



Πτυχιακή Εργασία

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ. Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

**Χριστίνα Λάνγκου
Α.Μ.:02522**

Επιβλέπων : Ιωάννης Γελεγένης

Αθήνα, 22/03/2019

Περίληψη

Η ενεργειακή διαχείριση είναι απαραίτητη για την βιώσιμη ανταγωνιστικότητα ενός οργανισμού. Εξ ίσου απαραίτητη είναι όμως και η αξιολόγηση της εφαρμοζόμενης ενεργειακής διαχείρισης.

Στόχος της εργασίας επομένως είναι να συνοψίσει την τρέχουσα νομοθεσία στο επίκαιρο θέμα της ενεργειακής διαχείρισης και των ενεργειακών ελέγχων, οι οποίοι ακριβώς αποτελούν και το βασικότερο εργαλείο για την διαχείριση της ενέργειας, και να παρουσιάσει τα σχετικά πρότυπα και αλγόριθμους που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό, και να τα αναδείξει στα πλαίσια μια Μελέτης Περίπτωσης.

Έτσι, στα πλαίσια της εργασίας, αναλύεται επιπλέον μελέτη περίπτωσης (που αφορά στην ενεργειακή διαχείριση στο κτίριο της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας) το οποίο βασίζεται στο πρότυπο ASHRAE 14. Το μοντέλο που εφαρμόζεται βασίζεται στο πρότυπο ISO 50001:2011 και στο Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης της Ενεργειακής Επιδόσεως IPMVP. Ειδικότεροι στόχοι της μελέτης περίπτωσης είναι:

- Να εντοπίσει τις πραγματικές ενεργειακές εξοικονομήσεις φυσικού αερίου του υπό μελέτη κτιρίου καθώς και να συσχετίσει αυτές τις εξοικονομήσεις με παρεμβάσεις ενεργειακής εξοικονόμησης.
- Να δείξει πως τα κλιματικά δεδομένα επηρεάζουν τις πραγματικές εξοικονομήσεις αναπτύσσοντας την ανάλυση του μοντέλου γραμμής βάσης με σκοπό να υπολογίσει τις πραγματικές εξοικονομήσεις ενέργειας.
- Να ορίσει τη μοντελοποιημένη ενεργειακή κατανάλωση ώστε να υπολογίσει τις πραγματικές ενεργειακές εξοικονομήσεις και να εκτιμήσει τη συσσωρευτική επιρροή τους στους ενεργειακούς λογαριασμούς της περιόδου κατόπιν των της εφαρμογής μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης.
- Να υπολογίσει τα ποσοστά ακρίβειας και αβεβαιότητας των αποδεκτών τιμών του παραπάνω μοντέλου.
- Να υποδείξει τη χρησιμότητα της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης με στάθμιση των δεδομένων βάσης.

Σύμφωνα με την ανάλυση στο κτίριο της μελέτης περίπτωσης διαπιστώθηκε κατ' αρχήν η σημασία της εφαρμογής συντελεστών στάθμισης των δεδομένων ενεργειακών καταναλώσεων για να προκύψει αμερόληπτο μοντέλο ανάλυσης, και με βάση αυτό επιβεβαιώθηκαν εξοικονομήσεις της τάξεων των 127520 kWh ποσό το οποίο αντιστοιχεί σε ποσοστό 29,6% της περιόδου αναφοράς ενεργειακής κατανάλωσης.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

1.1.1 Ενεργειακή διαχείριση

1.1.2 Η σειρά των Προτύπων ΕΛΟΤ EN ISO 50000

1.1.3 Ενεργειακός έλεγχος

1.1.4 Ενεργειακοί ελεγκτές και ενεργειακοί έλεγχοι

1.2 Πρότυπα και μέθοδοι πιστοποίησης ενεργειακών εξοικονομήσεων

1.2.1 Το Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης της Ενεργειακής Επιδόσεως

1.2.2 Το Πρότυπο ASHRAE 14 : Μετρήσεις εξοικονόμησης ενέργειας και ζήτησης

1.2.3 Τα Πρότυπα της σειράς ΕΛΟΤ EN 16247 για τους ενεργειακούς ελέγχους

1.2.4 Τα διεθνή πρότυπα ΕΛΟΤ EN ISO της σειράς 17.740

2. Ανάλυση του Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 50001

2.1 Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης

2.2 Αρμοδιότητες της διοίκησης

2.3 Ενεργειακή πολιτική του οργανισμού

2.4 Ενεργειακός σχεδιασμός

2.5 Ενεργειακή ανασκόπηση

2.6 Ενεργειακή γραμμή βάσης

2.7 Δείκτες ενεργειακής επίδοσης

2.8 Ενεργειακοί σκοποί, στόχοι και σχέδια δράσης

2.9 Εσωτερικοί έλεγχοι

2.10 Μη συμμορφώσεις, διορθωτικές και προληπτικές ενέργειες

2.11 Η εφαρμογή του Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 50001 στις βιομηχανίες

3. Η αβεβαιότητα στην ενεργειακή εξοικονόμηση

3.1 Αποδεκτή αβεβαιότητα

3.2 Υπολογισμός και αξιολόγηση της αβεβαιότητας

4. Μοντελοποίηση

4.1 Μοντελοποιώντας τα σφάλματα στις ενεργειακές εξοικονομήσεις

4.2 Αξιολόγηση του μοντέλου παλινδρόμησης

5. Δείγματα δεδομένων

6. Συστήματα μέτρησης ενεργειακών ποσοτήτων και μεταβλητών

6.1 Συνδυάζοντας στοιχεία αβεβαιότητας στην ενεργειακή εξοικονόμηση.

6.2 Υπολογίζοντας την αβεβαιότητα στις ενεργειακές εξοικονομήσεις

7. Μεθοδολογία και εφαρμογή

7.1 Δεδομένα κατανάλωσης φυσικού αερίου στο υπό μελέτη κτίριο

7.2 Η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης χωρίς στάθμιση

7.3 Η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης με στάθμιση

8. Συμπεράσματα

9. Βιβλιογραφία

1. Εισαγωγή

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αντιμετωπίζει πρωτόγνωρες προκλήσεις που απορρέουν από την αυξημένη εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας, τους ανεπαρκείς ενεργειακούς πόρους, καθώς και την ανάγκη περιορισμού της αλλαγής του κλίματος και αντιμετώπισης της οικονομικής κρίσης. Η ενεργειακή διαχείριση, με την ενεργειακή απόδοση που προάγει, αποτελεί πολύτιμο μέσο για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Βελτιώνει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της Ένωσης μειώνοντας την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και περιορίζοντας τις εισαγωγές ενέργειας. Συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με οικονομικώς αποδοτικό τρόπο και, ως εκ τούτου, στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Η μετάβαση σε μια ενεργειακά αποδοτικότερη οικονομία αναμένεται επίσης να επιταχύνει την εξάπλωση καινοτόμων τεχνολογικών λύσεων και να βελτιώσει την ανταγωνιστικότητα της βιομηχανίας, δίνοντας ώθηση στην οικονομική ανάπτυξη και δημιουργώντας θέσεις εργασίας υψηλής ποιότητας σε διάφορους τομείς που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση.

Στα συμπεράσματα του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 4ης Φεβρουαρίου 2011 τονίζεται ότι ο στόχος του 20 % που έχει τεθεί για την ενεργειακή απόδοση ως το 2020, όπως συμφωνήθηκε από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Ιουνίου 2010, αν και στο παρόν στάδιο είναι εκτός τροχιάς υλοποίησης, πρέπει να υλοποιηθεί.

Για τον σκοπό αυτό, η νέα οδηγία 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την ενεργειακή απόδοση, καθιέρωσε ένα κοινό πλαίσιο προώθησης της ενεργειακής απόδοσης στην Ένωση και εναρμονίστηκε στο Ελληνικό Δίκαιο με τον νόμο 4342/2015 (Συνταξιοδοτικές ρυθμίσεις, ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτωβρίου 2012 «Για την ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των Οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των Οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ», όπως τροποποιήθηκε από την Οδηγία 2013/12/ΕΕ του Συμβουλίου της 13ης Μαΐου 2013 «Για την προσαρμογή της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση, λόγω της προσχώρησης της Δημοκρατίας της Κροατίας» και άλλες διατάξεις). Οι ενεργειακοί έλεγχοι που θεσπίζονται με αυτό το πλαίσιο αποτελούν το αποτελεσματικότερο εργαλείο της ενεργειακής διαχείρισης που προάγεται έτσι.

1.1.1 Ενεργειακή Διαχείριση

Σύμφωνα με τον ορισμό, όπως αυτός αναφέρεται από την Ένωση Γερμανών Μηχανικών (VDI-Guideline 4602), η «**Ενεργειακή Διαχείριση**» είναι ο προληπτικός, οργανωμένος και

συστηματικός συντονισμός της προμήθειας, μετατροπής, διανομής και χρήσης της ενέργειας ώστε να πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικούς και οικονομικούς σκοπούς.

Η ενεργειακή διαχείριση αποτελεί μέρος του συστήματος διαχείρισης και περιλαμβάνει οργανωτική δομή, δραστηριότητες, καθήκοντα και μέτρα στοχεύοντας αποκλειστικά στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Σε αντίθεση με τη διαχείριση ποιότητας και περιβάλλοντος, αφορά σε ένα από, άμεσα μετρήσιμο πόρο όπως τα υλικά, τα χρήματα και οι άνθρωποι. Η σημαντικότητά της είναι συνήθως ανάλογη του κόστους της.

Η ενεργειακή διαχείριση στοχεύει στην παραγωγή των προϊόντων, με όσο το δυνατό χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, χωρίς όμως αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα και στην παραγωγικότητα. Ενώ η ορθή ενεργειακή διαχείριση συμβάλει στη βελτίωση της διοίκησης της εταιρίας και στην προστασία του περιβάλλοντος, μειώνοντας τη χρήση νερού και πρώτων υλών, βελτιώνοντας τη συντήρηση και χρήση του εξοπλισμού παραγωγής και τη διαχείριση των ανθρώπινων πόρων.

Ο ενεργειακός έλεγχος αποτελεί το βασικότερο εργαλείο της ενεργειακής διαχείρισης.

1.1.2 Η σειρά των προτύπων ΕΛΟΤ EN ISO 50.000

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 50001, *Συστήματα διαχείρισης της ενέργειας - Απαιτήσεις και οδηγίες εφαρμογής/ Energy management systems— Requirements with guidance*, εκδόθηκε το 2011 και έκτοτε απετέλεσε το υπ' αριθμόν ένα πρότυπο διεθνώς το οποίο εφαρμόζεται στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Το πρότυπο αυτό καλύπτει πλήρως την απαίτηση του άρθρου 10, παράγραφος 11 του νόμου 4342/2015, για τις μεγάλες επιχειρήσεις οι οποίες επιθυμούν να εξαιρεθούν από τις απαιτήσεις της παραγράφου 10, δηλαδή να εξαιρεθούν από την απαίτηση διεξαγωγής ενεργειακών ελέγχων ανά τετραετία, εφ' όσον αυτές έχουν αναπτύξει και πιστοποιήσει σύστημα διαχείρισης ενέργειας κατά ISO 50001 και έχουν εκτελέσει ενεργειακό έλεγχο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Παραρτήματος VI του νόμου 4342/2015.

Το πρότυπο στην παράγραφο 4.4.3 εισάγει απαιτήσεις για την «ενεργειακή ανασκόπηση» η οποία περιλαμβάνει δράσεις ενεργειακού ελέγχου αλλά δεν ταυτίζεται με αυτόν. Στην παράγραφο 4.4.4 καθορίζει την ανάπτυξη της «γραμμής βάσης» της κατανάλωσης ενέργειας ως βασική προϋπόθεση συμμορφώσεως με το πρότυπο αυτό, χωρίς όμως να υπεισέρχεται σε λεπτομέρειες αναφορικά με τις τεχνικές ανάπτυξης αυτής της «γραμμής βάσης». Για τον σκοπό αυτό στην σειρά ΕΛΟΤ EN ISO 50000 έχουν περιληφθεί επίσης και τα ακόλουθα διεθνή πρότυπα :

- ISO 50002:2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Απαιτήσεις με οδηγίες χρήσεως (Energy audits — Requirements with guidance for use)

- ISO 50003:2014, Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – απαιτήσεις για παρόχους ενεργειακών ελέγχων και πιστοποίησης συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, (Energy management systems — Requirements for bodies providing audit and certification of energy management systems)
- ISO 50004:2014, Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – Οδηγίες εφαρμογής, συντήρησης και βελτίωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας (Energy management systems — Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system)
- ISO 50006:2014, Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – Μέτρηση ενεργειακής επίδοσης με χρήση γραμμών ενεργειακής βάσης και δείκτες ενεργειακής επίδοσης – Γενικές αρχές και οδηγίες (Energy management systems — Measuring Energy Performance using Energy Baselines and Energy Performance Indicators — General Principles and Guidance)
- ISO 50015:2014, Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – Μέτρηση και επαλήθευση της ενεργειακής επίδοσης Οργανισμών – Γενικές αρχές και οδηγίες (Energy Management Systems — Measurement and V

Ειδικότερα με το πρότυπο ISO 50002 αναπτύσσονται οι διαδικασίες και οι μέθοδοι για την διεξαγωγή ενός ενεργειακού ελέγχου, επικουρικά της παραγράφου 4.4.3 του ISO 50001, χωρίς όμως αυτές να είναι υποχρεωτικές για το ISO 50001. Τα θέματα που καλύπτονται είναι οι γενικές απαιτήσεις για τον ενεργειακό ελεγκτή και την διαδικασία ελέγχου, τον σχεδιασμό του ενεργειακού ελέγχου, την εναρκτήρια σύσκεψη, την συλλογή στοιχείων, το πρόγραμμα μετρήσεων, την διεξαγωγή της αυτοψίας, την ανάλυση των στοιχείων και την έκθεση του ενεργειακού ελέγχου. Τα πρότυπα ISO50006 και ISO 50015 αναπτύσσουν τις διαδικασίες προσδιορισμού του πεδίου και των ορίων του ελέγχου, τους δείκτες ενεργειακής επίδοσης και τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας. Τα πρότυπα δεν υπεισέρχονται σε λεπτομέρειες εκτίμησης της αβεβαιότητας, εκτίμησης της Ενεργειακής Εξοικονόμησης ούτε θέτουν όρια αβεβαιότητας. Το πρότυπο ISO 50006 εστιάζει στα θέματα μετρήσεως της ενεργειακής επίδοσης και τον καθορισμό των δεικτών ενεργειακής επίδοσης και της ενεργειακής γραμμής βάσης ενώ το πρότυπο ISO 50015 εστιάζει στις διαδικασίες Μέτρησης & Επαλήθευσης της Ενεργειακής Εξοικονόμησης. (Υ.Π.Ε., Ιανουάριος 2017)

1.1.3 Ενεργειακός έλεγχος

Ο νόμος 4342/2015 καθορίζει ως «**Ενεργειακό Έλεγχο**»: τη συστηματική διαδικασία με σκοπό την απόκτηση επαρκούς γνώσης του υφιστάμενου συνόλου χαρακτηριστικών ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου ή μίας ομάδας κτιρίων, μίας βιομηχανικής ή εμπορικής δραστηριότητας ή εγκατάστασης, καθώς και ιδιωτικών ή δημόσιων υπηρεσιών, με την οποία

εντοπίζονται και προσδιορίζονται ποσοτικά οι οικονομικώς αποδοτικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, και με την οποία συντάσσεται έκθεση αποτελεσμάτων.

Ο Ενεργειακός Έλεγχος έχει σκοπό τη λεπτομερή ανάλυση και καταγραφή της υποδομής, του εξοπλισμού και των συστημάτων που διαθέτει μια επιχείρηση για τον εντοπισμό και προσδιορισμό αποτελεσματικών και οικονομικά βιώσιμων λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Απαιτεί εκπόνηση τεχνικοοικονομικής μελέτης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σύμφωνα με συγκεκριμένα ελάχιστα κριτήρια που ορίζονται στον ίδιο νόμο.

Οι ενεργειακοί έλεγχοι διενεργούνται με βάση τα ευρωπαϊκά πρότυπα της σειράς EN16247 περί ενεργειακών ελέγχων. Για το σκοπό αυτό, θεσπίζεται Μητρώο Ενεργειακών Ελεγκτών, στο οποίο εντάσσονται οι Ελεγκτές που διεξάγουν τους ενεργειακούς ελέγχους. Οι ενεργειακοί έλεγχοι διενεργούνται από τους ενεργειακούς ελεγκτές, οι οποίοι εντάσσονται σε 3 τάξεις (Α, Β, Γ) με βάση την ικανότητά τους να επιθεωρούν κτίρια και εγκαταστάσεις των παραπάνω κατηγοριών. Οι εκθέσεις αποτελεσμάτων ενεργειακών ελέγχων υποβάλλονται από τους ενεργειακούς ελεγκτές στο Αρχείο Ενεργειακών Ελέγχων, το οποίο καταρτίζεται υπό τη μορφή πληροφοριακού συστήματος. (Νόμος 4243/2015)

Οι ενεργειακοί έλεγχοι ακολουθούν τις παρακάτω κατευθυντήριες γραμμές:

1. Αναλύουν επικαιροποιημένα, μετρήσιμα, ανιχνεύσιμα λειτουργικά δεδομένα ως προς την κατανάλωση ενέργειας.
2. Εφαρμόζουν λεπτομερή επισκόπηση των χαρακτηριστικών της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου ή μιας ομάδας κτιρίων, μιας βιομηχανικής δραστηριότητας ή εγκατάστασης, περιλαμβανομένων και των μεταφορών.
3. Χρησιμοποιούν ανάλυση κόστους κύκλου ζωής, όπου είναι δυνατόν, προκειμένου να λαμβάνονται υπόψη οι μακροπρόθεσμες εξοικονομήσεις, οι εναπομένουσες αξίες των μακροπρόθεσμων επενδύσεων. (Κάθε προτεινόμενο έργο εξοικονόμησης ενέργειας (ΕΞΕ) θα πρέπει να περιλαμβάνει ανάλυση του κύκλου ζωής για όλα τα επιμέρους οφέλη ή κόστη κάθε προτεινόμενης επένδυσης),
4. Πραγματοποιούνται αναλογικοί και επαρκώς αντιπροσωπευτικοί ενεργειακοί έλεγχοι (Νόμος 4243/2015)

Ενώ η ΚΥΑ 11038 του 1999 σύμφωνα με την οποία διεξάγονται οι έλεγχοι στη βιομηχανία αναφέρει τα εξής:

Ενεργειακή επιθεώρηση ή ενεργειακή αυτοψία ή ενεργειακός έλεγχος ή ενεργειακή διάγνωση (energy audit) είναι η διαδικασία εκτίμησης των πραγματικών καταναλώσεων ενέργειας των παραγόντων που την επηρεάζουν καθώς και των δυνατοτήτων για εξοικονόμηση ενέργειας.

Συνοπτική ενεργειακή επιθεώρηση (short energy audit) είναι η ενεργειακή επιθεώρηση που εντοπίζει όλες τις επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας πρώτης προτεραιότητας και άμεσης

απόδοσης και οριοθετεί τις επεμβάσεις εκείνες, οι οποίες καταρχήν ικανοποιούν τις επεμβάσεις του φορέα για αυτοχρηματοδότηση επενδύσεων καθώς και εκείνες οι οποίες χρήζουν αναλυτικής τεκμηρίωσης στα πλαίσια της εκτενούς ενεργειακής επιθεώρησης.

Εκτενής ενεργειακή επιθεώρηση (extended energy audit) είναι η ενεργειακή επιθεώρηση που συνήθως έπεται της συνοπτικής επιθεώρησης και όπου εκτός από τα ενεργειακά στοιχεία χρειάζονται και μετρήσεις προκειμένου να καταρτηστούν τα ενεργειακά ισοζύγια στις ενεργοβόρες μονάδες ή εγκαταστάσεις. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται επεμβάσεις μεσοπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης απόδοσης.

Γίνεται λόγος για τρία επίπεδα ενεργειακής ανάλυσης ανάλογα με την προσπάθεια που καταβάλλεται.

- ❖ Στο επίπεδο Α όπου εμπίπτει η συνοπτική ενεργειακή επιθεώρηση εκτίμονται τα έξοδα και η απόδοση της ενέργειας με βάση τα τιμολόγια ενέργειας και τα αποτελέσματα μιας σύντομης αυτοψίας. Προσδιορίζονται τα μέτρα και οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες είναι άμεσης οικονομικής απόδοσης και απαιτούν ελάχιστα ή μηδενικά κεφάλαια. Επίσης παρέχεται ένας κατάλογος υποψήφιων επεμβάσεων ή επενδύσεων οι οποίες χρειάζονται περαιτέρω εξέταση, μαζί με τις αρχικές εκτιμήσεις για ενδεχόμενες δαπάνες και το αντίστοιχο κόστος.
- ❖ Στο Β επίπεδο εμπίπτει η εκτενής ενεργειακή επιθεώρηση στην οποία απαιτείται λεπτομερής καταγραφή και ανάλυση των δεδομένων. Η καταναλισκόμενη ενέργεια επιμερίζεται στους διαφορους τομείς τελικής χρήσης. Αναλύονται και τεκμηριώνονται οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας στους επιμέρους τομείς π.χ. ο όγκος της παραγωγής ή των παρεχόμενων υπηρεσιών, οι κλιματικές συνθήκες ή η ποιότητα των πρώτων υλών. Προσδιορίζεται η δαπάνη και το όφελος όλων των επεμβάσεων που ικανοποιούν τα οικονομικά κριτήρια και απαιτήσεις της διοίκησης και του συγκροτήματος. Επίσης παρέχεται κατάλογος κεφαλαιουχικών επενδύσεων για τις οποίες απαιτείται λεπτομερέστερη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, μαζί με εκτίμηση για το ύψος των δαπανών και το μέγεθος του οφέλους. Αυτό το επίπεδο ανάλυσης είναι επαρκές για τα περισσότερα βιομηχανικά και κτιριακά συγκροτήματα της χώρας.
- ❖ Στο επίπεδο Γ εμπίπτει η λεπτομερής ενεργειακή μελέτη η οποία ακολουθεί την ενεργειακή επιθεώρηση. Το παρόν επίπεδο ανάλυσης εστιάζεται σε υποψήφιες επενδύσεις κεφαλαιουχικού εξοπλισμού που έχουν προσδιοριστεί κατά την εκτενή επιθεώρηση. Απαιτείται λεπτομερής συγκέντρωση μετρικών δεδομένων και τεχνική σχεδίαση. Παρέχεται λεπτομερής πληροφόρηση για τη δαπάνη και το όφελος του έργου, με βαθμό εμπιστοσύνης επαρκή για κεφαλαιουχικές επενδύσεις.

