

## **Οδηγός Ενεργειακών Ελέγχων** σε κτίρια, βιομηχανία και μεταφορές

**Αθήνα, Ιανουάριος 2017**

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Ανασκόπηση του Ενεργειακού Ελέγχου</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2</b>	<b>Ιστορικό</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3</b>	<b>Το συναφές νομοθετικό πλαίσιο</b> .....	<b>7</b>
1.3.1	Η ΚΥΑ 11038/1999.....	7
1.3.2	Η Οδηγία 2006/32/ΕΕ για την ΕΕ (Energy Saving Directive -ESD) .....	8
1.3.3	Οι Οδηγίες 2002/91 και 2010/31 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων .....	9
1.3.4	Η Οδηγία 2012/27/ΕC (EED) και ο νόμος 4342/2015 .....	9
<b>1.4</b>	<b>Το κανονιστικό-τυποποιητικό πλαίσιο των ενεργειακών ελέγχων</b> .....	<b>10</b>
1.4.1	Το Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης της Ενεργειακής Επιδόσεως.....	10
1.4.2	Το πρότυπο ASHRAE 14 : Μετρήσεις εξοικονόμησης ενέργειας και ζήτησης.....	11
1.4.3	Η σειρά των προτύπων ΕΛΟΤ EN ISO 50.000.....	11
1.4.4	Τα πρότυπα της σειράς ΕΛΟΤ EN 16247 για τους ενεργειακούς ελέγχους.....	12
1.4.5	Διεθνή πρότυπα κατά ΕΛΟΤ EN ISO της σειράς 17.740 .....	13
<b>1.5</b>	<b>Αντικείμενο του παρόντος Οδηγού Ενεργειακών Ελέγχων</b> .....	<b>14</b>
1.5.1	Σκοποί και στόχοι .....	14
1.5.2	Αναλυτικές τεχνικές, γνώσεις και δεξιότητες ενεργειακού ελέγχου.....	15
1.5.3	Έλεγχος συστημάτων διαχείρισης ενέργειας (ΣΔΕ).....	16
<b>2</b>	<b>Τεχνική ορολογία για τους ενεργειακούς ελέγχους</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Βασικά στοιχεία ενέργειας και καυσίμων</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Μονάδες ενέργειας και ισχύος</b> .....	<b>22</b>
3.1.1	Ενέργεια .....	22
3.1.2	Ισχύς.....	22
<b>3.2</b>	<b>Μορφές ενέργειας</b> .....	<b>22</b>
3.2.1	Συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας – Πρωτογενής ενέργεια .....	22
3.2.2	Δευτερογενής ενέργεια .....	23
3.2.3	Η θερμογόνος ικανότητα των καυσίμων .....	27
3.2.4	Ελαφρύ Πετρέλαιο.....	28
3.2.5	Φυσικό αέριο.....	29
3.2.6	Υγραέριο .....	31
<b>4</b>	<b>Διαδικασίες και απαιτήσεις ενεργειακού ελέγχου</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Ελάχιστα κριτήρια σύμφωνα με το Παράρτημα VI του νόμου</b> .....	<b>34</b>
4.1.1	Γενικά .....	34
<b>4.2</b>	<b>Οι απαιτήσεις των διεθνών προτύπων</b> .....	<b>35</b>
4.2.1	Γενικά .....	35
4.2.2	Οι απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 16247-1 .....	36
4.2.3	Άλλα είδη ελέγχων.....	40
<b>4.3</b>	<b>Ο χαρακτήρας της μεθόδου: από τα βραχυπρόθεσμα σε μεσοπρόθεσμα</b> .....	<b>41</b>
4.3.1	Γενικά .....	41
4.3.2	Συνοπτικός ενεργειακός έλεγχος.....	42
4.3.3	Εκτενής ενεργειακός έλεγχος .....	43
<b>4.4</b>	<b>Ανασκόπηση του Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας</b> .....	<b>45</b>
4.4.1	Γενικά .....	45
4.4.1	Πεδίο και στόχοι της ασκούμενης διαχειριστικής πολιτικής.....	45
4.4.2	Ενεργειακός υπεύθυνος και ομάδα διαχείρισης ενέργειας - Διαθέσιμοι πόροι και μετρητικός εξοπλισμός.....	45
4.4.3	Συστήματα απόκτησης δεδομένων και επιτήρησης ενέργειας (SCADA) .....	47
<b>5</b>	<b>Μεθοδολογία ανάλυσης δεδομένων</b> .....	<b>50</b>
<b>5.1</b>	<b>Γενικά</b> .....	<b>50</b>
<b>5.2</b>	<b>Μέτρηση της χρήσης ενέργειας</b> .....	<b>50</b>
5.2.1	Χρονικό βήμα και χαρακτηριστικά της κατανάλωσης .....	50
5.2.2	Μονάδες ενέργειας.....	51
5.2.3	Η περίοδος βάσης και η περίοδος απολογισμού .....	52

<b>5.3</b>	<b>Συλλογή δεδομένων της περιόδου βάσης .....</b>	<b>53</b>
5.3.1	Γενικά .....	53
5.3.2	Τιμολόγια Εταιρειών Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	53
5.3.3	Τιμολόγια καυσίμων .....	55
5.3.4	Άλλες πηγές στοιχείων .....	56
<b>5.4</b>	<b>Χρονολογικά διαγράμματα ενέργειας και δείκτες ενεργειακής επίδοσης .....</b>	<b>56</b>
5.4.1	Γενικά .....	56
5.4.2	Χρονοδιάγραμμα 24ωρης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας .....	57
5.4.3	Χρονοδιάγραμμα ημερήσιας κατανάλωσης θερμικής ενέργειας στη βιομηχανία .....	58
5.4.4	Χρονοδιάγραμμα μέσης ημερήσιας κατανάλωσης θερμικής ενέργειας στο κτιριακό τομέα .....	59
5.4.5	Οι βαθμομηρές θέρμανσης .....	60
5.4.6	Ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και βαθμομηρές ψύξης .....	62
<b>6</b>	<b>Ισοζύγιο ενέργειας και ο βαθμός απόδοσης .....</b>	<b>64</b>
<b>6.1</b>	<b>Ορισμοί και στόχοι των ισοζυγίων .....</b>	<b>64</b>
<b>6.2</b>	<b>Η έννοια της απόδοσης .....</b>	<b>65</b>
<b>6.3</b>	<b>Παράδειγμα ισοζυγίου και απόδοσης: κεντρική θέρμανση .....</b>	<b>66</b>
6.3.1	Τα υποσυστήματα .....	66
6.3.2	Απώλειες μετατροπής και βαθμοί απόδοσης .....	66
6.3.3	Ισοζύγιο ενέργειας στον Λέβητα .....	67
6.3.4	Βαθμός απόδοσης στο σύστημα κεντρικής θέρμανσης .....	67
6.3.5	Μέτρηση βαθμού απόδοσης .....	68
<b>6.4</b>	<b>Ο βαθμός απόδοσης στην ηλεκτροπαραγωγή .....</b>	<b>68</b>
<b>6.5</b>	<b>Αντλία θερμότητας .....</b>	<b>69</b>
6.5.1	Ενεργειακό ισοζύγιο και θεωρητικός βαθμός απόδοσης .....	69
6.5.2	Ο θερμαντικός βαθμός απόδοσης .....	70
<b>7</b>	<b>Η γραμμή βάσης .....</b>	<b>71</b>
<b>7.1</b>	<b>Γενικά .....</b>	<b>71</b>
<b>7.2</b>	<b>Εκ των προτέρων πρόβλεψη καταναλώσεων και εξοικονομούμενης ενέργειας .....</b>	<b>72</b>
7.2.1	Πότε απαιτούνται .....	72
7.2.2	Διακρίβωση και διόρθωση ιστορικών στοιχείων .....	72
<b>7.3</b>	<b>Εκ των υστέρων εκτίμηση της εξοικονομούμενης ενέργειας .....</b>	<b>72</b>
<b>7.4</b>	<b>Ο τύπος της γραμμής βάσης .....</b>	<b>73</b>
7.4.1	Γενικά .....	73
7.4.2	Τύπος γραμμής βάσης : συσχέτιση ενέργειας και παραγωγής .....	74
<b>7.5</b>	<b>Συσχέτιση ενέργειας και μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας ή βαθμομηρών .....</b>	<b>76</b>
<b>7.6</b>	<b>Εκτίμηση των ετήσιων καταναλώσεων ενέργειας .....</b>	<b>79</b>
<b>7.7</b>	<b>Απαιτήσεις .....</b>	<b>80</b>
7.7.1	Γενικές απαιτήσεις .....	80
7.7.2	Έκταση των ισοζυγίων .....	80
7.7.3	Χρονικό βήμα της ενεργειακής ανάλυσης .....	80
7.7.4	Απαιτήσεις ακριβείας .....	81
<b>7.8</b>	<b>Στοιχεία παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας .....</b>	<b>82</b>
<b>8</b>	<b>Τεχνικές εκτίμησης και εφαρμογής του τύπου γραμμής βάσης .....</b>	<b>86</b>
<b>8.1</b>	<b>Ο τύπος της γραμμής βάσης .....</b>	<b>86</b>
8.1.1	Γενική μορφή του τύπου .....	86
8.1.2	Η εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης .....	86
8.1.3	Παράδειγμα εφαρμογής .....	87
<b>8.2</b>	<b>Τυπικό σφάλμα και απαιτήσεις ακριβείας .....</b>	<b>89</b>
8.2.1	Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του σφάλματος εκτιμήσεως .....	89
8.2.2	Η αβεβαιότητα εκτίμησης της εξοικονόμησης ενέργειας .....	90
8.2.3	Ο τυπικός στόχος ΕΕ και η συναφής αβεβαιότητα .....	90
8.2.4	Απαιτήσεις ακριβείας .....	91
<b>8.3</b>	<b>Εφαρμογή – στατιστικά κριτήρια – εκ των προτέρων προβλέψεις .....</b>	<b>93</b>
8.3.1	Το φύλλο «Παλινδρόμηση» .....	93
8.3.2	Εναλλακτική μέθοδος : η υπορουτίνα «παλινδρόμηση» στο EXCEL .....	95
8.3.3	Εφαρμογή – εκ των υστέρων προβλέψεις .....	97
<b>8.4</b>	<b>Η μέθοδος του προτύπου ASHRAE 14/2002. ....</b>	<b>97</b>
8.4.1	Το κριτήριο αποδοχής .....	97
8.4.2	Εφαρμογή .....	98

8.4.3	Παραλλαγή μεθόδου για τα συσχετιζόμενα υπόλοιπα.....	99
8.4.4	Η αβεβαιότητα της δειγματοληψίας.....	99
<b>8.5</b>	<b>Άλλες περιπτώσεις.....</b>	<b>100</b>
<b>9</b>	<b>Τα πρωτόκολλα Μέτρησης και Επαλήθευσης (M&amp;E) των επιδόσεων.....</b>	<b>102</b>
<b>9.1</b>	<b>Οι τέσσερις εναλλακτικές επιλογές : Α, Β, Γ και Δ.....</b>	<b>102</b>
<b>9.2</b>	<b>Επιλογές Α και Β : Απομόνωση επέμβασης.....</b>	<b>104</b>
9.2.1	Γενικά.....	104
9.2.2	Παράδειγμα απομόνωσης επέμβασης.....	105
9.2.3	Τεχνικές απομόνωσης επεμβάσεων.....	105
<b>9.3</b>	<b>Επιλογή Α : Μέτρηση παραμέτρου-κλειδί.....</b>	<b>107</b>
9.3.1	Γενικά.....	107
9.3.2	Μετρήσεις.....	108
9.3.3	Εκτιμήσεις.....	108
<b>9.4</b>	<b>Επιλογή Β : Απομόνωση επέμβασης με μέτρηση όλων των παραμέτρων.....</b>	<b>109</b>
9.4.1	Γενικά.....	109
9.4.2	Μεθοδολογική προσέγγιση της Επιλογής Β.....	110
9.4.3	Εξεταζόμενοι παράγοντες κατά την διαδικασία M&E.....	110
<b>9.5</b>	<b>Επιλογή Γ – Μετρήσεις Ολόκληρης Εγκατάστασης.....</b>	<b>111</b>
9.5.1	Γενικά.....	111
9.5.2	Μεθοδολογική προσέγγιση της Επιλογής Γ.....	112
9.5.3	Συλλογή δεδομένων.....	112
9.5.4	Αλλαγές εγκατάστασης.....	113
9.5.5	Εξεταζόμενοι παράγοντες κατά την διαδικασία M&E.....	114
<b>9.6</b>	<b>Επιλογή Δ – Διακριβωμένη προσομοίωση.....</b>	<b>114</b>
9.6.1	Γενικά.....	114
9.6.2	Μεθοδολογική προσέγγιση Επιλογής Δ.....	116
9.6.3	Λογισμικό προσομοίωσης.....	121
9.6.4	Διακρίβωση μοντέλου.....	122
9.6.5	Διαδικασία M&E.....	125
<b>10</b>	<b>Ενεργειακοί έλεγχοι στις μεταφορές.....</b>	<b>127</b>
<b>10.1</b>	<b>Γενικά.....</b>	<b>127</b>
<b>10.2</b>	<b>Κανονιστικά έγγραφα και απαιτήσεις.....</b>	<b>128</b>
10.2.1	Γενικά.....	128
10.2.2	Συλλογή και ανάλυση στοιχείων.....	128
<b>10.3</b>	<b>Αξιολογούμενα μέτρα και δείκτες εξοικονόμησης ενέργειας.....</b>	<b>129</b>
10.3.1	Αξιολογούμενα μέτρα εξοικονόμησης.....	129
10.3.2	Διάκριση μεταξύ δεικτών Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου και Απόδοσης Καυσίμου.....	131
10.3.3	Μέση επιχειρησιακή απόδοση καυσίμου (ΜΕΑΚ).....	132
<b>10.4</b>	<b>Οδικές μεταφορές.....</b>	<b>133</b>
10.4.1	Γενικά.....	133
10.4.2	Μείωση των φορτίων του οχήματος.....	133
10.4.3	Μέτρα για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κινητήρων οχημάτων.....	135
10.4.4	Χρήση εναλλακτικών καυσίμων.....	137
<b>10.5</b>	<b>Θεσμικό πλαίσιο για τις οδικές μεταφορές στην Ευρώπη.....</b>	<b>137</b>
<b>11</b>	<b>Μετρήσεις.....</b>	<b>141</b>
<b>11.1</b>	<b>Τα φορητά όργανα μέτρησης.....</b>	<b>141</b>
11.1.1	Ηλεκτρική Ενέργεια και Ισχύς - Αναλυτής Ηλεκτρικής ενέργειας.....	141
11.1.2	Θερμική Ενέργεια.....	142
<b>11.2</b>	<b>Τυπικές μετρήσεις και όργανα ηλεκτρικών παραμέτρων.....</b>	<b>142</b>
11.2.1	Ηλεκτρικές παράμετροι και αποδοτικά συστήματα καταγραφής.....	142
11.2.2	Εκτιμήσεις απωλειών.....	145
11.2.3	Παράγοντες αλληλεπίδρασης (μηχανικής & ηλεκτρικής) στην λειτουργία και την ενεργειακή απόδοση των μηχανημάτων.....	146
11.2.4	Συστήματα καταγραφής και τοποθέτηση μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας.....	148
11.2.5	Λοιπά ηλεκτρικά στοιχεία μετρήσεων ενεργειακού ενδιαφέροντος.....	149
<b>11.3</b>	<b>Μέτρηση θερμοκρασίας.....</b>	<b>149</b>
<b>11.4</b>	<b>Μέτρηση παροχής.....</b>	<b>152</b>
<b>11.5</b>	<b>Μέτρηση υγρασίας αέρα.....</b>	<b>154</b>
<b>11.6</b>	<b>Μετρήσεις καυσαερίων.....</b>	<b>155</b>

<b>11.7</b>	<b>Μέτρηση του χρόνου λειτουργίας .....</b>	<b>159</b>
<b>11.8</b>	<b>Μετρήσεις υπερήχων .....</b>	<b>160</b>
<b>11.9</b>	<b>Άλλες συνήθεις μετρήσεις.....</b>	<b>163</b>
11.9.1	Μετρήσεις φωτισμού.....	163
11.9.2	Μετρήσεις πίεσης.....	163
11.9.3	Μετρήσεις αποστάσεων.....	164
11.9.4	Μετρήσεις κραδασμών.....	164
11.9.5	Μετρήσεις ευστάθειας και αζυγοσταθμίας .....	165
11.9.6	Μετρήσεις στροφών .....	165
11.9.7	Μετρήσεις ροπής.....	165
11.9.8	Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας .....	166
11.9.9	Μετρήσεις ποιότητας αέρα.....	166
11.9.10	Συνδυασμός μετρήσεων.....	167
<b>11.10</b>	<b>Μετρήσεις ΑΠΕ .....</b>	<b>171</b>
11.10.1	Μετρήσεις Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων .....	171
11.10.2	Μετρήσεις θερμικών ηλιακών συστημάτων .....	173
11.10.3	Μετρήσεις Γεωθερμικών συστημάτων .....	175
<b>11.11</b>	<b>Αξιολόγηση συστημάτων BMS, EMS, BEMS &amp; SCADA .....</b>	<b>177</b>
<b>12</b>	<b>Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής – LCCA .....</b>	<b>182</b>
<b>12.1</b>	<b>Εισαγωγή – Συμπληρωματικοί δείκτες &amp; Βήματα LCCA .....</b>	<b>182</b>
<b>12.2</b>	<b>Ορισμοί – Προαπαιτούμενα – Λήψη &amp; Τεκμηρίωση δεδομένων .....</b>	<b>183</b>
12.2.1	Επίπεδο Τεκμηρίωσης .....	183
12.2.2	Παράμετροι για τον υπολογισμό ενεργειακών εξοικονομήσεων.....	184
12.2.3	Προεξόφληση των μελλοντικών ποσών στην παρούσα αξία .....	185
12.2.4	Μαθηματικοί τύποι Προεξόφλησης και συντελεστές προεξόφλησης.....	186
12.2.5	Προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση του πληθωρισμού .....	187
12.2.6	Παραγωγή του πραγματικού προεξοφλητικού επιτοκίου.....	188
<b>12.3</b>	<b>Πραγματική κλιμάκωση των τιμών .....</b>	<b>188</b>
<b>12.4</b>	<b>Υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής .....</b>	<b>189</b>
<b>12.5</b>	<b>Καθαρές εξοικονομήσεις (Net Savings - NS) και οικονομικοί δείκτες SIR &amp; AIRR.....</b>	<b>190</b>
12.5.1	Μαθηματικός τύπος καθαρής εξοικονόμησης (NS) για κτηριακά έργα .....	191
12.5.2	Λόγος εξοικονομήσεων προς την επένδυση (SIR- λόγος οφέλους προς κόστος) .....	192
12.5.3	Προσαρμοσμένος βαθμός εσωτερικής απόδοσης (AIRR).....	194
12.5.4	Απλουστευμένος μαθηματικός τύπος για τον AIRR.....	195
12.5.5	Σύνοψη της μεθόδου AIRR.....	195
<b>12.6</b>	<b>Απλή αποπληρωμή (Simple Payback) και προεξοφλημένη αποπληρωμή (Discounted payback) .....</b>	<b>196</b>
12.6.1	Γενικός τύπος Αποπληρωμής .....	196
<b>12.7</b>	<b>Ανάλυση Ευαισθησίας &amp; Εξισορρόπησης ή Νεκρού σημείου.....</b>	<b>197</b>
12.7.1	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	197
12.7.2	Ανάλυση σημείου εξισορρόπησης ή νεκρού σημείου (Breakeven analysis).....	198
<b>13</b>	<b>Τυπικές επεμβάσεις εξοικονόμησης.....</b>	<b>200</b>
<b>13.1</b>	<b>Συνοπτική Ενεργειακή Επιθεώρηση.....</b>	<b>200</b>
13.1.1	Σκοπός της Συνοπτικής Ενεργειακής Επιθεώρησης.....	200
13.1.2	Βιομηχανικός Τομέας .....	200
13.1.3	Κτιριακός –Εμπορικός Τομέας.....	203
<b>13.2</b>	<b>Εκτενής Ενεργειακή Επιθεώρηση .....</b>	<b>205</b>
13.2.1	Σκοπός της Εκτενούς Ενεργειακής Επιθεώρησης .....	205
13.2.2	Βιομηχανικός Τομέας .....	205
13.2.3	Κτιριακός – εμπορικός τομέας .....	210
<b>14</b>	<b>Αναφορές .....</b>	<b>214</b>
<b>14.1</b>	<b>Νόμοι, Κανονισμοί και Πρότυπα .....</b>	<b>214</b>
<b>14.2</b>	<b>Δημοσιεύσεις .....</b>	<b>215</b>

