότητας που συνδιάζονται με το έδαφος είναι ακόμη μικρού μεγέθους και είναι κατάλληλες περισσότερο για οικιακές εφαρμογές.

5.3.2. Κεντρικά ψυκτικά συστήματα

Στα μεγάλα κτίρια χρησιμοποιούνται κεντρικά ψυκτικά συστήματα που ψύχουν νερό για τον κλιματισμό των χώρων. Αυτά μπορεί να τροφοδοτούνται από ηλεκτρικούς κινητήρες, θερμό νερό ή ατμό, μηχανές συμβατικών καυσίμων ή στροβιλοκινητήρες. Παρακάτω περιγράφονται οι διάφοροι τύποι των κεντρικών ψυκτικών συστημάτων.

Ηλεκτρικοί ψύκτες: Αυτοί χρησιμοποιούν κύκλο μηχανικής συμπίεσης ατμού. Σήμερα διατίθενται στην αγορά τρεις κύριοι τύποι ηλεκτρικών ψυκτών, ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου συμπιεστή:

- Οι *φυγοκεντρικοί συμπιεστές* χρησιμοποιούν περιστρεφόμενα στροφέα για την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ψυκτικού αερίου. Οι ψύκτες με φυγοκεντρικούς συμπιεστές έχουν δυναμικότητες που κυμαίνονται από 300 μέχρι 25000 kW. Για ισχύ μεγαλύτερη των 4500 kW, οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές συναρμολογούνται επιτόπου.
- Οι *παλινδρομικοί συμπιεστές* χρησιμοποιούν έμβολα για την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας των ψυκτικών αερίων. Δύο ή περισσότεροι συμπιεστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπό συνθήκες μερικού φορτίου για την επίτευξη υψηλότερων λειτουργιών απόδοσης. Δυναμικότητες μεταξύ 35 και 700 kW είναι συνήθεις για τις ψυκτικές μονάδες με παλινδρομικούς συμπιεστές.
- Οι *περιστροφικοί συμπιεστές* χρησιμοποιούν περιστροφικές κινήσεις για την αύξηση της πίεσης του ψυκτικού αερίου. Ένας από τους πιο εξελιγμένους περιστροφικούς συμπιεστές είναι ο ελικοειδής, ενώ πιο συμβατικοί είναι οι κοχλιωτοί, που έχουν αρκετές παραλλαγές. Η ισχύς των περιστροφικών ψυκτών μπορεί να κυμαίνεται από 3 έως 1750 kW.

Μηχανικά οδηγούμενοι ψύκτες: Όπως και οι ηλεκτρικά οδηγούμενοι, αυτοί οι ψύκτες χρησιμοποιούν παλινδρομικούς, περιστροφικούς ή φυγοκεντρικούς συμπιεστές για να παράγουν μηχανική ψύξη, και μπορεί να τροφοδοτούνται από στροβιλοκινητήρες ή κινητήρες συμβατικών καυσίμων. Οι μηχανικά οδηγούμενοι ψύκτες μπορούν να έχουν ισχύ μέχρι 15000 kW, αλλά έχουν συνήθως υψηλό αρχικό κόστος.

Ψύκτες απορρόφησης: Αυτοί λειτουργούν με χρήση ενός κύκλου συγκέντρωσης-διάλυσης για να μεταβάλλουν το ενεργειακό επίπεδο του ψυκτικού ρευστού (νερό), με τη χρήση βρωμιούχου λιθίου για την εναλλακτική απορρόφηση της θερμότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες και την απόρριψή της σε υψηλές. Ένας συνήθης ψύκτης απορρόφησης περιλαμβάνει έναν εξατμιστή, μία διάταξη συγκέντρωσης, ένα συμπυκνωτή και έναν απορροφητή. Αυτοί οι ψύκτες μπορεί να είναι άμεσης (με τη χρήση φυσικού αερίου ή πετρελαίου) ή έμμεσης θέρμανσης:

- Οι *άμεσης θέρμανσης ψύκτες απορρόφησης* καθίστανται οικονομικά αποδοτικοί όταν η τιμή του φυσικού αερίου είναι χαμηλή και διατίθενται στην αγορά σε δύο τύπους: μονής και διπλής δράσης. Μερικοί από αυτούς χρησιμοποιούνται για να παράγουν ταυτόχρονα ψυχρό και θερμό νερό (γνωστοί ως ψύκτες/θερμαντήρες), και μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικοί ειδικά όταν υφίστανται κατά την περίοδο δροσισμού και ανάγκες θέρμανσης (π.χ. σε κτίρια με μεγάλη ζήτηση ζεστού νερού χρήσης). Η δυναμικότητά τους κυμαίνεται από 100 μέχρι 5000 kW.
- Οι *έμμεσης θέρμανσης ψύκτες απορρόφησης* λειτουργούν με ατμό (χαμηλής πίεσης, μέχρι 15 psig) ή θερμό νερό (χαμηλής θερμοκρασίας, μέχρι 140°C) από κάποιο λέβητα, δίκτυο τηλεθέρμανσης ή βιομηχανική διεργασία. Εξάλλου, έχουν ήδη μελετηθεί και αναλυθεί μικροί ψύκτες απορρόφησης που χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια. Διατίθενται μονάδες με ψυκτική ισχύ από 15 μέχρι 425 kW, αν και τα συνηθισμένα μεγέθη κυμαίνονται μεταξύ 200 και 5000 kW. Διπλής δράσης ψύκτες αυτού του είδους πρέπει να

μελετώνται μόνο σε περιπτώσεις ατμού ή νερού υψηλής θερμοκρασίας ή με θερμά βιομηχανικά καυσαέρια.

5.4. Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας

5.4.1. Σχέσεις που χρησιμοποιούνται

Για τη μείωση της χρησιμοποιούμενης στα ψυκτικά συστήματα ενέργειας, η ενεργειακή αποδοτικότητα του εξοπλισμού πρέπει να είναι βελτιωμένη στις συνθήκες τόσο πλήρους όσο και μερικού φορτίου. Γενικά, η βελτίωση της αποδοτικότητας των ψυκτικών συστημάτων μπορεί να επιτευχθεί με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- Αντικατάσταση των υφιστάμενων ψυκτικών συστημάτων με άλλα πιο αποδοτικά.
- Βελτίωση των υφιστάμενων συστημάτων ελέγχου των ψυκτικών εγκαταστάσεων.
- Με τη χρήση εναλλακτικών ψυκτικών συστημάτων.

Η προκύπτουσα εξοικονόμηση ενέργειας από τη μετασκευή ενός ψυκτικού συστήματος μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση της απλής αλλά γενικευμένης σχέσης:

$$\Delta E_C = \left(\frac{\dot{Q}_C \cdot N_{h,c} \cdot LF_C}{SEER} \right)_e - \left(\frac{\dot{Q}_C \cdot N_{h,c} \cdot LF_C}{SEER} \right)_r \quad (5.2)$$

Οι δείκτες e και r δηλώνουν τις τιμές των παραμέτρων πριν και μετά τη μετασκευή της ψυκτικής μονάδας, $SEER$ είναι ο λόγος εποχιακής απόδοσης της μονάδας, \dot{Q}_C η ονομαστική ισχύς του συστήματος, $N_{h,c}$ ο αριθμός των ισοδύναμων ωρών ψύξης υπό πλήρες φορτίο, και LF_C είναι ο ονομαστικός συντελεστής φορτίου (ο λόγος του μέγιστου δυνατού ψυκτικού φορτίου προς την ονομαστική ισχύ του εξοπλισμού), που εκφράζει την υπερδιαστασιολόγηση της ψυκτικής μονάδας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, οι μονάδες των \dot{Q}_C και $SEER$ πρέπει να είναι συμβατές, οπότε εάν ο $SEER$ δεν έχει μονάδες (για την Ευρώπη), η \dot{Q}_C πρέπει να εκφράζεται σε kW. Όταν η μετασκευή επιδρά μόνο στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του ψυκτικού συστήματος, δηλαδή μεταβάλλεται μόνο ο $SEER$, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\Delta E_C = \dot{Q}_C \cdot N_{h,c} \cdot LF_C \cdot \left(\frac{1}{SEER_e} - \frac{1}{SEER_r} \right) \quad (5.3)$$

Στα επόμενα, περιγράφονται μερικά συνήθη μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόζονται στα ψυκτικά συστήματα, μαζί με παραδείγματα υπολογισμού της προκύπτουσας εξοικονόμησης στην κατανάλωση ενέργειας.

5.4.2. Αντικατάσταση της ψυκτικής μονάδας

Η αντικατάσταση της υφιστάμενης ψυκτικής μονάδας με μία νέα και πιο αποδοτική μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη. Τελευταία, έχουν επιτευχθεί σημαντικές βελτιώσεις στην ολική

απόδοση των ψυκτικών μονάδων κύκλου συμπίεσης με την εμφάνιση των ψυκτών με δύο συμπιεστές, των φυγοκεντρικών ψυκτών μεταβλητής ταχύτητας και των ψυκτών ελικοειδούς συμπίεστη. Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή αυτών των διατάξεων, με μια εκτίμηση της ενεργειακής τους απόδοσης:

- Οι ψυκτικές μονάδες πολλαπλών συμπιεστών μπορεί να είναι παλινδρομικές, κοχλιωτές ή φυγοκεντρικές, με δυναμικότητες μεταξύ 100 και 7000 kW. Είναι ενεργειακά αποδοτικές, ειδικά όταν λειτουργούν υπό συνθήκες μερικού φορτίου. Από σχετικές μελέτες προκύπτει ότι, οι ψύκτες πολλαπλών συμπιεστών μπορούν να εξοικονομήσουν μέχρι και 25% της ψυκτικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε σχέση με τους ψύκτες ενός συμπίεστη (Tuluca, 1997).
- Οι ψύκτες με συμπίεστη μεταβλητής ταχύτητας είναι συνήθως φυγοκεντρικοί και λειτουργούν με μεταβλητή υδροστατική πίεση με τη χρήση κινητήρων μεταβλητής ταχύτητας, αποδίδοντας έτσι καλύτερα όταν το ψυκτικό τους φορτίο είναι τον περισσότερο χρόνο κάτω του μεγίστου. Η συνήθης ισχύς τους κυμαίνεται μεταξύ 500 και 2500 kW. Έχει βρεθεί ότι, οι ψύκτες με συμπιεστές μεταβλητής ταχύτητας μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας μέχρι και 50% (Tuluca, 1997).
- Ο ελικοειδής συμπίεστης είναι ένας περιστροφικός συμπίεστης με δύο κύριες συνιστώσες, μία σταθερή και μία κινούμενη έλικα, που χρειάζονται και οι δύο για να αυξήσουν την πίεση του ψυκτικού ρευστού. Οι ελικοειδείς συμπίεστές είναι περισσότερο ενεργειακά αποδοτικοί από τους φυγοκεντρικούς, αφού μειώνονται οι απώλειες θερμότητας μεταξύ των αερίων εκτόνωσης και αναρρόφησης. Ο COP των ελικοειδών ψυκτικών συστημάτων υπερβαίνει το 3,2.

Το παρακάτω παράδειγμα δίνει ένα δείγμα των υπολογισμών που γίνονται για τον καθορισμό της οικονομικής αποδοτικότητας της αντικατάστασης της υφιστάμενης ψυκτικής μονάδας με μία άλλη υψηλής απόδοσης.

Παράδειγμα 5.1: Μία υφιστάμενη ψυκτική μονάδα με ισχύ 800 kW και μέσο εποχιακό COP 3,5 πρόκειται να αντικατασταθεί με μία νέα ψυκτική μονάδα με την ίδια ισχύ αλλά με μέσο εποχιακό COP 4,5. Να καθοριστεί η απλή περίοδος αποπληρωμής της αντικατάστασης εάν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι \$0,07/kWh και το κόστος εγκατάστασης του νέου ψύκτη \$15.000. Θεωρείται ότι ο αριθμός των ισοδύναμων ωρών πλήρους φορτίου του ψύκτη είναι 1000 ανά έτος, τόσο πριν όσο και μετά την αντικατάσταση.

Λύση: Σ' αυτό το παράδειγμα, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση (5.3) με $SEER_e=3,5$, $SEER_r=4,5$, $N_{h,c}=1000$ και $Q_c=800$ kW ($LF_c=1$, υποθέτοντας ότι η ψυκτική μονάδα έχει διαστασιολογηθεί σωστά):

$$\Delta E_C = 800kW \cdot 1000hrs / \acute{\epsilon}τος \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{1}{3,5} - \frac{1}{4,5} \right) = 50.800kWh / \acute{\epsilon}τος$$

Επομένως, η απλή περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης σε ψυκτική μονάδα υψηλής

απόδοσης εκτιμάται ως ακολούθως:

$$SPB = \frac{\$15.000}{50.800 kWh / \acute{\epsilon}τος \cdot \$0,07 / kWh} = 4,2 \acute{\epsilon}τη$$

Πιθανώς απαιτείται η ανάλυση του κόστους στον κύκλο ζωής για να εξασφαλισθεί πλήρως η αποδοτικότητα της επένδυσης σε μια ψυκτική μονάδα υψηλής απόδοσης.

Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να χρειάζονται αντικατάσταση μόνο μερικά μέρη του ψυκτικού συστήματος. Πράγματι, στα τέλη του 1995 τέθηκαν σε ισχύ κανονισμοί που διέκοψαν την παραγωγή και χρήση των CFC (περιλαμβανομένων των R-11 και R-12), λόγω της επίδρασής τους στο στρώμα του όζοντος. Εφόσον τα CFC έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα ως ψυκτικά ρευστά στα κλιματιστικά και τα ψυγεία, τα υφιστάμενα αποθέματα τους μειώθηκαν σημαντικά και έχουν ακριβύνει. Επομένως, η αντικατάσταση και η μετασκευή των ψυκτικών μονάδων με CFC ώστε να λειτουργούν με άλλα ψυκτικά ρευστά καθίστανται ελκυστικές επιλογές.