Τα ανωτέρω επίπεδα της ενεργειακής ανάλυσης αποτελούν γενικές κατηγορίες οι οποίες προσδιορίζουν τον αναμενόμενο τύπο της πληροφορίας και υποδεικνύουν τον βαθμό ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Παράλληλα εξυπηρετούν στην απόκτηση μιας ολοκληρωμένης εικόνας για την ενεργειακή κατάσταση, τις δυνατότητες και τα περιθώρια της εξοικονόμησης ενέργειας στο

συγκρότημα, στη σχεδίαση και προώθηση προγραμμάτων και επενδύσεων εξοικονόμησης ενέργειας και στον έλεγχο των επιπτώσεων των ανωτέρω προγραμμάτων στο ενεργειακό κόστος λειτουργίας και γενικότερα στην ενεργειακή κατάσταση του συγκροτήματος.

Ως άμεσο και βασικό αποτέλεσμα της συνοπτικής ενεργειακής επιθεώρησης παρέχεται ένας πλήρης κατάλογος μέτρων και επεμβάσεων μηδενικής ή πολύ χαμηλής δαπάνης. Ανάλογα με την κατάσταση του συγκροτήματος, η πλήρης εφαρμογή των εν λόγω μέτρων και επεμβάσεων επιφέρει μείωση των ενεργειακών δαπανών της τάξης του 5 έως και 15%. Η απόσβεση της δαπάνης για την υλοποίηση των μέτρων αυτών είναι της τάξης λίγων μηνών. Επιπροσθέτως σκοπός της συνοπτικής επιθεώρησης είναι να προσανατολίσει σωστά την εκτενή επιθεώρηση προς εκείνες τις επεμβάσεις και επενδύσεις, οι οποίες ικανοποιούν τα κριτήρια και τις απαιτήσεις της διοίκησης του υπό εξέταση συγκροτήματος, για την υλοποίηση επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Η εκτενή επιθεώρηση τεκμηριώνει αναλυτικά όλες αυτές τις επεμβάσεις και δίνει νέα ώθηση στο πρόγραμμα ενεργειακής διαχείρισης του συγκροτήματος. Ανάλογα με την κατάσταση η πλήρης εφαρμογή των εν λόγω επεμβάσεων και επενδύσεων τεχνολογικού εκσυγχρονισμού, επιφέρει περαιτέρω μείωση των ενεργειακών δαπανών της τάξης του 10 έως 20%. Η απόσβεση των απαιτούμενων κεφαλαίων συνήθως κυμαίνεται από μερικούς μήνες έως και λίγα χρόνια. Επιπλέον εντοπίζει και τεκμηριώνει αναλυτικά τη σκοπιμότητα αναλυτικής εξέτασης συγκεκριμένων επενδύσεων σε κεφαλαιουχικό εξοπλισμό. Τέτοιου είδους επενδύσεις περιλαμβάνουν μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού/θερμότητας, συσκευές και εγκαταστάσεις φυσικού αερίου ή νέες συσκευές, τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοπλισμό των παραγωγικών μονάδων. Ακόμα περιλαμβάνουν σημαντικές βελτιώσεις στο κέλυφος των υφιστάμενων κτιριακών συγκροτημάτων ή την ενσωμάτωση παθητικών στοιχείων. Η εκτενή ενεργειακή επιθεώρηση συμβάλλει αποφασιστικά στη σωστή διαστασιολόγηση του κεφαλαιουχικού εξοπλισμού μέσω της σωστής αξιολόγησης των πραγματικών ενεργειακών αναγκών ενός συγκροτήματος. Έτσι με την ενεργειακή επιθεώρηση αποφεύγονται οι υπερδιαστασιολογημένες και πολυδάπανες επενδύσεις οι οποίες συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στα οικονομικά των επιχειρήσεων, και αξιοποιούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους διατιθέμενους δημόσιους και ιδιωτικούς πόρους.

Για την εφαρμογή των ελέγχων διακρίνονται τα Δημόσια κτίρια και τα κτίρια των ΜΜΕ και των μεγάλων επιχειρήσεων. Για τα Δημόσια κτίρια θα πρέπει κάθε χρόνο να ανακαινίζεται το τρία τοις εκατό (3%) του συνολικού εμβαδού δαπέδου θερμαινόμενων ή/και ψυχόμενων κτιρίων προκειμένου να εκπληρωθούν τουλάχιστον οι ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που έχουν τεθεί κατ' εφαρμογή του άρθρου 4 του ν. 4122/2013 (Α' 42), και στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό. Η ανωτέρω υποχρέωση ισχύει από την 1η Ιανουαρίου του 2014. Το ποσοστό του τρία τοις εκατό (3%) υπολογίζεται επί του συνολικού εμβαδού δαπέδου των κτιρίων με συνολικό ωφέλιμο εμβαδόν δαπέδου μεγαλύτερο από διακόσια

πενήντα τετραγωνικά μέτρα (250 τ.μ.) που είναι ιδιόκτητα και καταλαμβανόμενα από την κεντρική δημόσια διοίκηση, τα οποία την 1η Ιανουαρίου κάθε έτους δεν πληρούν τις απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που έχουν τεθεί κατ' εφαρμογή του άρθρου 4 του ν. 4122/2013.

Σχετικά με τον ορισμό των μεγάλων επιχειρήσεων και των ΜΜΕ, ως ΜΜΕ νοούνται οι επιχειρήσεις όπως ορίζονται στον τίτλο Ι του Παραρτήματος της σύστασης 2003/361/ΕΚ της Επιτροπής της 6^{ης} Μαΐου 2003 σχετικά με τον ορισμό των πολύ μικρών, των μικρών και των μεσαίων επιχειρήσεων (EEL124 της 20. 5.2003), σύμφωνα με τον οποίο η κατηγορία των πολύ μικρών, μικρών και μεσαίων αποτελείται από επιχειρήσεις που απασχολούν λιγότερους από 250 εργαζομένους και των οποίων ο ετήσιος κύκλος εργασιών δεν υπερβαίνει τα 50 εκατομμύρια ευρώ ή το σύνολο του ετήσιου ισολογισμού 1δεν υπερβαίνει τα 43 εκατομμύρια ευρώ.

Οι επιχειρήσεις που δεν είναι ΜΜΕ υποχρεούνται να υποβληθούν σε ενεργειακό έλεγχο διεξαγόμενο με ανεξάρτητο και οικονομικώς αποδοτικό τρόπο από ενεργειακούς ελεγκτές εντός 1 έτους από την έναρξη ισχύος του νόμου και στη συνέχεια να υποβάλλονται σε νέο έλεγχο σε διάστημα όχι μεγαλύτερο των 4 ετών από την ημερομηνία διεξαγωγής του προηγούμενου ενεργειακού ελέγχου. Οι ενεργειακοί έλεγχοι αφορούν στο σύνολο της κατανάλωσης ενέργειας των νομικά ανεξάρτητων επιχειρήσεων, που βρίσκονται στην ελληνική επικράτεια.

Σε περίπτωση δικαιοχρησίας (franchise) τα ανεξάρτητα παραρτήματα/υποκαταστήματα θεωρούνται ως ανεξάρτητες επιχειρήσεις.

Οι επιχειρήσεις που δεν είναι ΜΜΕ και εφαρμόζουν σύστημα ενεργειακής ή περιβαλλοντικής διαχείρισης πιστοποιημένο από ανεξάρτητο φορέα, σύμφωνα με τα σχετικά ευρωπαϊκά ή διεθνή πρότυπα, εξαιρούνται από τις απαιτήσεις της παραγράφου 10, υπό τον όρο ότι το εν λόγω σύστημα διαχείρισης περιλαμβάνει ενεργειακό έλεγχο βάσει των ελάχιστων κριτηρίων που ορίζονται στον σχετικό νόμο.

Οι Υπόχρεες Επιχειρήσεις που εφαρμόζουν σύστημα ενεργειακής ή περιβαλλοντικής διαχείρισης, το οποίο δεν καλύπτει το ενενήντα τοις εκατό (90%) της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, επιβάλλεται να εκτελέσουν ενεργειακό έλεγχο μόνο για το υπολειπόμενο ποσοστό ή να διευρύνουν το πεδίο εφαρμογής του συστήματος ενεργειακής ή περιβαλλοντικής διαχείρισης, έως ότου καλυφθεί το προβλεπόμενο όριο. (Νόμος 4243/2015)

1.1.4 Ενεργειακοί ελεγκτές και οι ενεργειακοί έλεγχοι

Η ιδιότητα του Ενεργειακού Ελεγκτή αποκτάται με την εγγραφή του στο Μητρώο Ενεργειακών Ελεγκτών. Το Μητρώο Ενεργειακών Ελεγκτών περιλαμβάνει δύο μερίδες: τη Μερίδα Φυσικών Προσώπων και τη Μερίδα Νομικών Προσώπων. Στο Μητρώο Ενεργειακών Ελεγκτών διακρίνονται τρεις (3) τάξεις Ενεργειακών Ελεγκτών όπως προβλέπονται στη παρ. 3 του άρθρου 10 του ν. 4342/2015. Η τάξη του νομικού προσώπου καθορίζεται από την ανώτερη τάξη

Ενεργειακού Ελεγκτή που έχει στο δυναμικό του. Στο Μητρώο Ενεργειακών Ελεγκτών εγγράφονται μόνο τα νομικά πρόσωπα που έχουν ορίσει ρητά στο καταστατικό τους τη συγκεκριμένη δραστηριότητα των ενεργειακών ελέγχων. (Νόμος 4243/2015)

Σχετικά με τα απαιτούμενα προσόντα, οι Ενεργειακοί Ελεγκτές θα πρέπει να έχουν παρακολουθήσει κάποιο από τα προγράμματα εκπαίδευσης ενεργειακών ελεγκτών ή ενεργειακών διαχειριστών που διεξάγονται από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, τα ΑΕΙ, τον ΕΛΟΤ και άλλους διαπιστευμένους προς τούτο Φορείς, τα οποία καλύπτουν κατ' ελάχιστο τις απαιτήσεις του «Οδηγού Ενεργειακών Ελέγχων» του άρθρου 10 και πληρούν τις απαιτήσεις που θέτει το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας με εγκύκλιο του. Για την ένταξη στην Τάξη Ενεργειακών Ελεγκτών Β' απαιτούνται κατ' ελάχιστον 5 βαθμοί. Για την ένταξη στην Τάξη Ενεργειακών Ελεγκτών Γ', απαιτούνται κατ' ελάχιστον 7 βαθμοί. (Νόμος 4243/2015)

Στο ΦΕΚ Β' 1927/30.05.2018 καθορίζεται το καθεστώς επαγγελματικών προσόντων των Ενεργειακών Ελεγκτών, το περιεχόμενο του Μητρώου Ενεργειακών Ελεγκτών και της διαδικασίας εγγραφής σε αυτό, τη διαδικασία τήρησης του Μητρώου Ενεργειακών Ελεγκτών και του ελέγχου των Ενεργειακών Ελεγκτών, των προδιαγραφών του ενεργειακού ελέγχου, το περιεχόμενο των εκθέσεων αποτελεσμάτων ενεργειακών ελέγχων καθώς και το περιεχόμενο του Αρχείου Ενεργειακών Ελέγχων, τη διαδικασία υποβολή των εκθέσεων αποτελεσμάτων των ενεργειακών ελέγχων στο Αρχείο Ενεργειακών Ελέγχων, και θέματα σχετικά με την αξιολόγηση των εκθέσεων αποτελεσμάτων των ενεργειακών ελέγχων. (ΦΕΚ Β' 1927/30.05.2018)

Στο ΦΕΚ Β' 6136/31.12.2018 τροποποιείται η οικ.175275/22.5.2018 απόφαση ου Υπουργού και Αναπληρωτή Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας, της παραγράφου 7 του προοιμίου της παρούσας, «Συστήματα αναγνώρισης προσόντων και πιστοποίησης Ενεργειακών Ελεγκτών. Μητρώο Ενεργειακών Ελεγκτών και Αρχείο Ενεργειακών Ελέγχων»

Ειδικά οι Υπόχρεες Επιχειρήσεις που έχουν χαρακτηριστεί εντός του έτους 2018, καταχωρίζουν στο ηλεκτρονικό Αρχείο Ενεργειακών Ελέγχων Έκθεση Αποτελεσμάτων Ενεργειακού Ελέγχου, σύμφωνα με τη διαδικασία του άρθρου 11 της παρούσας απόφασης ή/και τα προβλεπόμενα στο άρθρο 11 παρ. 2 της παρούσας απόφασης, στοιχεία εφαρμογής συστήματος ενεργειακής ή περιβαλλοντικής διαχείρισης, έως την 31η Μαΐου 2019. Η αμέσως επόμενη καταχώριση έκθεσης αποτελεσμάτων στο Αρχείο Ενεργειακών Ελέγχων από τις ανωτέρω επιχειρήσεις γίνεται εντός του έτους 2022.» (ΦΕΚ Β' 6136/31.12.2018)

Στις επιχειρήσεις με μια ή περισσότερες ομάδες παρόμοιων εγκαταστάσεων ο ενεργειακός έλεγχος θεωρείται ότι είναι αναλογικός και αντιπροσωπευτικός εάν εκτελείται σε αντιπροσωπευτικό δείγμα για κάθε ομάδα. Στην περίπτωση αυτή οι ενεργειακοί έλεγχοι διεξάγονται σε ένα δείγμα παρόμοιων εγκαταστάσεων κάθε ομάδας, ισοδύναμο με την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος όλων των εγκαταστάσεων της ομάδας, στρογγυλοποιημένο στον υψηλότερο ακέραιο αριθμό. Στην περίπτωση των επαναλαμβανόμενων ενεργειακών ελέγχων κάθε τέσσερα (4) χρόνια, οι εγκαταστάσεις που έχουν ήδη αξιολογηθεί σε προηγούμενη

έλεγχο δεν πρέπει να υπόκεινται σε επανέλεγχο, εφόσον δεν έχουν υποστεί τροποποίηση, ανακαίνιση ή αλλαγή χρήσης και εφόσον υπάρχουν άλλες εγκαταστάσεις μη εξετασθείσες.

Για τη διενέργεια του ενεργειακού ελέγχου:

α) Οι Ενεργειακοί Έλεγχοι κατηγορίας Α' διενεργούνται από έναν τουλάχιστον εξωτερικό Ενεργειακό Ελεγκτή οποιασδήποτε τάξης.

β) Οι Ενεργειακοί Έλεγχοι κατηγορίας Β' διενεργούνται από δύο τουλάχιστον Ενεργειακούς Ελεγκτές τάξης Β' ή/και Γ'.

γ) Οι Ενεργειακοί Έλεγχοι κατηγορίας Γ' διενεργούνται από δύο τουλάχιστον Ενεργειακούς Ελεγκτές τάξης Γ'.

δ) Στους Ενεργειακούς Ελέγχους κατηγορίας Β' και Γ' δύναται να συμμετέχουν έως δύο Ενεργειακοί Ελεγκτές κατώτερης τάξης για λόγους απόκτησης εμπειρίας στο πλαίσιο συλλογής βαθμών της παρ. 2 του άρθρου 4.

ε) Ενεργειακοί Έλεγχοι κατηγορίας Β' ή Γ' δύναται να διενεργούνται και από εσωτερικούς Ενεργειακούς Ελεγκτές μόνο σε συνεργασία με έναν τουλάχιστον ανεξάρτητο εξωτερικό Ενεργειακό Ελεγκτή.

στ) Στην περίπτωση συμμετοχής εσωτερικών εμπειρογνομόνων σε ενεργειακό έλεγχο, απαραίτητη προϋπόθεση για τη διασφάλιση της ανεξαρτησίας του ελέγχου αποτελεί η μη άμεση εμπλοκή του στη δραστηριότητα που ελέγχεται (Νόμος 4243/2015)

Οι Υπόχρεες Επιχειρήσεις καταχωρίζουν, εντός ενός (1) έτους από τη δημοσίευση της παρούσας απόφασης στο ηλεκτρονικό Αρχείο Ενεργειακών Ελέγχων, **Δήλωση Αναγγελίας** του πρώτου Ενεργειακού Ελέγχου ή εφαρμογής συστήματος ενεργειακής ή περιβαλλοντικής διαχείρισης. Εντός του ίδιου χρονικού διαστήματος καταχωρίζεται η σχετική έκθεση αποτελεσμάτων

Περιεχόμενα έκθεσης αποτελεσμάτων ενεργειακού ελέγχου

- κατάρτιση ενεργειακών ισοζυγίων της παρεχόμενης και τελικής χρήσης ενέργειας,
- μεθοδολογία συλλογής δεδομένων,
- καθορισμός δεικτών εξοικονόμησης ενέργειας και τη δημιουργία ενεργειακής γραμμής βάσης κατανάλωσης,
- αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης των ενεργειακών επιδόσεων, και
- εντοπισμός και ανάλυση κόστους κύκλου ζωής των εναλλακτικών προτεινόμενων σχεδίων εξοικονόμησης ενέργειας

1.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΩΝ

Βασικό αντικείμενο του ενεργειακού ελέγχου είναι επομένως ο εντοπισμός και ιεράρχηση των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας με βάση τα κριτήρια της ενεργειακής και της οικονομικής απόδοσης.

Συχνά το αντικείμενο και η διαδικασία του ενεργειακού ελέγχου επεκτείνεται ώστε να καλύψει και θέματα επαλήθευσης της εξοικονομηθείσας ενέργειας η οποία επήλθε μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Οι διαδικασίες του ενεργειακού ελέγχου αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των διαδικασιών και απαιτήσεων για την ενεργειακή διαχείριση και των μελετών εξοικονόμησης ενέργειας (τεχνικοοικονομικές μελέτες επενδύσεων).

1.2.1 Το Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης της Ενεργειακής Επιδόσεως

Το πρότυπο αυτό εκδόθηκε το 2002 υπό τον τίτλο IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol και έκτοτε έχει επανεκδοθεί δύο φορές (2012, 2016). Το πρότυπο αυτό αποτελεί συνέχεια του αρχικού προτύπου με τίτλο : North American Monitoring and Verification Protocols (NAMVP) του 1966 το οποίο, όπως ελέγχθη, είχε αποτελέσει την βάση για την συγγραφή της ΚΥΑ 11038/1999. Οι νέες εκδόσεις περιλαμβάνουν αναλυτικές τεχνικές για την εκτίμηση της ΕΞΕ και της αβεβαιότητας σε αυτή την εκτίμηση καθώς και πλήθος παραδειγμάτων και τεχνικών εφαρμογής ανά είδος τεχνολογικής επέμβασης. Σήμερα το IPMVP αποτελεί το πλέον διαδομένο πρότυπο διεξαγωγής ενεργειακών ελέγχων σε όλο το κόσμο και πολλές χώρες το έχουν υιοθετήσει ως επίσημο κανονισμό. (Υ.Π.Ε., Ιανουάριος 2017)

1.2.2 Το πρότυπο ASHRAE 14 : Μετρήσεις εξοικονόμησης ενέργειας και ζήτησης

Το πρότυπο 14 της ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) εκδόθηκε το 2002 με τίτλο : Μετρήσεις εξοικονόμησης ενέργειας και ζήτησης (Measurement of Energy and Demand Savings) και έκτοτε αποτέλεσε την βασική μεθοδολογία για την μέτρηση και τον υπολογισμό της επιτευχθείσας εξοικονόμησης ενέργειας στα έργα αυτά. Επίσης διατύπωσε για πρώτη φορά μία αναλυτική στατιστική θεωρία για την εκτίμηση της αβεβαιότητας της υπολογισθείσας ΕΞΕ.

Το πρότυπο αυτό αναθεωρήθηκε το 2014 και σήμερα αποτελεί την βάση για την έκδοση δεκάδων εγχειριδίων ενεργειακών ελέγχων ανά τον κόσμο. (Υ.Π.Ε., Ιανουάριος 2017)

1.2.3 Τα πρότυπα της σειράς ΕΛΟΤ EN 16247 για τους ενεργειακούς ελέγχους

Η σειρά προτύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους ενεργειακούς ελέγχους έχει ως εξής :

- EN 16247-1: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι– Μέρος 1 : Γενικές απαιτήσεις (Energy audits - Part 1: General requirements)

- EN 16247-2: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Μέρος 2 : Κτίρια Energy audits - Part 2: Buildings
- EN 16247-3: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Μέρος 3 : Διεργασίες Energy audits - Part 3: Processes
- EN 16247-4: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Μέρος 4 : Μεταφορές Energy audits - Part 4: Transport
- EN 16247-5: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Προσόντα ενεργειακών ελεγκτών Energy audits — Competence of energy auditors

Τα πρότυπα αυτά περιλαμβάνουν τόσο γενικές διαδικασίες και απαιτήσεις (Μέρος 1) αλλά και ειδικότερες διαδικασίες ως και τομείς και τύπους παρεμβάσεων ανά τομέα κατανάλωσης (κτίρια, διεργασίες-βιομηχανία, μεταφορές). Από την άποψη αυτή είναι πιο εκτενή και πιο λεπτομερή από το αντίστοιχο πρότυπο ISO 50002. Με το γενικό πρότυπο EN 16247-1 καθορίστηκαν απαιτήσεις ποιότητας τόσο για τον ενεργειακό έλεγχο όσο και για τον ενεργειακό ελεγκτή. Επίσης καθορίστηκαν απαιτήσεις για τα επιμέρους στοιχεία του ενεργειακού ελέγχου, όπως είναι :

- η προκαταρκτική συνάντηση, η εναρκτήρια σύσκεψη.
- η συλλογή των στοιχείων.
- η επιτόπου επίσκεψη στον χώρο των υπό εξέταση εγκαταστάσεων.
- η ανάλυση των στοιχείων περιλαμβανομένου του επιμερισμού των διαφόρων πηγών ενέργειας σε επιμέρους χρήσεις και της ανάπτυξης των συναφών τύπων συσχετίσεως της κατανάλωσης ενέργειας με τους παράγοντες προσαρμογής.
- η έκθεση των αποτελεσμάτων και η καταληκτική σύσκεψη.