## Πρόλογος

Ο Οδηγός αποσκοπεί στην διευκόλυνση των ενεργειακών ελέγχων στην χώρα μας σύμφωνα με τις απαιτήσεις και προδιαγραφές του νόμου 4342/2015 για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Η υλοποίηση του παρόντος Οδηγού έγινε στο πλαίσιο της Δράσης 2.2 “Support the implementation of a national energy audit scheme” του προγράμματος TARES+ που έχει ως τελικό δικαιούχο το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

### Συντακτική ομάδα

Ευθυμιάδης Απόστολος, Δρ. Μηχ/γος-Ηλ/γος Μηχανικός (επικεφαλής και κύριος συντάκτης)

Αδαμόπουλος Αλέξιος, Διπλ. Ηλ/γος Μηχανικός και Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός (κύριος συντάκτης)

Γκόνης Νικόλαος, Διπλ. Μηχ/γος Μηχανικός και Διπλ. Μηχανικός Παραγωγής & Διοίκησης

Βιρβίλη Ειρήνη, Διπλ. Μηχ/γος Μηχανικός

Γαλάνη Νικόλαο, Διπλ. Μηχ/γος Μηχανικός

Μεταλλινός Σπύρος, Οικονομολόγος

### Ομάδα επιμέλειας κειμένου

Καρέλας Σωτήριος, Δρ. Μηχ/γος Μηχανικός και Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Μιχάλης Καράγιωργας, Δρ. Μηχ/γος Μηχανικός

Χριστοφορίδης Ανέστης, Διπλ. Μηχ/γος Μηχανικός

Ψημμένος Σωτήριος, Διπλ. Μηχ/γος Μηχανικός

Καλιακούδη Κωνσταντίνα, Διπλ. Μηχ/γος Μηχανικός

Μπαρμπαρίτσας Νικόλαος, Διπλ. Μηχ/γος Μηχανικός

# 1 Ανασκόπηση του Ενεργειακού Ελέγχου

## 1.1 Εισαγωγή

Ο ενεργειακός έλεγχος ορίζεται διεθνώς ως ο συστηματικός έλεγχος και ανάλυση της χρήσης και κατανάλωσης ενέργειας μιας μονάδος, ενός κτιρίου, ενός συστήματος ή μίας επιχείρησης με στόχο τον ποσοτικό προσδιορισμό των ενεργειακών ροών και του δυναμικού βελτιώσεων της ενεργειακής απόδοσης και η σχετική αναφορά αυτών.

Στον νόμο 4342/2015 για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, ο ενεργειακός έλεγχος ορίζεται ακριβώς όπως και στην Οδηγία 2012/27/ΕΕ ως εξής:

«Ενεργειακός έλεγχος»: η 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 οικονομικές αποδοτικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, και με την οποία συντάσσεται έκθεση αποτελεσμάτων.

Βασικό καθήκον του ενεργειακού ελέγχου είναι επομένως ο εντοπισμός και ιεράρχηση των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας με βάση τα κριτήρια της ενεργειακής και της οικονομικής απόδοσης. Υπό την έννοια αυτή ο ενεργειακός έλεγχος καλείται επίσης σε άλλες χώρες ως «ενεργειακή διάγνωση» (Ιταλία: *diagnosi energetica*<sup>1</sup>) ή «ενεργειακή διαγνωστική» (Γαλλία: *Diagnostic énergétique*).

Συχνά το αντικείμενο και η διαδικασία του ενεργειακού ελέγχου επεκτείνεται ώστε να καλύψει και θέματα επαλήθευσης της εξοικονομηθείσας ενέργειας η οποία επήλθει μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

Ο παρών Οδηγός καθορίζει τις Διαδικασίες, τις Απαιτήσεις και τις Κατευθύνσεις (ΔΑΚ) των ενεργειακών ελέγχων στις εγκαταστάσεις και τους χώρους ενός βιομηχανικού ή κτιριακού συγκροτήματος ή στις μεταφορές. Καλύπτονται τόσο οι ΔΑΚ του επικαλούμενου συνοπτικού ενεργειακού ελέγχου όσο και του εκτενούς ελέγχου.

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 Ιστορικό

Οι ενεργειακοί έλεγχοι άρχισαν στην χώρα μας κατά τρόπο συστηματικό με την Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) Δ6/Β/ΥΚ/11038/8.7.1999 με τίτλο: «Διαδικασίες, απαιτήσεις και κατευθύνσεις για τις ενεργειακές επιθεωρήσεις σε βιομηχανία και κτίρια».

Η απόφαση αυτή κατά βάση ακολουθούσε το πρώτο διεθνώς πρωτόκολλο για την Μέτρηση και την Επαλήθευση των Ενεργειακών Επιδόσεων έργων εξοικονόμησης ενέργειας με τίτλο : [The North American Measurement and Verification Protocol](#), NAMVP, Version 1 (1996). Το έγγραφο αυτό για πρώτη φορά καθόρισε τον όρο «ενεργειακός έλεγχος» (energy audit) με

<sup>1</sup> DECRETO LEGISLATIVO 4 luglio 2014 , n. 102

([http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/D\\_Lgs\\_102\\_2014.pdf](http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/D_Lgs_102_2014.pdf))

βάση τον όρο «γραμμή βάσης της ενεργειακής κατανάλωσης» (“baseline energy use”) ως εξής :

«Ενεργειακός έλεγχος : διαδικασία δια τον καθορισμό της γραμμής της ενεργειακής βάσης της κατανάλωσης και την επαλήθευση της επιτυγχανόμενης εξοικονόμησης ενέργειας». Σημειώνεται ότι στην εν λόγω ΚΥΑ ο όρος «ενεργειακή επιθεώρηση» δεν έχει σχέση με τον αντίστοιχο όρο που σήμερα είναι εν χρήσει στον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Με τα σημερινά δεδομένα, ο όρος «ενεργειακή επιθεώρηση» της ΚΥΑ 11038 του 1999 αντιστοιχεί πλέον στον όρο «ενεργειακός έλεγχος»

Η «βασική γραμμή» της ενεργειακής κατανάλωσης οριζόταν ως η εκείνη η κατανάλωση ενέργειας την οποία θα είχε μία εγκατάσταση ή έστω ένα μεμονωμένο τμήμα ή μηχανήμα εάν λειτουργούσε όπως πριν την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (ΕΕ). Με τον τρόπο αυτό και μετά την λήψη μέτρων, η ΕΕ προσδιορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της βασικής γραμμής της κατανάλωσης ενέργειας και της νέας μετρούμενης κατανάλωσης ενέργειας μετά την λήψη μέτρων ΕΕ.

Η μεθοδολογία της εν λόγω ΚΥΑ έτυχε ευρείας εφαρμογής στην χώρα μας στα πλαίσια των επενδυτικών προγραμμάτων του τότε Υπουργείου Ανάπτυξης με τίτλο:

- ΕΠΕ (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας ) , 1994 – 1999
- ΕΠΑΝ (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανάπτυξης ) , 2000 - 2006

Με αυτά τα επενδυτικά προγράμματα συγχρηματοδοτήθηκε ένα πλήθος επενδύσεων ΕΕ σε βιομηχανία και κτίρια στην χώρα μας κατά την περίοδο 1999 – 2007 με συνολικό προϋπολογισμό άνω του ενός δις. ευρώ. Αν και η έννοια της «γραμμής βάσης» ήταν αρκετά πολύπλοκη, τελικώς εφαρμόστηκε σε μεγάλο βαθμό στα έργα που εντάχθηκαν στα προγράμματα αυτά.

Η βασική προσέγγιση της ΚΥΑ 11038/1999 παραμένει και σήμερα σωστή και έχει μάλιστα υιοθετηθεί από μία σειρά ευρωπαϊκών και διεθνών πρωτοκόλλων, προτύπων και κανονισμών στον τομέα της μέτρησης και επαλήθευσης επεμβάσεων ΕΕ. Ως εκ τούτου ο παρών Οδηγός Ενεργειακών Ελέγχων (ΟΕΕ) αποσκοπεί στο να επικαιροποιήσει την βασική μεθοδολογία που περιγράφεται στην ΚΥΑ του 1999 και να κάνει πλήρη αναφορά στα εκδοθέντα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα για τους ενεργειακούς ελέγχους.

### **1.3 Το συναφές νομοθετικό πλαίσιο**

#### **1.3.1 Η ΚΥΑ 11038/1999**

Όπως αναφέρεται ανωτέρω η ΚΥΑ αυτή διαμορφώθηκε με βάση την αρχική έκδοση του Αμερικάνικου Πρωτοκόλλου Μέτρησης και Επαλήθευσης των Ενεργειακών Επιδόσεων (North American Monitoring and Verification Protocols - NAMVP) το οποίο εκδόθηκε το 1996 υπό τον συντονισμό του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ. Με βάση το πρότυπο αυτό καθορίστηκε για πρώτη φορά η απαίτηση ότι ο ελάχιστος Στόχος Εξοικονόμησης Ενέργειας ΣΕΕ από μία σειρά επεμβάσεων ή μέτρων ΕΕ θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από την αβεβαιότητα της προβλεπτικής ικανότητας του τύπου της γραμμής βάσης. Η αβεβαιότητα αυτή ορίστηκε ως η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE – Root Mean Square Error) της πρόβλεψης της ενεργειακής κατανάλωσης από τον τύπο της γραμμής βάσης  $\hat{Y}_i$  έναντι της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας  $Y_i$  σε μία χρονική περίοδο  $i$  :

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{N-1}} \quad (1.1)$$

όπου N είναι το πλήθος των στοιχείων καταναλώσεων πριν την λήψη μέτρων ΕΕ. Ο τύπος της γραμμής βάσης είναι μία μαθηματική συσχέτιση της καταναλώσεως ενέργειας με τους παράγοντες που την επηρεάζουν όπως είναι π.χ. το μέγεθος της παραγωγής ή η μέση θερμοκρασία κατά το χρονικό βήμα των διαθέσιμων στοιχείων ενεργειακών καταναλώσεων.

Επομένως υπό μαθηματική μορφή ο περιορισμός της αβεβαιότητας διατυπώνεται ως :

$$RMSE < \Sigma EE \quad (1.2)$$

Μετά την θέσπιση της ΚΥΑ 11038/1999 για τις ενεργειακές επιθεωρήσεις, η διεθνής κοινότητα επιδόθηκε σε μία κλιμακούμενη κανονιστική προσπάθεια για την τυποποίηση των διαδικασιών του ενεργειακού ελέγχου, λόγω ακριβώς της σημασίας του ενεργειακού ελέγχου στην προώθηση των έργων ΕΕ διεθνώς. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατά χρονολογική σειρά εκδόσεως τα έγγραφα αυτά τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν σε αντίστοιχες εργασίες ΕΕ.

### 1.3.2 Η Οδηγία 2006/32/ΕΕ για την ΕΕ (Energy Saving Directive -ESD)

Η πρώτη οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα της ΕΕ ήταν η επικαλούμενη οδηγία SAVE(2006/32/ΕΕ) ή αλλιώς Οδηγία Εξοικονόμησης Ενέργειας (Energy Saving Directive-ESD). Με την οδηγία αυτή θεσπίστηκε ένα γενικότερο Ευρωπαϊκό πλαίσιο για την ενεργειακή αποτίμηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας μέσω διαδικασία η οποία καλείται διεθνώς ως **Μέτρηση και Επαλήθευση (M&E)** (Measurement and Verification M&V).

Η Οδηγία αυτή εναρμονίστηκε στο Ελληνικό δίκαιο με τον Νόμο 3885/2010 (ΦΕΚ 95 Α'/23-6-2010) και έδωσε την ευκαιρία να αναπτυχθούν δράσεις στην χώρα μας στα πλαίσια κυρίως του δημοσίου τομέα.

Ο νόμος 3855/2010 που εναρμόνιση την Οδηγία αυτή περιέλαβε κεφάλαια για τα Σχέδια Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης, για την προώθηση των Ενεργειακών Υπηρεσιών και τους Ενεργειακούς Ελέγχους, για τους οποίους ο νόμος καθόρισε ότι :

- «Ενεργειακός έλεγχος»: Η συστηματική διαδικασία από την οποία προκύπτει επαρκής γνώση του υφιστάμενου συνόλου χαρακτηριστικών ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου ή μιας ομάδας κτιρίων, μιας βιομηχανικής δραστηριότητας ή και εγκατάστασης, καθώς και ιδιωτικών και δημόσιων υπηρεσιών. Με τον ενεργειακό έλεγχο εντοπίζονται και προσδιορίζονται ποσοτικά οι οικονομικά αποτελεσματικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και συντάσσεται σχετική έκθεση αποτελεσμάτων
- Οι ενεργειακοί έλεγχοι στην βιομηχανία θα διεξάγονται με βάση την ΚΥΑ 11038 του 1999.
- Οι ενεργειακοί έλεγχοι κτιρίων θα διεξάγονται βάσει του Νόμου 3661/2008 (ΦΕΚ 89 Α'/19-5-2008) και την Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/οικ 5825 (ΦΕΚ 407 Β'/9-4-2010) για τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK).

Τον Ιούνιο του 2008 και πριν την ενσωμάτωση της οδηγίας αυτής στο Ελληνικό δίκαιο, εκδόθηκε η Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/14826 (ΦΕΚ 1122 Β'/17-6-2008) κατ' επίκληση της

Οδηγίας ESD με στόχο την προώθηση μέτρων για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την ΕΕ στον ευρύτερο δημόσιο τομέα. Με αυτή την απόφαση η οποία σήμερα ευρίσκεται εν ισχύ, θεσμοθετήθηκε ο Ενεργειακός Διαχειριστής σε όλες τις εγκαταστάσεις του δημοσίου τομέα και καθορίστηκε ότι ο ενεργειακός διαχειριστής θα είναι υπεύθυνος μεταξύ άλλων δια:

α) την διεξαγωγή «συνοπτικών ενεργειακών επιθεωρήσεων» όπως αυτές προδιαγράφονται στην ΚΥΑ 1999 για τις ενεργειακές επιθεωρήσεις.

β) την σύνταξη ετήσιων εκθέσεων ενεργειακών επιθεωρήσεων και αποτελεσμάτων

### **1.3.3 Οι Οδηγίες 2002/91 και 2010/31 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων**

Με τον νόμο 3661/2008 (ΦΕΚ 89 Α'/19-5-2008), εναρμονίστηκε στο Ελληνικό δίκαιο η Οδηγία 2002/91/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD-Energy Performance of Buildings Directive).

Με τον νόμο 3661/2008 και την ΚΥΑ υπ' αριθ'. Δ6/Β/οικ. 5825/9-4-2010 για τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) που ακολούθησε, θεσπίστηκε η διαδικασία της «ενεργειακής επιθεώρησης» με σκοπό την ενεργειακή πιστοποίηση των κτιρίων και τον εντοπισμό ευκαιριών ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων. Όμως με την ανωτέρω αναφερόμενη απόφαση του νόμου 3855/2010 η έννοια της «ενεργειακής επιθεώρησης» του ΚΕΝΑΚ ταυτίστηκε στον τομέα των κτιρίων με την έννοια του «ενεργειακού ελέγχου» της Οδηγίας ESD

Το γεγονός αυτό δημιούργησε μία σχετική ασυμμετρία ως προς την μεθοδολογία ενεργειακού ελέγχου στην βιομηχανία και τα κτίρια. Το καθεστώς αυτό συνεχίστηκε και μετά τον νόμο 4122/2013 για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων και την εναρμόνιση με την νέα Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου η οποία αντικατέστησε την αρχική Οδηγία 2002/91.

Η ασυμμετρία αυτή τελικώς λύθηκε με την έκδοση του νόμου 4342/2015 (ΦΕΚ 143 Α'/9-11-2015) ο οποίος αναφέρεται στη συνέχεια.

### **1.3.4 Η Οδηγία 2012/27/ΕC (EED) και ο νόμος 4342/2015**

Με τον νόμο 4342/2015 εναρμονίστηκε στο Ελληνικό δίκαιο η νέα Οδηγία 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση (EED – Energy Efficiency Directive) η οποία αντικατέστησε την Οδηγία ESD (2006/32/ΕΕ).

Ο νέος νόμος ο οποίος αφορά τους ενεργειακούς ελέγχους, με την παράγραφο 6 του άρθρου 10 καθορίζεται ότι :

«6. Οι ενεργειακοί έλεγχοι πληρούν τα ελάχιστα κριτήρια που ορίζονται στο Παράρτημα VI και διενεργούνται με βάση τα ευρωπαϊκά πρότυπα της σειράς EN 16247 περί ενεργειακών ελέγχων, όπως ισχύουν».

Με το Παράρτημα VI του νόμου καθορίζονται τα ελάχιστα κριτήρια πληρότητας ενός ενεργειακού ελέγχου και αναφέρει τα εξής:

Οι ενεργειακοί έλεγχοι που αναφέρονται στο άρθρο 10 βασίζονται στις ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές :

α) βασίζονται σε επικαιροποιημένα, μετρήσιμα, ανιχνεύσιμα λειτουργικά δεδομένα ως προς την κατανάλωση ενέργειας και (για την ηλεκτρική ενέργεια) σε χαρακτηριστικά φορτίου,

- β) περιλαμβάνουν λεπτομερή επισκόπηση των χαρακτηριστικών της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου ή μιας ομάδας κτιρίων, μιας βιομηχανικής δραστηριότητας ή εγκατάστασης, περιλαμβανομένων και των μεταφορών,
- γ) βασίζονται όπου είναι δυνατόν σε ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost Analysis - LCCA) και όχι σε απλές περιόδους αποπληρωμής (Simple Payback Periods - SPP) προκειμένου να λαμβάνονται υπ' όψιν οι μακροπρόθεσμες εξοικονομήσεις, οι εναπομένουσες αξίες των μακροπρόθεσμων επενδύσεων και τα ποσοστά αναπροσαρμογής
- δ) είναι αναλογικοί και επαρκώς αντιπροσωπευτικοί ώστε να δίδουν μια αξιόπιστη εικόνα της συνολικής ενεργειακής απόδοσης και να εντοπίζουν με αξιοπιστία τις σημαντικότερες ευκαιρίες για βελτίωση.

Οι ενεργειακοί έλεγχοι επιτρέπουν λεπτομερείς και επικυρωμένους υπολογισμούς των προτεινόμενων μέτρων ώστε να παρέχονται σαφείς πληροφορίες ως προς το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα χρησιμοποιούμενα στους ενεργειακούς ελέγχους δεδομένα αποθηκεύονται ώστε να είναι δυνατή η εκ των υστέρων ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης

Με τον τρόπο αυτό ο νέος νόμος 4342/2015 κατέστησε πάλι ενιαία την διαδικασία ενεργειακών ελέγχων σε βιομηχανία και κτίρια και μάλιστα περιέλαβε και τον τομέα των μεταφορών. Επίσης καθόρισε με σαφήνεια ότι οι ενεργειακοί έλεγχοι στηρίζονται στην πραγματική ενεργειακή κατανάλωση κατ' αντιδιαστολή με τις υπολογιστικές εκτιμήσεις για την κατανάλωση αυτής όπως καθορίζεται στον ΚΕΝΑΚ.