Έτσι, εάν ο υφιστάμενος ψύκτης είναι σχετικά καινούριος (κάτω των 10 ετών), μπορεί να μην είναι οικονομικά αποδοτική η πλήρης αντικατάστασή του με ένα μη-CFC νεώτερο. Τότε, η οικονομικότερη επιλογή πιθανόν να είναι μόνο η μετασκευή του ψύκτη ώστε να λειτουργεί με μη-CFC. Πάντως, τα μη-CFC ψυκτικά ρευστά (π.χ. τα R-134 και R-717) μπορεί να μειώσουν την ψυκτική ισχύ του ψύκτη λόγω των ιδιοτήτων τους. Ευτυχώς, αυτή η απώλεια στην ενεργειακή απόδοση μπορεί να περιοριστεί μέσω της αναβάθμισης μερικών τμημάτων του ψυκτικού συστήματος, όπως των στροφείων, των στομιών και φλαντζών, ακόμη και των συμπιεστών.

Σε μερικές περιπτώσεις, η αναβάθμιση μπορεί πράγματι να βελτιώσει την απόδοση της ψυκτικής μονάδας. Μερικές από τις τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της απόδοσης των υφιστάμενων ψυκτικών μονάδων περιλαμβάνουν:

- την αύξηση της επιφάνειας του εξαμιστή και του συμπυκνωτή για αποδοτικότερη μεταφορά της θερμότητας,
- βελτιώσεις στην απόδοση και στο σύστημα ελέγχου του συμπιεστή,
- τη μεγέθυνση των σωληνώσεων του ψυκτικού ρευστού για τη μείωση των τριβών,
- την απολύμανση του νερού του συμπυκνωτή για την αποφυγή επικαθίσεων και βιολογικής ρύπανσης.

Η υπερδιαστασιολόγηση είναι ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να εγguηθεί την οικονομικότητα αντικατάστασης των ψυκτικών συστημάτων. Πράγματι, αρκετοί υφιστάμενοι ψύκτες έχουν δυναμικότητα σημαντικά μεγαλύτερη από το μέγιστο ψυκτικό τους φορτίο και λειτουργούν αποκλειστικά υπό συνθήκες μερικού φορτίου, με μειωμένη απόδοση και κατά συνέπεια αυξημένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Όταν οι υπερδιαστασιολογημένοι ψύκτες έχουν ηλικία άνω των 10 ετών, μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτική η

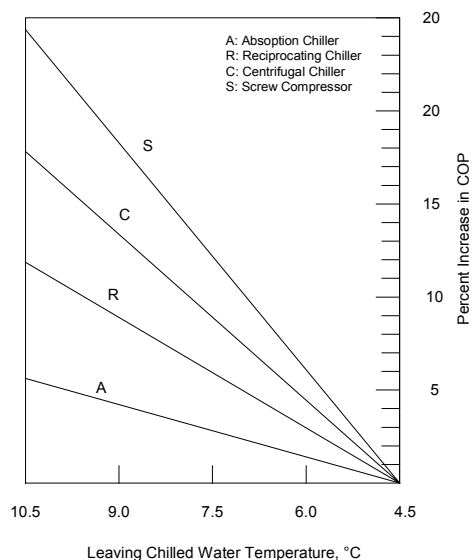
αντικατάστασή τους με μικρότερους και πιο αποδοτικούς, που να λειτουργούν με άνευ CFC ψυκτικά ρευστά.

5.4.3. Βελτίωση του συστήματος ελέγχου της ψυκτικής μονάδας

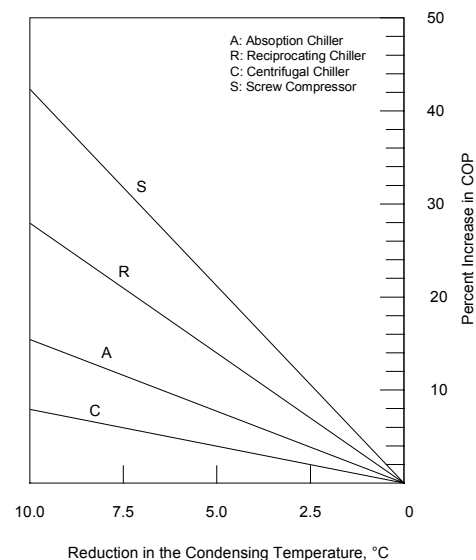
Πριν την αντικατάσταση του υφιστάμενου ψύκτη, συνιστάται να μελετώνται τα εναλλακτικά ψυκτικά συστήματα ή κάποιες απλές παρεμβάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά συνήθη και αποδεκτά εναλλακτικά συστήματα ψύξης. Τα άλλα μέτρα περιλαμβάνουν τη χρήση αυτομάτων ελέγχων για:

- την τροφοδοσία με κρύο νερό στην υψηλότερη θερμοκρασία που ανταποκρίνεται στο ψυκτικό φορτίο,
- τη μείωση της θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας του συμπυκνωτή (στους υδρόψυκτους συμπυκνωτές) όταν μειώνεται η θερμοκρασία υγρού βολβού του εξωτερικού αέρα.

Πράγματι, η απόδοση του ψύκτη εξαρτάται όχι μόνο από το ψυκτικό φορτίο αλλά και από τη θερμοκρασία τροφοδοσίας του κρύου νερού και τη θερμοκρασία του νερού του συμπυκνωτή. Η απόδοση του κύκλου Carnot (εξ. 5.1) δείχνει ότι ο COP αυξάνεται όταν μειώνεται η θερμοκρασία του συμπυκνωτή (T_H) ή όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του εξατμιστή (T_C). Για τους συνήθεις ψύκτες νερού, χρησιμοποιείται το σχήμα 5.2 για τον καθορισμό της βελτίωσης στον COP του ψύκτη όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του εξερχόμενου νερού και το σχήμα 5.3 για να εκτιμηθεί η επίδραση της μείωσης της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή στον COP του συστήματος.



Σχήμα 5.2. Σχέση της θερμοκρασίας εξόδου του κρύου νερού με τον COP του ψύκτη



Σχήμα 5.3. Σχέση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης με τον COP του ψύκτη

Παράδειγμα 5.2: Ένας φυγοκεντρικός ψύκτης με ισχύ 500 kW και μέσο εποχιακό COP 4,0 λειτουργεί με θερμοκρασία εξόδου του κρύου νερού 4,5°C. Να καθοριστεί το οικονομικό όφελος που επέρχεται από την εγκατάσταση ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου που επιτρέπει στη θερμοκρασία του νερού εξόδου να είναι κατά μέσο όρο 2,5°C υψηλότερη. Ο αριθμός των ισοδύναμων ωρών πλήρους φορτίου του ψύκτη είναι 1500 ανά έτος και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι \$0,07/kWh.

Λύση: Από το σχήμα 5.2, η αύξηση στον COP για ένα φυγοκεντρικό ψύκτη λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας εξόδου του κρύου νερού από 4,5°C σε 7,0°C είναι 8% περίπου. Η εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας μπορεί να εκτιμηθεί από την εξίσωση (5.3), με $SEER_e=4,0$, $SEER_r= 4,0 \times 1,08 = 4,32$, $N_{h,c}=1500$ και $Q_c=500$ kW ($LF_c=1$, υποθέτοντας ότι ο ψύκτης έχει διαστασιολογηθεί σωστά):

$$\Delta E_c = 500 \text{ kW} \cdot 1500 \text{ hrs} / \text{έτος} \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{1}{4,0} - \frac{1}{4,32} \right) = 13.890 \text{ kWh} / \text{έτος}$$

Επομένως, το οικονομικό όφελος είναι \$970.

5.4.4. Εναλλακτικά ψυκτικά συστήματα

Υπάρχουν διάφορα εναλλακτικά συστήματα και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη μείωση (ή και την εξάλειψη) των ψυκτικών φορτίων στα υφιστάμενα ψυκτικά συστήματα. Μεταξύ αυτών είναι:

- Οι εξοικονομητές νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν οι εξωτερικές συνθήκες είναι ευνοϊκές. Αντί να λειτουργούν οι ψύκτες για τον κλιματισμό, το νερό μπορεί να ψύχεται μόνο με τη χρήση πύργων ψύξης και να κυκλοφορεί άμεσα στις σερπαντίνες, είτε μέσω του κανονικού κυκλώματος του κρύου νερού είτε μέσω εναλλακτών θερμότητας.
- Η εξατμιστική ψύξη είναι μια καθιερωμένη τεχνική που χρησιμοποιεί νέφη νερού ή ένα υγραινόμενο υλικό για να ψύχει τον αέρα τροφοδοσίας, επιτρέποντας στις θερμοκρασίες να πλησιάσουν τη θερμοκρασία υγρού βολβού του περιβάλλοντος. Η άμεση εξατμιστική ψύξη υγραίνει τον αέρα τροφοδοσίας όταν μειώνεται η θερμοκρασία του, ενώ η έμμεση εξατμιστική ψύξη γίνεται μέσω εναλλακτών θερμότητας αέρα-αέρα χωρίς προσθήκη υγρασίας, και είναι λιγότερο αποδοτική και ακριβότερη από την άμεση. Πέρα από την όποια κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδότηση των ανεμιστήρων), και οι δύο μέθοδοι καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες νερού. Η εξατμιστική ψύξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του φορτίου ενός συμβατικού συστήματος κλιματισμού σε κλίματα με ξηρές συνθήκες περιβάλλοντος, είτε καθ' όλο το έτος είτε σε ορισμένες περιόδους. Ο μέσος COP των συστημάτων εξατμιστικής ψύξης μπορεί να κυμαίνεται από 10 έως 20, ανάλογα με το κλίμα (Huang, 1991).
- Η ξηραντική ψύξη είναι μία αντίστροφη εξατμιστική ψύξη, εφόσον η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται και μειώνεται η υγρασία του. Στη συνέχεια, ο ξηρός αέρας ψύχεται με χρήση εναλλακτών θερμότητας σε επαφή με τον αέρα περιβάλλοντος. Τέλος, ο αέρας

ψύχεται περαιτέρω με τη βοήθεια εξατμιστικής ψύξης. Είναι αναγκαία μία πηγή θερμότητας για την αναγέννηση του ξηραντικού μέσου, μετά την απορρόφηση του νερού από τον αέρα. Η ξηραντική ψύξη χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές και σπανιότερα στον εμπορικό τομέα.

- Η υπόψυξη του ψυκτικού μέσου συνήθως αυξάνει το δυναμικό της ψύξης και μπορεί να μειώσει την ισχύ συμπίεσης, αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του ψυκτικού συστήματος. Απαιτεί την προσθήκη ενός εναλλάκτη θερμότητας για τη μείωση της ενθαλπίας του ψυκτικού ρευστού που εισέρχεται στον εξατμιστή, με αποτέλεσμα την αύξηση της ψυκτικής ισχύος. Τρεις είναι οι συνήθεις τεχνολογίες υπόψυξης:
 - μία που χρησιμοποιεί εναλλάκτη θερμότητας στη γραμμή προσρόφησης του συστήματος συμπίεσης του ατμού ως καταβόθρα θερμότητας,
 - η δεύτερη χρησιμοποιεί ένα δεύτερο μηχανικά οδηγούμενο κύκλο συμπίεσης ατμού συζευγμένο με τον κύριο κύκλο που χρησιμοποιεί έναν εναλλάκτη θερμότητας υπόψυξης τοποθετημένο κατάντι του συμπυκνωτή, και
 - η τρίτη τεχνολογία απαιτεί μια εξωτερική καταβόθρα θερμότητας, όπως είναι ένας μικρός πύργος ψύξης ή ένας βρόγχος νερού εδάφους.

Η υπόψυξη χρησιμοποιείται από παλιά σε ψυκτικά συστήματα μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας. Σήμερα, μερικοί κατασκευαστές ολοκληρωμένων και διαιρούμενων κλιματιστικών και αντλιών θερμότητας εφοδιάζουν με συσκευές υπόψυξης τα συστήματά τους που λειτουργούν με εναλλακτικά ψυκτικά μέσα (όπως το R-134a).

6. ΜΕΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ HVAC

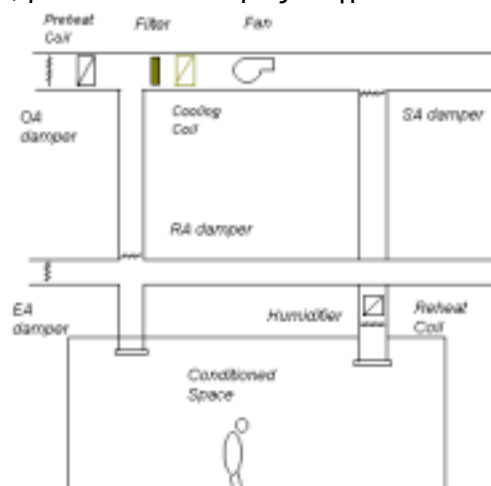
6.1. Εισαγωγή

Τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) ελέγχουν και διατηρούν το επίπεδο θερμοκρασίας και υγρασίας των χώρων ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητικό εσωτερικό περιβάλλον για τις δραστηριότητες των ενοίκων ή για εργασίες μεταποίησης. Το κόστος λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να είναι σημαντικό στα εμπορικά κτίρια και σε κάποιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Εκτιμάται ότι η ενέργεια που καταναλώνεται στα συστήματα HVAC αντιπροσωπεύει περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ένα συνηθισμένο εμπορικό κτίριο στις ΗΠΑ (EIA, 1994). Επομένως, είναι σημαντικό να μπορούν οι ενεργειακοί επιθεωρητές να αναγνωρίζουν μερικά από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων HVAC και να προσδιορίζουν εάν μπορεί να προταθεί οποιαδήποτε μετασκευή για τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης.