Με το πρότυπο EN 16247-2 περιλήφθηκαν επιπλέον αντίστοιχες απαιτήσεις, προσαρμοσμένες όμως στις ειδικές συνθήκες των κτιρίων καθώς επίσης και πρόσθετα μέτρα και υποδείξεις ΕΞΕ κατά τομέα χρήσης και κατά τεχνολογία ενέργειας. Αντίστοιχες απαιτήσεις καθορίστηκαν με τα πρότυπα για την βιομηχανία και τις μεταφορές όπου γίνονται ειδικότερα υποδείξεις για τυπικές παρεμβάσεις στους τομείς αυτούς. Σημειώνεται ότι τα ανωτέρω πρότυπα δεν καθόρισαν όριο και περιορισμούς ως προς το επίπεδο αβεβαιότητας αλλά αυτό αφήνεται στην συμφωνία μεταξύ φορέα και ενεργειακού ελεγκτή. (Υ.Π.Ε., Ιανουάριος 2017)

1.2.4 Διεθνή πρότυπα κατά ΕΛΟΤ EN ISO της σειράς 17.740

Σχετικά πρόσφατα δημοσιεύτηκε μία σειρά διεθνών προτύπων ISO με αρίθμηση 17.740 η οποία περιλαμβάνει τα εξής πρότυπα :

- ISO 17.741:2016 Γενικοί τεχνικοί κανόνες για μέτρηση, υπολογισμό και επαλήθευση της ΕΕ στα έργα (General technical rules for measurement, calculation and verification of energy savings of projects)

- ISO 17.742:2015 Ενεργειακή απόδοση και υπολογισμός εξοικονόμησης για χώρες, περιοχές και πόλεις (Energy efficiency and savings calculation for countries, regions and cities)
- ISO 17.743:2016 Εξοικονόμηση ενέργειας – Ορισμός μεθοδολογικού πλαισίου υπολογισμού και εκθέσεως της ΕΞΕ (Energy savings — Definition of a methodological framework applicable to calculation and reporting on energy savings)
- ISO/FDIS 17.747 Προσδιορισμός της εξοικονόμησης ενέργειας σε οργανισμούς Determination of energy savings in organizations

Στο πρότυπο ISO 17741 αναπτύσσεται μία μεθοδολογία παρόμοια με εκείνη του IPMVP για την ανάλυση της ΕΞΕ σε έργα ενώ για θέματα αβεβαιότητας παραπέμπει στο πρότυπο IPMVP. Αναπτύσσονται οι έννοιες και οι τεχνικές για την κατασκευή της γραμμής βάσης της κατανάλωσης καθώς και τύπου ο οποίος συσχετίζει την κατανάλωση βάσης με τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση αυτή (παράγοντες προσαρμογής).

Το πρότυπο ISO17742 εφαρμόζει τις θεμελιώδεις αρχές για την γραμμή βάσης της καταναλώσεως ενέργειας σε ευρύτερες περιοχές και εντοπίζει άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση αυτή όπως είναι ο όγκος της οικονομικής δραστηριότητας (αύξηση ή μείωση) και οι δομικοί παράγοντες της οικονομίας (μεταβολή της σύνθεσης των οικονομικών δραστηριοτήτων). Επίσης παραπέμπει σε ειδικές τεχνικές για την εύρεση της αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις εξοικονόμησης ενέργειας. ("Uncertainty in Odyssee indicators and energy savings – Development of a methodology and first results" στον ιστότοπο: <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2013/o13045.pdf>)

Το ISO 17743 παραθέτει ένα γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας, την εύρεση της γραμμής βάσης της κατανάλωσης και τον εντοπισμό και την αναγωγή σε ίδιες συνθήκες των παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας.

Τέλος το πρότυπο ISO 17747 αφορά οργανισμούς οι οποίοι εφαρμόζουν ευρεία προγράμματα ΕΞΕ και προτείνει δύο μεθόδους για την εκτίμηση της ΕΞΕ :

- α) μέθοδος βάσει του Οργανισμού (μέθοδος «από τη βάση στην κορυφή -[bottom-up]») και
- β) μέθοδος βάσει των παρεμβάσεων εξοικονόμησης (μέθοδος «από πάνω προς τα κάτω - [topdown]»).

Μετά την έκδοσή του το πρότυπο αυτό αναμένεται να αντικαταστήσει το αντίστοιχο Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 16212, το οποίο είναι εν ισχύ σήμερα. Όσον αφορά την αβεβαιότητα, το πρότυπο αυτό υποδεικνύει μία απλοποιημένη έκφραση για την θέσπιση ορίων αβεβαιότητας με την έκφραση : «η εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να είναι διπλάσια του τυπικού σφάλματος» δηλαδή της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Επομένως και το πρότυπο αυτό υποδεικνύει όρια αβεβαιότητας κατ' αντιστοιχία των προτύπων IPMVP(2012) και ASHRAE 14 (2002).

Επίσης σημειώνεται ότι στο Παράρτημα V του νόμου 4342/2015 δίδεται μία ευρύτερη μεθοδολογική προσέγγιση για την εκτίμηση εξοικονόμησης ενέργειας την οποία επιτυγχάνουν εταιρείες του ενεργειακού τομέα (διανομείς ενέργειας ή εταιρείες λιανική πώλησης).

(Υ.Π.Ε., Ιανουάριος 2017)

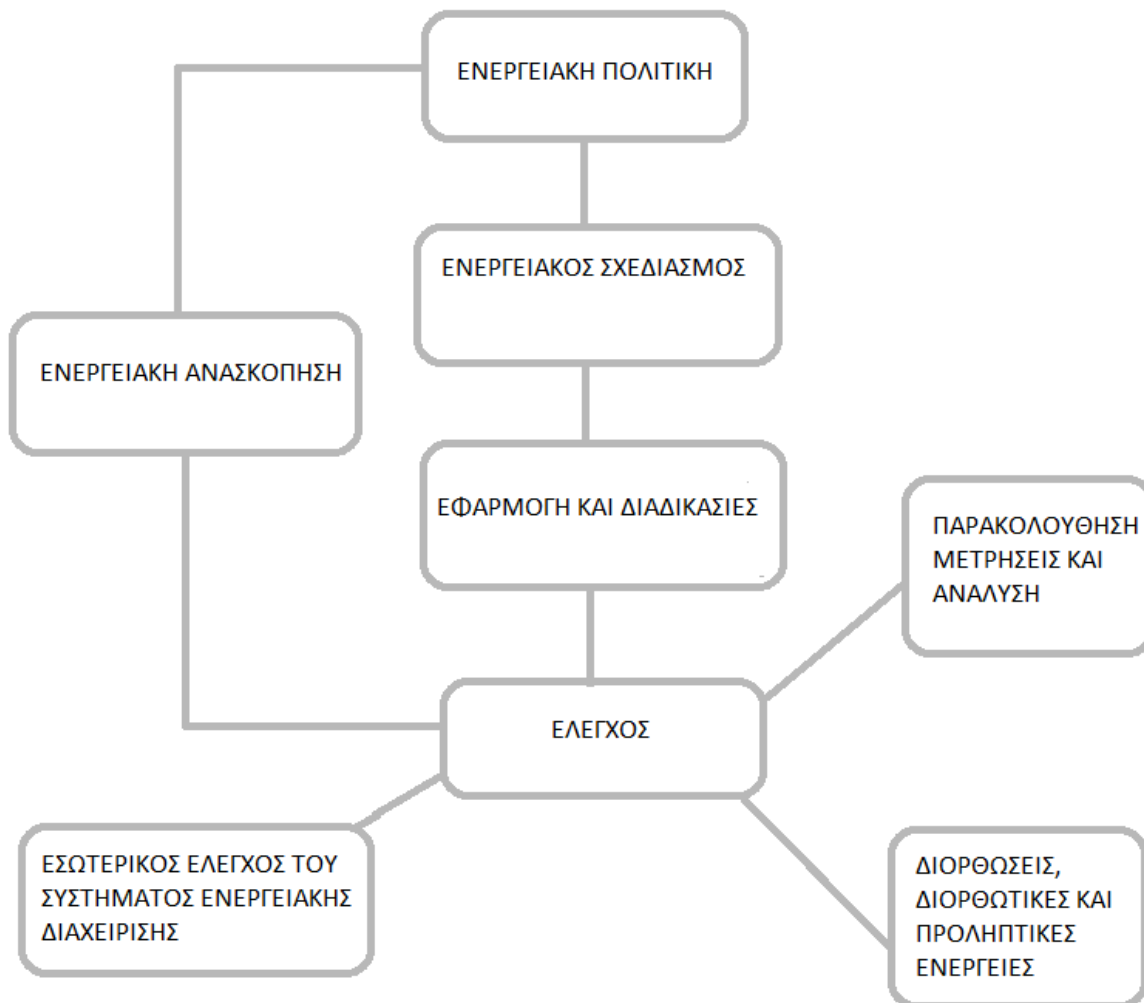
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΕΛΟΤ EN ISO 50001

Όπως αναφέρεται στο πρότυπο ISO 50001, σκοπός του προτύπου είναι να δώσει τη δυνατότητα στους οργανισμούς να καθιερώσουν τα συστήματα και τις διαδικασίες που είναι απαραίτητες ώστε να βελτιωθεί η ενεργειακή επίδοση, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής απόδοσης, χρήσης και κατανάλωσης. Η εφαρμογή του προτύπου θα οδηγήσει σε μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και σε μείωση του ενεργειακού κόστους μέσω της συστηματικής ενεργειακής διαχείρισης. Εφαρμόζεται σε όλων των ειδών τις επιχειρήσεις ανεξαρτήτως γεωγραφικών, πολιτιστικών και κοινωνικών συνθηκών. Η επιτυχής εφαρμογή εξαρτάται από τη δέσμευση όλων των επιπέδων και λειτουργιών του οργανισμού και ειδικότερα της Ανώτατης Διοίκησης.

Στο Διεθνές Πρότυπο ISO 50001 καθορίζονται οι απαιτήσεις των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης, πάνω στις οποίες ο οργανισμός θα αναπτύξει και θα εφαρμόσει την ενεργειακή πολιτική και θα καθιερώσει σκοπούς, στόχους και σχέδια δράσης τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη τους πληροφορίες που σχετίζονται με την ενεργειακή κατανάλωση. Ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης δίνει τη δυνατότητα στον οργανισμό να πετύχει τις δεσμεύσεις του και να αναλάβει δράση ώστε να βελτιώσει την ενεργειακή του επίδοση.

Το πρότυπο αυτό ενσωματώνει την ενεργειακή διαχείριση στις καθημερινές πρακτικές του οργανισμού και βασίζεται στη λογική Plan – Do – Check – Act (PDCA) στο πλαίσιο της συνεχούς βελτίωσης, όπου οι όροι αυτοί ερμηνεύονται ως εξής:

- Plan: διεξάγω ενεργειακή ανασκόπηση και καθορίζω τη γραμμή βάσης, τους δείκτες ενεργειακής επίδοσης, τους σκοπούς, τους στόχους και τα σχέδια δράσης που είναι απαραίτητα ώστε να αποφέρουν αποτελέσματα που θα βελτιώσουν την ενεργειακή επίδοση σύμφωνα με την ενεργειακή πολιτική του οργανισμού.
- Do: εφαρμόζω το σχέδιο ενεργειακής διαχείρισης
- Check: παρακολουθώ και μετρώ διαδικασίες και βασικά χαρακτηριστικά διαδικασιών που καθορίζουν την ενεργειακή επίδοση και είναι ενάντια στους σκοπούς και την ενεργειακή πολιτική και αναφέρω τα αποτελέσματα.
- Act: προχωράω σε πράξεις που συνεχώς βελτιώνουν την ενεργειακή επίδοση και τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης



Σχήμα 1 – Μοντέλο ενεργειακής διαχείρισης του προτύπου ISO 50001:2011

Για τις ανάγκες του προτύπου εισάγεται η παρακάτω ορολογία:

Η διορθωτική δράση (corrective action) είναι η ενέργεια για την εξάλειψη των αιτίων μιας δυνητικής μη συμμόρφωσης. Είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερα του ενός αίτια για μία εν δυνάμει μη συμμόρφωση. Η προληπτική ενέργεια αναλαμβάνεται για την αποτροπή της εμφάνισης μίας δυνητικής μη συμμόρφωσης ενώ η διορθωτική.

Η διορθωτική ενέργεια (correction) είναι η ενέργεια για την εξάλειψη μιας δυνητικής μη συμμόρφωσης.

Η ενέργεια βάσης (energy baseline) είναι οι ποσοτικοποιημένες αναφορές που παρέχουν μια βάση για τη σύγκριση της ενεργειακής επίδοσης. Η ενέργεια βάσης αναφέρεται σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η ενέργεια βάσης μπορεί να εξομαλυνθεί χρησιμοποιώντας μεταβλητές που επηρεάζουν την ενεργειακή χρήση ή κατανάλωση. Η ενέργεια βάσης χρησιμοποιείται επίσης για

τον υπολογισμό των ενεργειακών εξοικονομήσεων ύστερα από την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης (energy management system) είναι το σύνολο αλληλένδετων ή αλληλεπιδρώντων στοιχείων (σύστημα) ενός οργανισμού για την καθιέρωση ενεργειακής πολιτικής και ενεργειακών σκοπών και των διεργασιών και διαδικασιών για την επίτευξη των σκοπών αυτών.

Η ενεργειακή απόδοση (energy efficiency) είναι ο λόγος ή άλλη ποσοτική σχέση μεταξύ μίας επίδοσης, υπηρεσίας, προϊόντος ή ενέργειας ενός οργανισμού ως προς την παρεχόμενη ενέργεια

Η ομάδα ενεργειακής διαχείρισης (energy management team) είναι το(α) πρόσωπο(α) υπεύθυνα για την αποτελεσματική υλοποίηση των δραστηριοτήτων του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης και για την επίτευξη βελτιώσεων της ενεργειακής επίδοσης.

Ο Ενεργειακός σκοπός (energy objective) είναι το προκαθορισμένο αποτέλεσμα ή επιδίωξη που καθορίζεται για την εξυπηρέτηση της ενεργειακής πολιτικής του οργανισμού και σχετίζεται με την βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης.

Η ενεργειακή επίδοση (energy performance) είναι η μετρήσιμη κατανάλωση ή χρήση ενέργειας ενός οργανισμού ανά μονάδα χρόνου ή άλλου φυσικού μεγέθους.

Ο δείκτης ενεργειακής επίδοσης (energy performance indicator EnPI) είναι ποσοτική τιμή ή μέτρο ενεργειακής επίδοσης όπως καθορίζεται από τον Οργανισμό. Ο δείκτης ενεργειακής επίδοσης μπορεί να εκφράζεται ως απλή μέτρηση ή λόγος ή πιο πολύπλοκο μοντέλο.

Η Πολιτική ενέργειας (energy policy) είναι η δήλωση του οργανισμού επί των επιδιώξεών του και των κατευθύνσεων σε σχέση με τη συνολική του ενεργειακή επίδοση, όπως αυτή διατυπώνεται επισήμως από την ανώτατη Διοίκηση. Η ενεργειακή πολιτική παρέχει ένα πλαίσιο για τον καθορισμό των ενεργειακών σκοπών και στόχων.

Η ενεργειακή ανασκόπηση (energy review) είναι ο προσδιορισμός των ενεργειακών επιδόσεων του οργανισμού με βάση δεδομένα και άλλες πληροφορίες που οδηγούν στην αναγνώριση ευκαιριών προς βελτίωση. Ο όρος αυτός προσεγγίζει τον όρο «ενεργειακός έλεγχος» αλλά δεν ταυτίζεται μαζί του ως προς την έκταση της ανασκόπησης όσο και τον βαθμό λεπτομέρειας και τεκμηρίωσης

Οι ενεργειακές υπηρεσίες (energy services) είναι οι δραστηριότητες και τα αποτελέσματά αυτών σχετικά με την παροχή ή/και την χρήση ενέργειας

Ο ενεργειακός στόχος (energy target) είναι η αναλυτική και ποσοτική απαίτηση ενεργειακής επίδοσης, εφαρμοστέα σε ένα οργανισμό ή μέρος του, η οποία προκύπτει από τον ενεργειακό σκοπό και η οποία χρειάζεται να καθοριστεί και να ικανοποιηθεί ώστε να επιτευχθεί ο ενεργειακός σκοπός

Τα ενδιαφερόμενα μέρη (interested party) είναι πρόσωπο ή ομάδα που έχει ενδιαφέρον ή επηρεάζεται από την ενεργειακή επίδοση του οργανισμού

Ο εσωτερικός έλεγχος (internal audit) είναι συστηματική, ανεξάρτητη και καταγεγραμμένη διαδικασία συλλογής στοιχείων και αντικειμενική αξιολόγησή τους ώστε να καθοριστεί το σημείο στο οποίο έχουν εκπληρωθεί οι απαιτήσεις

[ISO 50001:2011, ορισμός 3.20]

Η μη συμμόρφωση (non conformity) είναι η μη εκπλήρωση μίας απαίτησης ενός Κανονισμού ή Προτύπου.

Ο Οργανισμός (organization) είναι εταιρεία, όμιλος επιχειρήσεων, εμπορικός οίκος, επιχείρηση, αρχή ή ίδρυμα, ή μέρος ή συνδυασμός αυτών, με ή χωρίς εταιρική μορφή, δημόσια ή ιδιωτική, που διαθέτει τις δικές τις λειτουργίες και Διοίκηση και η οποία έχει την εξουσία να ελέγχει τη δική της χρήση και κατανάλωση ενέργειας. Ένας οργανισμός δύναται να είναι ένα πρόσωπο ή ομάδα προσώπων.

Η προληπτική ενέργεια (preventive action) είναι η ενέργεια για την εξάλειψη των αιτίων μιας δυνητικής μη συμμόρφωσης. Είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερα του ενός αίτια για μία εν δυνάμει μη συμμόρφωση. Η προληπτική ενέργεια αναλαμβάνεται για την αποτροπή της εμφάνισης μίας δυνητικής μη συμμόρφωσης ενώ η διορθωτική ενέργεια αναλαμβάνεται για την αποφυγή της επανεμφάνισης της εμφανισμένης μη συμμόρφωσης.

Η διαδικασία (procedure) είναι καθορισμένος τρόπος για την εκτέλεση μιας δραστηριότητας ή διεργασίας. Οι διαδικασίες μπορεί να είναι τεκμηριωμένες ή όχι. Όταν μία διαδικασία είναι τεκμηριωμένη, τότε χρησιμοποιείται συχνά ο όρος «γραπτή διαδικασία» ή «τεκμηριωμένη διαδικασία».

Το αρχείο (record) είναι έγγραφο στο οποίο δηλώνονται ρητά τα επιτευχθέντα αποτελέσματα ή παρέχεται απόδειξη των δραστηριοτήτων οι οποίες υλοποιήθηκαν. Τα αρχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν, π.χ., για την τεκμηρίωση της ιχνηλασιμότητας και για την παροχή της απόδειξης ότι η επαλήθευση, η προληπτική ενέργεια και η διορθωτική ενέργεια έχουν υλοποιηθεί.

Το πεδίο εφαρμογής (scope) είναι η έκταση δραστηριοτήτων, εγκαταστάσεων και αποφάσεων στις οποίες απευθύνεται ένας οργανισμός διαμέσου ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης οι οποίες δυνατόν να περιλαμβάνουν πολλά όρια. Το πεδίο εφαρμογής δύναται να περιλαμβάνει ενέργεια σχετική με τις μεταφορές

Η Ανώτατη Διοίκηση είναι πρόσωπο ή ομάδα προσώπων που διευθύνει και ελέγχει ένα οργανισμό σε ανώτατο επίπεδο. Η ανώτατη Διοίκηση ελέγχει τον Οργανισμό όπως καθορίζεται στο πεδίο εφαρμογής του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης.

2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 50001 ο Οργανισμός πρέπει να εδραιώσει και να καταγράψει ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης το οποίο θα εφαρμόζει, θα διατηρεί και θα βελτιώνει ώστε να επιτυγχάνει συνεχή βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης.

Επίσης θα πρέπει να ορίσει και να καταγράψει το πεδίο εφαρμογής και τα όρια του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης

2.2 ΑΡΜΟΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

1) Ανώτατη διοίκηση

Η Ανώτατη Διοίκηση πρέπει να επιδείξει τη δέσμευσή της στην υποστήριξη του συστήματος διαχείρισης και στη συνεχή βελτίωσή του ως εξής:

- Θεσπίζοντας μια ενεργειακή πολιτική.
- Αναδεικνύοντας έναν εκπρόσωπο στην διοίκηση και εγκρίνοντας τον σχηματισμό μιας ομάδας ενεργειακής διαχείρισης
- Παρέχοντας τα απαραίτητα μέσα για την εδραίωση, καταγραφή, εφαρμογή, διατήρηση και βελτίωση του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης και της ενεργειακής επίδοσης.

2) Εκπρόσωπος διοίκησης

Η Ανώτατη Διοίκηση πρέπει να αναδείξει έναν εκπρόσωπο διοίκησης, ο οποίος διαθέτει τα κατάλληλα προσόντα και ο οποίος, ανεξαρτήτως των άλλων αρμοδιοτήτων είναι υπεύθυνος για :

- Να διασφαλίσει ότι το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης εφαρμόζεται και βελτιώνεται συνεχώς σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο.
- Να ορίσει πρόσωπο, έχοντας την έγκριση της διοίκησης, το οποίο θα εργαστεί μαζί του βοηθητικά στις δραστηριότητες της ενεργειακής διαχείρισης.
- Να αναφέρεται στην Ανώτατη Διοίκηση για την ενεργειακή επίδοση.
- Να αναφέρεται στην Ανώτατη Διοίκηση για το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης.
- Να διασφαλίσει ότι ο σχεδιασμός των δραστηριοτήτων της ενεργειακής διαχείρισης υποστηρίζει την ενεργειακή πολιτική του οργανισμού.
- Να ορίσει και να επικοινωνήσει αρμοδιότητες ώστε να διευκολυνθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης.
- Να ορίσει κριτήρια και μεθόδους απαραίτητα ώστε να εξασφαλίσει ότι οι διεργασίες και ο έλεγχος του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης είναι αποτελεσματικά.
- Να γνωστοποιήσει την ενεργειακή πολιτική σε όλα τα επίπεδα του Οργανισμού.