#### **1.4 Το κανονιστικό-τυποποιητικό πλαίσιο των ενεργειακών ελέγχων**

##### **1.4.1 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 ελέχθη, είχε αποτελέσει την βάση για την συγγραφή της ΚΥΑ 11038/1999. Οι νέες εκδόσεις περιλαμβάνουν αναλυτικές τεχνικές για την εκτίμηση της ΕΕ 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.

Αναφορικά με τις απαιτήσεις ακριβείας, το πρότυπο αυτό καθορίζει ότι : «Η εξοικονόμηση θεωρείται ότι είναι στατιστικώς έγκυρη εάν είναι μεγαλύτερη έναντι των στατιστικών διακυμάνσεων. Ειδικότερα η εξοικονόμηση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο του τυπικού σφάλματος του τύπου της γραμμής βάσης της κατανάλωσης». Δηλαδή :

$$\Sigma EE > 2 RMSE \Rightarrow RMSE < 0,5 \Sigma EE \quad (1.3)$$

Παρατηρείται ότι με το Διεθνές Πρωτόκολλο IPMVP τα ανεκτά επίπεδα αβεβαιότητας είναι μειωμένα κατά το ήμισυ έναντι του παλαιότερου κριτηρίου  $RMSE < \Sigma EE$ .

#### 1.4.2 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 ΕΕ.

Η απαίτηση για τα επιτρεπόμενα επίπεδα αβεβαιότητας διαμορφώθηκε ως εξής:

*Μέγιστο επίπεδο αβεβαιότητας  $\leq 50\%$  της ετήσιας εξοικονόμησης (με βαθμό εμπιστοσύνης 68%)*

Στην πράξη η ανωτέρω απαίτηση ισοδυναμεί με την απαίτηση του IPMVP για 2 (RMSE)  $< \Sigma EE$ , διότι ο συντελεστής κατά Student t οποίος αντιστοιχεί σε διάστημα εμπιστοσύνης 68% ισούται με 1.

Το πρότυπο αυτό αναθεωρήθηκε το 2014 και σήμερα αποτελεί την βάση για την έκδοση δεκάδων εγχειριδίων ενεργειακών ελέγχων ανά τον κόσμο.

#### 1.4.3 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 αποτελεί 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..

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 Verification of Energy Performance of Organizations — General Principles and Guidance)

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 αναρτητήρια 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 ΕΕ 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 ΕΕ.

#### 1.4.4 Τα πρότυπα της σειράς ΕΛΟΤ EN 16247 για τους ενεργειακούς ελέγχους

Προσφάτως επίσης ολοκληρώθηκε η νέα σειρά προτύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους ενεργειακούς ελέγχους 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 : Διαδικασίες 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 ΕΕ 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.

#### 1.4.5 Διεθνή πρότυπα κατά ΕΛΟΤ EN ISO της σειράς 17.740

Προσφάτως δημοσιεύτηκε μία νέα 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 ΕΕ (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

Εις το πρότυπο ISO 17741 αναπτύσσεται μία μεθοδολογία παρόμοια με εκείνη του IPMVP για την ανάλυση της ΕΕ 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 EE και προτείνει δύο μεθόδους για την εκτίμηση της EE :

- 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 -[top-down]»).

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.

## **1.5 Αντικείμενο του παρόντος Οδηγού Ενεργειακών Ελέγχων**

### **1.5.1 Σκοποί και στόχοι.**

Κατόπιν όλων των ανωτέρω Ευρωπαϊκών ή διεθνών εξελίξεων στον τομέα των κανονισμών και προτύπων, πολλά εκ των οποίων μάλιστα εκδόθηκαν κατά την τελευταία πενταετία, προκύπτει εύλογα η απορία ως προς το τι ακριβώς πρέπει να εξυπηρετεί ένας νέος Οδηγός Ενεργειακών Ελέγχων όπως ο παρών Οδηγός, χωρίς μάλιστα να επαναλαμβάνει ή και να αντιγράφει τα εν λόγω διεθνή πρότυπα και κανονισμούς, πράγμα που αντίκειται στους νόμους προστασίας των πνευματικών δικαιωμάτων.

Ο παρών οδηγός, χωρίς να επαναλαμβάνει ή και να αντιγράφει τα προαναφερόμενα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα, αποτελεί ένα τεχνικό εγχειρίδιο ενεργειακών ελέγχων. Οι κύριοι σκοποί του παρόντος Οδηγού είναι οι εξής:

- α) Η ενημέρωση και υποστήριξη των οργανισμών που υποχρεούνται ή αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες για την υλοποίηση προγραμμάτων ενεργειακού ελέγχου-εξοικονόμησης ενέργειας (EE) στους τομείς των κτιρίων, των διεργασιών-βιομηχανιών και των μεταφορών, σύμφωνα και με το άρθρο 10 νέου νόμου 4342/2015 περί ενεργειακών ελέγχων.
- β) Υποστήριξη των μηχανικών που ασκούν καθήκοντα ενεργειακού ελεγκτή ως προς την ταξινόμηση και επεξήγηση στην την Ελληνική γλώσσα των νέων θεσμικών και κανονιστικών απαιτήσεων στον τομέα αυτό κατά τρόπο εύληπτο και συστηματικό.

- γ) Παράθεση και ανάλυση των τεχνικών και δεξιοτήτων ενεργειακού ελέγχου οι οποίες είναι κοινές σε όλα τα διεθνή πρότυπα ενεργειακών ελέγχων όπως είναι τα πρότυπα της σειράς EN 16247 ή της σειράς ISO 50000 και ISO 17740
- ε) Υποστήριξη των μηχανικών στον εντοπισμό, ενεργειακή και οικονομική αξιολόγηση, ιεράρχηση και προγραμματισμό έργων εξοικονόμησης ενέργειας ως και την επαλήθευση της επιτευχθείσας οικονομίας λαμβάνοντας υπ' όψιν τις νέες απαιτήσεις των διεθνών κανονισμών ως προς τα ανεκτά επίπεδα αβεβαιότητας.

Ο παρών Οδηγός αναπτύσσεται κατόπιν συνεργασίας και εγκρίσεως από τον Εθνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) . Επομένως, τα πρότυπα στα οποία παραπέμπει ο παρών Οδηγός είναι άμεσα διαθέσιμα και θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τις εργασίες ενεργειακού ελέγχου.

### 1.5.2 Αναλυτικές τεχνικές, γνώσεις και δεξιότητες ενεργειακού ελέγχου

Οι βασικές γνώσεις και δεξιότητες ενεργειακών ελέγχων που αναπτύσσονται στον παρόντα Οδηγό και οι οποίες είναι κοινώς απαιτούμενες ή αναφερόμενες σε όλα τα διεθνή πρότυπα είναι οι ακόλουθες:

1. Σύνοψη βασικών γνώσεων και δεξιοτήτων στον τομέα των τεχνολογιών διαχείρισης ή εξοικονόμησης ενέργειας και σε επιμέρους τομείς όπως:
  - μέθοδοι αναλύσεως και επιμερισμού δεδομένων για την χρήση ενέργειας
  - μορφές ενέργειας, μονάδες, πηγές, εκπομπές, δαπάνες, τιμές και χρονοχρέωση
  - βασικές αρχές καύσεως, μετάδοσης θερμότητας και ισοζυγίων ενέργειας
  - τυπικές τεχνικές και τεχνολογίες αυξήσεως του βαθμού αποδόσεως
  - δείκτες ενεργειακής επιδόσεως, μετρήσεις παρακολούθησης και επιδόσεων
  - χρήση ηλεκτρικής ενέργειας : κινητήρες, φωτισμός, συμπιεστές, κλπ
2. Κατάρτιση ισοζυγίων και ισολογισμών ενέργειας ανά φορέα (μορφή) ενέργειας σε κάθε υπονήφια εγκατάσταση ή μεμονωμένο μηχάνημα ή τμήμα κτιρίου. Ποιοτική και ποσοτική αναγνώριση των εισερχομένων και εξερχομένων ενεργειακών ροών τόσο σε μόνιμη όσο και μεταβατική (μη μόνιμη) κατάσταση.
3. Διαμόρφωση και ερμηνεία χρονολογικών διαγραμμάτων των ενεργειακών καταναλώσεων για την αναγνώριση και ταυτοποίηση των ωριαίων, ημερήσιων και εποχιακών διακυμάνσεων της κατανάλωσης ενέργειας με τις χρήσεις ενέργειας
4. Μέτρηση των επιμέρους ροών ενέργειας για την βελτίωση της ακρίβειας και το ικανοποιητικό κλείσιμο του ισολογισμού ενός ενεργειακού ισοζυγίου.
5. Εντοπισμό και ταυτοποίηση των επικαλούμενων παραγόντων προσαρμογής οι οποίοι έχουν σημαντική επίδραση στην κατανάλωση βάσης ανά φορέα (ή πηγή) ενέργειας
6. Τεχνικές γραμμικής παλινδρόμησης για την ανάπτυξη του τύπου γραμμής βάσης για την συσχέτιση των ενεργειακών καταναλώσεων ανά φορέα ενέργεια με τους παράγοντες προσαρμογής
7. Τεχνικές για την προσαρμογή και επέκταση της γραμμής βάσης στην περίοδο μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, με βάση τις μετρηθείσες τιμές των

παραγόντων προσαρμογής (π.χ. το μέγεθος της παραγωγής) και την εκτίμηση της επιτευχθείσας εξοικονόμησης ενέργειας.

8. Βέλτιστες πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας βασικών τεχνολογιών και παροχή τεχνικών συμβουλών κατά τη διενέργεια του ενεργειακού ελέγχου.
9. Ειδικές τεχνικές ενεργειακής προεκτίμησης της αναμενόμενης εξοικονόμησης ενέργειας για τις διάφορες κατηγορίες επεμβάσεων και ανά τύπο εφαρμοζόμενης τεχνολογίας ΕΕ.
10. Τεχνικές οικονομικής αξιολόγησης και ιεράρχησης των επεμβάσεων και μέτρων εξοικονόμησης με κριτήρια κύκλου ζωής.
11. Τεχνικές αξιολόγησης ενός Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας (ΣΔΕ)

#### **1.5.3 Έλεγχος συστημάτων διαχείρισης ενέργειας (ΣΔΕ)**

Επειδή ο ενεργειακός έλεγχος είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένος με το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης που εφαρμόζεται στην υπό έλεγχο εγκατάσταση, στον παρόν Οδηγό δίδονται βασικές γνώσεις και δεξιότητες στον τομέα της οργανώσεως και αξιολογήσεως Συστημάτων Διαχείρισης Ενέργειας (ΣΔΕ).

Ο ενεργειακός ελεγκτής καλείται να συγκεντρώσει στοιχεία καταναλώσεων και υπάρχουσες μετρήσεις στον χώρο ελέγχου και ως εκ τούτου καλείται να αξιολογήσει την αξιοπιστία των παραδιδόμενων στοιχείων και μετρήσεων και το επίπεδο οργανώσεως του ΣΔΕ.

Στον παρόντα Οδηγό παρουσιάζονται ειδικές τεχνικές για την αξιολόγηση του συστήματος διαχείρισης όχι κυρίως από την πλευρά των τηρούμενων διαδικασιών αλλά από τις εφαρμοζόμενες τεχνικές και τεχνολογίες επιτήρησης και συλλογής δεδομένων.

## 2 Τεχνική ορολογία για τους ενεργειακούς ελέγχους

<p><b>Όριο συστήματος (system boundary)</b> γεωγραφικά ή/και οργανωτικά όρια ή/και όρια όπως καθορίζονται από τον οργανισμό ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Μία διεργασία, μία ομάδα διεργασιών, μία μονάδα, ο οργανισμός στο σύνολό του, πολλαπλές μονάδες υπό τον έλεγχο ενός οργανισμού.</p>
<p><b>ενέργεια (energy)</b> ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμα, ατμός, θερμότητα, πεπιεσμένος αέρας και άλλα παρόμοια μέσα ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 : Στο πλαίσιο του παρόντος Διεθνούς προτύπου, η ενέργεια νοείται σε διάφορες μορφές συμπεριλαμβανομένης της ανανεώσιμης, πρωτογενής ή δευτερογενής, η οποία δύναται να αγοράζεται, αποθηκεύεται, επεξεργάζεται, χρησιμοποιείται ή ανακτάται. ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2 : Η ενέργεια μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα συστήματος για την παραγωγή εξωτερικής δραστηριότητας ή έργου</p>
<p><b>περίοδος βάσης ή περίοδος γραμμής βάσης ή περίοδος αναφοράς (baseline period, reference period)</b> είναι η χρονική περίοδος προς της λήψης μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας κατά την οποία συγκεντρώνονται στοιχεία καταναλώσεων και αναπτύσσεται η γραμμή βάσης</p>
<p><b>περίοδος απολογισμού (reporting period)</b> είναι η περίοδος μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης κατά την οποία παρακολουθείται η κατανάλωση ενέργειας και επαληθεύονται οι αρχικοί στόχοι εξοικονόμησης</p>
<p><b>τύπος της γραμμής βάσης (relation, model)</b> είναι ο μαθηματικός τύπος που αναπτύσσεται με στατιστικές τεχνικές παλινδρόμησης ο οποίος συσχετίζει την κατανάλωση ενέργειας με ένα ή περισσότερους ανεξάρτητους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας όπως είναι η εξωτερική θερμοκρασία ή ο όγκος της παραγωγής</p>
<p><b>γραμμή βάσης (baseline)</b> είναι η γραμμή που προκύπτει από τον τύπο της γραμμής βάσης και δίνει την κατανάλωση ενέργειας της περιόδου βάσης ως συνάρτηση των τιμών των ανεξαρτήτων μεταβλητών.</p>
<p><b>προσαρμοσμένη γραμμή βάσης (adjusted baseline)</b> είναι η γραμμή που προκύπτει από τον τύπο της γραμμής βάσης κατά την περίοδο απολογισμού, ως συνάρτηση με τους ανεξάρτητους παράγοντες, όπως αυτοί μετρήθηκαν κατά την περίοδο αυτή. ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 : Η προσαρμοσμένη γραμμή βάσης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας ως η διαφορά με μεταξύ των προβλέψεων καταναλώσεων από την γραμμή αυτή και των πραγματικών μετρήσεων καταναλώσεων ενέργειας.</p>
<p><b>κατανάλωση ενέργειας (energy consumption)</b> ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται</p>
<p><b>ενεργειακή επίδοση (energy performance)</b> Είναι η μετρήσιμη κατανάλωση ή χρήση ενέργειας ενός οργανισμού ανά μονάδα χρόνου ή άλλου</p>

<p>φυσικού μεγέθους</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 : Η ζήτηση ενέργειας ανά μονάδα χρόνου, η θερμική ή ψυκτική ικανότητα μίας μηχανής σε μονάδες ισχύος, η κατανάλωση λίτρων βενζίνης ανά 100 km, η κατανάλωση ενέργειας ανά προϊόν είναι παραδείγματα ενεργειακής επίδοσης</p>
<p><b>ενεργειακή απόδοση (energy efficiency)</b></p> <p>λόγος ή άλλη ποσοτική σχέση μεταξύ μίας επίδοσης, υπηρεσίας, προϊόντος ή ενέργειας ενός οργανισμού ως προς την παρεχόμενη ενέργεια</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Παραδείγματα είναι η απόδοση μετατροπής, η αποδιδόμενη ενέργεια προς αναλωθείσα ενέργεια, εκροή προς παροχή ή εισροή, θεωρητική ενέργεια λειτουργίας προς αναλωθείσα ενέργεια λειτουργίας</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Αμφότερες, η παροχή ή εισροή και η εκροή πρέπει να καθορίζονται σαφώς ποσοτικά και ποιοτικά και να είναι μετρήσιμες.</p>
<p><b>σύστημα ενεργειακής διαχείρισης (energy management system)</b></p> <p>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</p>
<p><b>ομάδα ενεργειακής διαχείρισης</b></p> <p>πρόσωπο(α) υπεύθυνα για την αποτελεσματική υλοποίηση των δραστηριοτήτων του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης και για την επίτευξη βελτιώσεων της ενεργειακής επίδοσης</p>
<p><b>ενεργειακός σκοπός</b></p> <p>προκαθορισμένο αποτέλεσμα ή επιδίωξη που καθορίζεται για την εξυπηρέτηση της ενεργειακής πολιτικής του οργανισμού και σχετίζεται με την βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης</p>
<p><b>Δείκτης ενεργειακής επίδοσης (energy performance indicator EnPI)</b></p> <p>ποσοτική τιμή ή μέτρο ενεργειακής επίδοσης όπως καθορίζεται από τον Οργανισμό</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Ο δείκτης ενεργειακής επίδοσης μπορεί να εκφράζεται ως απλή μέτρηση ή λόγος ή πιο πολύπλοκο μοντέλο.</p>
<p><b>πολιτική ενέργειας (energy policy)</b></p> <p>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</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η ενεργειακή πολιτική παρέχει ένα πλαίσιο για τον καθορισμό των ενεργειακών σκοπών και στόχων.</p>
<p><b>ενεργειακή ανασκόπηση (energy review)</b></p> <p>προσδιορισμός των ενεργειακών επιδόσεων του οργανισμού με βάση δεδομένα και άλλες πληροφορίες που οδηγούν στην αναγνώριση ευκαιριών προς βελτίωση</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 : 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</p>
<p><b>ενεργειακές υπηρεσίες (energy services)</b></p> <p>δραστηριότητες και αποτελέσματά αυτών σχετικά με την παροχή ή/και την χρήση ενέργειας</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Σε άλλα περιφερειακά ή εθνικά πρότυπα, έννοιες όπως «αναγνώριση και ανασκόπηση ενεργειακών πτυχών ή ενεργειακής κατατομής» περιλαμβάνεται στην έννοια της ενεργειακής ανασκόπησης.</p>
<p><b>ενεργειακός στόχος (στόχος ενέργειας)</b></p>

<p>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</p>
<p><b>ενεργειακή χρήση</b></p> <p>είδος ή μορφή χρήσης της ενέργειας</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Παραδείγματα είναι ο εξαερισμός, ο φωτισμός, η θέρμανση, η ψύξη, η μεταφορά, οι διεργασίες και οι γραμμές παραγωγής</p>
<p><b>ενδιαφερόμενα μέρη</b></p> <p>πρόσωπο ή ομάδα που έχει ενδιαφέρον ή επηρεάζεται από την ενεργειακή επίδοση του οργανισμού</p>
<p><b>εσωτερική επιθεώρηση</b></p> <p>συστηματική, ανεξάρτητη και τεκμηριωμένη διεργασία για τη λήψη τεκμηρίων και την αντικειμενική αξιολόγησή τους, με σκοπό τον προσδιορισμό του βαθμού ικανοποίησης των απαιτήσεων</p>
<p><b>μη συμμόρφωση</b></p> <p>μη εκπλήρωση μίας απαίτησης ενός Κανονισμού ή Προτύπου</p> <p>[ISO 9000:2005, ορισμός 3.6.2]</p>
<p><b>οργανισμός (organization)</b></p> <p>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 λειτουργίες και τη διοίκηση που απαιτούνται για την εξουσία να ελέγξει τη δική της χρήση και κατανάλωση ενέργειας</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Ένας οργανισμός δύναται να είναι ένα πρόσωπο ή ομάδα προσώπων.</p>
<p><b>προληπτική ενέργεια (preventive action)</b></p> <p>ενέργεια για την εξάλειψη των αιτιών μιας δυνητικής μη συμμόρφωσης</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 : Είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερα του ενός αίτια για μία εν δυνάμει μη συμμόρφωση.</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2 : 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.</p>
<p><b>διαδικασία (procedure)</b></p> <p>καθορισμένος τρόπος για την εκτέλεση μιας δραστηριότητας ή διεργασίας</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Οι διαδικασίες μπορεί να είναι τεκμηριωμένες ή όχι..</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Όταν μία διαδικασία είναι τεκμηριωμένη, τότε χρησιμοποιείται συχνά ο όρος «γραπτή διαδικασία» ή «τεκμηριωμένη διαδικασία».</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 3: [ISO 9000:2005, ορισμός 3.4.5]</p>
<p><b>αρχείο (record)</b></p> <p>έγγραφο στο οποίο δηλώνονται ρητά τα επιτευχθέντα αποτελέσματα ή παρέχεται απόδειξη των δραστηριοτήτων οι οποίες υλοποιήθηκαν</p> <p>ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 : Τα αρχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν, π.χ., για την τεκμηρίωση της ιχνηλασιμότητας</p>

και για την παροχή της απόδειξης ότι η επαλήθευση, η προληπτική ενέργεια και η διορθωτική ενέργεια έχουν υλοποιηθεί.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2 : [ISO 9000:2005, ορισμός 3.7.6]

### **πεδίο εφαρμογής (scope)**

έκταση δραστηριοτήτων, εγκαταστάσεων και αποφάσεων στις οποίες απευθύνεται ένας οργανισμός διαμέσου ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης οι οποίες δυνατόν να περιλαμβάνουν πολλά όρια

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Το πεδίο εφαρμογής δύναται να περιλαμβάνει ενέργεια σχετική με τις μεταφορές.