6.2. Τύποι των συστημάτων HVAC

Ένα βασικό σύστημα HVAC διανομής αέρα αποτελείται από μία μονάδα διαχείρισης του αέρα (AHU) με τις ακόλουθες συνιστώσες, όπως φαίνονται στο σχήμα 6.1:

- Ρυθμιστές για τον έλεγχο της ποσότητας του αέρα που διανέμεται από το σύστημα, που περιλαμβάνουν: ρυθμιστές για τον εξωτερικό αέρα (OA), τον αέρα επιστροφής (RA), τον αέρα εξαγωγής (EA) και τον αέρα τροφοδοσίας (SA).
- Σερπαντίνα προθέρμανσης, στην περίπτωση που ο εξωτερικός αέρας είναι πολύ κρύος, ώστε να αποφεύγονται τα προβλήματα παγώματος.
- Φίλτρο για τον καθαρισμό του αέρα από φερτές ύλες.
- Σερπαντίνες δροσίσιμου που ψύχουν τον αέρα τροφοδοσίας ώστε να καλύπτει τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία.
- Υγραντήρες για την προσθήκη υγρασίας στον αέρα τροφοδοσίας, όταν γίνεται έλεγχος υγρασίας σε έναν ή περισσότερους από τους κλιματιζόμενους χώρους.
- Ένα δίκτυο αεραγωγών, με το οποίο ο αέρας οδηγείται σε διάφορους χώρους.



Σχήμα 6.1. Μονάδα διαχείρισης του αέρα (AHU) ενός συνήθους συστήματος HVAC

Κάθε μια από τις παραπάνω συνιστώσες μπορεί να υφίσταται σε αρκετούς τύπους και μορφές, και η ολοκλήρωσή τους αποτελεί το σύστημα HVAC, κυρίως για διανομή του αέρα κλιματισμού. Τα συστήματα HVAC διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

Συστήματα σταθερού όγκου αέρα (CAV), που παρέχουν σταθερή ποσότητα αέρα τροφοδοσίας, στην κατάλληλη θερμοκρασία για την κάλυψη των θερμικών φορτίων κάθε χώρου με βάση θερμοστατικές ρυθμίσεις. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του αέρα γίνεται είτε με την ανάμιξη ψυχρού αέρα με θερμό ή αέρα παράκαμψης, είτε με άμεση αναθέρμανση του ψυχρού αέρα, με αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας λόγω της ανάμιξης και/ή της αναθέρμανσης, ειδικά στις συνθήκες μερικού φορτίου. Τα συστήματα CAV που συνήθως χρησιμοποιούνται σε υφιστάμενα κτίρια είναι:

1. Συστήματα CAV με τερματική αναθέρμανση, στα οποία ο αέρας κυκλοφορίας πρέπει να ψυχθεί για την κάλυψη των θερμικών φορτίων σχεδιασμού. Στις συνθήκες μερικού φορτίου, απαιτείται επαναθέρμανση του προ-ψυγμένου αέρα.
2. Συστήματα CAV με τερματική αναθέρμανση στους εσωτερικούς χώρους και με μονάδες επαγωγής ή fan-coil περιμετρικά. Σ' αυτά τα συστήματα, η απώλεια ενέργειας μειώνεται στους περιμετρικούς χώρους, διότι ένα μεγάλο μέρος του παρεχόμενου στους περιμετρικούς χώρους αέρα επανακυκλοφορεί σε κάθε χώρο είτε από τις μονάδες επαγωγής είτε από τα fan-coils.
3. Επαγωγικά συστήματα αέρα με περιμετρική αναθέρμανση. Οι μονάδες επαγωγής δέχονται μεταβαλλόμενα ποσά θερμού αέρα επιστροφής και τον αναμιγνύουν με τον κύριο αέρα, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Η απώλεια ενέργειας λόγω της αναθέρμανσης είναι μικρή σ' αυτά τα συστήματα. Πάντως, απαιτείται εκτεταμένος έλεγχος της στατικής πίεσης στα τερματικά.
4. Συστήματα CAV με διπλό αεραγωγό, τα οποία έχουν έναν αεραγωγό για τον ψυχρό αέρα και έναν για τον θερμό. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα τροφοδοσίας, αναμιγνύονται αναλογικά ο θερμός και ο ψυχρός αέρας για την κάλυψη του θερμικού φορτίου του χώρου. Απώλειες ενέργειας υφίστανται στις συνθήκες μερικού θερμικού φορτίου, όταν απαιτείται ανάμιξη.

Συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV), που παρέχουν μεταβαλλόμενη ποσότητα αέρα τροφοδοσίας υπό σταθερή θερμοκρασία για την κάλυψη των θερμικών φορτίων κάθε χώρου, βάσει θερμοστατικών ρυθμίσεων. Ο όγκος του αέρα ρυθμίζεται μέσω των διαφραγμάτων εξόδου, βαλβίδων εισόδου ή κινητήρων μεταβλητής ταχύτητας. Στην κεντρική μονάδα AHU παρέχεται μόνο ψυχρός αέρας και αναθέρμανση γίνεται σε κάθε χώρο, ανάλογα με το θερμικό φορτίο. Τα συστήματα VAV έχουν σημαντικά μικρότερες απώλειες ενέργειας από τα CAV. Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι τύποι αυτών είναι:

1. Συστήματα VAV με τερματική αναθέρμανση, στα οποία μειώνεται η ποσότητα του αέρα τροφοδοσίας με τη μείωση του ψυκτικού φορτίου μέχρι ενός ελάχιστου προκαθορισμένου όγκου αέρα. Σ' αυτό το όριο, γίνεται αναθέρμανση του αέρα τροφοδοσίας ώστε να καλυφθεί το ψυκτικό φορτίο. Λόγω αυτής της μείωσης του όγκου, η απώλεια ενέργειας αναθέρμανσης μειώνεται σημαντικά σε σχέση με τα συστήματα CAV με τερματική αναθέρμανση.
2. Συστήματα VAV με μονάδες περιμετρικής θέρμανσης. Αυτά παρέχουν μόνο ψύξη και η θέρμανση γίνεται από άλλα συστήματα, π.χ. από επιδαπέδιες μονάδες θερμού νερού, που ελέγχονται από τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, αφού τα περιμετρικά θερμαντικά φορτία εξαρτώνται από τις απώλειες μεταφοράς.
3. Συστήματα VAV με διπλό αεραγωγό, που έχουν αεραγωγούς θερμού και ψυχρού αέρα και λειτουργούν κατά παρόμοιο τρόπο με τα συστήματα VAV με τερματική αναθέρμανση. Καθώς μειώνεται το ψυκτικό φορτίο, παρέχεται μόνο ψυχρός αέρας μέχρι ενός ελάχιστου προκαθορισμένου όγκου. Σ' αυτό το όριο, ο θερμός αέρας αναμιγνύεται με το ρεύμα του ψυχρού αέρα.

Συνοψίζοντας, τα συστήματα VAV είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά από τα τύπου CAV, αφού ελαχιστοποιούν τις απώλειες ενέργειας αναθέρμανσης. Η μετασκευή των υφιστάμενων συστημάτων CAV σε VAV αποτελεί ένα σύνηθες και, γενικά, οικονομικά αποδοτικό μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC. Πάντως, μπορούν να επιτευχθούν ενεργειακά οφέλη ακόμη και εάν το υπάρχον σύστημα είναι VAV. Το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως είναι ο σχεδιασμός, ο τρόπος λειτουργίας και η συντήρησή τους.

Γενικά, μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια στα συστήματα HVAC με την εφαρμογή ενός ή περισσοτέρων από τα παρακάτω μέτρα:

- Λειτουργία των συστημάτων HVAC μόνο όταν χρειάζεται. Για παράδειγμα, δεν υπάρχει λόγος να παρέχεται εξαερισμός κατά τις περιόδους μη ενοίκησης.
- Απάλειψη του υπερδροσισμού και της υπερθέρμανσης των κλιματιζόμενων χώρων για τη βελτίωση του επιπέδου άνεσης και την αποφυγή της σπατάλης ενέργειας.
- Μείωση της αναθέρμανσης, αφού αυτή επιφέρει απώλειες ενέργειας.
- Παροχή ελεύθερου δροσισμού και θέρμανσης όταν είναι δυνατό, με τη βοήθεια κύκλων εξοικονομητή ή συστημάτων ανάκτησης θερμότητας, για την εξάλειψη της ανάγκης για μηχανικό κλιματισμό.
- Μείωση της ποσότητας του αέρα που παρέχεται από τα συστήματα HVAC με τη μείωση του αέρα τροφοδοσίας και, ειδικά, του αέρα αντιστάθμισης και εξαγωγής.

Στα επόμενα, περιγράφονται επιλεγμένα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, ξεκινώντας από μέτρα ειδικά για κάθε συνιστώσα μιας μονάδας AHU μέχρι τη μετατροπή ενός συστήματος CAV σε VAV.

6.3. Εξαερισμός

Η ενέργεια που απαιτείται για την τροφοδοσία με αέρα εξαερισμού μπορεί να είναι σημαντική τόσο στα εμπορικά κτίρια, για την παροχή ανανεωμένου αέρα στους ενοίκους, όσο και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, για τον έλεγχο του επιπέδου της σκόνης, των αερίων, του καπνού και των υδρατμών, ειδικά σε περιοχές με ακραίες καιρικές συνθήκες. Ο ενεργειακός επιθεωρητής θα πρέπει να εκτιμά τον υφιστάμενο όγκο του φρέσκου αέρα και να συγκρίνει αυτή την εκτίμηση με τη ποσότητα του αέρα εξαερισμού που απαιτείται από τα σχετικά πρότυπα και κανονισμούς.

Η περίσσεια του αέρα εξαερισμού πρέπει να ελαττώνεται, εάν μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των φορτίων θέρμανσης ή/και ψύξης. Μερικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που σχετίζονται με τον εξαερισμό περιγράφονται στη συνέχεια. Πάντως, σε μερικά κλίματα και περιόδους του έτους ή της ημέρας, η παροχή περισσότερου αέρα εξαερισμού μπορεί να είναι ωφέλιμη και μπορεί πράγματι να μειώσει τα θερμικά και ψυκτικά φορτία, μέσω των κύκλων εξοικονομητή αέρος. Παρακάτω, παρουσιάζονται επίσης οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας που οφείλονται στους εξοικονομητές.

6.3.1. Μείωση του αέρα εξαερισμού

Ο επιθεωρητής πρέπει κατ' αρχήν να εκτιμήσει το υφιστάμενο επίπεδο του αέρα εξαερισμού που προέρχεται από το μηχανικό σύστημα (όχι από φυσικά μέσα, όπως είναι η διήθηση μέσω του κελύφους του κτιρίου). Για τον καθορισμό της ποσότητας του φρέσκου αέρα που εισέρχεται στο χώρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική του αερίου δείκτη, η οποία όμως δεν μπορεί να διαφοροποιήσει τον αέρα που οφείλεται στο μηχανικό σύστημα από αυτόν της διήθησης. Υπάρχουν αρκετές τεχνικές για τη μέτρηση της ροής του αέρα μέσω των αεραγωγών, που συνοψίζονται στο Κεφάλαιο 3 του «Οδηγού Ενεργειακής Επιθεώρησης Νο 1», οι οποίες όμως είναι σχετικά ακριβές και, γενικά, είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε υφιστάμενα συστήματα.

Για την εκτίμηση του αέρα εξαερισμού που παρέχεται από το σύστημα HVAC, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια τεχνική ισοζυγίου ενθαλπιών, για την οποία απαιτούνται οι θερμοκρασίες σε τρεις θέσεις στο σύστημα των αεραγωγών: πριν το διάφραγμα του εξωτερικού αέρα (θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, T_{oa}), στον αεραγωγό επιστροφής (θερμοκρασία αέρα επιστροφής, T_{ra}) και στο θάλαμο ανάμιξης (θερμοκρασία αέρα ανάμιξης, T_{ma}). Το κλάσμα του εξωτερικού αέρα X_{oa} (ο λόγος του αέρα εξαερισμού προς τη συνολική παροχή αέρα) υπολογίζεται από τη σχέση: $T_{ma} = X_{oa} T_{oa} + (1 - X_{oa}) T_{ra}$.

Η ποσότητα του εξαερισμού V_{oa} μπορεί να προσδιοριστεί στις συνθήκες σχεδιασμού με τη χρήση της ισχύος της μονάδας διαχείρισης του αέρα (V_{des}), ως εξής:

$$\dot{V}_{oa} = X_{oa} \cdot \dot{V}_{des} = \left(\frac{T_{ra} - T_{ma}}{T_{ra} - T_{oa}} \right) \dot{V}_{des} \quad (6.1)$$

Η ακρίβεια της εκτίμησης του αέρα εξαερισμού μέσω της εξ. (6.1) μειώνεται όταν η διαφορά των θερμοκρασιών του αέρα επιστροφής και του εξωτερικού αέρα είναι μικρή. Έτσι, συνιστάται ο ενεργειακός επιθεωρητής να εκτελεί τις μετρήσεις όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι ακραίες (δηλαδή κατά τις εποχές θέρμανσης ή ψύξης).