2.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Η ενεργειακή πολιτική πρέπει να δηλώνει τη δέσμευση του Οργανισμού στην επίτευξη της βελτίωσης της ενεργειακής επίδοσης. Η Ανώτατη Διοίκηση πρέπει να ορίσει την ενεργειακή πολιτική και να διασφαλίσει ότι:

- είναι σύμφωνη με τη φύση και την κλίμακα της ενεργειακής χρήσης και κατανάλωσης του Οργανισμού.
- περιλαμβάνει δέσμευση για συνεχή βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης.
- δεσμεύεται να παρέχει τις πληροφορίες και τις απαραίτητες πηγές ώστε να επιτύχει τους ενεργειακούς στόχους και σκοπούς του Οργανισμού.
- συμμορφώνεται με τις νομικές και άλλες απαιτήσεις στις οποίες υπόκειται ο οργανισμός ως αναφορά την ενεργειακή του χρήση, κατανάλωση και απόδοση.
- παρέχει το πλαίσιο για να θέσει και να ανανεώσει τους ενεργειακούς στόχους και σκοπούς του Οργανισμού.
- υποστηρίζει την αγορά ενεργειακά αποδοτικών προϊόντων και υπηρεσιών.
- έχει γίνει γνωστή σε όλα τα επίπεδα της διοίκησης
- ανανεώνεται τακτικά

2.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο Οργανισμός πρέπει να διεξάγει και να καταγράψει μια διαδικασία ενεργειακού σχεδιασμού. Ο ενεργειακός σχεδιασμός πρέπει να συμφωνεί με την ενεργειακή πολιτική και να οδηγεί σε δραστηριότητες που συνεχώς βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση. Ο ενεργειακός σχεδιασμός πρέπει να περιλαμβάνει μια ανασκόπηση των δραστηριοτήτων του Οργανισμού που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση.

2.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ο Οργανισμός πρέπει να συντάξει ενεργειακή ανασκόπηση. Η μεθοδολογία και τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την σύνταξη της ενεργειακής ανασκόπησης πρέπει να καταγράφονται. Για τη σύνταξη της ενεργειακής ανασκόπησης θα πρέπει να :

α) γίνει ανάλυση της ενεργειακής χρήσης και κατανάλωσης βασιζόμενοι σε δεδομένα μετρήσεων κλπ.

- αναγνωρίζοντας τις τρέχουσες ενεργειακές πηγές
- εκτιμώντας την προηγούμενη και παρούσα ενεργειακή χρήση και κατανάλωση

β) βασιζόμενοι στην ανάλυση της ενεργειακής χρήσης και κατανάλωσης, θα πρέπει να εντοπιστούν τα σημεία της σημαντικής ενεργειακής χρήσης.

- Αναγνωρίζοντας τις εγκαταστάσεις, τον εξοπλισμό, τα συστήματα, τις διαδικασίες και το προσωπικό, που επηρεάζουν σημαντικά την ενεργειακή χρήση και κατανάλωση.
- Αναγνωρίζοντας άλλες σχετικές μεταβλητές που επηρεάζουν την σημαντική ενεργειακή χρήση.

- Καθορίζοντας την τρέχουσα ενεργειακή επίδοση των εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού, των συστημάτων και διαδικασιών που σχετίζονται με την σημαντική ενεργειακή χρήση.
- Εκτιμώντας τη μελλοντική ενεργειακή χρήση και κατανάλωση.
- Αναγνωρίζοντας, καταγράφοντας και θέτοντας σε προτεραιότητα ευκαιρίες για βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης.

Η ενεργειακή ανασκόπηση πρέπει να ανανεώνεται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα, όπως επίσης και σε μεγάλες αλλαγές στις εγκαταστάσεις, στον εξοπλισμό, στα συστήματα και στις διαδικασίες.

2.6 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΒΑΣΗΣ

Ο Οργανισμός πρέπει να ορίσει ενεργειακή γραμμή βάσης χρησιμοποιώντας πληροφορίες από την αρχική ενεργειακή ανασκόπηση, λαμβάνοντας υπόψη μια περίοδο δεδομένων κατάλληλη για την ενεργειακή χρήση και κατανάλωση του Οργανισμού. Οι αλλαγές στην ενεργειακή επίδοση πρέπει να μετρώνται ανεξάρτητα από την ενεργειακή γραμμή βάσης.

Ρυθμίσεις στις γραμμές βάσης πρέπει να γίνονται σε περίπτωση των παρακάτω:

- Το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης δεν αντιπροσωπεύει πλέον την ενεργειακή χρήση και κατανάλωση του Οργανισμού ή
- Οι διαδικασίες και τα ενεργειακά συστήματα έχουν υποστεί σημαντικές τροποποιήσεις ή
- Σύμφωνα με μια προκαθορισμένη μέθοδο.

Η ενεργειακή γραμμή βάσης πρέπει να διατηρείται και να καταγράφεται.

2.7 ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Ο Οργανισμός πρέπει να αναγνωρίσει σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κατάλληλο για παρακολούθηση και μέτρηση της ενεργειακής του επίδοσης. Η μεθοδολογία για τη μέτρηση, τον καθορισμό και την αναθεώρηση του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης πρέπει να καταγράφεται και να αναθεωρείται τακτικά.

2.8 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΣΚΟΠΟΙ, ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ ΔΡΑΣΗΣ

Ο Οργανισμός πρέπει να ορίσει, εφαρμόσει και διατηρήσει καταγεγραμμένους ενεργειακούς σκοπούς και στόχους (οι οποίοι πρέπει να είναι σύμφωνοι με την ενεργειακή πολιτική), καθώς και να ορίσει χρονικά πλαίσια για την επίτευξη αυτών των σκοπών και των στόχων.

2.9 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Ο Οργανισμός πρέπει να διεξάγει εσωτερικούς ελέγχους ώστε να διασφαλίσει ότι το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης:

- συμμορφώνεται με της σχεδιασμένες διατάξεις για την ενεργειακή διαχείριση.
- συμμορφώνεται με τους ενεργειακούς στόχους και σκοπούς που έχουν καθοριστεί.
- εφαρμόζεται και διατηρείται αποτελεσματικά και βελτιώνει την ενεργειακή επίδοση.

Πρέπει να αναπτύσσεται ένα σχέδιο και πλάνο ελέγχου λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση και τη σημασία των διαδικασιών και των τομέων ελέγχου καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των προηγούμενων ελέγχων.

Η επιλογή των ελεγκτών και η διεξαγωγή των ελέγχων πρέπει να διασφαλίζει αντικειμενικά και αμερόληπτα την διαδικασία του ελέγχου.

Αρχεία των αποτελεσμάτων του εσωτερικού ελέγχου πρέπει να διατηρούνται και να αναφέρονται στην Ανώτατη Διοίκηση.

2.10 ΜΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΕΙΣ, ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

Ο Οργανισμός πρέπει να αντιμετωπίσει πιθανές μη συμμορφώσεις κάνοντας διορθώσεις και λαμβάνοντας διορθωτικές και προληπτικές ενέργειες, συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω:

- Αναθεώρηση μη συμμορφώσεων ή πιθανών μη συμμορφώσεων.
- Καθορισμός των αιτίων των μη συμμορφώσεων ή των πιθανών μη συμμορφώσεων.
- Εκτίμηση της ανάγκης για δράση ώστε να διασφαλιστεί η απουσία μη συμμορφώσεων.
- Καθορισμός και εφαρμογή κατάλληλων ενεργειών που απαιτούνται.
- Διατήρηση αρχείων των διορθωτικών και προληπτικών ενεργειών.
- Αναθεώρηση της αποτελεσματικότητας των διορθωτικών ή προληπτικών ενεργειών που έχουν ληφθεί.

Οι διορθωτικές και προληπτικές ενέργειες πρέπει να είναι κατάλληλες του μεγέθους των πραγματικών ή πιθανών προβλημάτων και να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις στην ενεργειακή επίδοση.

Ο Οργανισμός πρέπει να διασφαλίσει ότι θα πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε αναγκαία αλλαγή στο σύστημα διαχείρισης ενέργειας.

Η εφαρμογή ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης έχει σκοπό να οδηγήσει σε βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης. Γι' αυτό το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης πρέπει να αναθεωρείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και να εκτιμάται η αποτελεσματικότητά του ώστε να

αναγνωριστούν ευκαιρίες για περαιτέρω βελτίωση. Η ενεργειακή επίδοση περιλαμβάνει την ενεργειακή χρήση, την ενεργειακή κατανάλωση και την ενεργειακή απόδοση.

2.11 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΕΛΟΤ EN ISO 50001 ΣΤΙΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ

Όπως παρατηρούμε στο παρακάτω διάγραμμα η εφαρμογή του συστήματος ISO-50001 γίνεται ευρύτερη με την πάροδο του χρόνου σε παγκόσμιο επίπεδο. Κυρίως στις χώρες της Ευρώπης αναπτύσσεται σε μεγαλύτερο βαθμό και προοδευτικά ανά έτος ενώ δεν παρατηρείτε καμία μεταβολή στις χώρες του τρίτου κόσμου.



Πηγή: <https://iso.org/the-iso-survey.html>

Σημαντική είναι η συμβολή του προτύπου ISO – 50001 στη βιομηχανία καθώς αναζητούνται συνεχώς νέοι τρόποι διαχείρισης και θέτονται στόχοι συνεχούς ανάπτυξης και βελτίωσης. Σε αυτό το πλαίσιο το πρότυπο καλύπτει ανάγκες ή στόχους όπως:

- η μείωση του κόστους
- η μείωση των επιπτώσεων από την αύξηση του λειτουργικού κόστους

- η επίτευξη των προβλεπόμενων από το νόμο ή των αυτοπροσδιοριζόμενων από την επιχείρηση, στόχων, σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπής διοξειδίου/ μονοξειδίου άνθρακα κ.λπ.
- η μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων
- η ενίσχυση της φήμης της επιχείρησης ως ενός κοινωνικά υπεύθυνου και ευαισθητοποιημένου φορέα.

Θεωρείτε σκόπιμο να αναφέρουμε ότι επιχειρήσεις που εφαρμόζουν συστήματα διαχείρισης ενέργειας έχουν 1,5-3% ετήσια Ε.Ξ.Ε. σε αντίθεση με επιχειρήσεις που υλοποιούν περιστασιακά ενεργειακούς ελέγχους και έχουν 0-1%.

Παρακάτω παρουσιάζεται διάγραμμα όπου φαίνονται οι κυριότερες βιομηχανίες διεθνώς που εφαρμόζουν το σύστημα ISO – 50001.



Πηγή: www.z-group.gr/energy

Στην Ελλάδα ορισμένες από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες έχουν υιοθετήσει και εφαρμόζουν το σύστημα ISO 50001. Παραδείγματα αποτελούν η βιομηχανία παραγωγής και εμπορίας προϊόντων χαλκού HALCOR, η βιομηχανία αλουμινίου EXALCO, η βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου και δομικών υλικών TITAN.

3. Η αβεβαιότητα στην ενεργειακή εξοικονόμηση

Όπως αναφέρεται στο Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης της Ενεργειακής Επιδόσεως, δεν υπάρχει άμεσος τρόπος μέτρησης της ενεργειακής εξοικονόμησης χρήσης ή

ζήτησης καθώς τα όργανα μέτρησης δεν μπορούν να μετρήσουν την απουσία ενεργειακής χρήσης ή ζήτησης. Παρ' όλα αυτά η απουσία ενεργειακής χρήσης ή ζήτησης μπορεί να υπολογιστεί συγκρίνοντας τις μετρήσεις της ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης (ΕΞΕ). Η απλή σύγκριση τιμών με αφαίρεση της ενεργειακής κατανάλωσης πριν την ενεργειακή αναβάθμιση και της ενεργειακής κατανάλωσης κατόπιν της ενεργειακής αναβάθμισης δεν διαφοροποιεί τις επιδράσεις από την εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης από αυτές άλλων παραγόντων όπως ο καιρός ή η χωρητικότητα. Χρησιμοποιούμε τρόπους προσδιορισμού της ενεργειακής εξοικονόμησης συγκρίνοντας την χρήση της ενέργειας πριν και μετά την ενεργειακή αναβάθμιση και κάνοντας ρυθμίσεις ώστε να εξασφαλίσουμε σταθερές εξωτερικές συνθήκες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση.

Η βασική μέθοδος περιλαμβάνει προβολή μοτίβων ενεργειακής χρήσης και ζήτησης της περιόδου γραμμής βάσης πριν την ενεργειακή αναβάθμιση στην περίοδο μετά την ενεργειακή αναβάθμιση. Τέτοια προβολή απαιτεί προσαρμογή της ενεργειακής χρήσης και ζήτησης της γραμμής βάσης σε διαφορετικές συνθήκες καιρού, περιόδου χρήσης ή άλλων μεταβλητών που επηρεάζουν την ενέργεια. Έτσι η ενεργειακή εξοικονόμηση ορίζεται ως:

$$\text{Ενεργειακή Εξοικονόμηση} = \frac{\text{Ενεργειακή χρήση ή ζήτηση βάσης προβαλλόμενη στις συνθήκες πριν την ενεργειακή αναβάθμιση}}{\text{Ενεργειακή χρήση ή κατανάλωση πριν την ενεργειακή αναβάθμιση}} - 1$$

Η ενεργειακή εξοικονόμηση που προκύπτει μπορεί να θεωρηθεί επίσης ως η ενεργειακή χρήση ή κατανάλωση που αποφύγαμε μέσω της ενεργειακής αναβάθμισης.

Για να είναι αξιόπιστες οι μελέτες ενεργειακής εξοικονόμησης πρέπει να έχουν ένα λογικό βαθμό αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα μιας μελέτης εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να μειωθεί εάν μειώσουμε τα τυχαία σφάλματα και τα συστηματικά σφάλματα δεδομένων. Τα τυχαία σφάλματα επηρεάζονται από την ποιότητα του εξοπλισμού των μετρήσεων, τις τεχνικές μετρήσεων και το σχεδιασμό των μεθόδων δειγματοληψίας. Τα συστηματικά σφάλματα δεδομένων επηρεάζονται από την ποιότητα των δεδομένων μέτρησης, των υποθέσεων και των αναλύσεων. Η μείωση των σφαλμάτων συνήθως αυξάνει το κόστος της διαδικασίας μέτρησης και επαλήθευσης της ενεργειακής εξοικονόμησης (M&V) έτσι η ανάγκη για μείωση της αβεβαιότητας πρέπει να αιτιολογείται από την αξία της βελτιωμένης πληροφορίας.

Οι υπολογισμοί ενεργειακής εξοικονόμησης περιλαμβάνουν τη σύγκριση των ενεργειακών δεδομένων που προκύπτουν από τις μετρήσεις και τον υπολογισμό τροποποιημένων ενεργειακών δεδομένων για τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Τα δεδομένα μετρήσεων και τα τροποποιημένα δεδομένα περιέχουν σφάλματα, τα οποία μπορεί να οφείλονται σε σφάλματα μετρήσεων των οργάνων μέτρησης, στη διαδικασία δειγματοληψίας ή στη διαδικασία

υπολογισμού των τροποποιημένων ενεργειακών δεδομένων. Αυτές οι διεργασίες δημιουργούν στατιστικές εκτιμήσεις με καταγεγραμμένες ή αναμενόμενες τιμές και κάποια απόκλιση. Οι πραγματικές τιμές δεν είναι γνωστές και η στατιστική ανάλυση βασίζεται σε εκτίμηση των κεντρικών τάσεων, όπως οι μέσες τιμές και η ποσοτικοποίηση των αποκλίσεων όπως η τυπική απόκλιση, το τυπικό σφάλμα και η διακύμανση.

Η στατιστική παρέχει τρόπους ελέγχου των αποτελεσμάτων των αναφορών εξοικονόμησης ενέργειας ώστε να δούμε εάν η εξοικονόμηση ενέργειας ήταν σημαντική.

Τα σφάλματα συμβαίνουν σε τρεις τομείς: μοντελοποίηση, δειγματοληψία, μετρήσεις

Μοντελοποίηση: Σφάλματα στη μαθηματική μοντελοποίηση που οφείλονται σε επιλογή ακατάλληλου μαθηματικού τύπου, ενσωμάτωση μη σχετιζόμενων μεταβλητών ή παράληψη σχετιζόμενων μεταβλητών.

Δειγματοληψία: Σφάλματα δειγματοληψίας προκύπτουν όταν λαμβάνεται υπόψη μόνο μέρος των μεταβλητών ή όταν μεροληπτούμε ως προς τη μεθοδολογία δειγματοληψίας. Η θεώρηση μόνο μέρους των μεταβλητών μπορεί να έχει φυσική ή χρονική έννοια.

Μετρήσεις: Σφάλματα μετρήσεων προκύπτουν από την ακρίβεια των αισθητηρίων οργάνων, από σφάλματα παρακολούθησης δεδομένων ή από ανακριβείς μετρήσεις. Το μέγεθος τέτοιων λαθών δίνεται από τις τεχνικές οδηγίες του κατασκευαστή των οργάνων μέτρησης και αντιμετωπίζεται με τακτική βαθμονόμηση.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής είναι η εφαρμογή μεθόδων υπολογισμού ενεργειακής εξοικονόμησης σε παραδείγματα πραγματικών δεδομένων μέτρησης στηριζόμενοι στο θεωρητικό υπόβαθρο που θα αναπτυχθεί αναλυτικά παρακάτω. Από τα αποτελέσματα των υπολογισμών θα εξαχθούν συμπεράσματα που θα μας βοηθήσουν στην κατανόηση του προβλήματος της μέτρησης και πιστοποίησης της ενεργειακής εξοικονόμησης.

Για να εκφράσουμε την ενεργειακή εξοικονόμηση με στατιστικά ορθό τρόπο πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα επίπεδα ακρίβειας και εμπιστοσύνης. Η εμπιστοσύνη αναφέρεται στην πιθανότητα ότι το ποσό της εκτιμώμενης ενεργειακής εξοικονόμησης εμπίπτει στην περιοχή ακρίβειας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι μόνο μία εκτίμηση ή προσέγγιση της τιμής της φυσικής ποσότητας που υπόκειται σε μέτρηση. Το αποτέλεσμα είναι πλήρες μόνο όταν συνοδεύεται από μια ποσοτική έκφραση της αβεβαιότητάς του.

3.1 ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

Το ποσό εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να είναι στατιστικά ορθό εφόσον είναι μεγαλύτερο από τις στατιστικές διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα το ποσό εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να είναι 2 φορές μεγαλύτερο από το τυπικό σφάλμα της βάσης. Εάν η διακύμανση των δεδομένων βάσης είναι μεγάλη η απρόβλεπτη ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος ή της

εγκατάστασης είναι μεγάλη και κάθε προσπάθεια καθορισμού της ενεργειακής εξοικονόμησης είναι αναξιόπιστη.

Όταν τα παραπάνω κριτήρια δεν πληρούνται χρησιμοποιούμε:

- Πιο ακριβή εξοπλισμό μετρήσεων
- Λιγότερο σχετιζόμενες μαθηματικές μεταβλητές
- Μεγαλύτερο εύρος δειγματοληψίας

3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Χρησιμοποιούμε τους τρεις παρακάτω δείκτες για να αποδώσουμε το πόσο καλά περιγράφει ένα μαθηματικό μοντέλο τη μεταβλητότητα των δεδομένων μέτρησης. Αυτοί οι δείκτες πρέπει να υπολογιστούν για ένα μεμονωμένο μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα δεδομένα βάσης σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας.

Συντελεστής διακύμανσης της τυπικής απόκλισης (CVSTD)

$$CVSTD = 100 \times [\sum(y_i - \bar{y})^2 / (n-1)]^{1/2} / \bar{y}$$

Συντελεστής διακύμανσης της μέσης τετραγωνικής ρίζας σφαλμάτων.

$$CVRMSE = 100 \times [\sum(y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-p)]^{1/2} / \bar{y}$$

Ομαλοποιημένο μέσο σφάλμα μεροληψίας

$$NMBE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{(n-p) \times \bar{y}} \times 100$$

Συνοψίζουμε παρακάτω στατιστικούς όρους που εφαρμόζονται και στην εκτίμηση της αβεβαιότητας.

Ο μέσος όρος δειγματοληπτικού χώρου (\bar{y}) καθορίζεται προσθέτοντας τις ανεξάρτητες μετρήσεις y_i και διαιρούμενο με το συνολικό αριθμό μετρήσεων:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

Η απόκλιση δειγματοληπτικού χώρου (s^2) μετράει το εύρος στο οποίο οι μετρούμενες μεταβλητές διαφέρουν η μια από την άλλη. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση τόσο μεγαλύτερη είναι και η αβεβαιότητα του μέσου όρου. Η απόκλιση του δειγματοληπτικού χώρου υπολογίζεται από το μέσο όρο των τετραγώνων των μεμονωμένων αποκλίσεων. Οι τιμές της απόκλισης από το μέσο όρο τετραγωνίζονται ώστε να εξαλειφθούν οι αρνητικές τιμές που μπορεί να προκύψουν όταν μία μέτρηση είναι κάτω από το μέσο όρο.

$$S^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

Η τυπική απόκλιση του δειγματοληπτικού χώρου (S) είναι η τετραγωνική ρίζα της απόκλισης του δειγματοληπτικού χώρου. Οι μονάδες μέτρησης της τυπικής απόκλισης είναι ίδιες με τις μονάδες μέτρησης των δεδομένων.

(Εάν η απόκλιση μετράται σε (kWh)² η τυπική απόκλιση θα μετράται σε kWh.)

$$s = \sqrt{S^2}$$

Το τυπικό σφάλμα δειγματοληπτικού χώρου (SE) είναι η τυπική απόκλιση διαιρούμενη από \sqrt{n} . Αυτό το μέγεθος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ακρίβειας του μέσου όρου του δειγματοληπτικού χώρου. Συναντάται επίσης και ως s , ή ως η τυπική απόκλιση του μέσου όρου του δειγματοληπτικού χώρου στη βιβλιογραφία της στατιστικής.

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Πολλές φορές ενδιαφερόμαστε για τις στατιστικές ιδιότητες του συνόλου και όχι του μέσου όρου. Η τυπική απόκλιση του συνόλου του δειγματοληπτικού χώρου χρησιμοποιείται για να καθορίσει την ακρίβεια του συνόλου του δειγματοληπτικού χώρου. Ορίζεται ως η τετραγωνική ρίζα του μεγέθους του δειγματοληπτικού χώρου επί \sqrt{n} την τυπική απόκλιση του δειγματοληπτικού χώρου.

$$Stot = \sqrt{n * S}$$

Ο συντελεστής διακύμανσης CV (coefficient of variation) είναι η τυπική απόκλισης μια κατανομής εκπεφρασμένη ως ποσοστό του μέσου όρου. Για παράδειγμα ο CV του συνόλου του δειγματοληπτικού χώρου.