### **σημαντική ενεργειακή χρήση (significant energy use)**

ενεργειακή χρήση εκτιμώμενη ως ουσιώδης ενεργειακή κατανάλωση και/ή επιδεκτική σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής επίδοσης

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τα κριτήρια σημαντικότητας καθορίζονται από τον Οργανισμό.

### **Ανώτατη Διοίκηση**

πρόσωπο ή ομάδα προσώπων που διευθύνει και ελέγχει ένα οργανισμό σε ανώτατο επίπεδο

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Η ανώτατη Διοίκηση ελέγχει τον Οργανισμό όπως καθορίζεται στο πεδίο εφαρμογής του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης. [ISO 9000:2005, ορισμός 3.2.7]

### **Ενεργειακός έλεγχος (energy audit)**

συστηματική επιθεώρηση και ανάλυση των χρήσεων ενέργειας και της κατανάλωσης ενέργειας μίας τοποθεσίας, κτιρίου, συστήματος ή οργανισμού με στόχο τον προσδιορισμό των ενεργειακών ροών και του δυναμικού βελτιώσεων της ενεργειακής αποδόσεως και την αναφορά αυτών

### **Ενεργειακός ελεγκτής (energy auditor)**

άτομο ή ομάδα ανθρώπων ή σώμα το οποίο διενεργεί ένα ενεργειακό έλεγχο

Σημείωση 1 : Μία ομάδα ή σώμα μπορεί να περιλαμβάνει υπεργολάβους.

### **Παράγοντας προσαρμογής (adjustment factor)**

ποσοτικοποιήσιμη παράμετρος που επηρεάζει την ενεργειακή κατανάλωση

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Καιρικές συνθήκες, παράμετροι σχετικοί με την συμπεριφορά (εσωτερική θερμοκρασία, επίπεδο φωτισμού), ώρες εργασίας, όγκος παραγωγής, κλπ.)

### **ελεγχόμενο αντικείμενο (audited object)**

κτίριο, εξοπλισμός, σύστημα, διεργασία, όχημα ή εγκατάσταση η οποία υπόκειται σε ενεργειακό έλεγχο

### **Δείκτης ενεργειακής επίδοσεως**

ποσοτική τιμή ή μέτρο ενεργειακής επίδοσεως, όπως ορίζεται από τον οργανισμό

Σημείωση : Μπορεί να εκφραστεί με ένα απλό μέτρο, με πηλίκιο ή με πιο σύνθετο μοντέλο.

### **Μέτρο βελτιώσεως ενεργειακής αποδόσεως**

ποσότητα εξοικονομούμενης ενέργειας προσδιοριζόμενη με μέτρηση ή/και εκτίμηση της καταναλώσεως πριν και μετά την υλοποίηση ενός ή περισσότερων μέτρων βελτιώσεως της ενεργειακής αποδόσεως, διασφαλίζοντας παράλληλα κανονικοποίηση των παραγόντων που

επιρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας.

### **κτίριον (building)**

κατασκευή ως σύνολο, περιλαμβανομένων του κελύφους και όλων των τεχνικών κτιριακών συστημάτων, για τα οποία μπορεί να χρησιμοποιείται ενέργεια για την διαμόρφωση του εσωτερικού κλίματος, να παρέχει οικιακό ζεστό νερό χρήσεως και φωτισμό και άλλες υπηρεσίες σχετικές με την χρήση του κτιρίου και τις ασκούμενες δραστηριότητες εντός του κτιρίου.

Σημείωση 1 : Ο όρος μπορεί να αναφέρεται στο κτίριο ως σύνολο ή σε μέρη του τα οποία έχουν καθοριστεί ή έχουν μετατραπεί για χωριστή χρήση

Σημείωση 2 : Το κτίριο μπορεί να περιλαμβάνει την τοποθεσία της θέσεώς του και το συναφές εξωτερικό περιβάλλον

### **ενεργειακή ανάγκη (energy need)**

Ενέργεια προς παράδοση ή εξαγωγή μία εγκατάσταση σε μία καθορισμένη χρονική περίοδο από ένα τεχνικό σύστημα ώστε να παρέχει μία κτιριακή υπηρεσία

### **φορέας ενέργειας (energy carrier)**

Ενεργειακό προϊόν ή φυσικό φαινόμενο τα οποία μπορεί να χρησιμοποιείται ευθέως ή εμμέσως προς μετατροπή σε χρήσιμη ενέργεια

Σημείωση 1 : Το προεπιλεγμένο ενεργειακό περιεχόμενο καυσίμου είναι η ανωτέρα θερμογόνο δύναμη

### **παρεόμενη ενέργεια - τελική ενέργεια (delivered energy – final energy)**

ενέργεια, εκφραζόμενη ανά φορέα ενέργειας, η οποία παρέχεται σε ένα τεχνικό σύστημα για μέσου του ορίου του συστήματος, προς ικανοποίηση των χρήσεων οι οποίες λαμβάνονται υπ' όψιν ή προς παραγωγή ηλεκτρισμού

Σημείωση 1 : Η παραδιδόμενη ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί για καθορισμένες χρήσεις ενέργειας ή μπορεί να μετρηθεί.

Σημείωση 2 : Οι χρήσεις ενέργειας περιλαμβάνουν θέρμανση, ψύξη, αερισμός, ζεστό νερό χρήσεως, φωτισμός, συσκευές, κλπ.

### **παραγόμενη ενέργεια (produced energy)**

θερμότητα ή ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη εντός του ορίου του συστήματος

Σημείωση 1 : Η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιείται εντός του ορίου συστήματος ή να εξάγεται

### **εξαγόμενη ενέργεια (exported energy)**

ενέργεια, εκφραζόμενη για έκαστο ενεργειακό φορέα, παραδιδόμενη από τα τεχνικά κτιριακά συστήματα δια μέσου του ορίου του συστήματος και χρησιμοποιείται εξωτερικώς του ορίου συστήματος.

Σημείωση 1 : Μπορεί να καθορίζεται ανά τύπο παραγωγής (π.χ. Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ισχύος, φωτοβολταϊκή, κλπ) ώστε να εφαρμόζονται διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας

Σημείωση 2 : Η εξαγόμενη ενέργεια μπορεί να υπολογίζεται ή να μετράται [ΠΗΓΗ: CEN/TR 15615, 3.19]

### 3 Βασικά στοιχεία ενέργειας και καυσίμων

#### 3.1 Μονάδες ενέργειας και ισχύος

##### 3.1.1 Ενέργεια

Οι βασικές μονάδες ενέργειας είναι : το τζάουλ (J) , η θερμίδα (cal) και η βρετανική μονάδα θερμότητας (Btu). Το τζάουλ και η θερμίδα συχνά συνοδεύονται με τα αριθμητικά προθέματα k και M τα οποία προφέρονται ως «χιλιο- ή κιλο-» και «μέγα-» και σημαίνουν πολλαπλασιασμό με 1.000 και 1.000.000 αντιστοίχως.

Όπως αποδείχθηκε με το πείραμα του Joule ένα κιλοκάλ θερμότητας αντιστοιχεί σε 4,187 kJ έργου. Υπενθυμίζεται ότι 1 kcal θερμότητας επιφέρει ανύψωση θερμοκρασίας ενός λίτρου νερού στους 15°C κατά 1 °C. Επομένως :

$$1 \text{ kcal} = 4,187 \text{ kJ}$$

$$\text{Επίσης } 1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ}$$

$$\text{Επίσης } 1 \text{ Btu} = 1,55056 \text{ kJ}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ kcal} = 4,187 \text{ kJ} \\ \text{Επίσης } 1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ} \end{array} \right\} \text{ τότε : } 1 \text{ kWh} = 859,8 \text{ kcal}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Επίσης } 1 \text{ Btu} = 1,55056 \text{ kJ} \end{array} \right\} \text{ τότε : } 1 \text{ kWh} = 3412,14 \text{ Btu}$$

Στην πράξη, ως μονάδα ενέργειας με πρακτική σημασία είναι η κιλοβατώρα(kWh)

##### 3.1.2 Ισχύς

Ως γνωστόν η ισχύς ισούται με ενέργεια / χρόνο. Για την εύρεση των μονάδων ισχύος διαιρούμε τις μονάδες ενέργειας με μία μονάδα χρόνου ως ακολούθως :

$$1 \text{ kWh} = 859,9 \text{ kcal} \Rightarrow \frac{1 \text{ kWh}}{1 \text{ h}} = \frac{859,9 \text{ kcal}}{1 \text{ h}} \Rightarrow 1 \text{ kW} = 859,8 \text{ kcal/h} \Rightarrow 1 \text{ kcal/hr} = 1,163 \text{ W}$$

εργαζόμενοι ομοίως :  $1 \text{ kW} = 3412,14 \text{ Btu/h}$ ,

Επίσης :  $1 \text{ Ψυκτικός Τόνος (Refrigerant Tone – RT)} = 12.000 \text{ Btu/h} = 3,5168 \text{ kW}$

**Παράδειγμα 3.1:** Η θερμική ικανότητα σε kW ενός λέβητα θερμικής ισχύος 100.000 kcal/h είναι  $100,000/860 = 116,3 \text{ kW}$

**Παράδειγμα 3.2 :** Η ψυκτική ικανότητα σε kW ενός κλιματιστικού ψυκτικής ισχύος 22.000 btu/h ισούται με  $22000/3412,14 = 6,45 \text{ kW}$

#### 3.2 Μορφές ενέργειας

##### 3.2.1 Συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας – Πρωτογενής ενέργεια

Οι μορφές ενέργειας τελικής χρήσης παράγονται από τις ενεργειακές πηγές μετά από σχετική επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά και διανομή προς την τελική κατανάλωση. Οι πηγές αυτές περιλαμβάνουν τόσο τις ονομαζόμενες συμβατικές πηγές όσο και τις ανανεώσιμες πηγές. Οι συμβατικές πηγές εξαντλούνται σταδιακά με τον χρόνο ενώ οι ανανεώσιμες πηγές είναι ανεξάντλητες.

**Πρωτογενής ενέργεια** καλείται κάθε μορφή ενέργειας που δεν έχει υποστεί καμία μετατροπή ή μετασχηματισμό, μπορεί να είναι είτε συμβατική είτε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (π.χ. βιομάζα) και τροφοδοτείται ως πρώτη ύλη στην ενεργειακή βιομηχανία όπως:

1. Οι λιγνίτες και τα στερεά καύσιμα στην βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
2. Αργό πετρέλαιο στα διυλιστήρια παραγωγής εμπορικών καυσίμων (βενζίνη, κηροζίνη, νάφθα, υγραέρια, ελαφρύ πετρέλαιο ντήζελ, βαρύ πετρέλαιο, κωκ)
3. Τα ενδιάμεσα προϊόντα του διυλιστηρίου προς τις μονάδες παραγωγής και μεταφοράς αερίων καυσίμων (π.χ. μονάδα νάφθας για την παραγωγή φωταερίου, δίκτυα μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου)
4. η βιομάζα (ξύλα, γεωργικά υπολείμματα, κλπ)

Η μετατροπή της πρωτογενούς ενέργειας σε ενέργεια τελικής χρήσης υπόκεινται σε απώλειες ενέργειας και γι' αυτό η ενέργεια τελικής χρήσης είναι μικρότερη από την πρωτογενή ενέργεια.

Η πρωτογενής ενέργεια περιλαμβάνει τόσο τις συμβατικές όσο και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Καύσιμα είναι υλικές ουσίες οι οποίες κατά την ένωσή τους με οξυγόνο, δηλαδή κατά την καύση τους, προκαλείται εξώθερμη αντίδραση η οποία συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας. Διακρίνονται σε στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα. :

Συμβατικές πηγές (πρωτογενής ενέργεια)	Ανανεώσιμες πηγές (πρωτογενής ενέργεια)
<u>Καύσιμες ύλες</u> - στερεά καύσιμα (άνθρακας, λιγνίτης, κλπ) - αργό πετρέλαιο, - φυσικό αέριο	- Υδροηλεκτρική ενέργεια - Ηλιακή ενέργεια - Αιολική ενέργεια - Βιομάζα - Γεωθερμική ενέργεια - Ενέργεια θαλασσιών ρευμάτων και κυμάτων
<u>Σχάσιμες ύλες</u> - ουράνιο, - πλουτόνιο,	

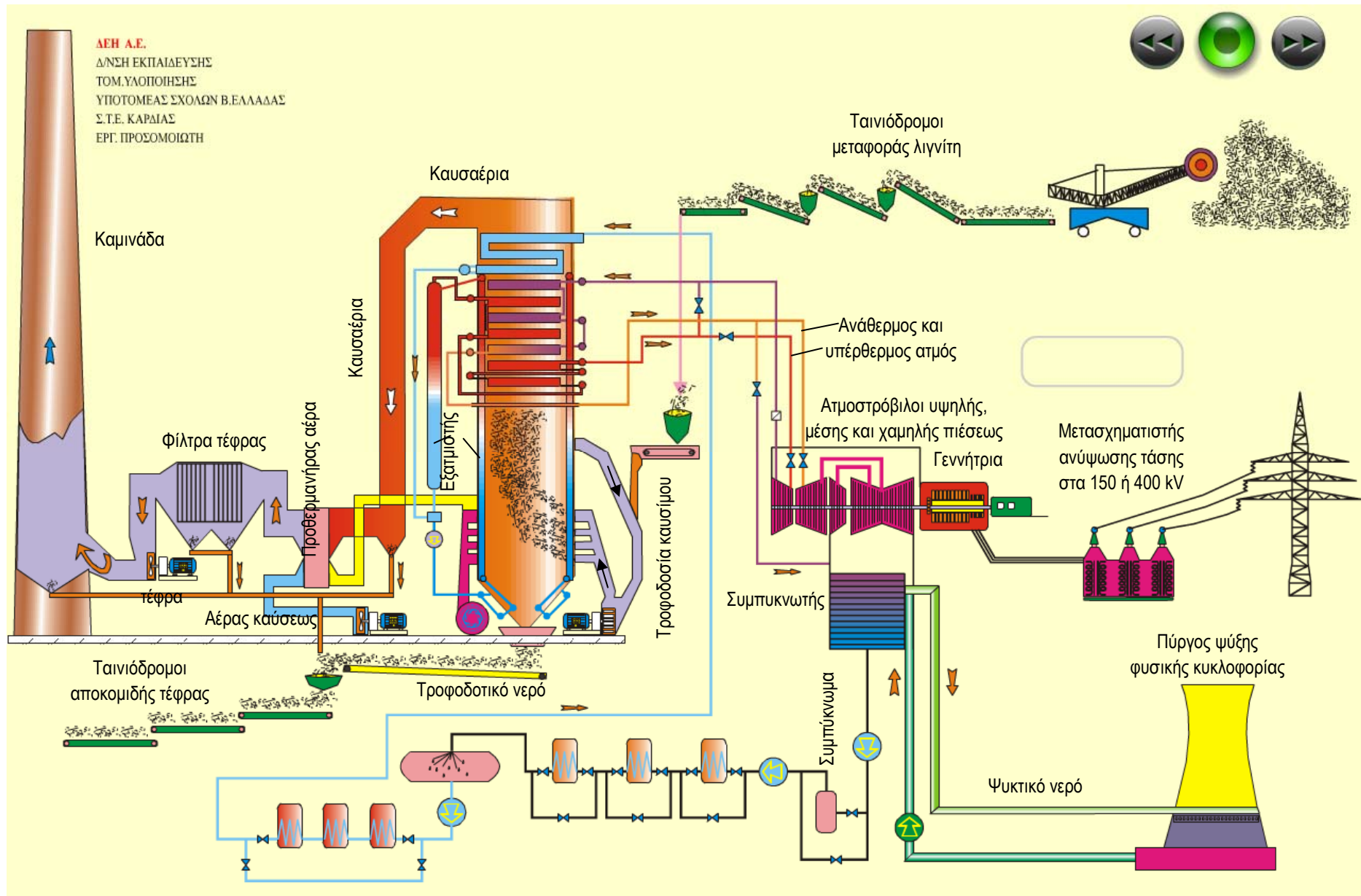
Συμβατικά καύσιμα καλούνται όσα προέρχονται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

### 3.2.2 Δευτερογενής ενέργεια

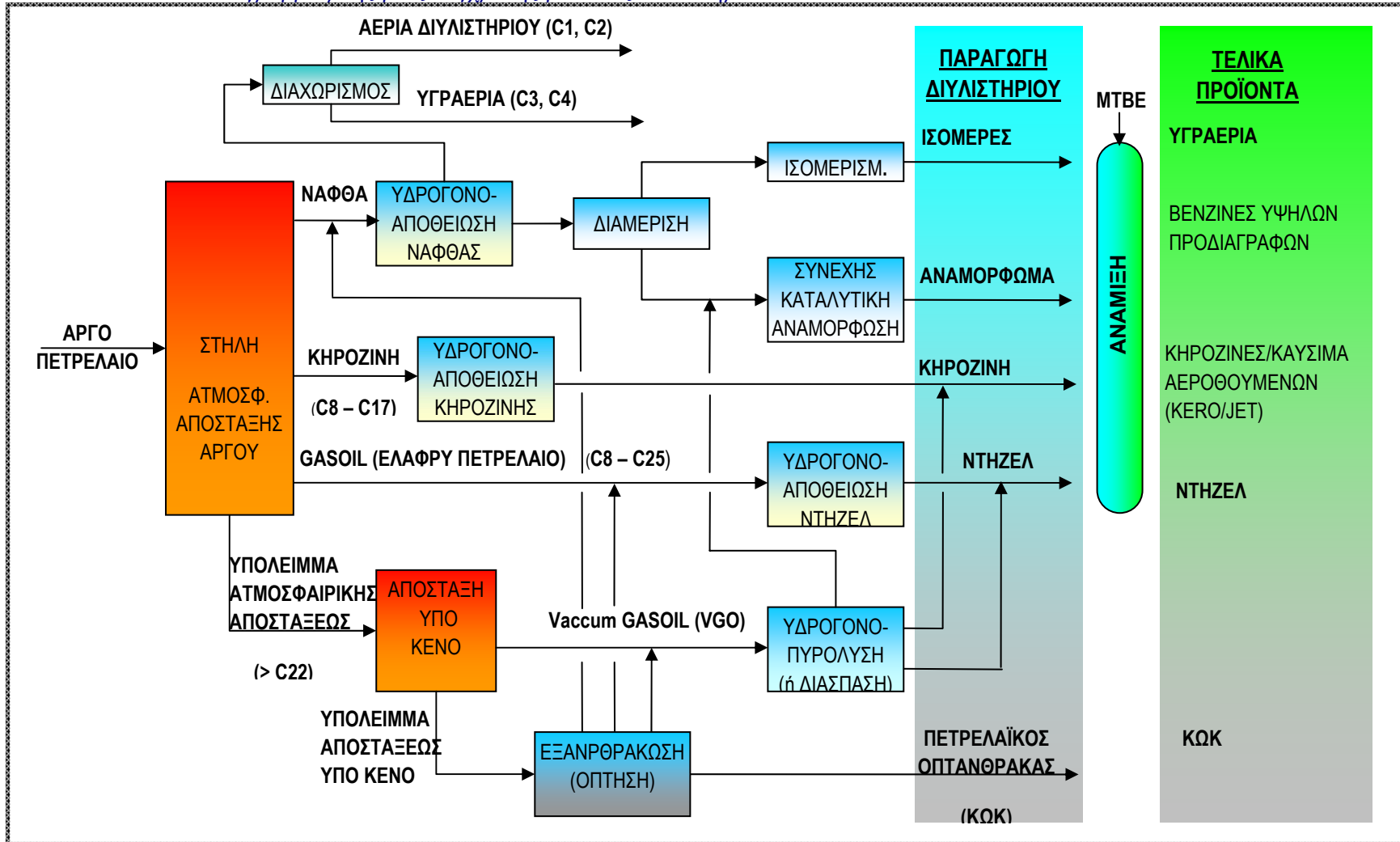
Ως δευτερογενής ενέργεια ή ενέργεια τελικής χρήσεως είναι η ενέργεια που παραδίδεται στον τελικό καταναλωτή. Τα καύσιμα τελικής χρήσης διακρίνονται σε στερεά, υγρά και αέρια.