Όταν προσδιοριστεί η υφιστάμενη παροχή αέρα εξαερισμού, πρέπει να συγκριθεί με τις απαιτήσεις εξαερισμού των εφαρμοζόμενων προτύπων. Στον παρακάτω πίνακα 6.1 συνοψίζονται μερικές από τις απαιτήσεις σε εξωτερικό αέρα για επιλεγμένους χώρους εμπορικών κτιρίων. Εάν βρεθεί περίσσεια στον αέρα εξαερισμού, μπορεί να ρυθμιστεί η θέση του διαφράγματος του εξωτερικού αέρα ώστε να παρέχεται ο εξαερισμός που ανταποκρίνεται στις παρακάτω ελάχιστες τυπικές τιμές.

Πίνακας 6.1. Συνήθεις απαιτήσεις εξαερισμού για επιλεγμένους χώρους κτιρίων

Είδος χώρου	Παροχή αέρα εξαερισμού (m ³ /h ανά άτομο)
Δωμάτια	17-26
Τουαλέτες	51-85
Διάδρομοι	12-17
Δημόσιοι χώροι	17-26
Αίθουσες	34-51
συναντήσεων	34-43
Δημόσιες τουαλέτες	26-34
Τραπεζαρίες	68-85
Μπαρ	60
Κουζίνες	

Περαιτέρω μείωση του εξωτερικού αέρα μπορεί να επιτευχθεί μέσω συστημάτων ελέγχου του εξαερισμού, για την παροχή εξωτερικού αέρα μόνο σε περιόδους που υπάρχει ανάγκη για φρέσκο αέρα. Μια διαδομένη προσέγγιση για τον εξαερισμό κατά ζήτηση είναι η καταγραφή του επίπεδου συγκέντρωσης του CO₂ στους διάφορους χώρους. Το CO₂ θεωρείται καλός δείκτης για τους ρύπους που παράγονται από τους ενόικους και τα υλικά κατασκευής. Η θέση του διαφράγματος του εξωτερικού αέρα ελέγχεται ώστε να διατηρείται μια προκαθορισμένη τιμή του CO₂ μέσα στο χώρο.

Το ενεργειακό όφελος από τη μείωση του αέρα εξαερισμού μπορεί να αποδοθεί στα χαμηλότερα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται για τη ρύθμιση του εξωτερικού αέρα. Τα στιγμιαία θερμικά και ψυκτικά οφέλη μπορούν να εκτιμηθούν με τη βοήθεια αντίστοιχα των εξισώσεων (6.2) και (6.3):

$$\Delta e_H = \rho_a \cdot c_{p,a} \cdot (\dot{V}_{oa,E} - \dot{V}_{oa,R}) \cdot (T_i - T_o) \quad (6.2)$$

και,

$$\Delta e_C = \rho_a \cdot (\dot{V}_{oa,E} - \dot{V}_{oa,R}) \cdot (h_o - h_i) \quad (6.3)$$

όπου $\dot{V}_{oa,E}$ και $\dot{V}_{oa,R}$ είναι οι παροχές του αέρα εξαερισμού πριν και μετά την επέμβαση αντίστοιχα, ρ_a και $c_{p,a}$ η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα του αέρα, T_i και T_o οι θερμοκρασίες του αέρα του εσωτερικού χώρου και του περιβάλλοντος αντίστοιχα κατά το χειμώνα, ενώ h_i και h_o είναι οι ενθαλπίες του αέρα του εσωτερικού χώρου και του εξωτερικού περιβάλλοντος αντίστοιχα κατά το καλοκαίρι.

Πρέπει να σημειωθεί ότι συνήθως δεν γίνεται έλεγχος της υγρασίας κατά το χειμώνα, και έτσι η λανθάνουσα ενέργεια αμελείται, όπως φαίνεται από την εξίσωση (6.2). Για τον προσδιορισμό της συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας λόγω της μείωσης του αέρα εξαερισμού, πρέπει να υπολογιστεί η ετήσια εξοικονόμηση σε θερμικά και ψυκτικά φορτία. Χωρίς να απαιτούνται διεξοδικές ενεργειακές προσομοιώσεις, η εξοικονόμηση αυτή μπορεί να υπολογιστεί με την εφαρμογή των εξισώσεων (6.2) και (6.3) για διάφορα ζεύγη θερμοκρασιών και, στη συνέχεια, αθροίζοντας τις μεταβολές των θερμικών και ψυκτικών φορτίων για όλα τα ζεύγη.

Λαμβάνοντας υπόψη την ενεργειακή απόδοση του εξοπλισμού θέρμανσης και ψύξης, τα ενεργειακά οφέλη από τη μείωση του εξαερισμού μπορούν να εκτιμηθούν για το χειμώνα και το καλοκαίρι, όπως φαίνεται από τις εξισώσεις (6.4) και (6.5) αντίστοιχα:

$$\Delta kWh_H = \frac{3.6 * \sum_{k=1}^{N_{bin}} N_{h,k} \cdot \Delta e_{H,k}}{\eta_H} \quad (6.4)$$

και

$$\Delta kWh_C = \frac{3.6 * \sum_{k=1}^{N_{bin}} N_{h,k} \cdot \Delta e_{C,k}}{EER_C} \quad (6.5)$$

όπου $N_{h,k}$ είναι ο αριθμός των ωρών του ζεύγους k , EER_C ο λόγος της μέσης εποχιακής απόδοσης του ψυκτικού συστήματος και η_H η μέση εποχιακή απόδοση του συστήματος θέρμανσης. Όταν υπάρχει εξοικονομητής αέρος, η άθροιση στις εξ. (6.4) και (6.5) πρέπει να γίνεται μόνο για τα ζεύγη των θερμοκρασιών για τα οποία το διάφραγμα του εξωτερικού αέρα βρίσκεται στην ελάχιστη θέση του.

Οι υπολογισμοί του ενεργειακού οφέλους μπορούν να απλοποιηθούν εάν θεωρηθεί σταθερή η πυκνότητα του αέρα και όταν το σύστημα HVAC λειτουργεί καθ' όλο το έτος. Υπό αυτές τις

συνθήκες, η εξοικονόμηση ενέργειας που οφείλεται στη θέρμανση μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$\Delta kWh_H = \frac{3.6 * \rho_a \cdot c_{p,a} \cdot N_h \cdot (\dot{V}_{oa,E} - \dot{V}_{oa,R}) \cdot (T_i - \bar{T}_o)}{\eta_H} \quad (6.6)$$

N_h είναι ο συνολικός αριθμός ωρών της περιόδου θέρμανσης (εάν δεν παρέχεται εξαερισμός όλες τις ώρες, το N_h μπορεί να περιλαμβάνει μόνο τις ώρες ενοίκησης, θεωρώντας ότι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα δεν αλλάζει σημαντικά με αυτή τη ρύθμιση) και T_o η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα κατά την περίοδο θέρμανσης. Στην περίπτωση της ψύξης, με την εισαγωγή του εποχιακού ψυκτικού φορτίου (ΔH_C) για τη ρύθμιση μίας ποσότητας αναφοράς του εξωτερικού αέρα (π.χ. 1000 m³/h), που εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες και την προκαθορισμένη τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας, προκύπτει μια απλοποιημένη μορφή της εξ. (6.5):

$$\Delta kWh_C = \frac{3.6 * \rho_a \cdot N_h \cdot (\dot{V}_{oa,E} - \dot{V}_{oa,R}) \cdot \Delta H_C}{EER_C} \quad (6.7)$$

Άλλα μέτρα που μπορούν να μειώσουν τον αέρα εξαερισμού από τα συστήματα HVAC περιλαμβάνουν:

1. Μείωση των διαφυγών μέσω του διαφράγματος του εξωτερικού αέρα, ειδικά όταν αυτό είναι κλειστό. Η μεταβολή στον αέρα εξαερισμού μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση του ποσοστού διαφυγών. Τα διαφράγματα μικρών διαφυγών μπορούν να περιορίσουν τις διαφυγές σε λιγότερο από 1%, ενώ τα συνήθη επιτρέπουν διαφυγές από 5% μέχρι 10% όταν είναι κλειστά.
2. Εξάλειψη του εξαερισμού κατά τις περιόδους που δεν υπάρχει κατοίκηση ή όταν δεν χρειάζεται.

Οι υπολογισμοί της εξοικονόμησης ενέργειας για τα παραπάνω μέτρα ακολουθούν την ίδια μεθοδολογία που παρουσιάζεται από τις εξισώσεις (6.2) έως (6.7).

Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν μειώνεται ο αέρας εξαερισμού, πρέπει επίσης να ρυθμίζεται η ποσότητα του αέρα εξαγωγής. Αλλιώς, μπορεί να υφίσταται αρνητική στατική πίεση στο κτίριο (εφόσον εξάγεται περισσότερος αέρας από αυτόν που εισέρχεται). Αρκετά προβλήματα μπορούν να προκύψουν από την αρνητική πίεση στο κτίριο που περιλαμβάνουν:

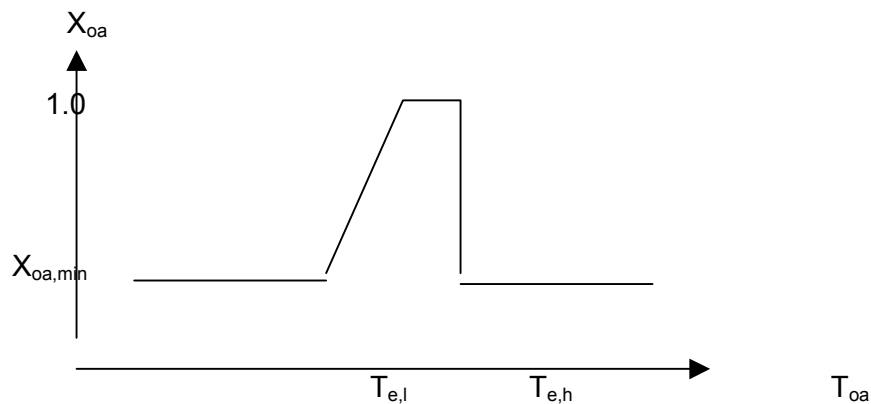
- Δυσκολία στο άνοιγμα των εξωτερικών παραθύρων και θυρών.
- Μπορεί να γίνεται αισθητό στην περίμετρο του κτιρίου ένα ρεύμα αέρα, εφόσον εξωτερικός κρύος αέρας ρέει κοντά στα παράθυρα και τις θύρες.
- Αυξάνεται η συγκέντρωση καπνού, οσμών, ρύπων και σκόνης, αφού οι ανεμιστήρες εξαγωγής δεν μπορούν να λειτουργούν στην ονομαστική ισχύ τους.

- Η απόδοση καύσης των λεβήτων και των φούρνων μπορεί να μειωθεί, εάν αυτός ο εξοπλισμός εξαρτάται από τον φυσικό ελκυσμό για να λειτουργεί σωστά.

6.3.2. Εξοικονομητές αέρος

Η περίσσεια του εξαερισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον κλιματισμό του κτιρίου όταν είναι ευνοϊκές οι συνθήκες του εξωτερικού αέρα, μειώνοντας έτσι την ψυκτική ενέργεια από το σύστημα HVAC. Υπάρχουν δύο τρόποι για τον καθορισμό του σημείου εναλλαγής και τη λήψη της απόφασης για το πότε είναι καλύτερο να γίνεται χρήση της περίσσειας του εξωτερικού αέρα για την ψύξη του κτιρίου, ένας που βασίζεται στη θερμοκρασία ξηρού βολβού και ο άλλος στην ενθαλπία, γνωστοί ως εξοικονομητές αέρα θερμοκρασίας και ενθαλπίας αντίστοιχα, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω. Τότε, το σύστημα HVAC λέγεται ότι λειτουργεί σε κύκλο εξοικονομητή.

Κύκλος εξοικονομητή θερμοκρασίας: Σ' αυτόν το κύκλο, το διάφραγμα εισαγωγής του εξωτερικού αέρα ανοίγει πέρα από την ελάχιστη θέση του όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι χαμηλότερη από αυτήν του αέρα επιστροφής. Πάντως, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή, το διάφραγμα τοποθετείται πάλι στην ελάχιστη θέση του. Επομένως, υπάρχουν κάποια όρια της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα πέρα από τα οποία ο κύκλος του εξοικονομητή δεν θα πρέπει να λειτουργεί, τα οποία ονομάζονται αντίστοιχα όρια χαμηλής και υψηλής θερμοκρασίας του εξοικονομητή, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2. Θερμοκρασιακά όρια εξοικονομητή

Ενώ το όριο υψηλής θερμοκρασίας συνήθως τίθεται ίσο με τη θερμοκρασία του αέρα επιστροφής, το όριο χαμηλής θερμοκρασίας του εξοικονομητή πρέπει να καθορίζεται συναρτήσει των συνθηκών του αέρα επιστροφής, αλλά και του αέρα τροφοδοσίας. Δεν υπάρχει ανάγκη εισαγωγής μεγαλύτερης από την απαιτούμενη ποσότητας εξωτερικού αέρα (π.χ. για λόγους εξαερισμού) εάν αυτός έχει μεγαλύτερο θερμικό περιεχόμενο από τον αέρα επιστροφής.

Κύκλος εξοικονομητή ενθαλπίας: Αυτός ο κύκλος είναι παρόμοιος με τον παραπάνω, εκτός του ότι αντί της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται η ενθαλπία των ρευμάτων του αέρα. Έτσι, συνήθως μετρώνται δύο παράμετροι για κάθε ρεύμα αέρα με σκοπό την εκτίμηση της ενθαλπίας του (δηλαδή οι θερμοκρασίες ξηρού και υγρού βολβού). Αυτός είναι ο λόγος που οι εξοικονομητές ενθαλπίας είναι λιγότερο συνήθεις, αφού είναι δαπανηρότεροι στην εγκατάσταση και λιγότερο πρακτικοί στη χρήση τους, αν και με αυτούς μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερα οφέλη εάν λειτουργούν σωστά.