θα ήταν $[Stot] \div [\text{σύνολο του δειγματοληπτικού χώρου}]$, ο CV του μέσου όρου του δειγματοληπτικού χώρου θα ήταν $[SE \bar{y}] \div [\text{μέσο όρο του συνόλου}]$, κλπ. Ο γενικός τύπος είναι:

$$CV = \frac{s}{\bar{y}}$$

Η ακρίβεια είναι το μέτρο του απόλυτου ή σχετικού εύρους όπου η πραγματική τιμή αναμένεται να εμφανιστεί με κάποιο καθορισμένο βαθμό βεβαιότητας. Το επίπεδο της βεβαιότητας αναφέρεται στην πιθανότητα το προσφερόμενο εύρος να περιέχει την εκτιμώμενη παράμετρο.

Η απόλυτη ακρίβεια υπολογίζεται από το τυπικό σφάλμα του δειγματοληπτικού χώρου χρησιμοποιώντας της τιμή “t” από ένα πίνακα κατανομής τιμών “t”. Ο πίνακας αυτός παρατίθεται παρακάτω.

$$t^* SE_{\bar{y}}$$

Πινάκας 1 Κατανομής τιμών t

Βαθμοί ελευθερίας (Degrees of Freedom)	Επίπεδο εμπιστοσύνης (Confidence Level)			
	95%	90%	80%	50%
1	12.71	6.31	3.08	1.00
2	4.30	2.92	1.89	0.82
3	3.18	2.35	1.64	0.76
4	2.78	2.13	1.53	0.74
5	2.57	2.02	1.48	0.73
6	2.45	1.94	1.44	0.72
7	2.36	1.89	1.41	0.71
8	2.31	1.86	1.40	0.71
9	2.26	1.83	1.38	0.70
10	2.23	1.81	1.37	0.70
11	2.20	1.80	1.36	0.70
12	2.18	1.78	1.36	0.70
13	2.16	1.77	1.35	0.69
14	2.14	1.76	1.35	0.69
15	2.13	1.75	1.34	0.69
16	2.12	1.75	1.34	0.69
17	2.11	1.74	1.33	0.69
18	2.10	1.73	1.33	0.69
19	2.09	1.73	1.33	0.69

21	2.08	1.72	1.32	0.69
23	2.07	1.71	1.32	0.69
25	2.06	1.71	1.32	0.69
27	2.05	1.70	1.31	0.68
31	2.04	1.70	1.31	0.68
35	2.03	1.69	1.31	0.68
41	2.02	1.68	1.30	0.68
49	2.01	1.68	1.30	0.68
60	2.00	1.67	1.30	0.68
120	1.98	1.66	1.29	0.68
∞	1.96	1.64	1.28	0.67

Υπολογίζουμε το βαθμό ελευθερίας χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους τύπους

- $DF = n-1$ (για μία ενδεικτική κατανομή)
- $DF = n-p-1$ (για ένα μοντέλο παλινδρόμησης)

Όπου, n = μέγεθος δειγματοληπτικού χώρου

N =ο αριθμός μεταβλητών του μοντέλου παλινδρόμησης

Γενικότερα, η πραγματική τιμή κάθε στατιστικής εκτίμησης, με κάποιο βαθμό εμπιστοσύνης αναμένεται να εμπέσει στο εύρος τιμών που ορίζεται παρακάτω:

Εύρος = εκτίμηση ± απόλυτη ακρίβεια

Όπου ως “εκτίμηση” ορίζεται κάθε εμπειρική τιμή της παραμέτρου ενδιαφέροντος.

Η σχετική ακρίβεια είναι η απόλυτη ακρίβεια διαιρούμενη με την εκτίμηση.

$$CV = \frac{t * SE}{εκτίμηση}$$

4. Μοντελοποίηση

4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΙΣ

Η μαθηματική μοντελοποίηση χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και επαλήθευση (M&V) και τον καθορισμό των διαδικασιών τροποποίησης της ενεργειακής εξοικονόμησης σύμφωνα με το Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης της Ενεργειακής Επιδόσεως. Αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

Εξοικονόμηση ενέργειας = (Κατανάλωση ή ζήτησης περιόδου βάσης – Καταγεγραμμένη κατανάλωση ή ζήτηση) ± Προσαρμογές

Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει την εύρεση των μαθηματικών σχέσεων μεταξύ των εξαρτημένων και των ανεξάρτητων μεταβλητών. Η εξαρτημένη μεταβλητή, συνήθως η ενέργεια, μοντελοποιείται ως συνάρτηση μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών X_i , (επίσης γνωστές ως επεξηγηματικές μεταβλητές).

Στην ανάλυση της παλινδρόμησης, το μοντέλο προσπαθεί να εξηγήσει τη διακύμανση της ενέργειας που απορρέει από διακυμάνσεις των μεμονωμένων ανεξάρτητων μεταβλητών (X_i). Για παράδειγμα, εάν μία από τις μεταβλητές X είναι το επίπεδο παραγωγής, το μοντέλο θα αξιολογήσει εάν η διακύμανση της ενέργειας προκαλείται από αλλαγές στο επίπεδο παραγωγής. Το μοντέλο ποσοτικοποιεί την αιτιότητα. Για παράδειγμα, όταν η παραγωγή αυξάνεται κατά μία μονάδα, η ενεργειακή κατανάλωση αυξάνεται κατά « b » μονάδες, όπου « b » καλείται ο συντελεστής παλινδρόμησης.

Τα πιο κοινά μοντέλα είναι γραμμικής παλινδρόμησης της μορφής :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p + e$$

Όπου,

- Y είναι εξαρτημένη μεταβλητή, συνήθως στη μορφή της ενεργειακής χρήσης κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου.
- X_{it} ($i = 1, 2, 3, \dots, p$) αντιπροσωπεύει την ανεξάρτητη μεταβλητή p όπως ο καιρός, η παραγωγή, η μετρούμενη περίοδος κλπ.
- B_i ($i = 0, 1, 2, \dots, p$) αντιπροσωπεύει τον συντελεστή που απορρέει από την κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή, και έναν καθορισμένο συντελεστή (b_0) μη σχετιζόμενο με τις ανεξάρτητες μεταβλητές.
- e αντιπροσωπεύει τα εναπομείναντα σφάλματα όπου παραμένουν ανεξήγητα εφόσον λάβουμε υπόψη μας την επιρροή των διαφόρων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η παλινδρομική ανάλυση βρίσκει το σύνολο των τιμών της (b_i) όπου ελαχιστοποιεί το σύνολο των τετραγωνισμένων όρων που οφείλονται σε εναπομείναντα σφάλματα (έτσι τα μοντέλα παλινδρόμησης επίσης ονομάζονται μοντέλα ελαχίστων τετραγώνων).

Όταν χρησιμοποιούμε τα μοντέλα παλινδρόμησης, όπως αυτά περιγράφονται παραπάνω, μπορούν να παρουσιαστούν διάφοροι τύποι σφαλμάτων, όταν :

1. Το μοντέλο στηρίζεται σε τιμές όπου είναι εκτός του πιθανού εύρους των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Ένα μαθηματικό μοντέλο πρέπει να κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας λογικές τιμές των εξαρτώμενων και των ανεξάρτητων μεταβλητών.
2. Το μαθηματικό μοντέλο μπορεί να μην περιλαμβάνει σχετιζόμενες εξαρτημένες μεταβλητές, ενέχοντας την πιθανότητα λανθασμένων σχέσεων (παραλειπόμενες μεταβλητές σφαλμάτων του συστήματος)
3. Το μοντέλο μπορεί να συμπεριλάβει κάποιες μεταβλητές που είναι μη σχετιζόμενες με το σύστημα.
4. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιεί ακατάλληλους μαθηματικούς τύπους.
5. Το μοντέλο βασίζεται σε ανεπαρκή ή μη αντιπροσωπευτικά στοιχεία.

Τα σφάλματα αυτού του τύπου αναπτύσσονται παρακάτω.

Εάν το μοντέλο στηρίζεται σε δεδομένα τα οποία δεν αντιπροσωπεύουν την συνήθη ενεργειακή συμπεριφορά της εγκατάστασης, τότε οι προβλέψεις δεν είναι έγκυρες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει έκτοπες τιμές, ή τιμές όπου βρίσκονται εκτός λογικού εύρους. Τα δεδομένα πρέπει να ελεγχθούν διεξοδικά πριν τη δημιουργία του μοντέλου.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι η βασική συνάρτηση του συστήματος ενεργειακής εξοικονόμησης. Η ορθή ανάλυση για κάθε σύστημα απαιτεί να αναγνωριστούν οι πιο σημαντικές ανεξάρτητες μεταβλητές, να μετρηθούν κατά την περίοδο ενδιαφέροντος και ύστερα να υπολογίσουμε την ενεργειακή εξοικονόμηση. Παραδείγματα σημαντικών ανεξάρτητων μεταβλητών είναι ο καιρός, η περίοδος χρήσης, ο αριθμός των αντικειμένων που παράγονται σε μια βιομηχανική εγκατάσταση, ο βαθμό πληρότητας ενός ξενοδοχείου.

Ο καιρός είναι συνήθως η πιο σημαντική ανεξάρτητη μεταβλητή που επηρεάζει τα περισσότερα συστήματα. Η θερμοκρασία, η υγρασία, οι νεφώσεις και ο αέρας μπορούν να επηρεάσουν την ενεργειακή χρήση και ζήτηση.

Η χωρητικότητα είναι άλλη μια κοινή ανεξάρτητη μεταβλητή που επηρεάζει την ενέργεια και την ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου. Αλλαγές στην χωρητικότητα συμβαίνουν ωριαία, ημερήσια, εβδομαδιαία, εποχιακά και όσο αλλάζουν οι διεργασίες πληρότητας.

Η χωρητικότητα μπορεί να καθοριστεί με μια ποικιλία τρόπων, από τα τετραγωνικά μετρα προς ενοικίαση, τις εκπτώσεις σε ένα εστιατόριο και τις εκπτώσεις σε ξενοδοχεία.

Το κατά πόσο η χωρητικότητα χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των ενεργειακών καταναλώσεων εξαρτάται από το μέγεθος της μετρούμενης ενεργειακής περιόδου, τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, την αναμενόμενη ενεργειακή εξοικονόμηση και το επιθυμητό επίπεδο αβεβαιότητας στον καθορισμό της ενεργειακής εξοικονόμησης.

Συνήθως οι ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται δεν ανταποκρίνονται στο 100% της διακύμανσης της ενεργειακής χρήσης και κατανάλωσης. Μικρότερες αλλαγές στην εγκατάσταση ή στις λειτουργίες της, που περνούν απαρατήρητες, δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς εξοικονόμησης ενέργειας. Οι μεταβλητές που δεν έχουν

συμπεριληφθεί αποτελούν τη κύρια πηγή αβεβαιότητας σε κάθε υπολογισμό ενεργειακής εξοικονόμησης.

Η επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών που επηρεάζουν την ενεργειακή χρήση και/ή ζήτηση απαιτεί πλήρη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η εγκατάσταση χρησιμοποιεί την ενέργεια και τις επιδράσεις των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης στην ενεργειακή χρήση. Όλες οι λογικές μεταβλητές πρέπει να ελέγχονται, χρησιμοποιώντας τέτοιες παραμέτρους όπως τα «t-tests» για να καθοριστεί ποιες μεταβλητές είναι σημαντικές.

Στη μέτρηση και επαλήθευση της ενεργειακής εξοικονόμησης, η ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιείται για να αντιμετωπιστούν οι αλλαγές στην χρήση της ενέργειας. Τα πιο περίπλοκα συστήματα ενεργειακής κατανάλωσης επηρεάζονται από αμέτρητες ανεξάρτητες μεταβλητές. Ακόμα και αν ήταν εφικτό, το μοντέλο θα ήταν πολύ πολύπλοκο ώστε να είναι χρήσιμο και θα απαιτούσε εκτεταμένη συλλογή δεδομένων. Η πρακτική προσέγγιση είναι να λάβουμε υπόψη μόνο τις ανεξάρτητες μεταβλητές των σημαντικών ενεργειακών καταναλώσεων.

Η παράληψη μιας σχετιζόμενης ανεξάρτητης μεταβλητής μπορεί να αποτελέσει σημαντικό σφάλμα. Εάν λείπει μια ανεξάρτητη μεταβλητή τότε το μοντέλο δεν θα συμπεριλάβει σημαντικό μέρος της ενεργειακής διακύμανσης. Το ελλιπές μοντέλο θα συνεισφέρει μέρος της διακύμανσης, που οφείλεται στην παραληφθείσα μεταβλητή, στις μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο μοντέλο. Το αποτέλεσμα θα είναι ένα λιγότερο ακριβές μοντέλο.

Δεν υπάρχουν προφανείς ενδείξεις του προβλήματος στις συνήθεις στατιστικές δοκιμές. Η γνώση και η εμπειρία της μηχανικής των συστημάτων των οποίων η απόδοση είναι μετρήσιμη βοηθούν στην αντιμετώπιση τέτοιων περιπτώσεων. Η παράληψη μίας σχετικής μεταβλητής πρέπει να αναφέρεται και να δικαιολογείται στο σχέδιο μέτρησης και επαλήθευσης της ενεργειακής εξοικονόμησης.

Μερικές φορές το μοντέλο περιλαμβάνει ανεξάρτητες μεταβλητές. Εφόσον οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν έχουν σχέση με τις ενσωματωμένες μεταβλητές, τότε θα έχουν ελάχιστη επίδραση στο μοντέλο. Παρ' όλα αυτά, εάν μια ανεξάρτητη μεταβλητή σχετίζεται με άλλες εξαρτημένες μεταβλητές του μοντέλου, μπορεί να επηρεάσει το συντελεστή των σχετιζόμενων μεταβλητών.

Για να κρίνουμε την σχέση των ανεξάρτητων μεταβλητών απαιτείται εμπειρία και διαίσθηση. Παρ' όλα αυτά η στατιστική του t είναι ένας τρόπος να επιβεβαιώσουμε τη σχέση συγκεκριμένων ανεξάρτητων μεταβλητών που περιλαμβάνονται στο μοντέλο.

Είναι πιθανό να μοντελοποιήσουμε μία σχέση χρησιμοποιώντας ακατάλληλο πρακτικό τύπο. Όπως, μια γραμμική σχέση στη μοντελοποίηση μίας βασικής φυσικής σχέσης που είναι μη γραμμική. Για παράδειγμα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η θερμοκρασία περιβάλλοντος τείνουν να έχουν μη γραμμική σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία εντός περιόδου ενός πλήρους έτους σε κτίρια τα οποία θερμαίνονται και ψύχονται ηλεκτρικά (η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας υψηλά για χαμηλές και υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, ενώ είναι σχετικά χαμηλές στα μέσα της εποχής). Μοντελοποιώντας αυτή τη μη γραμμική σχέση σε ένα μεμονωμένο γραμμικό μοντέλο θα εισήγαγε ανεπιθύμητα σφάλματα. Αντ' αυτού ξεχωριστά γραμμικά μοντέλα πρέπει να εφαρμόζονται για την κάθε εποχή.

Θα ήταν επίσης κατάλληλο να δοκιμάσουμε σχέση υψηλότερου βαθμού, π.χ. $Y=f(X, X^2, X^3)$.

Τα σφάλματα μπορούν επίσης να προκύψουν από ανεπαρκή δεδομένα είτε ποσοτικά (π.χ. λίγα σημεία λήψης δεδομένων) είτε χρονικά (π.χ. χρησιμοποιώντας τους καλοκαιρινούς μήνες στο μοντέλο και προσπαθώντας να συνάγουμε συμπεράσματα για τους χειμερινούς μήνες). Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά του εύρους των διεργασιών της εγκατάστασης. Η χρονική περίοδος που καλύπτει το μοντέλο πρέπει να περιλαμβάνει διάφορες πιθανές εποχές, τύπους χρήσης κλπ.

4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Για να εκτιμήσουμε πόσο καλά ένα συγκεκριμένο μοντέλο παλινδρόμησης περιγράφει τη σχέση μεταξύ της ενεργειακής κατανάλωσης και των εξαρτώμενων μεταβλητών, πρέπει να αξιολογηθούν οι παρακάτω δείκτες:

- **Συντελεστής προσδιορισμού**

Το πρώτο βήμα για την εκτίμηση της ακρίβειας του μοντέλου είναι να εξεταστεί ο συντελεστής προσδιορισμού CD (coefficient of determination), R^2 , ένα μέτρο στο οποίο μεταβολές στην εξαρτώμενη μεταβλητή Y από το μέσο όρο εξηγούνται από το μοντέλο παλινδρόμησης.

$$R^2 = \frac{\text{Explained Variation in } Y}{\text{Total Variation in } Y}$$

ή διαφορετικά :

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

όπου,

- \hat{y}_i = προβλεπόμενη τιμή της ενέργειας για ένα συγκεκριμένο σημείο λήψης δεδομένων χρησιμοποιώντας τη μετρούμενη τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής
- \bar{y} = μέσος όρος των n μετρούμενων ενεργειακών τιμών που βρίσκονται στη εξίσωση (1)
- y_i = πραγματική τιμή της μετρούμενης ενέργειας

Όλα τα στατιστικά πακέτα και λογιστικά φύλλα των εργαλείων παλινδρομικής ανάλυσης υπολογίζουν την τιμή του R^2 .

Το εύρος των πιθανών τιμών του R^2 είναι από 0.0 σε 0.1. Όταν το R^2 λαμβάνει την τιμή 0.0 σημαίνει ότι καμία από τις διακυμάνσεις δεν εξηγείται από τη μέθοδο, έτσι το μοντέλο δεν παρέχει καθοδήγηση στην κατανόηση των μεταβλητών Y (π.χ. οι επιλεγμένες ανεξάρτητες μεταβλητές δεν εξηγούν τις αιτίες των παρατηρούμενων διακυμάνσεων στην Y). Από την άλλη πλευρά, όταν το R^2 λαμβάνει την τιμή 0.1 σημαίνει ότι το μοντέλο εξηγεί 100% τις διακυμάνσεις της Y , (π.χ. το μοντέλο προβλέπει την Y με απόλυτη βεβαιότητα, για κάθε

δεδομένο σύνολο ανεξάρτητων μεταβλητών). Καμία από αυτές τις περιορισμένες τιμές του R^2 δεν είναι πιθανή με πραγματικά δεδομένα.

Γενικά, όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής της αποφασιστικότητας, τόσο καλύτερα περιγράφει το μοντέλο τη σχέση των ανεξάρτητων και των εξαρτημένων μεταβλητών. Παρ' όλο που δεν υπάρχει παγκόσμιο πρότυπο για την ελάχιστη αποδεκτή τιμή του R^2 , το 0.75 θεωρείται συχνά μια λογική ένδειξη μιας καλής σχέσης μεταξύ της ενέργειας και των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Το R^2 test πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σαν αρχικός έλεγχος. Τα μοντέλα δεν πρέπει να απορρίπτονται ή να γίνονται αποδεκτά μόνο από την τιμή του R^2 . Τέλος μια χαμηλή τιμή του R^2 είναι μια ένδειξη ότι κάποιες σχετικές μεταβλητές δεν περιλαμβάνονται ή ότι ο τύπος του μοντέλου δεν είναι κατάλληλος. Σε αυτή την περίπτωση θα ήταν λογικό να συμπεριλάβουμε πρόσθετες ανεξάρτητες μεταβλητές ή ένα διαφορετικό μοντέλο.

• **Συστηματικό σφάλμα (μεροληψίας)- Net determination bias**

Οι απαραίτητες υποθέσεις και τα αναπόφευκτα σφάλματα στη μέτρηση της ενεργειακής χρήσης και ζήτησης εισάγουν τυχαία σφάλματα και συστηματικά σφάλματα στην υπολογισμένη ενεργειακή εξοικονόμηση. Η μοντελοποίηση και η στάθμιση χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς της ενεργειακής εξοικονόμησης ώστε να μην προστίθενται επιπλέον σφάλματα και συστηματικά εκτός αυτών που προκύπτουν από την ακρίβεια των υπολογισμών των μεθόδων αναβάθμισης της μόνωσης ολόκληρου του κτιρίου.

Οι υπολογιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αναβάθμιση της μόνωσης ολόκληρου του κτιρίου περιλαμβάνουν τρία βήματα:

1. Ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων γραμμής βάσης.
2. Έλεγχος ότι μπορεί να εφαρμόζονται σε ανεξάρτητες μεταβλητές που προέρχονται πριν από την αναβάθμιση.
3. Εφαρμογή των πιθανών ανεξάρτητων μεταβλητών που προέρχονται πριν από την αναβάθμιση στο μοντέλο της γραμμής βάσης ώστε να καθοριστεί η ενεργειακή χρήση της ή ζήτηση προσαρμοσμένη στις συνθήκες προ της αναβάθμισης.

Μαζί αυτά τα βήματα ορίζονται εδώ ως ο αλγόριθμος για τον καθορισμό της ενεργειακής εξοικονόμησης. Έχοντας ως δεδομένο ότι όλα τα βήματα είναι συνεπή μεταξύ τους μόνο τα σφάλματα στρογγυλοποίησης θα προστεθούν από τις υπολογιστικές μεθόδους.

Τα σφάλματα στρογγυλοποίησης δεν πρέπει να είναι σημαντικά ώστε να μην προστίθενται σφάλματα στις υπολογιστικές μεθόδους. Τέτοιες καταστάσεις ορίζονται ως καταστάσεις χωρίς «net determination bias» (καθαρό συστηματικό σφάλμα ή σφάλμα μεροληψίας)..