Μία τυπική μετατροπή των στερεών καυσίμων (λιγνίτης) στη ΔΕΗ για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος δίδεται στην Εικόνα 3.1. ενώ η τυπική μετατροπή του αργού πετρελαίου προς παραγωγή τελικών προϊόντων πετρελαίου δίδεται στην Εικόνα 3.2. Το αργό πετρέλαιο εξορύσσεται στις πετρελαιοπηγές και στη συνέχεια μεταφέρεται με σωληναγωγούς ή δεξαμενόπλοια προς τα διυλιστήρια αργού πετρελαίου προς παραγωγή τελικών προϊόντων.

Εικόνα 3.1: Βασικό διάγραμμα ροής ατμοηλεκτρικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ με καύσιμο λιγνίτη (πηγή ΔΕΗ)



Εικόνα 3.2: Βασικό διάγραμμα ροής μίας σύγχρονης μονάδας διυλιστηρίου



Συμβατικά στερεά καύσιμα	Συμβατικά υγρά καύσιμα	Συμβατικά αέρια καύσιμα
Γαϊάνθρακας, φαιάνθρακας	Ελαφρύ Πετρέλαιο (Ντήζελ)	Φυσικό αέριο
Λιγνίτης	Βαρύ πετρέλαιο (Μαζούτ)	Υγραέριο (μίγμα βουτανίου 80%, προπανίου)
Ανθρακίτης	Νάφθα, παραφίνη	Προπάνιο (μίγμα προπανίου 80%, βουτανίου)
Μεταλλουργικό Κώκ	Κηροζίνη, Βενζίνη	Υδρογόνο
Βιομάζα/ξύλο	Βιοκαύσιμα (βιοντήζελ)	Βιοαέριο

Από την απόσταξη του αργού πετρελαίου παράγονται ελαφρά κλάσματα (νάφθα), μεσαία κλάσματα (ελαφρύ πετρέλαιο, κηροζίνη) και βαρέα υπολείμματα (πίσσα). Η νάφθα με περαιτέρω επεξεργασία δίνει αέριους υδρογονάνθρακες C1, C2, C3 και C4 τα οποία σημαίνουν μεθάνιο CH<sub>4</sub>, αιθάνιο C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, προπάνιο C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> και βουτάνιο C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>. Μείγματα των αερίων C3 και C4 συμπιέζονται και διατίθενται στο εμπόριο σε υγρή μορφή υπό πίεση σε φιάλες ως υγραέρια.

Τα βαρύτερα κλάσματα της ατμοσφαιρικής απόσταξης C8 έως C25 είναι σε υγρή μορφή ενώ τα βαρύτερα κλάσματα C>25 λαμβάνονται σε στερεά μορφή.

Ο Πίνακας 3.1. που ακολουθεί δίνει το συντελεστή μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια κάθε kWh ενέργειας τελικής χρήσης οποιασδήποτε μορφής (δευτερογενής ενέργεια), π.χ. στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας ο συντελεστής αυτός δίδεται ίσος με 2,9 δηλαδή ο λόγος πρωτογενούς ενέργειας (λιγνίτης) ως προς την τελικώς παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρισμός) ισούται με 2,9. Επομένως ο αντίστροφος του λόγου αυτού δίνει κατά μία έννοια τον βαθμό απόδοσης της ηλεκτροπαραγωγής στην χώρα :  $1/2,9 = 34,5\%$ .

Επίσης δίνει τον δείκτη εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα σε κιλά για κάθε kWhη οποία καταναλώνεται στην τελική χρήση. Ο δείκτης αυτός είναι χαρακτηριστικός της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και εξαρτάται τόσο από τον βαθμό απόδοσης της ηλεκτροπαραγωγής όσο και από την διεύθυνση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην ηλεκτροπαραγωγή..

Η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και η αύξηση των συγκεντρώσεων αυτού στην ατμόσφαιρα θεωρείται ότι επιβαρύνει το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και για τούτο η εκπομπή αυτή παρακολουθείται σήμερα εξ' ίσου στενά μαζί με την κατανάλωση ενέργειας.

Πίνακας 3.1 Συντελεστές αναγωγής της κατανάλωσης ενέργειας τελικής χρήσης σε πρωτογενή ενέργεια και υπολογισμού των εκπομπών CO<sub>2</sub> (πηγή : KENAK-TOTEE 20701-1)

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO <sub>2</sub> /kWh)
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,90	0,989
Υγραέριο	1,05	0,238
Βιομάζα	1,00	0,039 (πιλίδες-pellets), 0,016 (ξύλο)
Τηλεθέρμανση από Δ.Ε.Η.	0,70	0,347

### 3.2.3 Η θερμογόνος ικανότητα των καυσίμων

Ως θερμογόνος ικανότητα καυσίμων ορίζεται το ποσό θερμότητας το οποίο απελευθερώνεται κατά την καύση μίας μονάδας καυσίμου. Διακρίνεται σε ανώτερη θερμογόνο ικανότητα (ΑΘΙ) και κατώτερη ή καθαρή θερμογόνο ικανότητα (ΚΘΙ).

Στον Πίνακα που ακολουθεί (από το Παράρτημα IV του νόμου 4342/2015 δίδεται η καθαρή θερμογόνος ικανότητα για μία σειρά από καύσιμα η οποία ονομάζεται ως Καθαρή Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ).

Πίνακας 3.2 : Καθαρή θερμογόνος δύναμη (ΚΘΔ) καυσίμων

Ενεργειακό προϊόν	ΚΘΔ (kWh)	Ενεργειακό προϊόν	ΚΘΔ (kWh)
1 kg οπτάνθρακας	7,917	1 kg βενζίνη κινητήρων (βενζίνη αυτοκινήτων)	12,222
1 kg λιθάνθρακας	4,778 - 8,528	1 kg παραφίνη	11,111
1 kg μπρικέτες φαιάνθρακα	5,556	1 kg υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο (υγραέριο)	12,778
1 kg μαύρος λιγνίτης	2,917 - 5,833	1 kg φυσικό αέριο (95% Μεθάνιο)	13,1
1 kg φαιάνθρακας	1,556 - 2,917	1 kg υγροποιημένο φυσικό αέριο	12,553
1 kg πετρελαιούχος σχιστόλιθος	2,222 - 2,500	1 kg ξύλα (25 % υγρασία)	3,833
1 kg τύρφη	2,167 - 3,833	1 kg συσφαιρώματα/μπρικέτες ξύλου	4,667
1 kg μπρικέτες τύρφης	4,444 - 4,667	1 kg απόβλητα	2,056 - 2,972
1 kg βαρύ μαζούτ (βαρύ πετρέλαιο)	11,111	1 MJ παραγόμενη θερμότητα	0,278
1 kg ελαφρό μαζούτ	11,75	1 kWh ηλεκτρική ενέργεια	<u>1</u>

Κατά την καύση ενός υδρογονάνθρακα παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό ενώ παράλληλα εκλύεται θερμότητα, π.χ με την καύση ενός μοριακού όγκου μεθανίου παράγεται :

$$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$

Ως Κατωτέρα ή Καθαρή Θερμογόνος Ικανότητα (ΚΘΙ) ενός υδρογονάνθρακα ορίζεται η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση μίας μονάδας μάζας ή όγκου αυτού, μειωμένη κατά την ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού το οποίο είτε περιέχεται στο καύσιμο είτε σχηματίζεται από την καύση ως ανωτέρω. Η ανωτέρα θερμογόνος ικανότητα (ΑΘΙ) ενός καυσίμου είναι μεγαλύτερη από την ΚΘΙ κατά την ενέργεια που αποδίδεται όταν ο εξατμισθείς υδρατμός συμπυκνωθεί προς νερό. :

$$ΑΘΙ = ΚΘΙ + h_{fg}x[ 9 (H\%) + v\%]$$

όπου α)  $h_{fg}$  είναι η αποδιδόμενη θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών σε νερό, η οποία είναι 2441kJ/kg νερού, β) H% είναι η κατά βάρος σύσταση του καυσίμου σε υδρογόνο και γ) v% είναι η κατά βάρος σύσταση σε υγρασία του καυσίμου.

Παράδειγμα 3.3: Εάν θεωρηθεί ότι το φυσικό αέριο αποτελείται 100% από μεθάνιο CH<sub>4</sub>, τότε H% = 4/16 = 25%, όπου 16 είναι το μοριακό βάρος του μεθανίου και 4 το μοριακό βάρος των τεσσάρων υδρογόνων στο μόριο του μεθανίου. Επομένως η διαφορά μεταξύ ΑΘΙ και ΚΘΙ θα ισούται με : ΑΘΙ – ΚΘΙ = 2441 x 9 x 0,25 = 5492,25 kJ/kg= 1,52 kWh/kg

Γενικότερα σημειώνεται ότι η θερμογόνος ικανότητα τόσο των υγρών όσο και των στερεών καυσίμων προσδιορίζεται με ακρίβεια μόνο πειραματικά. Αντίθετα στα αέρια, όπου ισχύει ο Νόμος Dalton και μιλάμε για μείγματα αερίων, η ΚΘΙ μπορεί να προσδιοριστεί και υπολογιστικά, γνωρίζοντας τις θερμογόνες ικανότητες των αερίων.

### 3.2.4 Ελαφρύ Πετρέλαιο

Ένας ισοδύναμος χημικός τύπος του ελαφρού πετρελαίου διατυπώνεται ως : C<sub>c</sub>H<sub>h</sub>N<sub>n</sub>O<sub>o</sub>S<sub>s</sub> όπου τα κεφαλαία λατινικά γράμματα υποδεικνύουν τα χημικά στοιχεία και οι αντίστοιχοι λατινικοί δείκτες υποδεικνύουν την σύσταση. Μία τυπική κατά βάρος σύσταση του πετρελαίου δίδεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3.3 : Τυπικά στοιχεία συστάσεως ελαφρού πετρελαίου

Στοιχείο	Μοριακό βάρος (ΜΒ)	Σύσταση (κ.β.%)	Δείκτες χημικού τύπου	
			σύμβολο	τιμή
Άνθρακας	12,0110	86,30%	c	16
Υδρογόνο	1,0079	13,00%	h	28,72
Άζωτο	14,0067	0,35%	n	0,056
Οξυγόνο	15,9994	0,35%	o	0,049
Θείο	32,0660	0,01%	s	0,003
Σύνολο		100,00%		

Η εύρεση των λατινικών δεικτών c, h, n, o, s γίνεται ως εξής :

Οι υδρογονάνθρακες που περιλαμβάνονται στο ελαφρύ πετρέλαιο έχουν σημείο βρασμού στους 240 - 300 °C και όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2, περιλαμβάνουν υδρογονάνθρακες με 8 έως 25 άνθρακες (C8-C25 ) στο μόριό τους. Ως εκ τούτου επιλέγεται ως αντιπροσωπευτικό μόριο του ελαφρού πετρελαίου εκείνο με 16 άνθρακες, δηλαδή με δείκτη c=16.

Τότε, με βάση την ανωτέρω τυπική κατά βάρος σύσταση σε άνθρακα, το μοριακό βάρος του πετρελαίου προκύπτει ίσο με 16 (12,011) / (86,39%) = 222,69.

Ο δείκτης  $h$  του υδρογόνου θα ισούται :  $h = 222,69 (13,0\% ) / 1,0079 = 28,72$

Ομοίως προκύπτουν και οι λοιποί δείκτες που δίδονται στον Πίνακα 3.3. Επομένως :

Ο τυπικός ισοδύναμος μοριακό τύπος ( $C_cH_hN_nO_oS_s$ ) :  $C_{16}H_{28,72}N_{0,056}O_{0,049}S_{0,003}$

Το μοριακό βάρος : 222,69

Κατώτερα θερμογόνος ικανότητα : 10250 kcal/kg = 11,92 kWh/kg

Πυκνότητα πετρελαίου : 0,84 kg/λίτρο

Κατώτερα θερμογόνος ικανότητα ανά λίτρο :  $11,92 \text{ kWh/kg} \cdot 0,84 \text{ kg/λίτρο} = 10,0 \text{ kWh/λίτρο}$

**Παράδειγμα 3.4:** Υπολογισμός της ανωτέρας θερμογόνου ικανότητας:

Η ΚΘΙ του ελαφρού πετρελαίου είναι 10250 kcal/kg. Λαμβάνοντας  $H\% = 13\%$  όπως συμβαίνει στα ελαφρά πετρέλαια, και  $v\%=0$  τότε :  $A\Theta\Delta = 10250 + 583 (9) 13\% = 10932 \text{ kcal/kg} = 12,71 \text{ kWh/kg}$ .

### 3.2.5 Φυσικό αέριο

#### 3.2.5.1 Σύσταση

Το φυσικό αέριο αποτελείται από ένα μείγμα ελαφρών υδρογονανθράκων, κυρίως μεθάνιο (C1) και αιθάνιο (C2), προπάνιο (C3) και βουτάνιο (C4), οι οποίοι σε συνήθης θερμοκρασίες και πιέσεις μεταφοράς, διανομής και χρήσης είναι σε αέρια μορφή. Εισάγεται στην χώρα μας μέχρι σήμερα από δύο πύλες :

A) Την βόρεια πύλη στα σύνορα με την Βουλγαρία, με προέλευση την Ρωσία

B) Τον σταθμό υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα, με προέλευση την Αλγερία.

Η κύρια πηγή είναι το Ρωσικό φυσικό αέριο του οποίου η βασική κατ' όγκο σύσταση  $KO_v$  των επιμέρους συστατικών με δείκτη  $v$  δίδεται στον Πίνακα 3.4. Λαμβάνοντας υπ' όψιν επίσης τα μοριακά βάρη  $MB_v$  των επιμέρους συστατικών, το μοριακό βάρος του φυσικού αερίου προκύπτει ίσο με :  $MB_{\phi a} = \Sigma (MB_v \cdot KO_v) = 16,447$

Πίνακας 3.4 : Τυπικά στοιχεία του ρώσικου φυσικού αερίου στην χώρα μας

Συστατικό	Μοριακό βάρος	κατ' όγκο σύσταση (%)	Πυκνότητα $\text{kg/Nm}^3$	κατά βάρος σύσταση (%)	ΚΘΔ	
					kcal/ $\text{Nm}^3$	kWh/kg
CH <sub>4</sub>	16,0428	98	0,72	95,6%	8.570,6	13,926
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,0700	0,6	1,34	1,1%	15.256,9	13,226
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,1000	0,2	1,97	0,5%	21.818,6	12,897
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,1200	0,2	2,59	0,7%	28.376,2	12,727
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,1503	0,1	3,22	0,4%	34.936,2	12,622
N <sub>2</sub>	28,0135	0,8	1,25	1,4%	-	-
CO <sub>2</sub>	44,0098	0,1	1,96	0,3%	-	-
<b>Φυσικό. Αέριο</b>	16,4470	100,0	<b>0,7338</b>	1,0	<b>8626,1</b>	<b>13,67</b>

### 3.2.5.2 Πυκνότητα φυσικού αερίου και ο νόμος των τελείων αερίων

Η πυκνότητα των αερίων συνήθως εκφράζεται σε  $\text{kg}/\text{Nm}^3$  όπου  $\text{Nm}^3$  υποδηλώνει τα κανονικά (Normal) κυβικά μέτρα αερίου δηλαδή αέριο υπό Κανονικές Συνθήκες (Κ.Σ.) πίεσεως και θερμοκρασίας (ατμοσφαιρική πίεση = 1 ατμόσφαιρα = 1,01324 bar, θερμοκρασία =  $0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$ ).

Σε χαμηλές πιέσεις κάτω των 5 bar, η πυκνότητα του φυσικού αερίου καθώς και των επιμέρους συστατικών του αερίων υπολογίζεται ικανοποιητικά με τον νόμο των τελείων αερίων.

$$\text{Νόμος τελείων αερίων : } p V = n R T,$$

όπου  $n$  είναι ο αριθμός των γραμμομορίων  $n = m/\text{MB}$  (μάζα δια μοριακό βάρος), επομένως

$$pV = mRT / \text{MB} \rightarrow \rho = m/V = p\text{MB} / (RT)$$

Η πυκνότητα του φυσικού αερίου  $\rho_0$  υπό Κ.Σ. υπολογίζεται εάν στον ανωτέρω τύπο ληφθούν ατμοσφαιρική πίεση  $p = 1,01324 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  και θερμοκρασία  $T = 273,15 \text{ K}$  :

$$\rho_0 = 1,01324 \times 10^5 (16,4470) / (8314,47 \times 273,15) \rightarrow$$

$$\rho_0 = 0,7338 \text{ kg}/\text{Nm}^3$$

Για τον υπολογισμό της πυκνότητας στους  $15^\circ\text{C}$  γίνεται χρήση των ιδιοτήτων των τελείων αερίων :

$$\rho_{15} = \rho_0 (273,17)/(273,15+15) = 0,6956 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται και οι πυκνότητες των επιμέρους αερίων συστατικών του φυσικού αερίου που δίδονται στον Πίνακα 3.3 καθώς και του ατμοσφαιρικού αέρα με μοριακό βάρος 28,96 :

$$\rho_{\text{αέρα}} = 1,01324 \times 10^5 (28,96) / (8314,47 \times 273,15) = 1,292 \text{ kg}/\text{Nm}^3$$

Συγκρίνοντας την πυκνότητα του αέρα με εκείνη του φυσικού αερίου παρατηρείται ότι εκείνη του φυσικού αερίου είναι μικρότερη. Άρα το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο του αέρα και σε περίπτωση διαφυγής, αυτό έχει την τάση να ανέρχεται προς τα υψηλότερα σημεία του χώρου που εκλύθηκε.

Από την άλλη πλευρά, από τον Πίνακα 3.4 και 3.5 διαπιστώνεται ότι οι πυκνότητες του προπανίου και του βουτανίου είναι μεγαλύτερες από εκείνη του αέρα. Επομένως τυχόν διαρροή προπανίου ή βουτανίου, αυτά έχουν την τάση να συγκεντρώνονται στα χαμηλότερα σημεία του χώρου, δυσκολεύοντας έτσι τις προσπάθειες για την απομάκρυνσή τους από τον χώρο διαφυγής και δημιουργώντας επικίνδυνες καταστάσεις.

### 3.2.5.3 Η θερμογόνος ικανότητα του φυσικού αερίου

Η κατωτέρα θερμογόνος ικανότητα του φυσικού αερίου υπολογίζεται από τις επιμέρους θερμογόνους δυνάμεις των επτά συστατικών αερίων και την κατ' όγκο σύσταση (βλέπε πίνακα 3.4) ως εξής:

$$\text{KΘI}_{\text{φα}} = \text{KΘI}_1 \text{ KO}_1 + \text{KΘI}_2 \text{ KO}_2 + \dots + \text{KΘI}_7 \text{ KO}_7 = 8626,1 \text{ kcal}/\text{Nm}^3 \simeq 10,0 \text{ kWh}/\text{Nm}^3$$

Η θερμογόνος ικανότητα των επιμέρους αερίων ενώσεων ΚΘΙ λαμβάνεται από την βιβλιογραφία.