6.4. Συστήματα ελέγχου της εσωτερικής θερμοκρασίας

Οι ρυθμίσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τις περιόδους θέρμανσης και ψύξης έχουν σημαντική επίδραση στη θερμική άνεση μέσα στους κατειλημμένους χώρους και στην κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων HVAC. Είναι, επομένως, σημαντικό για τον ενεργειακό επιθεωρητή να αξιολογήσει τα υφιστάμενα συστήματα ελέγχου της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα μέσα στην εγκατάσταση για να εκτιμήσει τις δυνατότητες μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας ή/και βελτίωσης της εσωτερικής θερμικής άνεσης χωρίς καμία ουσιαστική αρχική επένδυση.

Υπάρχουν τέσσερις επιλογές για τη ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας, με τις οποίες μπορεί να εξοικονομηθεί θερμική ή/και ψυκτική ενέργεια:

1. Εξάλειψη της υπέρψυξης, αυξάνοντας το προκαθορισμένο σημείο ψύξης κατά το καλοκαίρι.
2. Εξάλειψη της υπερθέρμανσης, με τη μείωση του προκαθορισμένου σημείου θέρμανσης κατά το χειμώνα.
3. Αποφυγή της ταυτόχρονης λειτουργίας ψύξης και θέρμανσης του συστήματος HVAC, διαχωρίζοντας τις προκαθορισμένες τιμές για την ψύξη και τη θέρμανση.
4. Μείωση της ζήτησης θέρμανσης ή/και ψύξης κατά τις ώρες που δεν υπάρχει κατοίκηση ελαττώνοντας την προκαθορισμένη θερμοκρασία κατά τη θέρμανση και αυξάνοντας την προκαθορισμένη θερμοκρασία (ή αφήνοντας την εσωτερική θερμοκρασία να μεταβάλλεται) κατά την ψύξη.

Οι υπολογισμοί της ενέργειας που εξοικονομείται από αυτά τα μέτρα βασίζονται στις βαθμομέρες (βλ. Κεφάλαιο 3). Σημειώνεται ότι, κάποια από τα προαναφερθέντα μέτρα θα μπορούσαν να αυξήσουν την κατανάλωση ενέργειας εάν δεν υλοποιηθούν σωστά. Πράγματι, όταν η εσωτερική θερμοκρασία προκαθορίζεται σε χαμηλότερο σημείο κατά το χειμώνα, οι εσωτερικοί χώροι μπορεί να απαιτούν περισσότερη ενέργεια, αφού θα πρέπει μάλλον να ψυχθούν παρά να θερμανθούν. Αντίστοιχα, ο καθορισμός υψηλότερης εσωτερικής θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας αναθέρμανσης στις ζώνες με στοιχεία αναθέρμανσης.

6.5. Αναβάθμιση του συστήματος του ανεμιστήρα

6.5.1. Εισαγωγή

Οι ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται σε αρκετά συστήματα HVAC για τη διανομή του αέρα μέσα στα κτίρια, συγκεκριμένα για τη μεταφορά του αέρα κλιματισμού από τις κεντρικές μονάδες για τη θέρμανση ή το δροσισμό των διάφορων ζωνών του κτιρίου. Σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη (EIA, 1997), η κατανάλωση ενέργειας από τους ανεμιστήρες αντιστοιχεί περίπου στο 25% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύνηθες κτίριο. Έτσι, η μείωση της λειτουργίας του συστήματος του ανεμιστήρα μπορεί να αποδώσει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Σε μία συνήθη μονάδα AHU, οι ανεμιστήρες δημιουργούν την απαιτούμενη πίεση για την κίνηση του αέρα μέσω των αεραγωγών, των σερπαντίνων, των φίλτρων και κάθε άλλου εμποδίου μέσα στο σύστημα των αεραγωγών. Δύο τύποι ανεμιστήρων κυρίως απαντώνται: ο φυγοκεντρικός και ο αξονικής πτερύγωσης. Ο πρώτος αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο τροχό, το «στροφέιο», που τοποθετείται στο μέσον ενός κυκλικού περιβλήματος και οδηγείται από ηλεκτρικό κινητήρα μέσω ενός ιμάντα. Ο ανεμιστήρας αξονικής πτερύγωσης περιλαμβάνει ένα κυλινδρικό περίβλημα με το στροφέιο τοποθετημένο κατά μήκος του άξονα του περιβλήματος. Το στροφέιο του αξονικού ανεμιστήρα έχει πτερύγια τοποθετημένα γύρω από μία πλήμνη, όπως οι έλικες των αεροπλάνων.

Οι αξονικοί ανεμιστήρες είναι συνήθως πιο αποδοτικοί από τους φυγοκεντρικούς, αλλά είναι ακριβότεροι διότι είναι δυσκολότερη η κατασκευή τους. Προς το παρόν, οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες απαντώνται συνηθέστερα στα υφιστάμενα συστήματα HVAC. Αρκετά είναι τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να συνδράμουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα συστήματα των ανεμιστήρων, μερικά από τα οποία περιγράφονται παρακάτω. Πριν από αυτό, παρατίθεται μια σύντομη ανασκόπηση των βασικών νόμων που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία του ανεμιστήρα.

6.5.2. Αρχές λειτουργίας των ανεμιστήρων

Για τον χαρακτηρισμό της λειτουργίας ενός ανεμιστήρα πρέπει να προσδιοριστούν αρκετές παράμετροι, όπως είναι η απαιτούμενη ισχύς τροφοδοσίας σε kW (ή Hp), η μέγιστη ποσότητα του αέρα που μπορεί να μετακινήσει σε lit/s (ή cfm) για μια διαφορά ολικής ή στατικής πίεσης (ΔP_t ή ΔP_s), και η απόδοση του ανεμιστήρα. Η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοσίας για έναν ανεμιστήρα υπολογίζεται συναρτήσει της παροχής του αέρα, της διαφοράς πίεσης και της απόδοσής του μέσω μιας απλής σχέσης. Εάν χρησιμοποιείται η ολική πίεση, η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοσίας είναι:

$$kW_{fan} = \frac{\dot{V}_f \cdot \Delta P_t}{\eta_{f,t}} \quad (6.8)$$

ενώ εάν είναι διαθέσιμη η στατική πίεση, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$kW_{fan} = \frac{\dot{V}_f \cdot \Delta P_s}{\eta_{f,s}} \quad (6.9)$$

Για τη μέτρηση της ολικής πίεσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας σωλήνας Pitot σε δύο θέσεις μέσα στον αεραγωγό που περιβάλλει τον ανεμιστήρα, στην είσοδο και την έξοδο του αντίστοιχα. Τότε, η ολική πίεση του ανεμιστήρα υπολογίζεται από τη διαφορά των δύο αυτών μεγεθών. Από τους νόμους των ανεμιστήρων προκύπτει ότι, μειώνοντας την ποσότητα του αέρα που μεταφέρεται από τον ανεμιστήρα, μειώνεται σημαντικά η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοσίας. Για παράδειγμα, η μείωση του όγκου του αέρα κατά 50% έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά 87,5% της κατανάλωσης ενέργειας του ανεμιστήρα. Αυτό το γεγονός καθιστά φανερό το πλεονέκτημα της χρήσης ανεμιστήρων μεταβλητού όγκου αέρα σε σχέση με αυτούς με σταθερό όγκο.

6.5.3. Ρύθμιση του μεγέθους

Σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη, το 60% των συστημάτων ανεμιστήρων των κτιρίων είναι υπερδιαστασιολογημένα κατά τουλάχιστον 10%. Μειώνοντας το μέγεθος των ανεμιστήρων στο απαιτούμενο δυναμικό, εκτιμάται ότι μπορεί να επιτευχθεί μέση εξοικονόμηση της τάξης του 50% στην κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων των ανεμιστήρων. Ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση αναμένεται εάν η ρύθμιση του μεγέθους του κινητήρα εφαρμοσθεί μαζί με άλλες επεμβάσεις που σχετίζονται με τα συστήματα των ανεμιστήρων, όπως είναι οι υψηλής απόδοσης κινητήρες, οι υψηλής απόδοσης ιμάντες και οι κινητήρες μεταβλητών στροφών.

Η ρύθμιση του μεγέθους των ανεμιστήρων μπορεί να γίνει τόσο για τα συστήματα CAV όσο και για τα VAV. Πέρα από την εξοικονόμηση ενέργειας, τα οφέλη από τη χρήση ανεμιστήρων με το κατάλληλο μέγεθος περιλαμβάνουν:

- Μεγαλύτερη άνεση, αφού ένα υπερδιαστασιολογημένο σύστημα ανεμιστήρα μπορεί να παρέχει μεγαλύτερη από την απαιτούμενη ποσότητα αέρα στις ζώνες του κτιρίου, πράγμα που μπορεί να μειώσει το επίπεδο άνεσης των ενοίκων.
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, αφού ένας υπερδιαστασιολογημένος ανεμιστήρας με κινητήρα μεταβλητής ταχύτητας λειτουργεί με μειωμένη ισχύ. Αυτός ο ρυθμός λειτουργίας μπορεί να μειώσει την ωφέλιμη ζωή των κινητήρων και του λοιπού εξοπλισμού.

Για να καθοριστεί εάν ένα σύστημα ανεμιστήρα έχει υπερδιαστασιολογηθεί, πρέπει να γίνουν μερικές επιτόπιες μετρήσεις, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος HVAC. Στα συστήματα CAV, γενικά αρκεί η μέτρηση της στατικής πίεσης του ανεμιστήρα για την εκτίμηση του κατά πόσον αυτός έχει το σωστό μέγεθος. Για να εξασφαλιστεί ότι η μέτρηση της στατικής πίεσης του ανεμιστήρα κύριας τροφοδοσίας γίνεται όταν το σύστημα λειτουργεί κοντά στην ισχύ σχεδιασμού, η μέτρηση πρέπει να γίνεται κατά τη διάρκεια υγρών και ζεστών ημερών, ενώ όλα τα διαφράγματα και οι βαλβίδες πρέπει να είναι εντελώς ανοικτά κατά τη διάρκεια των

μετρήσεων. Εάν η μετρηθείσα στατική πίεση είναι μεγαλύτερη από την τιμή σχεδιασμού, που συνήθως αναγράφεται στα μηχανολογικά σχέδια του κτιρίου, ο ανεμιστήρας παρέχει πολύ περισσότερο αέρα και, κατά πάσα πιθανότητα, είναι υπερδιαστασιολογημένος.

Στα συστήματα VAV, υπάρχουν τρεις μέθοδοι για τον καθορισμό του κατά πόσον το σύστημα του ανεμιστήρα είναι υπερδιαστασιολογημένο, οι οποίες είναι:

1. Μέτρηση του ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνει ο κινητήρας του ανεμιστήρα. Εάν αυτό είναι μικρότερο από το 75% του ονομαστικού ρεύματος υπό πλήρες φορτίο (αυτό αναγράφεται στην ετικέτα του κινητήρα ή στο εγχειρίδιο λειτουργίας-συντήρησης του κινητήρα), τότε ο ανεμιστήρας είναι υπερδιαστασιολογημένος.
2. Έλεγχος της θέσης των βαλβίδων και των διαφραγμάτων του ανεμιστήρα. Εάν αυτά είναι περισσότερο από 20% κλεισμένα, τότε είναι υπερδιαστασιολογημένος ο ανεμιστήρας.
3. Μέτρηση της στατικής πίεσης του ανεμιστήρα κύριας τροφοδοσίας. Εάν είναι μεγαλύτερη από την προκαθορισμένη, ο ανεμιστήρας έχει υπερδιαστασιολογηθεί.

Εάν γίνει σαφές ότι το σύστημα του ανεμιστήρα είναι υπερδιαστασιολογημένο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω μέτρα για τη ρύθμιση του μεγέθους του:

1. Εγκατάσταση μεγαλύτερης τροχαλίας για να μειωθεί η ταχύτητα του υφιστάμενου ανεμιστήρα. Έτσι, αφενός μειώνεται αναλογικά ο αέρας που μεταφέρεται μέσα στους αεραγωγούς, αφετέρου μειώνεται σημαντικά η ενέργεια που καταναλώνεται από το σύστημα του ανεμιστήρα. Για παράδειγμα, η μείωση της ταχύτητας του ανεμιστήρα κατά 20% θα μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 50%.
2. Αντικατάσταση του υφιστάμενου υπερδιαστασιολογημένου κινητήρα από ένα πιο μικρό-ενεργειακά αποδοτικό που να ανταποκρίνεται στο μέγιστο φορτίο. Έτσι, θα μειωθεί προφανώς η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος του ανεμιστήρα. Για παράδειγμα, αντικαθιστώντας ένα συνηθισμένο κινητήρα 50 kW με έναν υψηλής απόδοσης 35 kW, η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος του ανεμιστήρα θα μειωθεί κατά το ένα τρίτο περίπου.
3. Ρύθμιση της προκαθορισμένης στατικής πίεσης (μόνο για τα συστήματα VAV). Μειώνοντας την ποσότητα αυτή σε επίπεδο ικανοποιητικό για τη διατήρηση της θερμικής άνεσης, θα μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος του ανεμιστήρα. Για παράδειγμα, ένα σύστημα VAV που λειτουργεί με στατική πίεση 6 inH₂O μπορεί ενίοτε να μειωθεί στις 4 inH₂O χωρίς απώλεια της θερμικής άνεσης. Αυτή η κατά 33% μείωση της στατικής πίεσης θα επιφέρει περίπου 45% εξοικονόμηση ενέργειας στη λειτουργία του συστήματος του ανεμιστήρα.