Ο αλγόριθμος για τον καθορισμό της ενεργειακής εξοικονόμησης που χρησιμοποιείται στις μεθόδους αναβάθμισης της μόνωσης ολόκληρου του κτιρίου πρέπει να ελέγχεται για σφάλματα μεροληψίας. Οι δοκιμές net determination πρέπει να εφαρμόζουν τα δεδομένα βάσης των ανεξάρτητων μεταβλητών στον αλγόριθμο καθορισμού της ενεργειακής εξοικονόμησης ώστε να υπολογιστεί ξανά η ενεργειακή χρήση και ζήτηση βάσης για κάθε n σημείο (i) της βάση σύμφωνα με τον αλγόριθμο. Οι ποσότητες που θα υπολογιστούν συγκρίνονται με την πραγματική ενεργειακή χρήση και ζήτηση βάσης (i) στην περίοδο γραμμής βάσης και προκύπτει το σφάλμα μεροληψίας (συστηματικό σφάλμα) όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\text{Net Determination Bias} = \frac{\sum^n (e_i - \hat{e}_i)}{\sum^n e_i} * 100$$

Το Net Determination Bias δεν πρέπει να ξεπερνάει το 0.005% για τις μεθόδους αναβάθμισης της μόνωσης ολόκληρου του κτιρίου.

• Τυπικό σφάλμα εκτίμησης

Όταν ένα μοντέλο χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη μίας τιμής της ενέργειας (y) για δεδομένες ανεξάρτητες μεταβλητές, η ακρίβεια της πρόβλεψης μετράται από το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης ($SE_{\hat{y}}$). Αυτό το μέτρο ακρίβειας παρέχεται από όλα τα τυπικά πακέτα παλινδρόμησης. Μόλις οι ανεξάρτητες μεταβλητές ενταχθούν στο μοντέλο παλινδρόμησης ώστε να εκτιμηθεί η τιμή (\hat{y}) της ενέργειας, μια προσέγγιση του εύρους των πιθανών τιμών του \hat{y} μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\hat{y} \pm t * SE_{\hat{y}}$$

Όπου

- \hat{y} είναι η προβλεπόμενη τιμή της ενέργειας (Y) από το μοντέλο παλινδρόμησης
- t είναι η τιμή από τον πίνακα 1
- $SE_{\hat{y}}$ είναι το τυπικό σφάλμα της πρόβλεψης και υπολογίζεται ως εξής:

$$SE_{\hat{y}} = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_i - y_i)^2}{n - p - 1}}$$

όπου p είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξίσωση παλινδρόμησης.

Αυτή η στατιστική συχνά αναφέρεται ως η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνισμένου σφάλματος (RMSE). Διαιρώντας το RMSE με τη μέση ενεργειακή κατανάλωση παράγεται ο συντελεστής διακύμανσης(ή μεταβλητότητας) RMSE, ή ο CV(RMSE).

$$\text{CV(RMSE)} = \frac{SE_{\hat{y}}}{\hat{y}}$$

Ένα παρόμοιο μέτρο είναι το μέσο συστηματικό σφάλμα (MBE) που ορίζεται ως :

$$MBE = \frac{\sum (\hat{y}_i - y_i)}{n}$$

Το MBE είναι καλή ένδειξη των συνολικών συστηματικών σφαλμάτων στην εκτίμηση της παλινδρόμησης. Θετικό MBE υποδεικνύει ότι οι εκτιμήσεις της παλινδρόμησης τείνουν να υπερκαλύψουν τις πραγματικές τιμές. Θετικά συστηματικά σφάλματα τείνουν να ακυρώσουν τα αρνητικά. Το RMSE δεν επηρεάζεται από αυτή την ακύρωση.

- **Στατιστική του t**

Εφόσον οι συντελεστές των μοντέλων παλινδρόμησης (b_k) είναι στατιστικές εκτιμήσεις των πραγματικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών X και Y, υπόκεινται σε διακύμανση. Η ακρίβεια της εκτίμησης μετράται από το τυπικό σφάλμα του συντελεστή και την σχετική τιμή του t. Η στατιστική του t είναι ένα στατιστικό τεστ που καθορίζει εάν μια εκτίμηση έχει στατιστική σημασία. Μόλις μια τιμή εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας το τεστ, μπορεί να συγκριθεί με κρίσιμες τιμές του t.

Το τυπικό σφάλμα κάθε συντελεστή υπολογίζεται από το λογισμικό παλινδρόμησης. Η ακόλουθη εξίσωση εφαρμόζεται στην περίπτωση μιας ανεξάρτητης μεταβλητής:

$$SE_b = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y})^2 / (n - 2)}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

Για περιπτώσεις με περισσότερες από μια ανεξάρτητες μεταβλητές, η εξίσωση παρέχει λογικές προσεγγίσεις, όταν οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι πραγματικά ανεξάρτητες. Διαφορετικά η εξίσωση γίνεται περίπλοκη και η ανάλυση της μέτρησης και επαλήθευσης της ενεργειακής εξοικονόμησης επιτυγχάνεται καλύτερα χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό πακέτο για τον υπολογισμό των τυπικών σφαλμάτων του συντελεστή. Το εύρος εντός του οποίου εμπίπτει η πραγματική τιμή του συντελεστή b είναι:

$$b \pm t * SE_b$$

Το τυπικό σφάλμα του συντελεστή b, επίσης οδηγεί στον υπολογισμό της στατιστικής t. Αυτό το τεστ τελικά καθορίζει εάν ο υπολογιζόμενος συντελεστής είναι στατιστικά ορθός. Η στατιστική t υπολογίζεται απ' όλα τα στατιστικά λογισμικά χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$t - statistics = \frac{b}{SE_b}$$

Μόλις η στατιστική t υπολογιστεί, μπορεί να συγκριθεί με κρίσιμες τιμές του t από τον πίνακα 1. Εάν η απόλυτη τιμή της στατιστικής t υπερβεί έναν κατάλληλο αριθμό, τότε θα πρέπει να συμπεράνουμε ότι η εκτίμηση είναι στατιστικά έγκυρη.

Ένας εμπειρικός κανόνας δηλώνει ότι η απόλυτη τιμή μιας στατιστικής t με αποτέλεσμα 2 ή μεγαλύτερο υποδηλώνει ότι ο πιθανός συντελεστής είναι πολύ σχετικός με το τυπικό του σφάλμα. Τότε υπάρχει μια σχέση μεταξύ του y και ενός συγκεκριμένου x που σχετίζεται με τον

συντελεστή άρα θεωρούμε ότι το πιθανό b δεν είναι μηδέν. Παρ' όλα αυτά για ένα t περίπου 2, η ακρίβεια στην τιμή του συντελεστή είναι περίπου $\pm 100\%$. Για να αποκτήσουμε καλύτερη ακρίβεια α ς πούμε $\pm 10\%$, η τιμή του t πρέπει να είναι γύρω στο 20, ή το τυπικό σφάλμα b πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0.1 του b .

Για να βελτιώσουμε τα αποτελέσματα του t λαμβάνουμε υπόψη τις παρακάτω ενέργειες:

- Επιλέγουμε ανεξάρτητες μεταβλητές που έχουν άμεση σχέση με την ενέργεια
- Επιλέγουμε ανεξάρτητες μεταβλητές των οποίων οι τιμές έχουν το μεγαλύτερο δυνατό εύρος (εάν η x δεν διαφέρει καθόλου στο μοντέλο παλινδρόμησης, το b δεν μπορεί να εκτιμηθεί και το t θα είναι μικρό).
- Χρησιμοποιούμε περισσότερα σημεία λήψης για να αναπτύξουμε το μοντέλο.
- Επιλέγουμε διαφορετικό τύπο για το μοντέλο, για παράδειγμα, ένα το οποίο καθορίζει ξεχωριστά το συντελεστή (ες) για κάθε εποχή σε ένα κτίριο που επηρεάζεται σημαντικά από τις αλλαγές του καιρού.

5. Δείγματα δεδομένων

Τα δείγματα δεδομένων δημιουργούν σφάλματα διότι δεν μετρώνται όλες οι υπό μελέτη μονάδες. Η απλούστερη συλλογή δειγμάτων δεδομένων είναι αυτή των τυχαία επιλεγόμενων μονάδων n από ένα συνολικό πληθυσμό N μονάδων.

Σε ένα τυχαίο δείγμα, κάθε μονάδα έχει την ίδια πιθανότητα (n/N) να περιληφθεί στο δείγμα.

Γενικότερα το τυπικό σφάλμα είναι αντιστρόφως ανάλογο του \sqrt{n} . Επομένως όταν αυξηθεί το μέγεθος του δείγματος με ένα συντελεστή "Γ" θα μειωθεί το τυπικό σφάλμα (βελτιώνετε η ακρίβεια της εκτίμησης) με ένα συντελεστή \sqrt{f} .

Παρακάτω αναλύουμε τρόπους επιλογής του δείγματος δεδομένων.

Η ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων του δείγματος δεδομένων επιτυγχάνεται αυξάνοντας το κλάσμα του πληθυσμού από τον οποίο λαμβάνεται το δείγμα.

Η αύξηση του μεγέθους του δείγματος των δεδομένων αυξάνει τυπικά το κόστος. Αρκετά θέματα είναι σημαντικά στην επιλογή του μεγέθους του δείγματος δεδομένων. Ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα στον καθορισμό του μεγέθους του δείγματος δεδομένων.

Για να είναι οικονομικά αποδοτικά τα δείγματα δεδομένων, οι μετρούμενες μονάδες πρέπει να είναι ίδιες με ολόκληρο τον πληθυσμό. Εάν υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι μονάδων στον πληθυσμό, πρέπει να ομαδοποιηθούν και να ληφθούν χωριστά δείγματα. Για παράδειγμα, όταν σχεδιάζουμε ένα πρόγραμμα δειγματοληψίας ώστε να μετρήσουμε τις λειτουργικές περιόδους φωτισμού ενός δωματίου που ελέγχεται από αισθητήρες κατάληψης, τα δωμάτια που απασχολούνται λίγο πολύ συνεχόμενα πρέπει να μελετώνται χωριστά από αυτά που απασχολούνται περιστασιακά.

Καθορίζουμε το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας και εμπιστοσύνης ώστε να καταγραφεί η εκτίμηση (π.χ. ώρες χρήσης). Η ακρίβεια αναφέρεται στο σφάλμα με όρια γύρω από την πραγματική εκτίμηση (π. $\pm x\%$). Υψηλότερη ακρίβεια απαιτεί μεγαλύτερο δείγμα. Η εμπιστοσύνη αναφέρεται στην πιθανότητα ότι η εκτίμηση θα εμπέσει εντός του εύρους της ακρίβειας.

Υψηλότερη εμπιστοσύνη επίσης απαιτεί μεγαλύτερο δείγμα. Για παράδειγμα, εάν θέλουμε να έχουμε 90% εμπιστοσύνη και $\pm 10\%$ ακρίβεια, σημαίνει ότι το εύρος που ορίζεται για την εκτίμηση $\pm 10\%$ θα περιέχει την πραγματική τιμή για όλο το σύνολο με πιθανότητα 90%. Στο παράδειγμα του φωτισμού, εκτιμώντας τις ώρες φωτισμού της εγκατάστασης, αποφασίστηκε να χρησιμοποιήσουμε δείγμα δεδομένων διότι ήταν αρκετά πιο ακριβό να μετρήσουμε τις πραγματικές ώρες λειτουργίας του κυκλώματος. Ένα δείγμα δεδομένων κυκλώματος παρέχει μια εκτίμηση των πραγματικών ωρών λειτουργίας. Για να ικανοποιηθεί το κριτήριο αβεβαιότητας (εμπιστοσύνη και ακρίβεια) 90/10 το μέγεθος του δείγματος καθορίζεται έτσι ώστε, όταν εκτιμηθούν οι ώρες λειτουργίας από το δείγμα δεδομένων, το εύρος της εκτίμησης του δείγματος δεδομένων ($\pm 10\%$) να έχει μια πιθανότητα 90% να αποδώσει τις πραγματικές ώρες χρήσης. Η συμβατική προσέγγιση είναι να σχεδιαστεί δείγμα δεδομένων ώστε να επιτύχουμε επίπεδο εμπιστοσύνης 90% με $\pm 10\%$ ακρίβεια. Παρ' όλα αυτά, χρειάζεται να λάβουμε υπόψη μας τα όρια του προϋπολογισμού, βελτιώνοντας την ακρίβεια από $\pm 20\%$ έως $\pm 10\%$ θα αυξηθεί το δείγμα δεδομένων 4 φορές, ενώ εάν αυξηθεί κατά 100 φορές θα έχει ως αποτέλεσμα το σφάλμα να είναι αντιστρόφως ανάλογο του (n). Η επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων απαιτεί εξισορρόπηση της ακρίβειας με το κόστος της μεθόδου μέτρησης και επαλήθευσης της ενεργειακής εξοικονόμησης.

Αποφασίζοντας το επίπεδο του επιμερισμού καθορίζουμε εάν τα κριτήρια του επιπέδου ακρίβειας και εμπιστοσύνης πρέπει να εφαρμοστούν στη μέτρηση όλων των στοιχείων ή σε διάφορα στοιχεία των υποσυνόλων.

Σχετικά με το αρχικό μέγεθος του δείγματος δεδομένων παραθέτουμε τα εξής.

Βασίζόμενοι στην παραπάνω πληροφορία, μια αρχική εκτίμηση του συνολικού μεγέθους δεδομένων μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$n_0 = \frac{z^2 * CV^2}{e^2}$$

όπου:

n_0 : είναι η αρχική εκτίμηση του δείγματος δεδομένων, πριν τη λήψη δεδομένων.

CV: είναι ο συντελεστής διακύμανσης και ορίζεται ως η τυπική απόκλιση των μετρήσεων διαιρούμενη από το μέσο όρο. Ο πραγματικός μέσος όρος και η τυπική απόκλιση του πληθυσμού που μπορεί να εκτιμηθεί από τα πραγματικά δείγματα δεδομένων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αρχική εκτίμηση του CV.

e: είναι το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας.

z: είναι η τιμή κανονικής τυπικής κατανομής, για έναν άπειρο αριθμό μετρήσεων και για το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης. Για παράδειγμα το z είναι 1.96 για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης (1.64 για 90%, 1.28 για 80% και 0.67 για 50% εμπιστοσύνη).

Σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. μέτρηση των ωρών φωτισμού ή χρήσης), μπορεί να είναι καλύτερο να διεξάγουμε μία μικρή δειγματοληψία ώστε να κάνουμε εκτίμηση του CV για να βοηθήσουμε στο σχεδιασμό του προγράμματος δειγματοληψίας. Επίσης τιμές προηγούμενων ελέγχων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικές εκτιμήσεις του CV.

Προσαρμόζουμε τις εκτιμήσεις των αρχικών μεγεθών των δειγμάτων δεδομένων για ένα μικρό πληθυσμό. Τα απαραίτητα μεγέθη δειγμάτων δεδομένων μπορούν να μειωθούν εάν ολόκληρος ο πληθυσμός από τον οποίο θα ληφθεί το δείγμα δεν υπερβαίνει τις 20 φορές το μέγεθος του

δείγματος δεδομένων. Για το αρχικό παράδειγμα μεγέθους δείγματος δεδομένων, παραπάνω, ($n_0=67$), εάν ο πληθυσμός του (N) από τον οποίο λαμβάνουμε το δείγμα είναι 200, αυτό σημαίνει ότι ο πληθυσμός είναι 3 φορές μεγαλύτερος από το μέγεθος του δείγματος δεδομένων. Έτσι η διόρθωση πεπερασμένου πληθυσμού μπορεί να εφαρμοστεί. Αυτή η διόρθωση μειώνει το μέγεθος του δείγματος δεδομένων όπως ακολούθως:

$$n = \frac{n_0 N}{n_0 + N}$$

Εφαρμόζοντας τη διόρθωση πεπερασμένου πληθυσμού στο παραπάνω παράδειγμα μειώνεται το μέγεθος του δείγματος δεδομένων (n) που απαιτείται ώστε να πληροί το κριτήριο $90\% \pm 10\%$ στο 50.

Επειδή ο αρχικός χώρος δεδομένων (n_0) καθορίζεται χρησιμοποιώντας ένα θεωρητικό CV του πληθυσμού από τον οποίο λαμβάνονται τα δεδομένα μπορεί να διαφέρει από τον πραγματικό. Έτσι ένα διαφορετικό πραγματικό μέγεθος δείγματος δεδομένων μπορεί να χρειαστεί ώστε να ανταποκριθεί στο κριτήριο της ακρίβειας. Εάν ο πραγματικός CV είναι μικρότερος από την αρχική εκτίμηση, το απαιτούμενο μέγεθος θα είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό που χρειαζόμαστε. Εάν ο πραγματικός CV αποδειχτεί μεγαλύτερος από τον θεωρητικό, τότε ο στόχος της ακρίβειας δεν θα ικανοποιηθεί.

Όσο συνεχίζεται η δειγματοληψία, πρέπει να υπολογίζονται η μέση και η τυπική απόκλιση των μετρήσεων. Ο πραγματικός CV και το απαιτούμενο μέγεθος του δείγματος δεδομένων πρέπει να υπολογιστούν ξανά. Αυτός ο υπολογισμός μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του μεγέθους δειγματοληψίας ή σε ευρύτερη δειγματοληψία από την αρχική. Για να διατηρηθεί το κόστος εντός του προϋπολογισμού είναι απαραίτητο να θέσουμε ένα μέγιστο μέγεθος του δείγματος δεδομένων. Εάν ύστερα από τους παραπάνω υπολογισμούς φτάσουμε αυτό το μέγιστο, οι αναφορές της εξοικονόμησης ενέργειας πρέπει να τονίζουν την πραγματική ακρίβεια που επιτυγχάνεται από τη δειγματοληψία.

6.Συστήματα μέτρησης ενεργειακών ποσοτήτων και μεταβλητών

Οι ενεργειακές ποσότητες και οι ανεξάρτητες μεταβλητές συχνά μετρώνται ως μέρος ενός προγράμματος μέτρησης και επαλήθευσης της ενεργειακής εξοικονόμησης, χρησιμοποιώντας συστήματα μέτρησης. Κανένα σύστημα μέτρησης δεν είναι 100% ακριβές, παρ' όλα αυτά πιο εξελιγμένα συστήματα μέτρησης μπορεί να αυξήσουν την ακρίβεια στο 100%. Η ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης που έχουμε επιλέξει ορίζεται από τους κατασκευαστές μέσω πειραματικών δοκιμών. Η κατάλληλη κατάταξη των συστημάτων μέτρησης, για το εύρος των πιθανών υπό μέτρηση ποσοτήτων, διασφαλίζει ότι τα δεδομένα που θα συλλέξουμε θα εμπέσουν εντός γνωστών και αποδεκτών ορίων σφάλματος (ή ακρίβειας).

Οι κατασκευαστές ορίζουν την ακρίβεια είτε από τις τελευταίες μετρήσεις είτε από τις μέγιστες μετρήσεις στην κλίμακα των συστημάτων μέτρησης. Σ' αυτή την τελευταία περίπτωση είναι

σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας που εμπίπτουν οι τυπικές μετρήσεις στην κλίμακα των συστημάτων μέτρησης πριν υπολογίσουμε την ακρίβεια μιας τυπικής μέτρησης. Η αύξηση του μεγέθους των συστημάτων μέτρησης των οποίων η ακρίβεια δηλώνεται σε σχέση με τη μέγιστη μέτρηση θα μειώσει σημαντικά την ακρίβεια του συστήματος μέτρησης.

Οι μετρήσεις πολλών συστημάτων μέτρησης θα φθίνουν με την πάροδο του χρόνου λόγω μηχανικής φθοράς. Η περιοδική βαθμονόμηση σύμφωνα με κάποιο γνωστό πρότυπο απαιτείται ώστε να αποκατασταθεί αυτή η φθορά. Είναι σημαντικό να διατηρήσουμε την ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης στο πεδίο της περιοδικής συντήρησης και βαθμονόμησης κατά τα γνωστά πρότυπα.

Εκτός από την ακρίβεια του ίδιου του συστήματος μέτρησης, άλλες πιθανές άγνωστες επιδράσεις μπορούν να μειώσουν την ακρίβεια αυτών των συστημάτων.

- Κακή τοποθέτηση του συστήματος μέτρησης ώστε να μην έχει αντιπροσωπευτική «άποψη» της υπό μέτρηση ποσότητας. (π.χ. η μέτρηση ενός ροόμετρου επηρεάζεται από την απόσταση τοποθέτησης στη γωνία του σωλήνα.)
- Σφάλματα τηλεμετρίας που σπανίως ή συστηματικά επηρεάζουν τα δεδομένα μέτρησης.

Ως αποτέλεσμα τέτοιων μη ποσοτικοποιημένων σφαλμάτων μέτρησης, είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι η φερόμενη ακρίβεια του κατασκευαστή πιθανών επισκιάζει την ακρίβεια των πραγματικών μετρήσεων επί το έργο. Όμως δεν υπάρχει τρόπος να ποσοτικοποιήσουμε τις άλλες επιδράσεις.

Οι δηλώσεις ακρίβειας των κατασκευαστών πρέπει να είναι σύμφωνες με τα σχετικά βιομηχανικά πρότυπα για το προϊόν τους. Πρέπει να καθοριστεί το επίπεδο εμπιστοσύνης που χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό της ακρίβειας του συστήματος μέτρησης. Εκτός εάν ορίζεται διαφορετικά, η εμπιστοσύνη είναι 95%.

Όταν μια μέτρηση χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς των ενεργειακών εξοικονομήσεων, και όχι ο μέσος όρος αρκετών μετρήσεων, τότε τα ανεξάρτητα στοιχεία συνδυάζονται για να καθορίσουν την ακρίβεια. Το τυπικό σφάλμα της μετρούμενης τιμής είναι:

$$SE = \frac{\text{Σχετική ακρίβεια του μέτρου} \times \text{μετρούμενη τιμή}}{t}$$

Όπου το t βασίζεται στη μεγάλη δειγματοληψία που πραγματοποιείται από τον κατασκευαστή του μέτρου όταν αναπτύσσει την πρόταση σχετικής ακρίβειας. Έτσι οι τιμές t του πίνακα 1 πρέπει να είναι για απεριόριστο αριθμό μεγέθους δειγμάτων.

Όταν κάνουμε πολλαπλές μετρήσεις χρησιμοποιώντας ένα σύστημα μέτρησης, οι παρατηρούμενες τιμές περιέχουν διακυμάνσεις και σφάλματα μετρήσεων του υπό μέτρηση φαινομένου. Ο μέσος όρος των μετρήσεων παρομοίως περιέχει και τα δύο.