Στον Πίνακα 3.4 η ΚΘΙ δίδεται σε διάφορες μονάδες τόσο ανά κανονικό κυβικό όσο και ανά κιλό καυσίμου. Η ΚΘΙ<sub>Μ</sub> του φυσικού αερίου ή ενός αερίου στοιχείου ανά kg υπολογίζεται από την ΚΘΙ<sub>όγκος</sub> ανά κανονικό κυβικό (Nm<sup>3</sup>) μετά από διαίρεση με την αντίστοιχη πυκνότητα του αερίου ρ<sub>0</sub>.

$$ΚΘΙ_M = ΚΘΙ_0 \cdot \rho_0$$

Η ανωτέρα θερμογόνος ικανότητα (ΑΘΙ) του φυσικού αερίου υπολογίζεται με καλή ακρίβεια από τον εμπειρικό τύπο :

$$ΑΘΙ \cong 1,11 ΚΘΙ$$

Συχνά στην επιστημονική βιβλιογραφία η ΑΘΙ συμβολίζεται με Η<sub>0</sub> και την κατώτερη με Η<sub>u</sub>.

### 3.2.6 Υγραέριο

#### 3.2.6.1 Γενικά

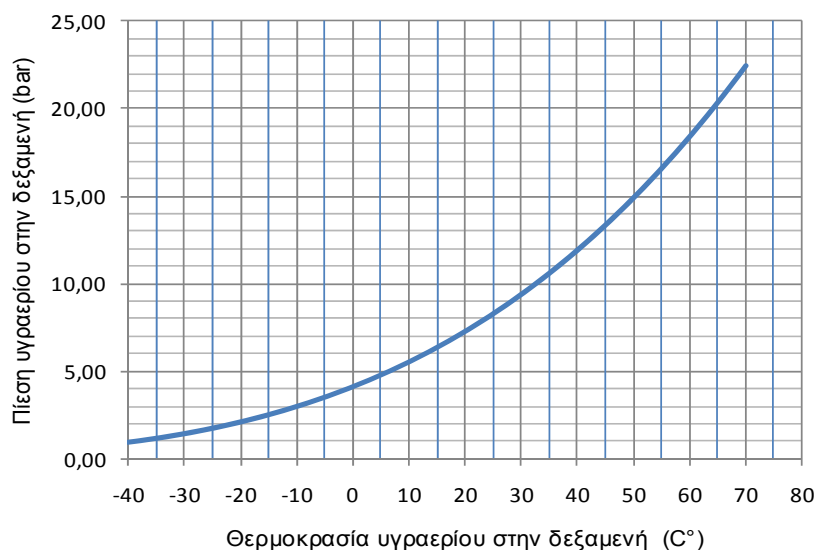
Το υγραέριο προέρχεται από τις μονάδες LPG των διυλιστηρίων (Εικόνα 3.2) και είναι μίγμα προπανίου και βουτανίου. Διατίθεται στο εμπόριο συνήθως σε δύο μορφές : το εμπορικό προπάνιο και το εμπορικό βουτάνιο. Στο εμπορικό προπάνιο η κατά βάρος σύσταση σε προπάνιο ανέρχεται στο 80% και σε βουτάνιο στο 20%. Αντίθετες ακριβώς είναι οι συστάσεις στο εμπορικό βουτάνιο ( ή υγραέριο).

Τα υγραέρια διακινούνται σε υγρή μορφή εντός δοχείων ή φιαλών υπό πίεση, προκειμένου να διατηρούνται σε υγρή φάση σε συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις υγραερίου, οι δεξαμενές μπορεί να είναι είτε υπέργειες είτε υπόγειες.

Η εσωτερική πίεση σε ένα δοχείο υγραερίου είναι συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας της δεξαμενής και μπορεί να κυμαίνεται από 8 έως 12 bar.

Εντός της δεξαμενής το υγραέριο βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού δηλαδή σε θερμική ισορροπία δύο φάσεων : της υγρής και της αέριας. Στο διάγραμμα του σχήματος 3.1 δίδεται η σχέση πίεσης και θερμοκρασίας του υγραερίου για το «εμπορικό προπάνιο».

Σχήμα 3.1 Καμπύλη πίεσης – θερμοκρασίας εμπορικού προπανίου σε συνθήκες κορεσμού



Από το διάγραμμα αυτό διαπιστώνεται ότι όταν η δεξαμενή είναι στους 40 °C, η πίεση εντός αυτής θα κυμαίνεται περί τα 12bar. Όταν η δεξαμενή θα είναι υπόγεια, αυτή δεν θα υπόκειται στην ηλιακή ακτινοβολία και επομένως η θερμοκρασία αυτής θα είναι κάτω των 40°C

Πάντως για λόγους ασφαλείας, τα δοχεία και οι δεξαμενές σχεδιάζονται έτσι ώστε να αντέχουν πολύ υψηλότερες πιέσεις, της τάξεως των 18 έως 30 bar. Τα δοχεία αυτά διαθέτουν ασφαλιστικές βαλβίδες οι οποίες ενεργοποιούνται σε πίεση από 17 έως 25 bar

Το υγραέριο παρέχεται σε αέρια μορφή προς τελική χρήση, όπως το φυσικό αέριο. Η εξαερίωση του υγραερίου επιτυγχάνεται κατά την αποσυμπίεσή του, λόγω του ότι το προπάνιο και του βουτάνιο είναι αέρια σε συνήθεις θερμοκρασίες και χαμηλές πιέσεις, όπως η ατμοσφαιρική. Για μεγαλύτερες παροχές αερίου απαιτείται εξαερωτής ο οποίος θερμαίνεται είτε με ηλεκτρικές αντιστάσεις είτε με θερμό νερό από λέβητα.

### 3.2.6.2 Το εμπορικό «προπάνιο»

Τα βασικά στοιχεία του εμπορικού προπανίου δίδονται στον Πίνακα.3.4. Όπως φαίνεται στον πίνακα αυτό η κατά βάρος σύσταση του εμπορικού προπανίου ανέρχεται στα 80/20 για το προπάνιο/βουτάνιο.

Πίνακας 3.5: Τυπικά στοιχεία του εμπορικού προπανίου στην χώρα μας

Συστατικό	Μοριακό βάρος	κατ' όγκο σύσταση (%)	Πυκνότητα kg/Nm <sup>3</sup>	κατά βάρος σύσταση (%)	ΚΘΙ	
					kcal/Nm <sup>3</sup>	kWh/kg
CH <sub>4</sub>	16,0428	0	0,72	0,0%	8.570,6	13,926
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,0700	0	1,34	0,0%	15.256,9	13,226
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,1000	84,05	1,97	80,0%	21.818,6	12,897
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,1200	15,95	2,59	20,0%	28.376,2	12,727
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,1503	0	3,22		34.936,2	12,622
N <sub>2</sub>	28,0135	0	1,25	0,0%	-	-
CO <sub>2</sub>	44,0098	0			-	-
<b>Αέριο</b>	<b>16,4253</b>	<b>100,0</b>	<b>2,0673</b>	<b>1,0</b>	<b>22864,5</b>	<b>12,863</b>

Στον πίνακα 3.5 η κατά βάρος σύσταση ΚΒ κάθε αερίου συστατικού σχετίζεται με την κατ' όγκο σύσταση ΚΟ με βάση τον τύπο :  $KB = \rho KO / \rho_M$

όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα ενός αερίου συστατικού και  $\rho_M$  είναι η πυκνότητα του μίγματος των αερίων. Επομένως βάσει αυτού του τύπου η μετατροπή της κατά βάρος σε κατ' όγκο σύσταση γίνεται ευθέως.

Τέλος από τον Πίνακα 3.5 παρατηρείται ότι η ΚΘΙ του εμπορικού «προπανίου» ανέρχεται στα 22864,5 kcal/Nm<sup>3</sup>, ήτοι είναι υπερδιπλάσια από το φυσικό αέριο ανά κανονικό κυβικό. Ανηγγεμένη ανά kg η ΚΘΙ του προπανίου ανέρχεται στις 12,863 kWh/kg. Η πυκνότητα του υγρού προπανίου ανέρχεται περί τα 510 kg/m<sup>3</sup>. Η ανωτέρα θερμογόνο ικανότητα είναι περίπου ίση με :  $AΘΙ \cong 1,087 ΚΘΙ$

### 3.2.6.3 Υγραέριο (Μίγμα Βουτανίου)

Τα βασικά στοιχεία του εμπορικού βουτανίου δίδονται στον Πίνακα 3.6. Οι παρατηρήσεις για το υγραέριο αυτό είναι αντίστοιχες με εκείνες για το εμπορικό προπάνιο.

Πίνακας 3.6 : Τυπικά στοιχεία του εμπορικού βουτανίου (υγραέριο) στην χώρα μας

Συστατικό	Μοριακό βάρος	κατ' όγκο σύσταση (%)	Πυκνότητα kg/Nm <sup>3</sup>	κατά βάρος σύσταση (%)	ΚΘΙ	
					kcal/Nm <sup>3</sup>	kWh/kg
CH <sub>4</sub>	16,0428	0	0,72	0,0%	8.570,6	13,926
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,0700	0	1,34	0,0%	15.256,9	13,226
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,1000	24,6	1,97	19,8%	21.818,6	12,897
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,1200	75,4	2,59	80,2%	28.376,2	12,727
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,1503	0	3,22		34.936,2	12,622
N <sub>2</sub>	28,0135	0	1,25	0,0%	-	-
CO <sub>2</sub>	44,0098	0			-	-
<b>Αέριο</b>	16,4253	100,0	<b>2,4391</b>	1,0	<b>26763,0</b>	<b>12,760</b>

Εντός της δεξαμενής, η πυκνότητα του υγραερίου σε υγρή φάση : 580 kg/m<sup>3</sup>. Η ανωτέρα θερμογόνος ικανότητα είναι περίπου ίση με : ΑΘΙ ≅ 1,085 ΚΘΙ.

## 4 Διαδικασίες και απαιτήσεις ενεργειακού ελέγχου

### 4.1 Ελάχιστα κριτήρια σύμφωνα με το Παράρτημα VI του νόμου

#### 4.1.1 Γενικά

Βάσει του Παραρτήματος VI του Νόμου 4342/2015, οι ενεργειακοί έλεγχοι που αναφέρονται στο άρθρο 10 βασίζονται στις ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές :

- α) βασίζονται σε επικαιροποιημένα, μετρήσιμα, ανιχνεύσιμα λειτουργικά δεδομένα ως προς την κατανάλωση ενέργειας και (για την ηλεκτρική ενέργεια) σε χαρακτηριστικά φορτίου,
- β) περιλαμβάνουν λεπτομερή επισκόπηση των χαρακτηριστικών της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου ή μιας ομάδας κτιρίων, μιας βιομηχανικής δραστηριότητας ή εγκατάστασης, περιλαμβανομένων και των μεταφορών,
- γ) βασίζονται όπου είναι δυνατόν σε ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (LCCA) και όχι σε απλές περιόδους αποπληρωμής (SPP), προκειμένου να λαμβάνονται υπ' όψιν οι μακροπρόθεσμες εξοικονομήσεις, οι εναπομένουσες αξίες των μακροπρόθεσμων επενδύσεων και τα ποσοστά αναπροσαρμογής
- δ) είναι αναλογικοί και επαρκώς αντιπροσωπευτικοί ώστε να δίδουν μια αξιόπιστη εικόνα της συνολικής ενεργειακής απόδοσης και να εντοπίζουν με αξιοπιστία τις σημαντικότερες ευκαιρίες για βελτίωση. Οι ενεργειακοί έλεγχοι επιτρέπουν λεπτομερείς και επικυρωμένους υπολογισμούς των προτεινόμενων μέτρων ώστε να παρέχονται σαφείς πληροφορίες ως προς το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας.

Από την διατύπωση της παραγράφου α) προκύπτει ότι τα δεδομένα πρέπει να είναι:

- Επικαιροποιημένα :           δηλαδή πρόσφατα και να καλύπτουν μία περίοδο καταναλώσεων των τελευταίων ετών
- Μετρήσιμα :                   δηλαδή να έχουν ποσοτικό χαρακτήρα και ανεκτά επίπεδα μετρητικού σφάλματος
- Ανιχνεύσιμα :               τα στοιχεία πρέπει να καταχωρούνται συστηματικά σε βάσεις δεδομένων ώστε να αναζητούνται και να ανασύρονται ευχερώς
- Λειτουργικά :               τα δεδομένα πρέπει να καλύπτουν επίσης και άλλες παραγωγικές παραμέτρους που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας
- χαρακτηριστικά φορτίου: να απεικονίζουν την χρονική μεταβολή της κατανάλωσης και του φορτίου

Από την διατύπωση της παραγράφου β) προκύπτει ότι ο ενεργειακός έλεγχος περιλαμβάνει μία «λεπτομερή επισκόπηση» των χαρακτηριστικών της ενεργειακής κατανάλωσης και είναι επομένως αρκετά αναλυτικός ώστε να καταγράφει επαρκώς τις επιμέρους χρήσεις της ενέργειας. Επίσης στην παράγραφο δ) προδιαγράφεται ότι το επίπεδο λεπτομέρειας του ελέγχου πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να οδηγεί σε αξιόπιστους υπολογισμούς και σε μία σαφή εικόνα ως προς το δυναμικό των ευκαιριών εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο εδάφιο δ) προδιαγράφεται ότι οι έλεγχοι πρέπει να είναι «αναλογικοί» και «αντιπροσωπευτικοί», δηλαδή θα πρέπει να εξετάζουν τουλάχιστον το 90% της

κατανάλωσης ενέργειας και να καλύπτουν όλες τις Σημαντικές Ενεργειακές Καταναλώσεις (ΣΕΚ) ώστε να εντοπίζουν με αξιοπιστία τις σημαντικότερες ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας.

Αναφορικά με το εδάφιο γ) και όπου είναι δυνατόν, θα πρέπει να διεξάγεται υπολογισμός οικονομικής απόδοσης σε επίπεδο κύκλου ζωής για τα μέτρα τα οποία εντοπίζονται και διαμορφώνονται κατά την διάρκεια του ενεργειακού ελέγχου. Όταν η επεξεργασία της ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής είναι δυσανάλογα δαπανηρή, λόγω μη διαθεσιμότητας της σχετικής πληροφορίας από τον κατασκευαστή ή ασυνήθιστου υψηλού τιμήματος, τότε δεν χρειάζεται να γίνει η ανάλυση αυτή. Όμως ο υπολογισμός της εντόκου αξίας του χρήματος και των αντίστοιχων χρεωλυτικών περιόδων θα πρέπει να γίνεται σε κάθε περίπτωση. Επίσης επιπροσθέτως των χρεωλυτικών περιόδων θα πρέπει να γίνεται ανάλυση κόστους-οφέλους π.χ. με τον υπολογισμό του εσωτερικού βαθμού απόδοσης ή της εντόκου περιόδου αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να τεκμηριώνονται οι υποθέσεις της χρήσιμης ζωής του κεφαλαιουχικού εξοπλισμού, για το επιτόκιο αναγωγής και για τις τιμές της ενέργειας. Πέραν της επενδυτικής δαπάνης θα πρέπει κατά προσέγγιση έστω να υπολογίζονται οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης.

Ο ενεργειακός ελεγκτής θα πρέπει να διαβιβάζει τα δεδομένα που χρησιμοποιεί για τον ενεργειακό έλεγχο προς την εταιρεία έτσι ώστε να επιτρέπεται η διατήρηση των δεδομένων για ιστορική ανάλυση και ανιχνευσιμότητα των επιδόσεων.

Εκ των ανωτέρω συνάγεται ότι ο προβλεπόμενος ενεργειακός έλεγχος από το Παράρτημα VI του νόμου 4342/2105 αντιστοιχεί στο επίπεδο του εκτενούς ενεργειακού ελέγχου όπως αυτό προδιαγράφεται στην παράγραφο 4.2.3. Αναφορικά με τους ορισμούς του προτύπου ENISO 50002 ο έλεγχος αυτός αντιστοιχεί σε τύπο ελέγχου 2 ή 3.

## **4.2 Οι απαιτήσεις των διεθνών προτύπων**

### **4.2.1 Γενικά**

Τα διεθνή πρότυπα τα οποία ασχολούνται με τον ενεργειακό έλεγχο, όπως είναι η σειρά των ευρωπαϊκών προτύπων EN 16247 -1 (γενικό μέρος), -2 (κτίρια), -3 (διεργασίες), -4 (μεταφορές) ή το διεθνές πρότυπο ENISO 50002, περιλαμβάνουν διαδικασίες και απαιτήσεις για τα ακόλουθα στάδια του ενεργειακού ελέγχου, τα οποία είναι κοινά :

- α) Σχεδιασμός ενεργειακού ελέγχου
- β) Προκαταρκτική επικοινωνία
- γ) Εναρκτήρια συνάντηση
- δ) Συλλογή δεδομένων
- ε) Επιτόπιες εργασίες
- στ) Ανάλυση δεδομένων
- ζ) Έκθεση αποτελεσμάτων ενεργειακού ελέγχου
- η) Συνάντηση παρουσίασης αποτελεσμάτων

Στα ανωτέρω στάδια και ιδίως κατά το στάδιο της ανάλυσης δεδομένων, τα πρότυπα διατυπώνουν απαιτήσεις για την εφαρμογή τεχνικών όπως :

- επιμερισμός (breakdown) της κατανάλωσης ενέργειας σε διάφορες χρήσεις ενέργειας
- ισοζύγια μάζας και ενέργειας και τα διαγράμματα Sankey
- πίνακες καταναλώσεων ενέργειας
- καταγραφές εξοπλισμού, συστημάτων ή διεργασιών που καταναλώνουν ενέργεια, περιλαμβανομένου του ενεργειακού βαθμού απόδοσης και των ωρών λειτουργίας
- εντοπισμός των Σημαντικών Ενεργειακών Καταναλώσεων (ΣΕΚ) δηλαδή των καταναλώσεων ενέργειας οι οποίες αντιπροσωπεύουν τον κύριο όγκο της κατανάλωσης ενέργειας
- ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ των καταναλώσεων ενέργειας και των παραγόντων προσαρμογής, δηλαδή των παραγόντων που επηρεάζουν σημαντικά τις καταναλώσεις αυτές

Στο πρότυπο EN ISO 50004 «Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – Οδηγίες υλοποίησης, διατήρησης και βελτίωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας» δίδονται αναλυτικές πληροφορίες για τις διαδικασίες και τεχνικές που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης ενέργειας (ΣΔΕ) και τον εντοπισμό και ιεράρχηση των ΣΕΚ..

#### 4.2.2 Οι απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 16247-1

Το πρότυπο αυτό είναι το γενικό πρότυπο της σειράς και είναι το άμεσα εφαρμοστέο σε κάθε ενεργειακό έλεγχο, ενώ τα υπόλοιπα πρότυπα της σειράς εφαρμόζονται κατά περίπτωση και στον βαθμό που απαιτείται.

Στην παράγραφο αυτή αναπτύσσονται οι βασικές απαιτήσεις κατά την διεξαγωγή των ενεργειακών ελέγχων όπως αυτοί προβλέπονται από άρθρο 10 παράγραφος 10 του νόμου 4342/2015. Οι έλεγχοι αυτοί δεν πρέπει να συγχέονται με τις εσωτερικές ή εξωτερικές ανασκοπήσεις και επιθεωρήσεις των διαχειριστικών συστημάτων ΕΛΟΤ EN ISO 50001 και EMAS.

Σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 16247-1, «ένας ενεργειακός έλεγχος είναι μία συστηματική επιθεώρηση και ανάλυση της χρήσης ενέργειας και της κατανάλωσης μίας εγκατάστασης, μίας βιομηχανικής μονάδας, ενός κτιρίου ή ενός οργανισμού με στόχο τον εντοπισμό και την αναφορά των ενεργειακών ροών και το δυναμικό για βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης».

Ο στόχος είναι να προσδιοριστούν οι ενεργειακές ροές και το δυναμικό βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Το επόμενο βήμα είναι να καθοριστούν οι χρηματικές τιμές των διαφόρων μέτρων και να γίνει ανάλυση της οικονομικής αποδόσεως των επενδύσεων, με αποτέλεσμα τον εύκολο εντοπισμό των οικονομικά αποδοτικών μέτρων από το εκάστοτε ενδιαφερόμενο μέρος. Στη συνέχεια ακολουθεί ένας περιληπτικός κατάλογος των τυπικών στοιχείων της διαδικασίας ελέγχου. Αυτός ο κατάλογος θα πρέπει να εκλαμβάνεται μόνο ως ενδεικτικά καθώς οι εφαρμοζόμενοι κανονισμοί καθορίζονται στο ΕΛΟΤ EN 16247-1.

1. **Εισαγωγική επαφή:** αρχικά ο ενεργειακός ελεγκτής πρέπει να θέσει το πλαίσιο των συμβουλευτικών υπηρεσιών του προς τον οργανισμό. Ειδικότερα πρέπει να καθοριστούν οι στόχοι και οι προσδοκίες των συμβουλευτικών υπηρεσιών καθώς και τα κριτήρια τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης.
2. **Εναρκτήρια συνάντηση:** σε αυτό το βήμα καθορίζονται τα απαιτούμενα δεδομένα που πρέπει να δοθούν στον ελεγκτή, οι απαιτήσεις για μετρήσεις και διαδικασίες για την

εγκατάσταση μετρητικού εξοπλισμού. Περαιτέρω θα γίνουν σαφείς συμφωνίες για την πρακτική επίδοση του ενεργειακού ελέγχου. Αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό ενός προσώπου από την εταιρεία, υπεύθυνου για την υποστήριξη του ενεργειακού ελέγχου.

3. **Συλλογή δεδομένων:** ο ενεργειακός ελεγκτής πρέπει να συλλέξει δεδομένα σχετικά με κάθε σύστημα, διεργασία ή εγκατάσταση που καταναλώνουν ενέργεια καθώς και πληροφορίες ποσοτικοποιημένων παραμέτρων οι οποίες επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας. Επίσης θα πρέπει να λάβει υπ' όψιν τα τυχόν διαθέσιμα στοιχεία ενεργειακής απόδοσης από προηγούμενες αναλύσεις καθώς και τιμολόγια ενέργειας, έγγραφα σχετικά με την κατασκευή, την λειτουργία και την συντήρηση καθώς και σχετικά οικονομικά δεδομένα.
4. **Εργασία πεδίου (επιτόπου εργασία) :** ο ενεργειακός ελεγκτής πρέπει να επιθεωρήσει το προς έλεγχο αντικείμενο με σκοπό την εκτίμηση της χρήσης ενέργειας και τον εντοπισμό των περιοχών/διεργασιών όπου απαιτούνται πρόσθετα δεδομένα. Πρέπει επίσης να αξιολογείται για την επίδραση στη κατανάλωση ενέργειας και στην απόδοση τόσο η ροή των εργασιών όσο και η συμπεριφορά των χρηστών. καθώς τα μέτρα ελέγχου της λειτουργίας αποτελούν την βάση για τις πρώτες συστάσεις βελτίωσης. Τέλος οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται σε πραγματικές συνθήκες και πρέπει να είναι αξιόπιστες.
5. **Ανάλυση :** σε αυτό το στάδιο, ο ενεργειακός ελεγκτής αξιολογεί την υφιστάμενη κατάσταση των επιδόσεων σχετικά με την ενέργεια. Καταρτίζει ενεργειακά ισοζύγια και επιμερίζει τόσο την παροχή όσο και την χρήση ενέργειας. Σε αυτή την βάση, ο ενεργειακός ελεγκτής συστήνει προσεγγίσεις για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Αυτές οι επιλογές βελτίωσης θα πρέπει να αξιολογούνται στη βάση ενός συνόλου κριτηρίων. Η αξιοπιστία των δεδομένων, οι μέθοδοι υπολογισμού που εφαρμόζονται και οι υποθέσεις που έγιναν θα πρέπει να παρουσιάζονται πλήρως.
6. **Απολογιστική έκθεση.** Η απολογιστική έκθεση του ενεργειακού ελεγκτή πρέπει να είναι διαφανής, συμπερασματική και κατανοητή. Περιλαμβάνει μία περίληψη, γενικές πληροφορίες, την τεκμηρίωση των συμβουλευτικών υπηρεσιών και ένα κατάλογο επιλογών για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης με :
  - i) προτάσεις και προγράμματα για την εφαρμογή
  - ii) υποθέσεις που έγιναν για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης
  - iii) πληροφορίες για διαθέσιμες επιχορηγήσεις και εκπτώσεις
  - iv) κατάλληλη ανάλυση ωφελειών
  - v) προτάσεις για διαδικασίες μετρήσεων και επαλήθευσης για την εκτίμηση της εξοικονόμησης μετά την υλοποίηση των προτεινόμενων μέτρων
  - vi) πιθανή αλληλεπίδραση με άλλες προτεινόμενες προτάσεις και
  - vii) συμπεράσματα
7. **Τελική συνάντηση:** στην τελική συνάντηση ο ενεργειακός ελεγκτής παρουσιάζει τα συμπεράσματά του, επεξηγεί αυτά όπου είναι αναγκαίο και υποβάλει την έκθεση.

Ο ενεργειακός έλεγχος πρέπει να περιλάβει μία ενδελεχή εξέταση της δομής της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου ή ομάδας κτιρίων και μίας βιομηχανικής δραστηριότητας η

εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών. Ο ενεργειακός έλεγχος πρέπει να στηρίζεται σε επικαιροποιημένα, συνεχώς ή περιοδικώς μετρούμενα, επαληθεύσιμα δεδομένα λειτουργίας σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας και την κατανομή των φορτίων. Επιπλέον ο ενεργειακός έλεγχος πρέπει να είναι επαρκώς αναλογικός και αντιπροσωπευτικός έτσι ώστε να παρέχει μία αξιόπιστη επισκόπηση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης, να εντοπίζει τις σημαντικές χρήσεις ενέργειας και να εξάγει κατά τρόπο αξιόπιστο τις πιο σημαντικές δυνατές βελτιώσεις όπως προβλέπεται από το Παράρτημα VI του νόμου 4342/2015.

Επομένως η αναφορά στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 16247-1 αποκτά μία επέκταση αλλά και ένα περιορισμό μέσω του κριτηρίου της αναλογικότητας και της αντιπροσωπευτικότητας. Έτσι για παράδειγμα σε περίπτωση ενός αριθμού παρομοίων εγκαταστάσεων, μπορεί να αποφευχθούν οι εκτενείς εργασίες πεδίου, στο βαθμό που αυτές οι εγκαταστάσεις που καλύπτονται από εργασίες πεδίου παρέχουν μία αντιπροσωπευτική εικόνα τη κατανάλωσης ενέργειας της εταιρείας.

Αφού προσδιοριστεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας, πρέπει να εντοπίζονται και να ομαδοποιούνται εκείνες οι δραστηριότητες οι οποίες αθροιστικά παρέχουν μία αξιόπιστη εικόνα της συνολικής ενεργειακής απόδοσης. Αυτό σε κάθε περίπτωση συμβαίνει όταν αυτές οι εντοπισθείσες δραστηριότητες καλύπτουν το 90% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Αυτές λοιπόν οι δραστηριότητες πρέπει να καλύπτονται από τον ενεργειακό έλεγχο,

Επομένως η εταιρεία μπορεί σε κάθε περίπτωση να αποκλείσει το 10% της κατανάλωσης ενέργειας από τον ενεργειακό έλεγχο. Επαφίεται στην εταιρεία να αποφασίσει ποιες εγκαταστάσεις, μονάδες, διεργασίες ή πηγές ενέργειας ή συνδυασμός αυτών μπορεί να αποκλειστεί μετά από σχετική αξιολόγηση και εισήγηση του ενεργειακού ελεγκτή..

Σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 16246-1 επιτρέπεται η χρήση άλλων εγκεκριμένων εκτιμητικών μεθόδων κατά την συλλογή των ενεργειακών δεδομένων, πέραν από την χρήση μετρητικών διαδικασιών. Ειδικότερα στην περίπτωση χρήσεων που δεν μετρώνται συνεχώς, για τις οποίες ο προσδιορισμός της κατανάλωσης ενέργειας μέσω διαδικασίας μετρήσεων είναι είτε ανέφικτος ή δαπανηρός, η χρήση ενέργειας μπορεί να προσδιοριστεί διαμέσου λογικών προβολών υφιστάμενων χαρακτηριστικών λειτουργίας ή φορτίου (π.χ. αμπεροτσιμπίδες, θερμοδομητήρες, κλπ). Για φωτισμό και συσκευές γραφείου εκτιμήσεις μπορεί να γίνουν με γνωστά και τυποποιημένα μέτρα όπως είναι οι υποδείξεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 15193:2008; ή των πινάκων 2.1/2.4/2.8 της TOTEE 20701-1;

Όμως τα έξοδα ενέργειας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως βάση της ενεργειακής κατανάλωσης. Οι δαπάνες αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας κατά την αρχική μέτρηση της ολικής κατανάλωσης ενέργειας, για τον εντοπισμό περιοχών με την κύρια ενεργειακή κατανάλωση.

Μερικές ειδικές περιπτώσεις του ενεργειακού ελέγχου αναλύονται στη συνέχεια.

#### **4.2.2.1 Εταιρείες με πολλές παρόμοιες εγκαταστάσεις σε διαφορετικούς χώρους**

Σε αυτή την περίπτωση ο ενεργειακός έλεγχος θεωρείται ότι είναι αναλογικός και αντιπροσωπευτικός εάν εκτελείται σε μόνο ένα αντιπροσωπευτικό αριθμό εγκαταστάσεων. για τον σκοπό αυτό, μπορεί να εφαρμοστεί μία διαδικασία καλούμενη διαδικασία

«πολλαπλών χώρων» κατά την οποία σχηματίζονται ομάδες χώρων με παρόμοιες εγκαταστάσεις.

Οι διεργασίες και οι δραστηριότητες πρέπει να είναι κατ' ουσίαν παρόμοιες σε όλους τους χώρους εγκαταστάσεων και να λειτουργούν με παρόμοιες μεθόδους και διαδικασίες. Εάν σε μερικούς επιλέξιμους χώρους διεξάγονται παρόμοιες αλλά ολιγότερες διαδικασίες σε σχέση με άλλους χώρους, τότε οι πρώτοι χώροι αυτοί παρά σε άλλες θέσεις εγκαταστάσεων μπορούν να περιληφθούν εις την διαδικασία «πολλαπλών χώρων», με το δεδομένο ότι εκείνος ή εκείνοι οι χώροι με τον υψηλότερο αριθμό διεργασιών ή με κρίσιμες διεργασίες, υπόκεινται σε πλήρη ενεργειακό έλεγχο.

Πιθανά κριτήρια για την ομαδοποίηση χώρων είναι για παράδειγμα :

- είδος δραστηριοτήτων ή διοικητικής ιεραρχίας (κτίρια διοίκησης, υποκαταστήματα, κλπ)
- δομή της κατανάλωσης ενέργειας
- μέγεθος και αριθμός εργαζομένων στην θέση της εγκατάστασης
- έτος κατασκευής της ιδιοκτησίας

Ο ενεργειακός έλεγχος θεωρείται αναλογικός και αντιπροσωπευτικός εάν οι ενεργειακοί έλεγχοι σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 16247-1 διεξάγονται σε ένα αριθμό χώρων εγκαταστάσεων κάθε ομάδας χώρων, ισοδύναμο με την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος όλων των χώρων εκάστης ομάδας, στρογγυλοποιημένο στον υψηλότερο ακέραιο αριθμό. Αυτό σημαίνει ότι πρώτα πρέπει να ομαδοποιούνται καταλλήλως οι χώροι εγκαταστάσεων. Τα κριτήρια επιλογής των χώρων εγκαταστάσεων προς εξέταση εντός μίας ομάδας μπορεί να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- διαφορές στο μέγεθος των θέσεων εγκαταστάσεων
- αποκλίσεις στις βάρδιες και στις εργασιακές διεργασίες
- πολυπολοκότητα των διεργασιών που αναλαμβάνονται στις θέσεις εγκαταστάσεων
- γεωγραφική κατανομή των θέσεων
- αποτελέσματα προηγούμενων ενεργειακών ελέγχων.

Οι ανωτέρω εφαρμοζόμενοι κανονισμοί ισχύουν επίσης για τους επαναλαμβανόμενους ενεργειακούς ελέγχους κάθε τέσσερα χρόνια. Οι θέσεις που έχουν ήδη αξιολογηθεί σε προηγούμενο έλεγχο δεν θα πρέπει να υπόκεινται σε επανέλεγχο, εφ' όσον δεν έχουν υποστεί τροποποίηση, ανακαίνιση ή αλλαγή χρήσης και εφ' όσον υπάρχουν άλλες, μη ακόμα εξετασθείσες θέσεις που παραμένουν στα σχηματισθέντα συγκροτήματα.

Τα μαθήματα και τα συμπεράσματα στις ελεγχόμενες θέσεις εγκαταστάσεων και οι πιθανές προτάσεις για μέτρα ενεργειακής απόδοσης πρέπει να ισχύουν και για τις άλλες θέσεις που δεν έχουν ακόμα ελεγχθεί.

Τα κριτήρια προσδιορισμού εκάστης ομάδας και των χώρων προς έλεγχο πρέπει να δικαιολογούνται και να τεκμηριώνονται στα έγγραφα του ενεργειακού ελέγχου. Τα έγγραφα αυτά πρέπει να καταστούν σαφές τον βαθμό συμβατότητας των αποτελεσμάτων με τις άλλες ελεγχθείσες και μη ελεγχθείσες θέσεις σε κάθε σχηματισμένο συγκρότημα,

### 4.2.3 Άλλα είδη ελέγχων

#### Το πρότυπο ENISO 50002

Το πρότυπο ENISO 50002 «ενεργειακοί έλεγχοι» δίνει ειδικότερους ορισμούς αναφορικά με τον βαθμό λεπτομέρειας, ακρίβειας και επιμέλειας ενός ενεργειακού ελέγχου και διακρίνει τρεις τύπους ελέγχων ανάλογα με τις ανάγκες ενός οργανισμού. Οι τρεις αυτοί τύποι ελέγχου παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα Α.1 του προτύπου.

Ο τύπος ελέγχου του προτύπου ENISO 50002 δεν συνιστά απόλυτη απαίτηση αλλά οι οργανισμοί μπορεί να προσαρμόσουν το επίπεδο λεπτομέρειας ενός ενεργειακού ελέγχου μεταξύ των τύπων 1 έως 3 ώστε να ταιριάζει στις ανάγκες του οργανισμού. Ο τύπος 1 παριστάνει το ελάχιστο επίπεδο λεπτομέρειας ενώ το επίπεδο 3 το μέγιστο.

#### Επίπεδα ενεργειακών ελέγχων κατά ASHRAE (2011)

Η Αμερικάνικη Ένωση Μηχανικών Θέρμανσης/ Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE) ορίζει τρία επίπεδα ελέγχων για τα κτίρια του τριτογενούς τομέα. Κάθε επίπεδο «κτίζει» επάνω στο προηγούμενο. Καθώς αυξάνουν οι δυσκολίες του ελέγχου, τόσο αυξάνει το βάθος της αξιολόγησης, η ποσότητα των συλλεγόμενων δεδομένων και ο βαθμός λεπτομέρειας στην έκθεση ελέγχου. Αυτή η προσπάθεια μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη εξοικονόμηση.

**Επίπεδο I :** Περιπατητική (walk-through)ή Προκαταρκτική Ανάλυση

Ο έλεγχος εντοπίζει δυνατότητες εξοικονόμησης μηδενικού ή χαμηλού κόστους. Περιλαμβάνει δράσεις όπως μία αξιολόγηση των λογαριασμών ενέργειας και μία συνοπτική επιθεώρηση του κτιρίου.

**Επίπεδο II :** Ανάλυση ενεργειακών καταγραφών και τεχνικών

Οι έλεγχοι ενεργειακών καταγραφών και τεχνικών εντοπίζουν ευκαιρίες χαμηλού ή μηδενικού κόστους και προτείνουν ΜΕΕ (Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας) σύμφωνα με τις χρηματοδοτικές ικανότητες και τις ευκαιρίες επεμβάσεων εξοικονόμησης εντάσεως κεφαλαίου. Οι έλεγχοι επιπέδου II περιλαμβάνουν ανάλυση σε βάθος των ενεργειακών εξόδων, των χρήσεων ενέργειας και χαρακτηριστικών του κτιρίου καθώς και μία πιο λεπτομερή καταγραφή για την χρήση ενέργειας στο κτίριο.

**Επίπεδο III :** Λεπτομερής ανάλυση των Επεμβάσεων Εντάσεως Κεφαλαίου

Οι έλεγχοι (συντά αποκαλούμενοι ως έλεγχοι «επενδυτικής στάθμης») παρέχουν στέρεες προτάσεις και χρηματοδοτική ανάλυση μεγάλων κεφαλαιουχικών επενδύσεων. Πέραν των δραστηριοτήτων των ελέγχων I και II, οι έλεγχοι επιπέδου III περιλαμβάνουν παρακολούθηση, συλλογή δεδομένων και τεχνική ανάλυση.

Ο ενεργειακός ελεγκτής θα συνεργαστεί με την επιχείρηση ώστε να κατανοήσει τους επιχειρησιακούς στόχους και τον διαθέσιμο προϋπολογισμό και θα βοηθήσει την επιχείρηση να προσδιορίσει το επίπεδο ελέγχου που χρειάζεται. Σε μικρότερες εγκαταστάσεις όπου δεν υπάρχει σχέδιο ή προϋπολογισμός για σημαντικές κεφαλαιακές ανακαινίσεις ή βελτιώσεις, ένας έλεγχος επιπέδου I μπορεί να φέρει αποτελέσματα ώστε να αξίζει τον κόπο το κόστος του ελέγχου.

Πριν από τους ανωτέρω ενεργειακούς ελέγχους, υπάρχει και η Προκαταρκτική Ανάλυση Χρήσεων Ενέργειας (ΠΑΧΕ) η οποία είναι προαπαιτούμενου κάθε επιπέδου ελέγχου και συνιστά στοχευμένο έλεγχο ο οποίος δεν έχει αυστηρώς καθορισμένα επίπεδα προσπάθειας αλλά μπορεί να είναι χρήσιμη ή αναγκαία σε μερικές περιπτώσεις.

Η ΠΑΧΕ προηγείται του ενεργειακού ελέγχου σε ένα κτίριο. Με την ΠΑΧΕ αναλύεται ιστορικά η χρήση ενέργειας από τους παρόχους, οι αιχμές στην ζήτηση και το κόστος. Αναπτύσσεται ο Δείκτης Ενεργειακού Κόστους (ΔΕΚ) του κτιρίου (που εκφράζεται σε ευρώ ανά εμβαδόν κτιρίου ανά έτος), ο Δείκτης Ενεργειακής Χρήσης (ΔΕΧ) του κτιρίου (που εκφράζεται σε MJ/m<sup>2</sup> ή kWh/m<sup>2</sup> ανά έτος). Ο αναλυτής μετά συγκρίνει τον ΔΕΧ με τους αντίστοιχους δείκτες παρομοίων κτιρίων ώστε να εκτιμήσει το δυναμικό για βελτίωση των ενεργειακών επιδόσεων και να προσδιορίσει το κατά πόσο η περαιτέρω τεχνική μελέτη και ανάλυση είναι δυνατόν να επιφέρουν σημαντική εξοικονόμηση. Εξετάζονται μηνιαία στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας και τις αιχμές ή, εάν υπάρχουν, στοιχεία μετρήσεων ανά τέταρτο τής ώρας του παρόχου ενέργειας και προσδιορίζονται δυνατότητες βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης ή τροποποίησης της συμπεριφοράς των χρηστών.