Για οποιοδήποτε από τα μέτρα που περιγράφονται παραπάνω, είναι σημαντικό να αναλύεται η απόδοση ολόκληρου του συστήματος HVAC, ώστε να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική ρύθμιση του μεγέθους του ανεμιστήρα. Πράγματι, οι αλλαγές στο σύστημα του ανεμιστήρα

μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία και/ή τον έλεγχο των άλλων συνιστωσών του συστήματος HVAC.

7. ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

7.1. Εισαγωγή

Ο κύριος στόχος των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στη βιομηχανία είναι η βελτίωση της ικανότητας των βιομηχανικών επιχειρήσεων να λαμβάνουν τις σωστές αποφάσεις σε θέματα σχετικά με τη μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης, την αποδοτική χρήση της ενέργειας και την αποφυγή της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στο βιομηχανικό κλάδο, δεδομένου ότι ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας σ' αυτόν καταναλώνεται σε μονάδες υψηλών θερμοκρασιών (κλίβανοι, φούρνοι, κάμινοι), στα πλαίσια ενεργοβόρων παραγωγικών διεργασιών.

Η αρχή της εξοικονόμησης ενέργειας χαρακτηρίζεται από την προσπάθεια για την ορθολογική χρήση της ενέργειας, μέσω της υιοθέτησης καινοτόμων τεχνολογιών. Έχει αναπτυχθεί μία πληθώρα στρατηγικών με στόχο την επίτευξη ενεργειακών οφελών, όπως η ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας, η αποφυγή απόρριψης της θερμότητας, η εξέλιξη μηχανημάτων και εξοπλισμού χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, όπως συμβαίνει στον κλάδο των κεραμικών. Οι περισσότερες εξελίξεις εκεί έχουν εστιαστεί στη βελτίωση της αποδοτικότητας της καμίνου, η οποία είναι το πιο ενεργοβόρο τμήμα ενός εργοστασίου κεραμικών.

7.2. Σημαντικές τεχνολογίες

Οι τεχνολογίες με τις οποίες μπορεί να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση μιας βιομηχανίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις διακλαδικές και τις ειδικές για κάθε κλάδο. Πολλές από τις διακλαδικές τεχνολογίες μπορούν να βελτιωθούν μέσω της περαιτέρω ανάπτυξης, επίδειξης ή διάδοσής τους σε ευρύτερο επίπεδο, ώστε να ξεπεραστούν τα εμπόδια της αγοράς. Στον επόμενο πίνακα 7.1 παρουσιάζονται σημαντικά θέματα σχετικά με καθεμία από τις επιλεγμένες διακλαδικές τεχνολογίες.

Πίνακας 7.1 Διακλαδικές τεχνολογίες (βλ. βιβλιογραφία – αναφ. 28)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΜΑΚΡΟ-ΠΡΟΘΕΣΜΑ ΟΦΕΛΗ (%)
Διεργασίες διαχωρισμού	Απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη των υλικών και των συστημάτων.	5 – 30
Έλεγχος διεργασιών και ενεργειακή διαχείριση	Σχετικά ώριμη, χρειάζεται όμως περαιτέρω διάδοση και εξελιγμένους αισθητήρες για πλήρη αυτοματοποίηση.	5 – 10
Ενοποίηση και εντατικοποίηση των διεργασιών	Χρήζει περαιτέρω επίδειξων, κυρίως για το άνοιγμα νέων αγορών στις μαζικές διεργασίες.	5 – 25
Ψύξη	Απαιτείται περαιτέρω διάδοση για την προώθηση πιο αποδοτικών και φιλο-περιβαλλοντικών συστημάτων.	5 – 10
Αντλίες και μετατροπείς θερμότητας,	Απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη για τη μείωση του	3 – 8

οργανικός κύκλος Rankine	κόστους και την προώθηση εφαρμογών σε νέες αγορές.	
Συμπαραγωγή (CHP) υψηλών θερμοκρασιών	Χρήζει περαιτέρω επιδείξεων και διάδοσης για τη μείωση του κόστους και τη διάνοιξη νέων αγορών.	8 – 15
Τεχνικές καύσης	Απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη των ελέγχων των εκπομπών, μαζί με επιδείξεις και προώθηση.	5 – 30
Κινητήρες ρυθμιζόμενων στροφών	Χρήζουν περαιτέρω προώθησης, για την παρακίνηση των υπαρχόντων μονάδων, και επίδειξης, για το άνοιγμα νέων αγορών και τη μείωση του κόστους.	10 - 20

Όσον αφορά τις ειδικές τεχνολογίες ανά κλάδο, μερικά παραδείγματα ενεργοβόρων βιομηχανιών και τα κύρια θέματα που σχετίζονται με τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας σ' αυτές, είναι τα εξής:

- Η βιομηχανία πετρελαίου είναι ένας μεγάλος καταναλωτής ενέργειας, που όμως παρέχει σημαντικές ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της εισαγωγής νέων τεχνικών παραγωγής (π.χ. οι σεισμικές τεχνικές 4-διαστάσεων και χρονικής σάρωσης) και διακοπής των διεργασιών.
- Η βιομηχανία χημικών προσφέρει πολλές ευκαιρίες για χρήση των διακλαδικών τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας· ειδικότερα, ενεργειακά οφέλη μπορούν να επιτευχθούν με τη βελτιστοποίηση των θραυστήρων ατμού.
- Η βιομηχανία χάλυβα είναι ένας κατεξοχήν ενεργοβόρος κλάδος, αλλά υφίστανται σημαντικά περιθώρια για εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της υιοθέτησης νέων τεχνολογιών ελάττωσης της τήξης και χύτευσης κοντά στο τελικό σχήμα.
- Η βιομηχανία χάρτου και πολτού προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας σε συγκεκριμένες κλαδικές διεργασίες, όπως είναι η αεριοποίηση του μέλανος υγρού, η ωστική ξήρανση και η ξήρανση συμπυκνούμενης ζώνης.

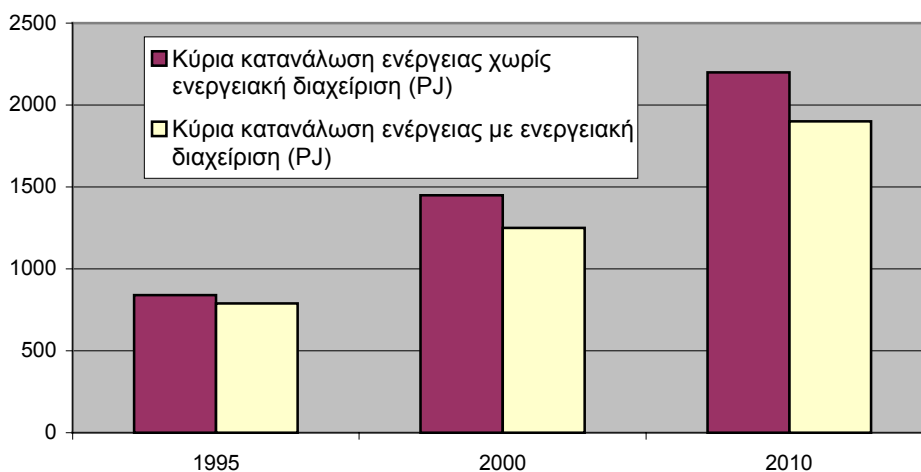
7.3. Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας

7.3.1. Τεχνολογίες ελέγχου των διεργασιών και ενεργειακής διαχείρισης

Ο έλεγχος των παραγωγικών διεργασιών και η ενεργειακή διαχείριση αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο του συστήματος ολικής ποιότητας των βιομηχανιών. Εξελιγμένοι αισθητήρες και συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για την επίτευξη ενεργειακών οφελών, ενώ υπάρχουν και άλλα ουσιαστικά οφέλη που περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, τη μείωση των ρύπων και τη μείωση του κόστους των πρώτων υλών. Η ενεργειακή διαχείριση σχετίζεται με την προμήθεια ενέργειας στο χαμηλότερο δυνατό κόστος και την εφαρμογή πρακτικών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Μερικά από τα μέτρα αυτά είναι, για παράδειγμα, το σβήσιμο του εξοπλισμού όταν δεν χρησιμοποιείται και η προληπτική συντήρηση.

Τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης επιτρέπουν στις βιομηχανίες να βελτιώσουν την απόδοσή τους με την εφαρμογή καλύτερων μεθόδων ελέγχου. Το τυπικό κόστος επένδυσης

για ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης είναι από 0,5 - 40 ΕΥΡΩ ανά GJ εξοικονομούμενης ενέργειας, ενώ η περίοδος αποπληρωμής στις βιομηχανικές εφαρμογές κυμαίνεται από λιγότερο του ενός έτους μέχρι τέσσερα έτη. Η διάρκεια ζωής ενός τέτοιου συστήματος εξαρτάται από το χρόνο λειτουργίας του εξοπλισμού στον οποίο εφαρμόζεται και, κατά μέσο όρο, είναι 15 έτη. Τα εκτιμώμενα ενεργειακά οφέλη από τη χρήση συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης στην Ε.Ε., σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία το 1990, παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. Θεωρούνται υψηλοί ρυθμοί εξέλιξης του εξοπλισμού ελέγχου των διεργασιών για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας, της παροχής, της περιεκτικότητας σε υγρασία, της χημικής σύστασης και της λειτουργικής κατάστασης των μηχανημάτων.



Σχήμα 7.1. Εκτιμώμενη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας από τη χρήση συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης (αναφ. 28)

7.3.2. Τεχνικές ενοποίησης και εντατικοποίησης των διεργασιών

Η ενοποίηση των διεργασιών είναι ένα εργαλείο διαχείρισης-σχεδιασμού που εφαρμόζεται στις διεργασίες όπου χρησιμοποιούνται συμβατικές τεχνολογίες για τη βελτιστοποίηση των ενεργειακών πόρων. Η εντατικοποίηση των διεργασιών, από την άλλη, περιλαμβάνει την εισαγωγή ριζικών αλλαγών στις τεχνολογίες παραγωγής με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος και την ενεργειακή αποδοτικότητα.

Η ενοποίηση των διεργασιών είναι μία γνωστή τεχνική που χρησιμοποιείται στις συνεχείς διεργασίες, κυρίως στις βιομηχανίες χημικών, τροφίμων και ποτών και τα διυλιστήρια (πίνακας 7.2). Το πιο γνωστό εργαλείο ενοποίησης είναι η ανάλυση PINCH, στην οποία χρησιμοποιούνται δίκτυα εναλλακτών θερμότητας για τη βελτιστοποίηση των θερμικών φορτίων, συνδέοντας ψυχρά και θερμά ρεύματα από τις διεργασίες κατά τον πιο θερμοδυναμικώς αποδοτικό τρόπο.

Από την εντατικοποίηση των διεργασιών προκύπτουν ενεργειακά, οικονομικά και

περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς και σε θέματα ασφάλειας, με τη σημαντική μείωση του μεγέθους των εγκαταστάσεων (συχνά κατά τρεις έως τέσσερις φορές). Μικρότερες και καινοτόμες σχεδιάσεις εναλλακτών θερμότητας από κεραμικά ή πολυμερή υλικά ή άλλα πρωτοποριακά συστήματα, μπορούν να εφαρμοσθούν για την οικονομικότερη μεταφορά της θερμότητας. Και οι δύο τεχνικές προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και ελαχιστοποίησης των απωλειών.

Πίνακας 7.2. Εκτιμώμενα ενεργειακά οφέλη και χρόνοι αποπληρωμής από την εφαρμογή της ενοποίησης των διεργασιών σε βιομηχανικούς κλάδους (αναφ. 28)

ΚΛΑΔΟΣ	ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ/ΕΦΑΡΜΟΓΗ	ΕΞΑΚΡΙΒΩΜΕΝΑ ΟΦΕΛΗ (%)	ΤΥΠΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ (ΕΤΗ)
Διυλιστήρια	Διύλιση αργού πετρελαίου	12	1
Χημικά	Αρωματικά	10	1
	Προϊόντα ασφάλτου	15	1
	Προϊόντα θείου	42	1
Τρόφιμα και ποτά	Ζυθοποιία	21	1
	Αποστακτήρια	24	3
	Αναψυκτικά	21	2

7.3.3. Τεχνολογίες ψύξης

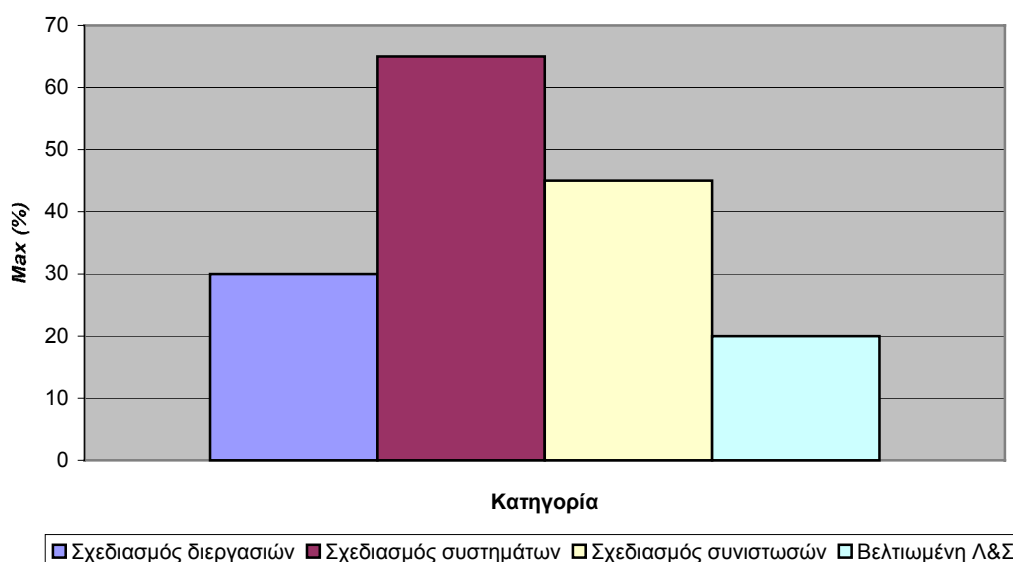
Η χρήση της ψύξης αυξάνεται με την πάροδο των ετών λόγω της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου. Η ψύξη είναι ο κύριος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε. και η απόσυρση των συστημάτων που χρησιμοποιούν χλωροφθορ-άνθρακες, ως συνέπεια των περιβαλλοντικών συμφωνιών, παρέχει τη δυνατότητα αναζήτησης των πιο ενεργητικά αποδοτικών λύσεων για την αντικατάστασή τους.