6.1 ΣΥΝΔΥΑΖΟΝΤΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ

Η μέτρηση και η τροποποίηση των στοιχείων της εξίσωσης:

Εξοικονόμηση ενέργειας = (Κατανάλωση ή ζήτηση περιόδου βάσης – Καταγεγραμμένη κατανάλωση ή ζήτηση) ± Προσαρμογές

μπορούν να εισάγουν αβεβαιότητα στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ο συνδυασμός της αβεβαιότητας των μεμονωμένων στοιχείων μπορεί να συνδυαστεί ώστε να εκτιμηθεί η συνολική αβεβαιότητα των ενεργειακών εξοικονομήσεων. Έτσι η συνολική αβεβαιότητα μπορεί να εκφραστεί ως αβεβαιότητα του κάθε στοιχείου μέσω των τυπικών σφαλμάτων των στοιχείων.

Τα στοιχεία πρέπει να είναι ανεξάρτητα ώστε να χρησιμοποιούν τις ακόλουθες μεθόδους συνδυασμού της αβεβαιότητας.

Ανεξαρτησία σημαίνει ότι το τυχαίο σφάλμα ενός εκ των στοιχείων δεν επηρεάζει τα υπόλοιπα.

Εάν η ενεργειακή εξοικονόμηση είναι το άθροισμα ή η διαφορά των ανεξάρτητα καθορισμένων στοιχείων (C) (π.χ. Savings = $C_1 \pm C_2 \pm \dots \pm C_p$), τότε το τυπικό σφάλμα της ενεργειακής εξοικονόμησης μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$SE(\text{Savings}) = \sqrt{SE(C_1)^2 + SE(C_2)^2 + \dots + SE(C_p)^2}$$

Για παράδειγμα, εάν η ενεργειακή εξοικονόμηση υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

Εξοικονόμηση ενέργειας = (Κατανάλωση ή ζήτηση περιόδου βάσης – Καταγεγραμμένη κατανάλωση ή ζήτηση) ± Συνήθεις προσαρμογές ± Μη συνήθεις προσαρμογές

το τυπικό σφάλμα της διαφοράς υπολογίζεται ως εξής:

$$SE(\text{Savings}) = \sqrt{SE_b^2 + SE_r^2}$$

Η SE_b (προσαρμοσμένη κατανάλωση ή ζήτηση περιόδου βάσης) προέρχεται από το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης. Η SE_r (Καταγεγραμμένη κατανάλωση ή ζήτηση) προέρχεται από την ακρίβεια του οργάνου μέτρησης. Εάν οι εκτιμήσεις των καταγεγραμμένων ενεργειακών εξοικονομήσεων είναι γινόμενο αρκετών ανεξάρτητα καθορισμένων στοιχείων (C_i) (π.χ. Savings = $C_1 * C_2 * \dots * C_p$), τότε το σχετικό τυπικό σφάλμα της ενεργειακής εξοικονόμησης δίνεται κατά προσέγγιση από :

$$\frac{SE(\text{Savings})}{\text{Savings}} = \sqrt{\left(\frac{SE(C_1)}{C_1}\right)^2 + \left(\frac{SE(C_2)}{C_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{SE(C_P)}{C_P}\right)^2}$$

Savings

Ένα καλό παράδειγμα αυτής της κατάστασης είναι ο προσδιορισμός των εξοικονομήσεων φωτισμού ως

$$\text{Savings} = (\Delta \text{ Watts}) \times \text{Hours}$$

Εάν απαιτείται μέτρηση των ωρών χρήσης, για τη διαδικασία μέτρησης και επαλήθευσης της ενεργειακής εξοικονόμησης, τότε οι «ώρες-Hours» θα είναι μια τιμή με κάποιο τυπικό σφάλμα. Εάν απαιτούνται μετρήσεις της πτώσης τάσης, τότε το Δwatts θα είναι επίσης μια τιμή που περιέχει κάποιο τυπικό σφάλμα. Το σχετικό τυπικό σφάλμα των ενεργειακών εξοικονομήσεων θα υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{SE(\text{Savings})}{\text{Savings}} = \sqrt{\left(\frac{SE(\Delta \text{Watts})}{\Delta \text{Watts}}\right)^2 + \left(\frac{SE(\text{Hours})}{\text{Hours}}\right)^2}$$

Savings

Όταν υπολογίσουμε χωριστά την ενεργειακή εξοικονόμηση για κάθε τιμή των μεταβλητών Hours και ΔWatts, όλα τα αποτελέσματα θα έχουν το ίδιο τυπικό σφάλμα, και μπορεί να υπολογιστεί το εκτιμώμενο τυπικό σφάλμα του συνόλου.

$$\text{Total SE} = \sqrt{SE(\text{savings}1)^2 + SE(\text{savings}2)^2 + \dots + SE(\text{savings}N)^2} = \sqrt{N * SE(\text{savings})}$$

Όπου,

N είναι ο αριθμός των μεμονωμένων ενεργειακών εξοικονομήσεων με το ίδιο τυπικό σφάλμα.

Μόλις καθοριστεί το τυπικό σφάλμα των ενεργειακών εξοικονομήσεων από τον παραπάνω υπολογισμό, είναι δυνατό να κάνουμε κατάλληλες συμπερασματικές προτάσεις για το σχετικό ποσό αβεβαιότητας που εμπεριέχεται στην ενεργειακή εξοικονόμηση, χρησιμοποιώντας την καμπύλη της τυπικής κανονικής κατανομής. Για παράδειγμα κάποιος μπορεί να υπολογίσει τρεις τιμές:

1. Απόλυτη ή σχετική ακρίβεια της συνολικής εξοικονόμησης, για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης (π.χ. 90%) υπολογιζόμενο χρησιμοποιώντας τις σχετικές τιμές t του πίνακα 1 και τις αντίστοιχες εξισώσεις.
2. Πιθανό σφάλμα (PE), ορίζεται ως το 50% του εύρους εμπιστοσύνης. Το πιθανό σφάλμα αντιπροσωπεύει το πιο πιθανό ποσό σφάλματος. Αυτό σημαίνει ότι το σφάλμα μπορεί να είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από το PE με την ίδια πιθανότητα. Ο πίνακας 1 δείχνει ότι

το επίπεδο εμπιστοσύνης 50% επιτυγχάνεται στο $t=0.67$ για μεγέθη δειγμάτων δεδομένων μεγαλύτερα από 120, ή 0.67 τυπικά σφάλματα από τη μέση τιμή. Έτσι το εύρος του πιθανού σφάλματος στις καταγεγραμμένες ενεργειακές εξοικονομήσεις είναι $\pm 0.67 \times SE$.

3. Το 90% του ορίου εμπιστοσύνης (CL), ορίζεται ως το εύρος όπου είμαστε 90% βέβαιοι ότι οι τυχαίες επιδράσεις δεν παρήγαγαν την παρατηρούμενη διαφορά. Ο CL είναι $\pm 1.64 \times SE$ για μεγέθη δειγμάτων δεδομένων μεγαλύτερα από 120.

6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΙΣ

Η συνολική αβεβαιότητα των ενεργειακών εξοικονομήσεων εξαρτάται από το μέγεθος του δειγματικού χώρου (q, Q), τα σφάλματα μέτρησης ($RE_{instrument}$ και U_{iv}), το συντελεστή διακύμανσης (CV), το μέγεθος της περιόδου καθορισμού των ενεργειακών εξοικονομήσεων (m) και το μέρος της εξοικονομούμενης ενέργειας περιόδου βάσης (F). Γενικότερα η αβεβαιότητα των εξοικονομήσεων πρέπει να εκτιμάται ως εξής:

1. Προσαρμόζοντας την αβεβαιότητα της μοντελοποίησης και των μετρήσεων σε ένα κοινό διάστημα εμπιστοσύνης και χρησιμοποιώντας την αναλογία της σχετικής στατιστικής του t
2. Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που ακολουθούν. Η τιμή του t που προκύπτει από τον πίνακα πρέπει να έχει το ίδιο επίπεδο εμπιστοσύνης με την εμπιστοσύνη της αβεβαιότητας του μοντέλου και των μετρήσεων.
3. Καταγράφοντας τα επίπεδα εμπιστοσύνης με την αβεβαιότητα.
4. Η αβεβαιότητα που συνδέεται με οποιαδήποτε προσαρμογή της γραμμής βάσης, πρέπει να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς, ως μέρος των σφαλμάτων μέτρησης της περιόδου πριν την ενεργειακή αναβάθμιση, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$RE_{instrument} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^C (RE_{instrument} * r_{rating,i})^2}}{\sum_{i=1}^C \bar{r}_i}$$

Σε περιπτώσεις όπου η ενεργειακή χρήση ή ζήτηση της περιόδου βάσης παραμένει αμετάβλητη και δεν επηρεάζεται από οποιαδήποτε γνωστή ανεξάρτητη μεταβλητή :

$$U = \frac{t}{f} \sqrt{\frac{CVSTD^2}{m} + u_s^2 + RE_{instrument}^2}$$

Σε περιπτώσεις όπου η ενεργειακή χρήση ή ζήτηση της περιόδου βάσης διαφέρει από περίοδο σε περίοδο ως απόκριση των γνωστών ανεξάρτητων μεταβλητών,

$$U = \frac{t}{f} \sqrt{\frac{CVRMSE^2}{m} * [n/n'(1.6 + 3.2/n')] + u_s^2 + RE^2_{instrument} + u_{iv}^2}$$

Έτσι,

$$U = t * \frac{1.26 * CVRMSE}{f} \sqrt{(n+2)/(n * m)}$$

7. Μεθοδολογία και εφαρμογή

7.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΟ

Το κτίριο της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) είναι ο πρώτος οργανισμός στην Ελλάδα που εφάρμοσε το ISO 50001, βασιζόμενο σε διαδικασίες εξακρίβωσης για τις ενεργειακές εξοικονομήσεις από το Φεβρουάριο του 2014. Για τη μείωση της κατανάλωσης του φυσικού αερίου εφαρμόστηκε ένας αριθμός παρεμβάσεων στο λεβητοστάσιο, όπως ο επανασχεδιασμός του συστήματος εξαερισμού και οι τροποποιήσεις στα συστήματα boiler και chiller. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μετρήσεις της κατανάλωσης για διάφορες περιόδους. Η κατανάλωση του φυσικού αερίου στο κτίριο καταγράφηκε από τα τιμολόγια. Οι μετρήσεις P1-P6 έγιναν πριν από τις παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας και είναι τα δεδομένα βάσης σύμφωνα με τα οποία θα υπολογίσουμε το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την πρόβλεψη των δεδομένων βάσης, ενώ οι μετρήσεις P7-P15 μετά τις παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

A/A Μετρήσεων	Ημ/νια έναρξης	Ημ/νια λήξης	Αριθμός ημερών	Βαθμοημέρες HDD / Kd	Βαθμοημέρες HDD Kd/day	Συνολική κατανάλωση kWh	Μέση κατανάλωση kWh/day
P1	24/09/2011	23/11/2011	61	145.83	2.39	67212.65	1101.85
P2	24/11/2011	25/01/2012	63	412.74	6.55	157676.06	2502
P3	26/01/2012	23/03/2012	58	446.23	7.69	169617.54	2924.44
P4	24/03/2012	23/05/2012	61	78.17	1.29	36710.92	601.82
P5	24/05/2012	23/07/2012	61	0	0	0	
P6	24/07/2012	24/09/2012	63	0	0	0	
ΣΥΝΟΛΟ				1083.57		431217.17	
P7	25/09/2012	22/11/2012	59	27.7	0.47	13559.69	229.83
P8	23/11/2012	23/01/2013	62	319.78	5.16	93064.15	1501.03
P9	24/01/2013	22/02/2013	30	185.31	6.18	44741.65	1491.39
P10	23/02/2013	26/03/2013	32	161.78	5.06	32932.46	1029.14

P11	27/03/2013	22/04/2013	27	84.3	3.12	11891.94	440.44
P12	23/04/2013	22/05/2013	30	4.51	0.15	379.09	12.64
P13	23/05/2013	24/07/2013	59	0	0	0	0
P14	25/07/2013	28/08/2013	62	0	0	0	0
P15	29/08/2013	25/09/2013	30	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ				783.38		196568.98	
ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ				-27,7%		-54,4 %	

Πίνακας 2 - Βαθμομημέρες θέρμανσης και κατανάλωση φυσικού αερίου

Η μείωση της κατανάλωσης του φυσικού αερίου κατά 54% οφείλεται σε ένα μεγάλο μέρος στις καιρικές συνθήκες ενώ το υπολειπόμενο ποσοστό οφείλεται στις επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης που έγιναν στο κτίριο όπως θα δούμε παρακάτω.

7.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΣΤΑΘΜΙΣΗ

Γενικότερα για την περίπτωση των κτιριακών συγκροτημάτων, συνήθως απαιτείται η συσχέτιση των καταναλώσεων ενέργειας για την θέρμανση και ψύξη με τις βαθμομημέρες ή την μέση εξωτερική θερμοκρασία της αντίστοιχης περιόδου λειτουργίας. Η συσχέτιση αυτή δύναται να γίνει με πολύπλοκα μαθηματικά πρότυπα, τα οποία προσομοιώνουν την θερμοδυναμική λειτουργία του κτιρίου και τα οποία λαμβάνουν υπόψη τα εσωτερικά φορτία, τη μεταφορά θερμότητας μέσω τοιχωμάτων και ανοιγμάτων, το άμεσο ηλιακό κέρδος καθώς και την θερμική αδράνεια του κτιρίου. Στην απλή τους μορφή, τα πρότυπα αυτά έχουν γραμμική μορφή και μπορεί να είναι δύο, τριών τεσσάρων ή και πέντε παραμέτρων, ανάλογα με την χρήση ενέργειας.

Η έννοια των παραμέτρων περιγράφει τις σταθερές α και β στην εξίσωση μίας ευθείας γραμμής: $y = \alpha x + \beta$.

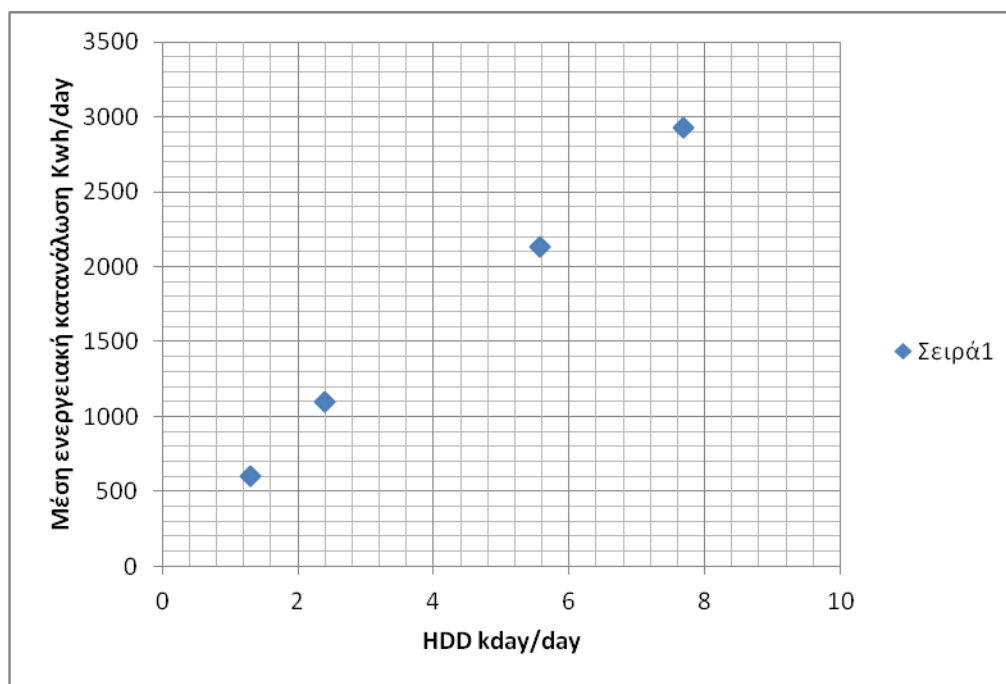
Η γραμμική παλινδρόμηση είναι η διαδικασία με την οποία βρίσκουμε την βέλτιστη γραμμική εξίσωση ανάμεσα στην εξαρτώμενη και στην ανεξάρτητη μεταβλητή, με την υπόθεση ότι οι διακυμάνσεις από την ευθεία γραμμή είναι κανονικά και τυχαία κατανομημένες. Τότε η βέλτιστη ευθεία είναι αυτή που ελαχιστοποιεί το άθροισμα του τετραγώνου των σημείων εκτός της ευθείας. Η συμβατική μέθοδος εφαρμογής της γραμμικής παλινδρόμησης λέγεται μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Εκτελείται ελαχιστοποιώντας το άθροισμα των τετραγώνων της απόκλισης της πραγματικής τιμής από αυτή που προβλέπεται από την ευθεία γραμμή.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα διερευνήσουμε τη συσχέτιση των δύο μεταβλητών X (βαθμομημέρες) και Y (ενεργειακή κατανάλωση) και θα εκτιμήσουμε τη συνάρτηση που δίνει την Y γνωρίζοντας τη X .

Παρακάτω θα αναλύσουμε το μοντέλο βάσης με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης χωρίς στάθμιση.

Για να διακριβώσουμε τις ενεργειακές εξοικονομήσεις χρησιμοποιούμε την μέθοδο της ανάλυσης των στοιχείων βάσης από τις καταναλώσεις των λογαριασμών. Η γραμμή βάσης που

σχετίζεται με την κατανάλωση του φυσικού αερίου εκτιμάται από τις μέσες ημερήσιες τιμές για μια περίοδο δώδεκα μηνών και παρατηρείται σε όλη την περίοδο αναφοράς καθώς δεν έχουν γίνει ενεργειακές παρεμβάσεις στο κτίριο. Σύμφωνα με τη θεωρία η επιλογή της περιόδου βάσης σε εγκαταστάσεις που λειτουργούν ετήσια λόγω καιρού θα πρέπει να έχουν περίοδο βάσης ενός έτους. Καθώς στην περίοδο εφαρμογής έχουν ληφθεί μέτρα ενεργειακής εξοικονόμησης στο κτίριο, είναι εύκολο να συγκρίνουμε την πραγματική κατανάλωση της περιόδου μετά τη λήψη μέτρων με την αναμενόμενη της ίδια περιόδου εάν δεν είχαν ληφθεί μέτρα ώστε να υπολογίσουμε τις πραγματικές ενεργειακές εξοικονομήσεις που οφείλονται στις παρεμβάσεις. Υποθέτουμε ότι οι βαθμομέρες εξαρτώνται γραμμικά από την ενεργειακή κατανάλωση σύμφωνα με τη σχέση $y = ax + b$, και το διάγραμμα διασποράς επιβεβαιώνει την υπόθεση αυτή.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων βάσης

Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού R^2

Στη συνέχεια ορίζουμε τις μεταβλητές x και y , όπου $x = \text{HDD/Day}$ και $y = \text{kWh/Day}$ και υπολογίζουμε τον παρακάτω πίνακα:

N	y	x	xy	x^2	$y - \bar{y}$	$x - \bar{x}$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - x)^2$
1	1,101.85	2.39	2,634.13	5.72	-587.87	1.61	946.084	345,589.9	2.59
2	2,130.76	5.58	11,884.44	31.11	2,116.06	1.58	3,338.224	4,477,699.62	2.49
3	2,924.44	7.69	22,499.54	59.19	2,909.74	3.69	10,747.477	8,466,588.87	13.64
4	601.82	1.29	777.14	1.67	587.11	-2.7	-1,590.321	344,707.97	7.34

Σύνολο	6,758.86	16.95	37,795.25	97.68			13,441.464	13,634,586.47	26.06
Μέσος όρος	1,689.72	4.24							

Πίνακας 3 - Πίνακας υπολογισμού μεταβλητών συντελεστή προσδιορισμού

Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης Pearson είναι:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) * \sum (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (y - \bar{y})^2 * \sum (x - \bar{x})^2}} = 0.9988 \text{ επομένως ο συντελεστής προσδιορισμού είναι:}$$

$$R^2 = 0,9977$$

Όπως γνωρίζουμε ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , μετρά το ποσοστό της διακύμανσης του y που εξηγείται από το x . Δεν έχει μονάδα μέτρησης και το εύρος τιμών του είναι μεταξύ 0 (καθόλου εφαρμογή) και 1 (τέλεια εφαρμογή). Η τιμή $R^2 = 0,9977$ καταδεικνύει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών x, y . Επομένως μπορούμε να προχωρήσουμε στην ανάπτυξη του μοντέλου μας

Υπολογίζουμε τους όρους της εξίσωσης $y = ax + b$

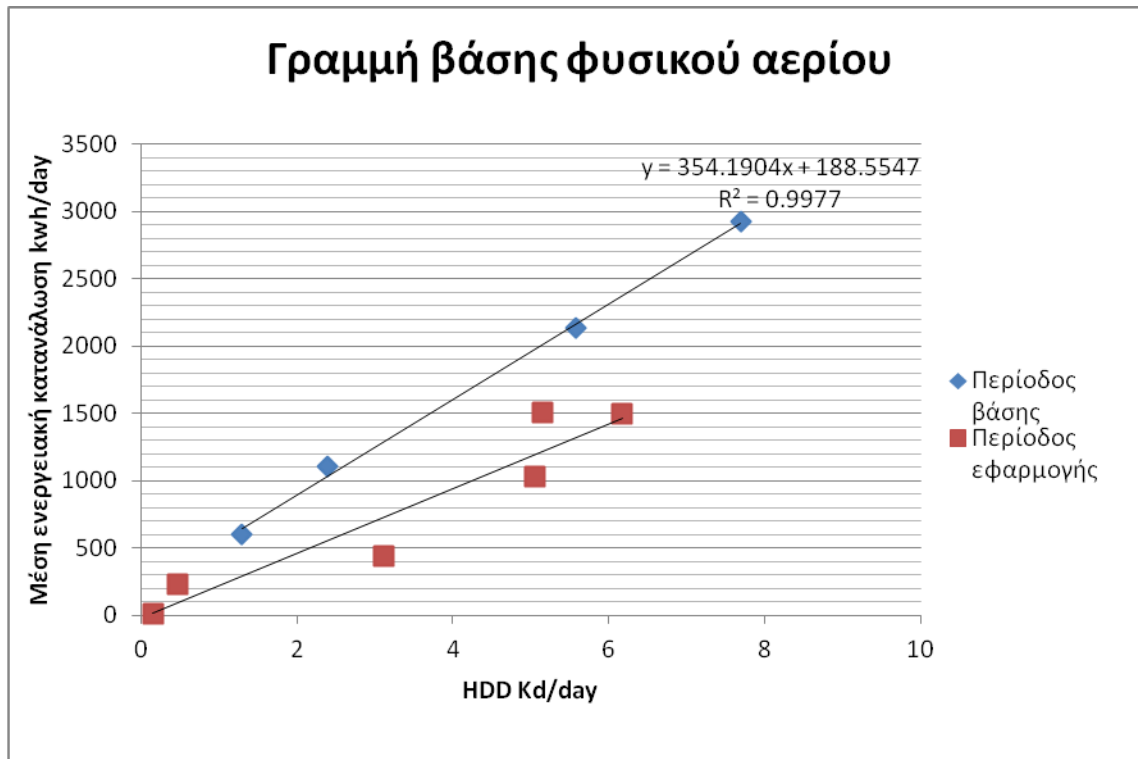
$$a = \frac{n * \sum xy - \sum y * \sum x}{(n * \sum x^2) - (\sum x)^2} = 354.19 \text{ Kwh/HDD}$$

$$b = y - ax = 188.56 \text{ Kwh/HDD}$$

οπότε καταλήγουμε στην εξίσωση $y = 354.19x + 188.56$

Χάραξη βέλτιστης ευθείας

Στη συνέχεια στο διάγραμμα διασποράς χαράσσουμε τη βέλτιστη ευθεία της περιόδου βάσης σύμφωνα με το μοντέλο. Με βάση τη θεωρία η περίοδος εφαρμογής δεν μοντελοποιείται παρ'όλα αυτά καταγράφεται στο διάγραμμα ώστε να έχουμε ολοκληρωμένη απεικόνιση.