Η ψύξη στη βιομηχανία γίνεται συνήθως μέσω κύκλου συμπίεσης και, σε μερικές περιπτώσεις, μέσω κύκλου απορρόφησης. Οι αλλαγές στη σχεδίαση των διεργασιών θα επιτρέψουν το σχεδιασμό διάφορων συνιστωσών με γνώμονα την εξοικονόμηση ενέργειας (π.χ. την εξέλιξη υπέρ-αντλιών θερμότητας με υψηλούς COP). Περαιτέρω οφέλη μπορούν να επιτευχθούν με τη βελτιστοποίηση της διανομής της ροής του ψυχρού αέρα στους χώρους αποθήκευσης, η οποία μπορεί επίσης να συμβάλλει στη μείωση των απωλειών στα προϊόντα. Επιπλέον, η χρήση εναλλακτικών ρευστών λειτουργίας (εν αντιθέσει με τα κοινά ρευστά λειτουργίας των αντλιών θερμότητας συμπίεσης), όπως είναι τα ψυκτικά μείγματα αλογόνων, και φυσικών ψυκτικών, όπως είναι ο αέρας και το CO₂, μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση της τάξης του 2 – 20%.

Η ψύξη κύκλου απορρόφησης παρέχει σημαντικά ενεργειακά οφέλη όταν οδηγείται από απορριπτόμενη θερμότητα. Συνδυαζόμενη με μονάδα συμπαραγωγής, μπορεί να βελτιώσει τη βιωσιμότητα της εγκατάστασης παρέχοντας έναν παραγωγικό τρόπο χρήσης της θερμότητας, κυρίως κατά τις θερινές περιόδους. Όπως προαναφέρθηκε, η σχεδίαση των

συνιστωσών είναι μια κρίσιμη περιοχή για την επίτευξη ενεργειακών οφελών. Υπάρχουν λόγοι βελτίωσης όλων των παραμέτρων της, περιλαμβανομένης της ανάπτυξης αποδοτικότερων συμπυκνωτών και εξατμιστών, εκτονωτικών βαλβίδων, κινητήρων και συστημάτων ελέγχου των ανεμιστήρων.

Εξάλλου, είναι εφικτή η εξοικονόμηση ενέργειας με τη βελτίωση της ενεργειακής διαχείρισης που σχετίζεται με τα συστήματα ελέγχου, τους κύκλους καθαρισμού του αέρα και απόψυξης, καθώς επίσης με τα θέματα συντήρησης. Τα ενεργειακά οφέλη που επιτυγχάνονται μέσω των τεχνικών σχεδίασης των διεργασιών, σχεδίασης των συστημάτων, σχεδίασης των συνιστωσών και της βελτιωμένης λειτουργίας και συντήρησης (Λ&Σ), παρατίθενται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 7.2. Ενεργειακά οφέλη ανά κατηγορία (αναφ. 28)

7.3.4. Αντλίες και μετατροπείς θερμότητας, οργανικός κύκλος Rankine

Η απορριπτόμενη θερμότητα κατά την παραγωγή ισχύος και από τις βιομηχανικές διεργασίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί εις τρόπον ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια και κόστος. Οι τεχνολογίες μετατροπής της ενέργειας που μπορούν να εκμεταλλευτούν αυτήν την πηγή ενέργειας είναι οι αντλίες θερμότητας, οι μετατροπείς θερμότητας και ο οργανικός κύκλος Rankine. Οι αντλίες και οι μετατροπείς θερμότητας μεταφέρουν θερμότητα από ένα ψυχρό αντικείμενο ή χώρο σε ένα θερμότερο. Έτσι επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας χαμηλής ποιότητας σε μια υψηλότερη θερμοκρασία, που είναι κατάλληλη για κάποια άλλη διεργασία.

Κατά τη συμπίεση ατμού κλειστού κύκλου, η θερμότητα εξατμίζει ένα ρευστό, που στη συνέχεια συμπιέζεται και, όταν συμπυκνώνεται, αποδίδει επιπλέον θερμότητα. Στη συμπίεση ατμού ημίκλειστου κύκλου, κατακρατείται ατμός από κάποια διεργασία, συμπιέζεται και στη

συνέχεια μεταφέρεται σε κάποια άλλη διεργασία μέσω εναλλάκτη θερμότητας. Τα συστήματα μηχανικής συμπίεσης ατμού μπορούν να θεωρηθούν ως αντλίες θερμότητας ανοικτού βρόχου. Από την άλλη, ο οργανικός κύκλος Rankine λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, σε σχέση με τους μετατροπείς θερμότητας, χρησιμοποιώντας οργανικά μείγματα αντί για ατμό (βλ. πίνακα 7.3).

Πίνακας 7.3. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούν απορριπτόμενη θερμότητα (αναφ. 28)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ
Αντλίες θερμότητας: Συμπύεση ατμού κλειστού κύκλου	Η θερμότητα εξατμίζει ένα υγρό το οποίο στη συνέχεια επανασυμπιέζεται και μεταφέρεται σε μια διεργασία μέσω εναλλάκτη θερμότητας	Αντλίες θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας >130°C
Αντλίες θερμότητας: Μηχανική Συμπύεση Ατμού	Ατμός κατακρατείται από κάποια διεργασία, συμπιέζεται και μεταφέρεται σε άλλη διεργασία μέσω εναλλάκτη θερμότητας	Αντλίες θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας >130°C
Μετατροπέας θερμότητας	Η θερμότητα διοχετεύεται σε ένα συνδυασμό απορροφητή-προσροφητή	Περίπου 150°C
Οργανικός κύκλος Rankine	Η θερμότητα εκτονώνεται σε ένα σπειροειδή στρόβιλο που κινεί μία γεννήτρια	70 – 200°C

Η κύρια εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογιών κυμαίνεται από 2 έως 90%, ανάλογα με την τεχνολογία που επιλέγεται. Το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας προσφέρεται από τις άνω των 130°C αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών. Οι αντλίες θερμότητας είναι κατάλληλες για την ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας σε βιομηχανικές διεργασίες παραγωγής ατμού και θέρμανσης, και σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν σχετικά μεγάλες ποσότητες ζεστού νερού και ατμού χαμηλής πίεσης παραγόμενες από λέβητες, π.χ. στη χαρτοβιομηχανία, τα χημικά και την υφαντουργία. Γι' αυτήν την τεχνολογία, η κύρια εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φτάσει το 50%.

Τα συστήματα μηχανικής συμπίεσης ατμού είναι κατάλληλα για την γαλακτοκομία και έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στις βιομηχανίες χημικών. Με τα συστήματα αυτά είναι εφικτή εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 50 με 90%. Οι μετατροπείς θερμότητας έχουν τη δυνατότητα να ανακτούν θερμότητα από υδρόψυκτα συστήματα και χρησιμοποιούνται κυρίως στη διαδικασία παραγωγής του χάλυβα, με ενεργειακά οφέλη έως και 90%. Τέλος, η τεχνολογία του οργανικού κύκλου Rankine μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της απόδοσης σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και για την ανάκτηση γεωθερμικής και ηλιακής θερμότητας. Η τεχνολογία αυτή παρέχει μικρά ενεργειακά οφέλη, της τάξης του 2%.

7.3.5. Συμπαγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού υψηλών θερμοκρασιών

Αυτή είναι μία τεχνολογία υψηλής αποδοτικότητας για την παραγωγή ενέργειας που προσφέρει σημαντικά οφέλη. Τα συστήματα συμπαγωγής έχουν εφαρμοσθεί σε μεγάλο

εύρος βιομηχανικών διεργασιών και κυρίως χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες χημικών, τροφίμων και ποτών, χάρτου, κεραμικών και πλίνθων. Σε μερικούς υπο-κλάδους, π.χ. κατεργασία ορυκτών, πετροχημικά, πλίνθοι και κεραμικά, γίνεται άμεση χρήση θερμότητας από συστήματα συμπαραγωγής, σε θερμοκρασίες της τάξης των 300 – 800°C. Ωστόσο, το δυναμικό γι' αυτού του είδους τις εφαρμογές είναι πολύ μεγαλύτερο, ενώ μπορεί επίσης να αναπτυχθεί και σε άλλες βιομηχανίες υψηλών θερμοκρασιών, όπως είναι του γυαλιού, των μετάλλων, του σιδήρου και χάλυβα.

Μια άλλη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στη συμπαραγωγή υψηλών θερμοκρασιών είναι η ανατροφοδότηση ισχύος της μονάδας συμπαραγωγής, η οποία παρέχει τη δυνατότητα μη τροποποίησης του κλιβάνου, αφού ο αέρας καύσης παρέχεται στον κλίβανο από αεριοστρόβιλο. Ο αεριοστρόβιλος μπορεί να αποδώσει μέχρι 20% της θερμότητας του κλιβάνου, ενώ τα καυσαέρια περιέχουν ικανή ποσότητα οξυγόνου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καύση στον κλίβανο. Τα μακροπρόθεσμα οφέλη, συγκριτικά με τους συμβατικούς κλιβάνους μπορούν να ανέλθουν στο 30%.

Η αντικατάσταση του υπάρχοντος κλιβάνου ενός συστήματος συμπαραγωγής, σε συνδυασμό με την απόδοση της συνολικής ζήτησης θερμότητας του κλιβάνου από το σύστημα συμπαραγωγής, προσφέρει ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες για ενεργειακά οφέλη. Αυτό συμβαίνει διότι η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από τον αεριοστρόβιλο είναι πολύ μικρότερη από αυτή των καυσαερίων.

7.3.6. Τεχνικές και τεχνολογίες καύσης

Η πρόοδος των τεχνικών της καύσης και της τεχνολογίας των καυστήρων έχει επιτρέψει τη δημιουργία μιας σειράς ενεργειακά αποδοτικών καυστήρων. Οι θερμικοί καυστήρες χρησιμοποιούνται στους βιομηχανικούς κλάδους υψηλών θερμοκρασιών όλων των χωρών της Ε.Ε., π.χ. στους κλάδους του σιδήρου και χάλυβα, του γυαλιού, των κεραμικών και πλίνθων, των μη-σιδηρούχων μετάλλων και των χυτηρίων. Η διαδικασία της προθέρμανσης του αέρα της καύσης που τροφοδοτεί τον καυστήρα προσφέρει μεγάλες δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό είναι εφικτό με τη χρήση των συστημάτων ανάκτησης ή αναθέρμανσης.

Ένα σύστημα ανάκτησης είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που απάγει θερμότητα από τα καυσαέρια του καυστήρα για να θερμάνει τον αέρα της καύσης που εισάγεται σ' αυτόν. Οι καυστήρες με σύστημα ανάκτησης μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια έως και 30% συγκριτικά με αυτούς που λειτουργούν με κρύο αέρα. Από την άλλη, οι καυστήρες με αναθέρμανση λειτουργούν ανά ζεύγη. Ο πρώτος καίει το καύσιμο ενώ ο δεύτερος αποθηκεύει θερμότητα από τα καυσαέρια σε μία πορώδη κεραμική κλίνη. Έτσι, μπορεί να ανακτηθεί περίπου το 85% της απορριπτόμενης θερμότητας, με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα της καύσης σε μόλις 150°C κάτω από τη θερμοκρασία του κλιβάνου και εξοικονομείται με τον τρόπο αυτό πάνω από το 50% των καυσίμων, σε σχέση με τους

καυστήρες που λειτουργούν με κρύο αέρα.

7.3.7. Κινητήρες ρυθμιζόμενων στροφών

Η χρήση των κινητήρων ρυθμιζόμενων στροφών προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στην ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων κίνησης. Παρέχουν το δυναμικό για υψηλότερη αποδοτικότητα, χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, ευκολότερο έλεγχο και ελάχιστη συντήρηση. Ο πιο συνήθης τύπος κινητήρα ρυθμιζόμενων στροφών είναι ο ελεγχόμενος μέσω της συχνότητας, που παρέχει και τα περισσότερα πλεονεκτήματα. Υπάρχουν δύο κατηγορίες αυτού του τύπου, οι άμεσοι και οι έμμεσοι μετατροπείς. Ο πρώτος, μετατρέπει τη συχνότητα και την τάση σε ένα βήμα, ενώ στον δεύτερο παρεμβάλλεται μία σύνδεση DC. Μερικά από τα οφέλη που έχουν καταγραφεί γι' αυτού του τύπου τους κινητήρες σε διάφορες εφαρμογές στον Καναδά, τη Νορβηγία, τη Βρετανία, τις Η.Π.Α. και την Ολλανδία αναφέρονται στον πίνακα 7.4.

Πίνακας 7.4. Οφέλη από τη χρήση κινητήρων ρυθμιζόμενων στροφών (αναφ. 28)

ΚΛΑΔΟΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΗ	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (%)
Μέταλλα	Κλίβανος με αναθέρμανση	50
	Ξεκάπνισμα	37
Χαρτοβιομηχανία	Αντλία μεταφοράς πρώτης ύλης	65
	Πολτοποιητής χάρτου	13
Χημικά & Πλαστικά	Αντλίες νερού ψύξης	12 – 30
	Δοχείο ανάδευσης	52
	Ανεμιστήρας λέβητα	63
Τρόφιμα & Ποτά	Κατάψυξη	45

7.4. Βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις ενεργοβόρες βιομηχανίες

Οι διακλαδικές και κλαδικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στη βιομηχανία έχουν ήδη παρουσιαστεί στα προηγούμενα. Εντούτοις, έχει επίσης εφαρμοσθεί μία σειρά ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, διεργασιών και εξελίξεων με σκοπό τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στις ενεργοβόρες βιομηχανίες, καθώς επίσης για τη διάδοση της αποδοτικής χρήσης της ενέργειας και τη μείωση των ρύπων. Μερικές από αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

7.4.1. Βιομηχανία κεραμικών

Οι παρακάτω τεχνολογίες έχουν εστιάσει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της καμίνου, η οποία είναι το πιο ενεργοβόρο τμήμα ενός εργοστασίου κεραμικών.

Προετοιμασία των πρώτων υλών:

- *Ξηρή άλεση και κοκκοποίηση:* Κατ' αυτήν, ενεργειακά οφέλη προκύπτουν από τη μείωση της ποσότητας του εξατμιζόμενου νερού. Τα ενεργειακά και λειτουργικά κόστη είναι πολύ

χαμηλότερα από αυτά της υγρής διεργασίας. Επιπλέον, αυτή η διεργασία μπορεί να επιφέρει μείωση κατά 2,5 φορές στην ειδική κατανάλωση, συγκριτικά με το υγρό άλεσμα και την ξήρανση ψεκασμού. Η μείωση των εργατικών, του κόστους συντήρησης και της επένδυσης συγκριτικά με την υγρή διεργασία, είναι μερικά από τα πρόσθετα πλεονεκτήματα αυτής.

- *Συνεχόμενη υγρή άλεση:* Αυτή η διεργασία αποφέρει υψηλότερη πυκνότητα ολίσθησης και επομένως μεγαλύτερα ενεργειακά οφέλη (της τάξης του 35%) στην επόμενη φάση, που είναι η ξήρανση ψεκασμού.
- *Εγκατάσταση μετατροπέα μεταβλητής συχνότητας:* Σ' αυτή τη διεργασία, μπορεί να βελτιστοποιηθεί ο κύκλος άλεσης και είναι δυνατή η μείωση τόσο του χρόνου άλεσης όσο και της κατανάλωσης ενέργειας κατά 15-25%.

Διεργασία ξήρανσης:

- *Βελτιστοποίηση της επανακυκλοφορίας του αέρα ξήρανσης:* Ενεργειακά οφέλη προκύπτουν από τον έλεγχο της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας και της παροχής του αέρα ξήρανσης.
- *Χρήση απορριπτόμενης θερμότητας:* Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί συστήματα εναλλακτών στις υπόγειες ζώνες ψύξης του κλίβανου. Μία συντηρητική εκτίμηση του δυνατού ενεργειακού οφέλους στην ξήρανση με τη χρήση της μεθόδου αυτής για κάθε κλάδο είναι: πλακίδια 10%, είδη υγιεινής 30%, είδη εστίασεως 50%.
- *Ξηραντήρες μονής στρώσης με οριζόντια ράουλα:* Με τη μείωση του χρόνου ξήρανσης στα 10 λεπτά, προσφέρουν ενεργειακά οφέλη της τάξης του 20-40% συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους ξήρανσης.
- *Σύστημα ξήρανσης άνευ αέρος:* Χρησιμοποιείται ατμός για τη μεταφορά της θερμότητας, μειώνοντας το χρόνο ξήρανσης και τη χρήση της θερμικής ενέργειας κατά 20-50%.

7.4.2. Βιομηχανία τσιμέντου

Μερικές από τις ειδικές τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιούνται στον κλάδο είναι οι παρακάτω:

- *Κυλινδρικοί αλεστές:* Χρησιμοποιούνται στις μονάδες ξηρής διεργασίας και έχουν ως αποτέλεσμα την κατά 10-15% μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας συγκριτικά με ένα σύστημα σφαιρικής άλεσης.
- *Κάμινοι με προθερμαντήρα αιώρησης:* Είναι κατακόρυφες διατάξεις στις οποίες καταναλώνονται περίπου 3,6 GJ/τόνο, σε αντίθεση με τους επιμήκεις κάμινους (χωρίς προθερμαντήρα) που καταναλώνουν περίπου 4,5 GJ/τόνο.
- *Προ-οξειδωτής:* Είναι ένας καυστήρας που τοποθετείται στο κάτω μέρος του προθερμαντήρα, όπου παρέχει πρόσθετη θερμότητα.
- *Διαχωριστές υψηλής απόδοσης:* Αυτοί οι διαχωριστές αποφέρουν αύξηση της παραγωγής του αλεστού κατά 15% και μείωση της ειδικής ισχύος κατά 8%.

- *Κυλινδρική πρέσα:* Αυτή η διάταξη οδηγεί επίσης σε μεγαλύτερη παραγωγή και μειωμένη κατανάλωση ειδικής ισχύος κατά 20%.
- *Κινητήρες ανεμιστήρων μεταβλητών στροφών:* Αυτοί οδηγούν σε σημαντική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, ελέγχοντας τη ροή του αέρα ή αερίου, που δημιουργείται από μεγάλους ανεμιστήρες.
- *Ηλεκτροκινητήρες υψηλής αποδοτικότητας:* Ο χρόνος αποπληρωμής τους είναι 2 έτη περίπου.

7.4.3. Βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα

Οι βιομηχανίες αυτές απαιτούν μεγάλα ποσά θερμότητας και μηχανικής ενέργειας για τη λειτουργία τους. Προκειμένου να μειωθεί η συνολική ενεργειακή κατανάλωση, είναι αναγκαία η πολύ καλή γνώση της ροής της ενέργειας σ' αυτές. Μερικές από τις ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες :

- *Χύτευση μεταλλικών υπολειμμάτων:* Μ' αυτήν εξοικονομούνται παραπάνω από 1-5 GJ/τόνο σε σχέση με τον συμβατικό τρόπο και εφόσον τα επίπεδα προϊόντα αντιπροσωπεύουν περίπου το 60% της παραγωγής στην Ε.Ε., προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες εξοικονόμησης.
- *Διεργασία ενεργειακής βελτιστοποίησης:* Αυτή συνδυάζει την προθέρμανση των υπολειμμάτων με χρήση αναθυμιάσεων, με την έγχυση οξυγόνου και άνθρακα σε λουτρό υγρού σιδήρου. Αυτή η διεργασία προσφέρει σημαντικά οφέλη μέσω της προθέρμανσης των υπολειμμάτων, ενώ παρέχει και περιβαλλοντικά οφέλη, λόγω της μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και των αερίων ρύπων.
- *Μονάδα τύπου Corex:* Αυτή η διεργασία περιλαμβάνει τη μείωση της μάζας του μεταλλεύματος ή τη συμπίεση χωρίς θέρμανση σε σίδηρο 90%. Εκτιμάται ότι επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10-15% συγκριτικά με τη συμβατική διεργασία του κλίβανου εκτόνωσης.
- *Στρόβιλος ανάκτησης της μέγιστης πίεσης του αερίου:* Αυτή είναι μία από τις πιο αποδοτικές τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας η οποία επιτρέπει τη μείωση της μέγιστης πίεσης λειτουργίας των κλιβάνων εκτόνωσης (έως 2,5 ατμόσφαιρες) στα επίπεδα πίεσης του λέβητα αερίου, με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- *Ανάκτηση της απορριπτόμενης από την εστία θερμότητας:* Με αυτή τη διεργασία, η απομένουσα αισθητή θερμότητα προέρχεται από τα θερμά αέρια της εστίας και χρησιμοποιείται για την προθέρμανση τόσο του αέρα καύσης όσο και των αερίων καπνοδόχου. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι της τάξης των 0,08 GJ/tpi.
- *Υψηλής θερμοκρασίας προθέρμανση υπολειμμάτων:* Οι χαμηλής θερμοκρασίας προθερμαντήρες έχουν προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα στις χώρες της Ε.Ε. και τελευταία αντικαθίστανται με προθερμαντήρες υψηλών θερμοκρασιών που προσφέρουν εξοικονόμηση της τάξης του 0,1-0,3 GJ/tcs.

- *Δευτερεύων εξευγενισμός με τη μέθοδο Ladle:* Αυτή χρησιμοποιεί έναν ηλεκτρικό κλίβανο υψηλής ισχύος και επιτυγχάνει εξοικονόμηση της τάξης του 0,05 GJ/tcs.
- *Καυστήρες αναθέρμανσης και ανάκτησης:* Αυτοί επηρεάζουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας των κλιβάνων αναθέρμανσης και παρέχουν εξοικονόμηση της τάξης του 65%, που αντιστοιχεί σε 0,3-0,7 GJ/tcs.
- *Άμεση θερμή εξέλαση:* Αυτή η διεργασία περιλαμβάνει τη μεταφορά θερμών ημι-κατεργασμένων προϊόντων σε έναν αλεστή, χωρίς ενδιάμεση αναθέρμανση. Τα δυνατά ενεργειακά οφέλη μπορεί να φτάσουν τα 2 GJ/tcs.
- *Άμεση πλήρωση εν θερμώ:* Συνίσταται στην ταχύτερη δυνατή μεταφορά του προϊόντος στον κλίβανο αναθέρμανσης, ελαχιστοποιώντας το χρόνο ψύξης. Οι δυνατότητες εξοικονόμησης είναι της τάξης των 0,5-1,2 GJ/tcs.
- *Μονάδα συνδυασμένου κύκλου:* Παρέχει μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα και καταλήγει σε ενεργειακά οφέλη της τάξης των 0,5 GJ/tcs.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Άρθρα

- 1) Kelly, J., and Fels, M., 1986, *An assessment of Prism's reliability for commercial buildings*, Princeton University, 13p.
- 2) Rabl, A., 1988, *Parameter estimation in buildings: methods for dynamic analysis of measured energy use*, Princeton University, February, Journal of solar energy engineering, 14 p.
- 3) Erbs, D.G., Klein, S. A., and Beckman, W., 1983, *Estimation of degree-days and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures*, ASHRAE Journal, June, pp. 60-65.
- 4) Verderber, R. R., Morse, O. C., and Alling, W. R., 1993. Harmonics From Compact Fluorescent Lamps. IEEE Transactions on Industry Applications 29(3):670-674.
- 5) *Maîtrise de l'énergie dans les Industries Mécaniques*, Journée technique ATEE, 1^{er} Octobre 1996, Cnit Paris la Défense

Βιβλία και Τεχνικές Εκθέσεις

- 6) Baron, S., 1978, *Manual of Energy Saving in Existing Buildings and Plants: Volume 1 and Volume 2*.
- 7) Thurmann, A., 1983, *Handbook of Energy Audits*, Prentice-Hall Inc.
- 8) Kennedy, W. & Turner, W., 1984, *Energy Management*, Prentice-Hall Inc.
- 9) Ottaviano, V., 1983, *Energy Management*, Prentice-Hall Inc.
- 10) *Météoclim, 93, Recueil des Degrés-Jours* calculés par le Costic., Sedit editions
- 11) Pilavachi, P., 1993, *Energy efficiency in process technology*, Elsevier science, 1280p.
- 12) *Guide de diagnostic thermique*, 1987, de l'ADEME, Editions Eyrolles.
- 13) *Extrait du Guide de Diagnostic Thermique*, 1986, Stage pratique du diagnostic thermique, AFME, Paris.
- 14) AFME, 1988, *Energy audit in Existing Buildings*, Landmarks, Plan Construction et Architecture, Bâtiment économe, Agence Française pour la maîtrise de l'énergie, 84 p.
- 15) *ASHRAE Standard*, 1988, *Energy Conservation in Existing Facilities - Industrial*, ASHRAE Inc., Atlanta, GA.
- 16) *ASHRAE Standard*, 1988, *Energy Conservation in Existing Facilities - Commercial*, ASHRAE Inc., Atlanta, GA.

- 17) *Combustion*, Energy Management Series for industry, commerce and institutions, Vol. 5, Ministry of Supply and Services - Canada 1989.
- 18) *Heating, Ventilation and Air-conditioning*, Energy Management Series for industry, commerce and institutions, Vol. 10, Ministry of Supply and Services - Canada.
- 19) *Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters*, IEEE 519-1992. Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- 20) *Power Quality-Lighting Answers*. Newsletter by the National Lighting Product Information Program – NPLIP, 1995, 2(2), p. 5.
- 21) Malamatenios, Ch., 1997, *Energy Conservation on HVAC systems Guide*, Produced in the frame of a Programme funded by ESF, CRES editions.
- 22) “Air-conditioning system VRV - the only solution towards energy conservation”, by KLIMATAIR LTD.
- 23) “BAS/Microelectronic Controls Specification Manual”, by TRANE LTD.
- 24) *The economic use of refrigeration plant*, Fuel Efficiency booklet 11, Energy Efficiency Office.
- 25) *Controls and Energy Savings*, Fuel Efficiency Booklet 10, Energy Efficiency Office.
- 26) *Energy efficiency in industry*, 1988, Commission of the European communities, edited by J.Srichis, Elsevier Applied Science, 270 p.
- 27) *Improved Energy Efficiency in the Process Industry*, Commission of the European Communities 1990, Proceedings of a European Seminar Brussels, 23 and 24 October 1990.
- 28) *Energy Efficient Technologies in High Temperature Industries*, by European Commission – Directorate General for Energy (DG XVII), 1998.