Διάγραμμα 2 - Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων βάσης και ευθεία ελαχίστων τετραγώνων.

Παρατηρήσεις:

1. Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων περνάει από το σημείο (x_m, y_m) γιατί $b_0 + b_1x_m = y_m - b_1x_m + b_1x_m = y_m$. Άρα η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων μπορεί επίσης να οριστεί ως $y_i - y_m = b(x_i - x_m) \leftrightarrow kWh_{d_i} - kWh_{d_{\mu\epsilon\sigma\omega}} = 354.19 \cdot HDD/Day_i - HDD/Day_{\mu\epsilon\sigma\omega}$ μέσω
2. Η σημειακή εκτίμηση των 0 και 1 με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων δεν προϋποθέτει σταθερή διασπορά και κανονική κατανομή της εξαρτημένης μεταβλητής Y για κάθε τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής X. Όταν όμως ισχύουν οι δύο αυτές συνθήκες οι εκτιμήτριες ελαχίστων τετραγώνων a και b είναι οι εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας (και άρα έχουν και τις επιθυμητές ιδιότητες εκτιμητριών).
3. Αν η διασπορά της Y αλλάζει με το X, τότε η διαδικασία των ελαχίστων τετραγώνων πρέπει να διορθωθεί έτσι ώστε να δίνει περισσότερο βάρος στις παρατηρήσεις που αντιστοιχούν σε μικρότερη διασπορά.
4. Για κάθε τιμή x της X μπορούμε να προβλέψουμε την αντίστοιχη τιμή y της Y από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, $y = a + bx$. Εδώ πρέπει να προσέξουμε ότι η τιμή x πρέπει να ανήκει στο εύρος τιμών της X που έχουμε από το δείγμα. Για τιμές έξω από αυτό το διάστημα η πρόβλεψη δεν είναι αξιόπιστη.

Ύστερα εφαρμόζουμε τη μέθοδο της αθροιστικής ανάλυσης (CUSUM ANALYSIS) και τη δοκιμή Net Determination Bias στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης χωρίς στάθμιση.

Καταρτίζουμε πίνακα αθροιστικής ανάλυσης ενεργειακής εξοικονόμησης (CUSUM chart) με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να παρατηρήσουμε το χρόνο κατά τον οποίο ξεκίνησε η πραγματική ενεργειακή εξοικονόμηση. Όπως θα δούμε παρακάτω τα αποτελέσματα δεν είναι τα αναμενόμενα.

A/A Μετρήσεων	Ημερομηνία έναρξης	Ημερομηνία λήξης	Συνολική κατανάλωση kWh	Συνολική κατανάλωση μοντέλου kWh	Εξοικονομήσεις kWh
P1	24/09/2011	23/11/2011	67212.65	63153.69	4058.96
P2	24/11/2011	25/01/2012	157676.06	160141.8	-2465.74
P3	26/01/2012	23/03/2012	169617.54	168986.7	630.84
P4	24/03/2012	23/05/2012	36710.92	39401.71	-2690.79
P5	24/05/2012	23/07/2012	0	0	0
P6	24/07/2012	24/09/2012	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ			431217.17	431683.898	-466.728
P7	25/09/2012	22/11/2012	13559.69	20936.1	-7376.41
P8	23/11/2012	23/01/2013	93064.15	124953.6	-31889.5
P9	24/01/2013	22/02/2013	44741.65	71291.75	-26550.1
P10	23/02/2013	26/03/2013	32932.46	63334.78	-30402.3
P11	27/03/2013	22/04/2013	11891.94	34949.34	-23057.4
P12	23/04/2013	22/05/2013	379.09	7254.197	-6875.11
P13	23/05/2013	24/07/2013	0	0	0
P14	25/07/2013	28/08/2013	0	0	0
P15	29/08/2013	25/09/2013	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ			196568.98	322719.762	-126151
ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ			-54,42%	-25,24%	

Πίνακας 4 - Πίνακας αθροιστικής ανάλυσης

Όπως παρατηρούμε η συνολική εκτιμώμενη ενεργειακή κατανάλωση η οποία υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση του μοντέλου που χρησιμοποιούμε παρουσιάζει απόκλιση **466,728 Kwh** από την πραγματική συνολική ενεργειακή κατανάλωση της περιόδου βάσης. Η παρατηρούμενη διαφορά είναι αρκετά σημαντική και αυξάνεται με τη λήψη περισσότερων δεδομένων. Κατά συνέπεια το μοντέλο που επιλέξαμε δεν ανταποκρίνεται σωστά.

Εφαρμόζουμε το net determination bias test χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\text{Net Determination Bias} = \frac{\sum^n (e_i - \hat{e}_i)}{\sum^n e_i} * 100$$

Έχουμε Net Determination Bias = 0.199% που είναι μεγαλύτερο από την επιτρεπόμενη τιμή 0.005%. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε δεν προβλέπει σωστά τα δεδομένα βάσης και πρέπει να αναζητήσουμε τα αίτια αυτού του φαινομένου.

7.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΣΤΑΘΜΙΣΗ

Αρχικά θα υπολογίζουμε το μοντέλο βάσης. Όπως παρατηρούμε στην ανάλυση των στοιχείων κάποια δεδομένα καλύπτουν μεγαλύτερες χρονικές περιόδους από άλλα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να έχουν αυξημένα βάρη. Η υπόθεση των ίσων βαρών έχει σαν αποτέλεσμα, τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης να είναι λίγο διαφορετικά από τα πραγματικά με αποτέλεσμα το μοντέλο να μη ανταποκρίνεται σωστά στο net bias test. Η λύση είναι η στάθμιση της ανεξάρτητης και της εξαρτημένης μεταβλητής για τις ημέρες της περιόδου μέτρησης με βάρος $W = \text{days}$. Στη συνέχεια ακολουθούμε ξανά τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης για τον προσδιορισμό νέων συντελεστών a και b της εξίσωσης $y = a + bx$ καθώς η σχέση παραμένει γραμμική.

W	y	x	Wx	Wy	Wx ²	Wxy	(Wx) ²
61	1101.847	2.391	145.83	67212.65	348.629	160682.30	348.629
63	2130.758	5.578	412.74	157676.1	2704.037	1033003.44	2704.037
58	2924.440	7.694	446.23	169617.5	3433.124	1304973.01	3433.124
61	601.81	1.291	78.77	36710.92	101.7166	47405.23	101.7166
Σύνολο	6758.86	16.953	1083.57	431217.2	6587.507	2546063.99	6587.507
Μέσος όρος	1689.716	4.238	270.89	107804.3	1646.877	636515.99	1646.877

Πίνακας 5 - Πίνακας υπολογισμού μεταβλητών συντελεστή προσδιορισμού

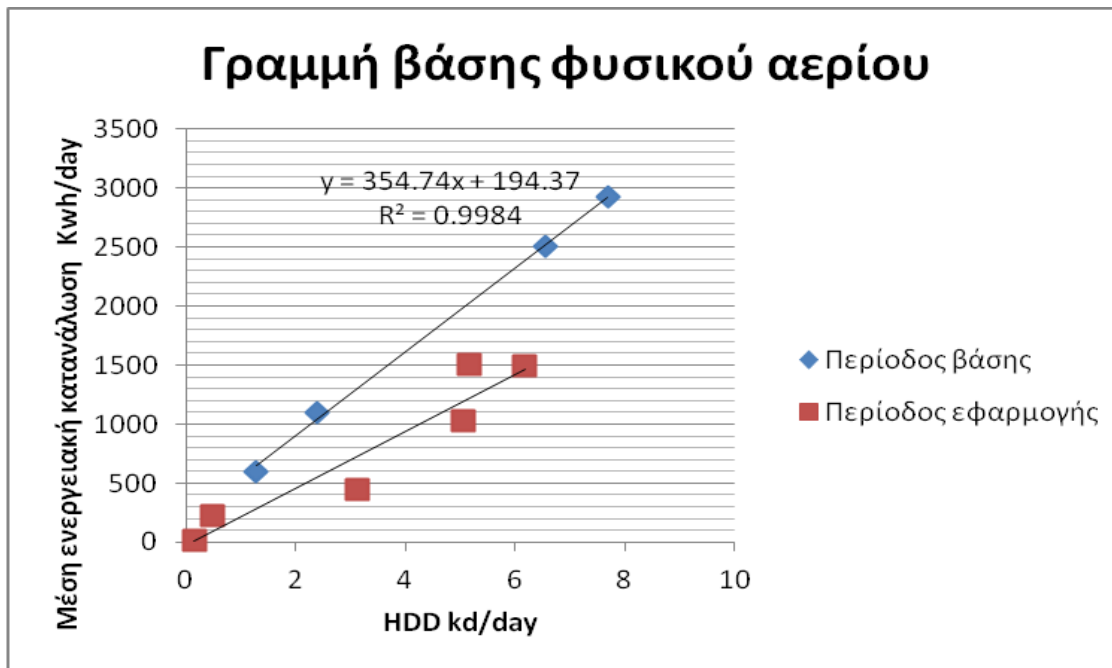
Υπολογίζουμε τους νέους όρους της εξίσωσης: $y = a + bx$

$$a = \frac{\sum w * \sum wxy - \sum wy * \sum wx}{(\sum w * \sum wx^2) - (\sum wx)^2} = 354.94 \text{ Kwh/HDD}$$

$$b = \frac{(\sum wy * \sum wx^2) - (\sum wx * \sum wxy)}{(\sum w * \sum wx^2) - (\sum wx)^2} = 194.37 \text{ Kwh/HDD} \Rightarrow y = 354.94x + 194.37$$

Χάραξη βέλτιστης ευθείας

Έτσι έχουμε:



Διάγραμμα 3 - Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων βάσης και ευθεία ελαχίστων τετραγώνων.

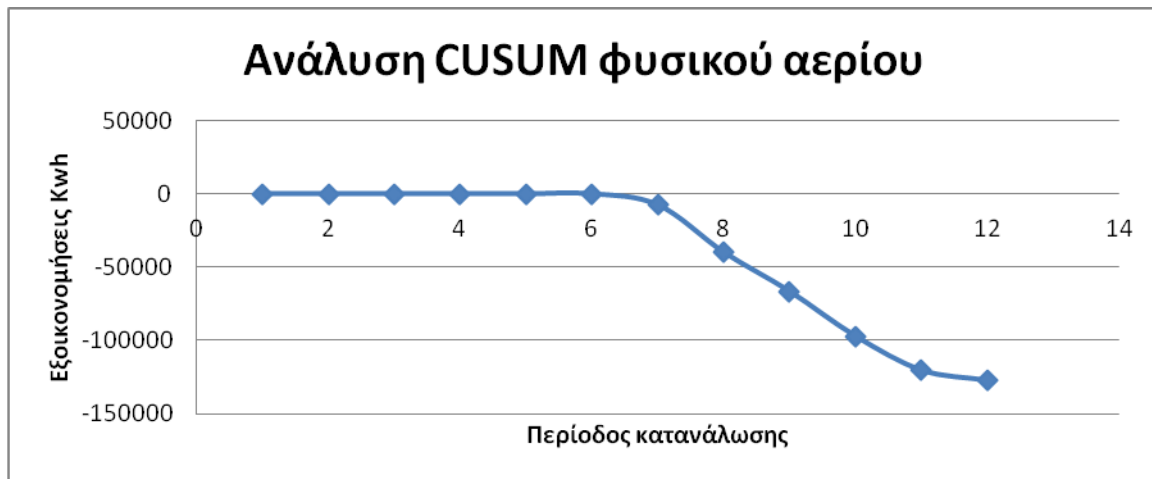
Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τη μέθοδο της αθροιστικής ανάλυσης (CUSUM ANALYSIS) και τη δοκιμή Net Determination Bias στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης με στάθμιση.

A/A Μετρήσεων	Ημερομηνία έναρξης	Ημερομηνία λήξης	Συνολική κατανάλωση kWh	Συνολική κατανάλωση μοντέλου kWh	Εξοικονομήσεις kWh	Αθροιστικές εξοικονομήσεις kWh
P1	24/09/2011	23/11/2011	67212.65	63460.23671	4058.96	0
P2	24/11/2011	25/01/2012	157676.06	158585.6968	-2465.74	0
P3	26/01/2012	23/03/2012	169617.54	169514.5144	630.84	0
P4	24/03/2012	23/05/2012	36710.92	39656.72214	-2690.79	0
P5	24/05/2012	23/07/2012	0	0	0	0
P6	24/07/2012	24/09/2012	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ			431217.17	431217.17	0	0

P7	25/09/2012	22/11/2012	13559.69	21145.49689	-7585.81	-7585.810
P8	23/11/2012	23/01/2013	93064.15	125397.0097	-32332.86	-39918.670
P9	24/01/2013	22/02/2013	44741.65	71529.80074	-26788.15	-66706.820
P10	23/02/2013	26/03/2013	32932.46	63561.12462	-30628.66	-97335.480
P11	27/03/2013	22/04/2013	11891.94	35100.20155	-23208.26	-120543.740
P12	23/04/2013	22/05/2013	379.09	7353.310524	-6974.22	-127517.960
P13	23/05/2013	24/07/2013	0	0	0	-127517.960
P14	25/07/2013	28/08/2013	0	0	0	-127517.960
P15	29/08/2013	25/09/2013	0	0	0	-127517.960
ΣΥΝΟΛΟ			196568.98	324086.944	-127517.96	-127517.960
ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ			-54,42%	-24.84%		

Πίνακας 6 - Πίνακας αθροιστικής ανάλυσης

Όπως παρατηρούμε η συνολική εκτιμώμενη ενεργειακή κατανάλωση η οποία υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση του μοντέλου που χρησιμοποιούμε δεν παρουσιάζει απόκλιση από την πραγματική συνολική ενεργειακή κατανάλωση. Επομένως το μοντέλο μας λειτουργεί σωστά.



Διάγραμμα 4 - Ανάλυση των δεδομένων ενεργειακής εξοικονόμησης για την περίοδο αναφοράς και την περίοδο εφαρμογής

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να παρατηρήσουμε τη χρονική περίοδο κατά την οποία άρχισε η πραγματική ενεργειακή εξοικονόμηση. Όπως παρατηρούμε οι πραγματικές εξοικονομήσεις ισούται με 127517.96 Kwh το οποίο αντιστοιχεί σε ποσοστό 29.58% (=54.42%-24.84%) της περιόδου αναφοράς ενεργειακής κατανάλωσης του φυσικού αερίου. Κατά την 5^η περίοδο αυξήθηκε ο αριθμός του προσωπικού κατά 25 άτομα, κατά την 7^η περίοδο όπου παρατηρείται έναρξη ενεργειακής εξοικονόμησης πραγματοποιήθηκαν ρυθμίσεις στο σύστημα αερισμού ώστε να μειωθεί η εισαγωγή φρέσκου αέρα και βελτιώσεις στα συστήματα boiler και chiller.

Για την εκτίμηση του μοντέλου παλινδρόμησης ως προς την ακρίβεια σύμφωνα με τη θεωρία πρέπει να υπολογίσουμε τα t-statistic, CVSTD, CVRMSE, Net Determination Bias και U.

Επιπλέον θα πρέπει να δείξουμε τα επίπεδο αβεβαιότητας και εμπιστοσύνης για τα δεδομένα της περιόδου πριν από την εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης.

Σύμφωνα με τη θεωρία θα πρέπει να υπολογίσουμε τις παρακάτω παραμέτρους για την εκτίμηση του υπό μελέτη μοντέλου παλινδρόμησης.

$$t\text{-statistic} = \frac{\text{estimation}}{SE}$$

για τη σταθερά της εξίσωσης $y = 354.74x + 194.37$ το $t_{\text{statistic}}$ ισούται με 3.68 ενώ για το συντελεστή της εξίσωσης το $t_{\text{statistic}}$ ισούται με 35.10.

$$CVSTD = 100 \times [\sum(y_i - \bar{y}_i)^2 / (n-1)]^{1/2} / \bar{y}$$

$$CVRMSE = 100 \times [\sum(y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-p)]^{1/2} / \bar{y}$$

$$\text{Net Determination Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \hat{e}_i)}{\sum_{i=1}^n e_i} * 100$$

$$MBE = \frac{\sum(\hat{y}_i - y_i)}{n}$$

$$U = t * \frac{1.26 * CVRMSE}{f} \sqrt{(n+2)/(n * m)}$$

Μεγέθη	Αποτελέσματα παλινδρόμησης	Κριτήρια αξιολόγησης
R²	0.9983	>0.75
t-stat	3.68 & 36.10	>2
Net Determination Bias	1.27E ⁻¹⁴	<0.005%
CVSTD	62.12	
CV(RMSE)	3.06%	<0.25 (δηλ 25%)
NMBE	2.35314E-05	
U_{total savings}	6.52%	

Πίνακας 7 Αποτελέσματα υπολογισμών του μοντέλου παλινδρόμησης των στοιχείων βάσης με βαθμό εμπιστοσύνης >95%.

Το επίπεδο της αβεβαιότητας πρέπει να είναι λιγότερο από 50% για τις ετήσιες εξοικονομήσεις με επίπεδο εμπιστοσύνης υψηλότερο του 68%. Τα αποτελέσματα συμμορφώνονται με αυτό καθώς σε επίπεδο εμπιστοσύνης 68% η αβεβαιότητα του μοντέλου είναι λιγότερο από 10% των ετήσιων καταγεγραμμένων εξοικονομήσεων.

8. Συμπεράσματα

- Η μεθοδολογία που βασίζεται στις τεχνικές υπολογισμού γραμμής βάσης (σύμφωνα με το διεθνές πρωτόκολλο μέτρησης και επαλήθευσης της ενεργειακής επιδόσεως PMVP, το πρότυπο ASHRAE 14 και το πρότυπο ISO 50001) αποδεικνύεται στατιστικά ορθή και αποτελεί εργαλείο για τον υπολογισμό των ενεργειακών εξοικονομήσεων των κτιρίων που έχουν αναβαθμιστεί ενεργειακά.
- Το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης χωρίς στάθμιση εκτιμάται ως ανεπαρκές για την πρόβλεψη των ενεργειακών εξοικονομήσεων του υπό μελέτη κτιρίου καθώς όπως παρατηρήσαμε η συνολική εκτιμώμενη ενεργειακή κατανάλωση η οποία υπολογίστηκε παρουσιάζει απόκλιση 466,728 Kwh από την πραγματική συνολική ενεργειακή κατανάλωση. Επίσης το μοντέλο απέτυχε στην εφαρμογή του Net Determination Bias test (Net Determination Bias = 0.199% που είναι μεγαλύτερο από την επιτρεπόμενη τιμή 0.005%.)
- Όταν ορισμένα από τα δεδομένα καλύπτουν μεγαλύτερες χρονικές περιόδους από άλλα, αυτά θα πρέπει να έχουν αυξημένα βάρη και να μοντελοποιούνται με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης με στάθμιση.
- Ο υπολογισμός του βαθμού ακρίβειας και αβεβαιότητας είναι εφικτός σύμφωνα με τη μελέτη. Το ποσοστό της ενεργειακής εξοικονόμησης πρέπει να συνοδεύεται από το αντίστοιχο επίπεδο εμπιστοσύνης.
- Στο συγκεκριμένο κτίριο υπολογίστηκαν εξοικονομήσεις 127517.96 Kwh με αβεβαιότητα 10% σε επίπεδο εμπιστοσύνης 68%, που ήταν αποτέλεσμα βασικών επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας όπως ρυθμίσεις στο σύστημα αερισμού ώστε να μειωθεί η εισαγωγή φρέσκου αέρα και βελτιώσεις στα συστήματα boiler και chiller.

Βιβλιογραφία

Quality management systems, ISO 50001:2011 In. The International Energy Management Standard

American Society Of Heating, R. a. ASHRAE GUIDELINE. In Measurement of Energy and Demand Savings. 14-2022.

Organization, E. V. (June 2014). EVO International Performance Measurement and Verification Protocol. In Statistics and Uncertainty for IPMVP.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Ιανουάριος 2017(Αναθ. 2)). Οδηγός Ενεργειακών Ελέγχων σε κτίρια, βιομηχανία και μεταφορές. Αθήνα

N.4342/2015 (Συνταξιοδοτικές ρυθμίσεις, ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτωβρίου 2012 «Για την ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των Οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των Οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ», όπως τροποποιήθηκε από την Οδηγία 2013/12/ΕΕ του Συμβουλίου της 13ης Μαΐου 2013 «Για την προσαρμογή της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση, λόγω της προσχώρησης της Δημοκρατίας της Κροατίας» και άλλες διατάξεις).

M. Karagiorgas, A. Adamopoulos, S. Metallinos, V. Georgiopoulos, G. Anastasopoulos, D. Zacharias, Energy Saving Verification for an ISO 50001 in the RAE building. Presented at EinB2014 - 3rd International Conference “ENERGY in BUILDINGS 2014”, organized by the ASHRAE Hellenic Chapter

Αριθ. Δ6/Β/οικ.11038/1999 (Διαδικασίες, απαιτήσεις και κατευθύνσεις για τη διεξαγωγή ενεργειακών επιθεωρήσεων)