### **4.3 Ο χαρακτήρας της μεθόδου: από τα βραχυπρόθεσμα σε μεσοπρόθεσμα**

#### **4.3.1 Γενικά**

Όπως προκύπτει και από τον ορισμό της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ (βλέπε παρ. 1.1) ο ενεργειακός έλεγχος πρωτίστως παρέχει τριών ειδών αποτελέσματα :

- α' Αναλυτική καταγραφή και κατανόηση των χαρακτηρισμών και του επιμερισμού των καταναλώσεων ενέργειας σε μία βιομηχανική ή εμπορική δραστηριότητα ή εγκατάσταση, στις επιμέρους χρήσεις
- β' κατάλογο προτεινόμενων οικονομικά αποδοτικών επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας προς υλοποίηση και
- γ' οριοθέτηση προτεινόμενων επεμβάσεων –επενδύσεων προς περαιτέρω ανάλυση και μελέτη :

Για την καλύτερη αξιοποίηση των διατιθέμενων πόρων (αμοιβή και χρόνος ενεργειακού ελέγχου) αλλά κυρίως, για τον άμεσο περιορισμό της σπατάλης, ο ενεργειακός έλεγχος πρέπει να ακολουθεί μία συστηματική προσέγγιση προσανατολισμένη σταθερά προς το αποτέλεσμα. Όπως γίνεται διεθνώς αποδεκτό, θα πρέπει να αρχίζει πάντα από την οριοθέτηση και τεκμηρίωση των προφανών επεμβάσεων οι οποίες είναι άμεσης οικονομικής απόδοσης και να πορεύεται σταδιακά προς την αναλυτικότερη εξέταση των χρήσεων ενέργειας και την τεκμηρίωση επενδύσεων μέσο μακροπρόθεσμης απόδοσης. Π.χ. πριν την αναβάθμιση ή την αντικατάσταση του καυστήρα του λέβητα, προηγείται η επισκευή των διαρροών του δικτύου ατμού, η σωστή και τακτική ρύθμιση του καυστήρα ή εγκαταστάσεων (κλιματισμός, φωτισμός, κλπ) σε σχέση με τις ανάγκες της λειτουργίας.

Μία πλήρης και ενδελεχής μελέτη για το σύνολο των επεμβάσεων και επενδύσεων, συχνά επιφέρει σημαντική απώλεια χρόνου, με αποτέλεσμα να συνεχίζεται η σπατάλη και η αντίστοιχη απώλεια εισοδήματος. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση των επενδύσεων βραχυπρόθεσμης απόδοσης, όπου συχνά καθυστερούν ή ματαιώνονται υπέρ άλλων επενδύσεων μεσομακροπρόθεσμης απόδοσης, προκαλώντας έτσι σημαντικές απώλειες εισοδήματος σε μόνιμη βάση.

Για τους λόγους αυτούς, ο έλεγχος διεξάγεται σε στάδια. Με τον συνοπτικό έλεγχο εντοπίζονται τα μέτρα άμεσης απόδοσης και οριοθετείται το αντικείμενο του εκτενούς ελέγχου. Ο τελευταίος εντοπίζει και τεκμηριώνει τις επεμβάσεις μεσοπρόθεσμης απόδοσης και παράλληλα εντοπίζει τις μεσομακροπρόθεσμες επενδύσεις που χρήζουν περαιτέρω τεκμηρίωσης και μελέτες. Τέλος το στάδιο της ενεργειακής μελέτης τεκμηριώνει επακριβώς την σκοπιμότητα των κεφαλαιουχικών επενδύσεων και συμβάλει στην βέλτιστη σχεδίαση τους.

Κάθε στάδιο ελέγχου χαράζει νέους στόχους για το πρόγραμμα εξοικονόμησης ενέργειας ενός συγκροτήματος εγκαταστάσεων. Η υλοποίηση των στόχων αυτών συμβάλλει στην εξοικονόμηση πόρων, μέρος των οποίων χρηματοδοτούνται οι επεμβάσεις του επόμενου σταδίου.

Ανεξαρτήτως όμως σταδίου, ο ενεργειακός έλεγχος πρέπει ο αυτός καθ' εαυτός να είναι οικονομικά ανταποδοτικός. Η έκταση και το βάθος του ελέγχου θα πρέπει να δικαιολογείται από την εκτιμώμενη εξοικονόμηση σε κάθε επίπεδο ελέγχου και όχι να γίνεται αιτία επιβάρυνσης του οργανισμού. Η οικονομική «απόσβεση» του ελέγχου συχνά γίνεται εντός τους έτους διεξαγωγής του, λόγω της εντοπισμού και εφαρμογής διαχειριστικών μέτρων πρακτικά μηδενικού κόστους.

#### **4.3.2 Συνοπτικός ενεργειακός έλεγχος**

Ο συνοπτικός ενεργειακός έλεγχος είναι απαραίτητος σε κάθε αρχική προσπάθεια ενεργειακού ελέγχου και συλλογής των σχετικών στοιχείων. Μπορεί να διαρκεί μία έως δύο μέρες για ένα μικρό σχετικά συγκρότημα και μπορεί να φθάσει σε 5 έως 10 μέρες για τις μεγάλες βιομηχανικές μονάδες.

Ο συνοπτικός έλεγχος στηρίζεται σε διαθέσιμα στοιχεία και δεν απαιτεί πολύπλοκες μετρήσεις. Εξαρτάται περισσότερο από την εμπειρία και την ικανότητα του ελεγκτή να εντοπίζει τις κυριότερες δυνατότητες για νοικοκύρεμα και τεχνολογικό εκσυγχρονισμό μίας εγκατάστασης ή μίας υπηρεσίας.

Τα τυπικά βήματα του συνοπτικού ενεργειακού ελέγχου, τα οποία περιγράφονται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 13, περιλαμβάνουν:

(α) Συνεντεύξεις και συλλογή πληροφοριών. Ο ελεγκτής συλλέγει γραπτές ή προφορικές πληροφορίες από το λογιστήριο, την διοίκηση, τα τεχνικά στελέχη και τους χειριστές και τους συντηρητές των εγκαταστάσεων.

Κύριος στόχος εδώ είναι η κατ' αρχήν εκτίμηση των ενεργειακών μεγεθών (κατανάλωση, αξία) σε επίπεδο συγκροτήματος, καθώς και σε επίπεδο επιμέρους μονάδων και ενεργοβόρων συσκευών. Ένας δεύτερος στόχος της φάσης αυτής είναι ο σχηματισμός μίας πρώτης εικόνας για το επίπεδο της διαχειριστικής ικανότητας και πρακτικής του συγκροτήματος.

(β) Σύντομη αυτοψία στον χώρο του συγκροτήματος. Ο ελεγκτής εντοπίζει τις προφανείς περιπτώσεις σπατάλης ή πλημμελούς λειτουργία / συντήρησης όπως διαρροές δικτύων, χαλασμένες μονώσεις, έλλειψη διαδικασιών συντήρησης, ρύθμιση θερμοκρασίας χώρων με ανοιχτά παράθυρα, κ.λ.π.

Τυπικά σημεία ελέγχου και κατευθυντήριες οδηγίες τον εντοπισμό ευκαιριών εξοικονόμησης ενέργειας δίδονται στο Κεφάλαιο 13 του παρόντος οδηγού.

(γ) Ανάλυση των ενεργειακών μεγεθών. Ο ελεγκτής προβαίνει σε προκαταρκτική ανάλυση των ενεργειακών αναγκών της επιχείρησης ανά τελική μορφή ή φορέα ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, βαρύ πετρέλαιο, ελαφρύ πετρέλαιο, υγραέριο, κλπ).

Επίσης προβαίνει σε ένα πρώτο επιμερισμό των καταναλώσεων αυτών ανά τομέα τελικής χρήσης, στηριζόμενος κυρίως στη συλλογή υπαρχόντων στοιχείων και πρόχειρες εκτιμήσεις. Οι τομείς επιμερισμού καθορίζονται με βάση το είδος των επεμβάσεων, των οποίων την τεκμηρίωση επιδιώκει ο ελεγκτής. Μία τυπική ανάλυση τομέων δίδεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Ο επιμερισμός γίνεται τόσο σε φυσικές μονάδες κατανάλωσης (πχ kWh) όσο και σε αξία. Προσεγγιστικές μέθοδοι εκτίμησης των ενεργειακών καταναλώσεων δίδονται στο Κεφάλαιο 7

Πίνακας 4.1 : Τυπική ανάλυση χρήσεων ενέργειας

Ηλεκτρική ενέργεια	
ψύξη/συμπίεστές	θερμότητα διεργασιών
αντλίες/ανεμιστήρες	φωτισμός
κίνηση μεταφορικών μηχανών	πεπιεσμένος αέρας/συμπίεστές
ηλεκτροχημικές διεργασίες	ηλεκτρικές συσκευές/μηχανήματα
θερμότητα καυσίμων	
θέρμανση χώρων	άμεση θερμότητα διεργασιών
θέρμανση ζεστού νερού χρήσης	αναγωγικά καύσιμα
παραγωγή ατμού ηλεκτροπαραγωγής	παραγωγή ατμού διεργασιών

(δ) Αξιολόγηση επεμβάσεων και συγγραφή έκθεσης. Με βάση τα στοιχεία της αυτοψίας και την ανάλυση στο εδάφιο (γ) ανωτέρω ο ελεγκτής προβαίνει σε μία πρώτη αξιολόγηση των επιμέρους επεμβάσεων με γνώμονα κυρίως την προσδοκώμενη εξοικονόμηση και το ύψος της απαιτούμενης δαπάνης. Οι επεμβάσεις παραθέτονται με σαφήνεια και οι άμεσες προτεραιότητας προτείνονται για υλοποίηση. Επίσης οριοθετείται το αντικείμενο του εκτενούς ελέγχου και ακολουθεί η προκαταρκτική αξιολόγηση των προτεινόμενων επενδύσεων.

#### 4.3.3 Εκτενής ενεργειακός έλεγχος

Ο εκτενής έλεγχος συνήθως έπεται του συνοπτικού αλλά μπορεί και να εκτελεστεί χωρίς να έχει προηγηθεί ο συνοπτικός έλεγχος. Ανάλογα με το μέγεθος, τον χαρακτήρα και την πολυπλοκότητα της παραγωγικής διαδικασίας, ο εκτενής έλεγχος μπορεί να χρειαστεί αρκετές εβδομάδες για να ολοκληρωθεί.

Κατά τον εκτενή έλεγχο, εκτός από τα υπάρχοντα στοιχεία, συλλέγονται νέα μετρητικά δεδομένα εφ' όσον απαιτηθεί, προκειμένου να καταρτιστούν τα ενεργειακά ισοζύγια με περισσότερη ακρίβεια στις ενεργοβόρες μονάδες ή εγκαταστάσεις. Οι μετρήσεις αφορούν τόσο την παρεχόμενη ενέργεια τελικής χρήσης όσο και το βαθμό απόδοσης μίας συγκεκριμένης μονάδας ή εγκατάστασης. Π.χ. μετρείται η κατανάλωση ατμού σε μία

παραγωγική μονάδα, ο βαθμός απόδοσης του λέβητα ή η θερμοκρασία των τοιχωμάτων ενός φούρνου.

Ο πρώτος αντικειμενικός στόχος του εκτενούς ελέγχου είναι η ακριβής εκτίμηση των μηνιαίων ή ετήσιων καταναλώσεων ενέργειας σε κάθε ενεργοβόρα εγκατάσταση (ή αλλιώς σε κάθε ενεργοβόρα χρήση) και η συσχέτιση αυτών με τα αντίστοιχα μεγέθη της παραγωγής ή την παραγόμενη ωφέλιμη ενέργεια ή με άλλους παράγοντες προσαρμογής που επηρεάζουν καθοριστικά τις εν λόγω καταναλώσεις, όπως η ποιότητα των υλικών, οι κλιματικές συνθήκες ή η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών.

Προκειμένου να κάνει την εκτίμηση αυτή, ο ελεγκτής επιλέγει την πλέον πρόσφορη μέθοδο, αξιοποιώντας στο μέγιστο δυνατό βαθμό τα υφιστάμενα στοιχεία. Εφ' όσον είναι εγκατεστημένοι αξιόπιστοι μετρητές ενέργειας, η εκτίμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά χρήση γίνεται με βάση τις ενδείξεις των οργάνων αυτών. Όμως τέτοιοι μετρητές συνήθως απουσιάζουν. Έτσι ο ελεγκτής θα πρέπει να εκτιμά την ενέργεια βάσει μετρήσεων ισχύος ανά στάθμη φορτίου της μηχανής ή της εγκατάστασης (απορροφώμενη τελική ενέργεια ανά ώρα) και ωρών λειτουργίας ανά στάθμη φορτίου (παράγραφος 7.5).

Οι μετρούμενες ή εκτιμώμενες καταναλώσεις ενέργειας συσχετίζονται με τους καθοριστικούς παράγοντες που τις επηρεάζουν (π.χ. με την παραγόμενη ωφέλιμη ενέργεια ή με τον όγκο παραγωγής στη μονάδα του χρόνου). Με βάση τις συσχετίσεις αυτές ο ελεγκτής διαμορφώνει τον τύπο της γραμμής βάσης (Baseline) και εκτιμά τον βαθμό απόδοσης ή την ειδική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση ενέργειας ως συνάρτηση των παραγόντων αυτών (παράγραφος 7.4).

Για την εκτίμηση των ωρών λειτουργίας ανά στάθμη φορτίου, ο ελεγκτής κάνει χρήση των στοιχείων των βιβλίων λειτουργίας και των ενδείξεων των συναφών ωρομετρητών. Εφ' όσον απαιτείται, ο ελεγκτής προβαίνει επιλεκτικά σε ωρομέτρηση ανά στάθμη ισχύος.

Στη συνέχεια καταρτίζονται τα ενεργειακά ισοζύγια για τις κυριότερες μονάδες και εγκαταστάσεις ή/ και για το συγκρότημα στο σύνολο του. Ο ελεγκτής εκτιμά (α) το πως κατανέμεται η τελική ενέργεια στις επιμέρους χρήσεις σε μηνιαία βάση ή ετήσια βάση και (β) το πόσο αποδοτικά αξιοποιείται η ενέργεια στις επιμέρους εγκαταστάσεις και ποιες είναι οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας.

Ο δεύτερος αντικειμενικός στόχος του εκτενούς ενεργειακού ελέγχου είναι να εντοπίσει, να ιεραρχήσει και να τεκμηριώσει όλες τις ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες ικανοποιούν τα κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων του φορέα και δύνανται να υλοποιηθούν άμεσα.

Τα βήματα του εκτενούς ενεργειακού ελέγχου έχουν επιγραμματικά ως εξής:

- α. Σχεδιασμός του ελέγχου.
- β. Συλλογή διαθέσιμων στοιχείων παραγωγής και ενεργειακών καταναλώσεων
- γ. Επιτόπου επίσκεψη και αυτοψία συγκροτήματος
- δ. Διεξαγωγή μετρήσεων για την συλλογή πρόσθετων στοιχείων
- ε. Υπολογισμός ισοζυγίων μάζας και ενέργειας
- στ. Εντοπισμός επεμβάσεων διαχειριστικού εκσυγχρονισμού

- ζ. Εντοπισμός επεμβάσεων βραχυπρόθεσμης απόδοσης
- η. Εντοπισμός επεμβάσεων μεσοπρόθεσμης απόδοσης
- θ. Εντοπισμός επεμβάσεων μακροπρόθεσμης απόδοσης
- ι. Συγγραφή έκθεσης (ιεράρχηση επεμβάσεων, σχέδιο δράσης).

Αναλυτικότερη περιγραφή των διαδικασιών, απαιτήσεων και κατευθύνσεων για τα ανωτέρω βήματα δίνεται στα κεφάλαια που ακολουθούν.

#### **4.4 Ανασκόπηση του Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας**

##### **4.4.1 Γενικά**

Κατά τον ενεργειακό έλεγχο, ο ελεγκτής συνήθως δεν περιορίζεται πλέον σε αμιγώς τεχνικά θέματα και ευκαιρίες, αλλά είναι δυνατόν να επεκτείνει τον έλεγχό του και στο σύστημα διαχείρισης το οποίο επικρατεί στον ελεγχόμενο οργανισμό. Προς αυτή την κατεύθυνση ο έλεγχος εντοπίζει :

- το πεδίο και τους στόχους της ασκούμενης διαχειριστικής πολιτικής, τον ενεργειακό υπεύθυνο και ομάδα διαχείρισης ενέργειας όπως αυτά έχουν διαμορφωθεί στο περιβάλλον του οργανισμού,
- τα εφαρμοζόμενα πρότυπα ή μεθοδολογία
- τους διατιθέμενους πόρους και τον μετρητικό εξοπλισμό.

Στη Προσθήκη IV δίδεται ένα ερωτηματολόγιο με βαθμολογία το οποίο έχει εκδώσει ο Οργανισμός CARBONTRUST αναφορικά με την αξιολόγηση και διαβάθμιση του συστήματος διαχείρισης ενέργειας ενός Οργανισμού.

Τέλος στο Παράρτημα Z δίδονται παραδείγματα με υπολογιστικά εργαλεία εφαρμογής της ανασκόπησης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας και της παρακολούθησης των στόχων.

##### **4.4.1 Πεδίο και στόχοι της ασκούμενης διαχειριστικής πολιτικής**

Το πεδίο εφαρμογής και οι στόχοι της ασκούμενης διαχειριστικής πολιτικής αποτελούν συνήθως μία ρητή δήλωση της διοίκησης, με την οποία δεσμεύεται να οριοθετεί το πεδίο εφαρμογής της πολιτικής της στο σύνολο ή σε μέρος των δραστηριοτήτων της επιχείρησης (εν προκειμένω για την ενεργειακή διαχείριση με βάση το νόμο 4342 για μεγαλύτερο του 90% της επιχείρησης) και να μειώνει συνεχώς την κατανάλωση ενέργειας με σχέδια δράσης που ανανεώνει σε ετήσια βάση, σύμφωνα με τις εκάστοτε διοικητικές και νομικές προτεραιότητες ή τις τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις (βλέπε παράδειγμα δήλωσης ενεργειακής πολιτικής της ΠΑΕ - Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας)

[http://www.rae.gr/site/file/categories\\_new/about\\_rae/actions/decision/2014/2014\\_A0676?p=files&i=0](http://www.rae.gr/site/file/categories_new/about_rae/actions/decision/2014/2014_A0676?p=files&i=0).

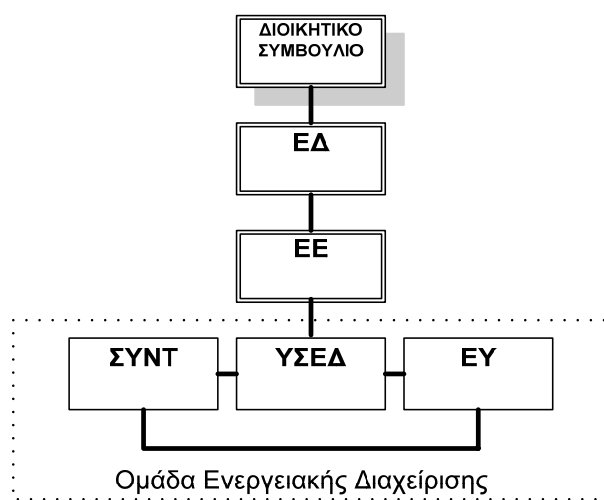
##### **4.4.2 Ενεργειακός υπεύθυνος και ομάδα διαχείρισης ενέργειας - Διαθέσιμοι πόροι και μετρητικός εξοπλισμός**

Οι πόροι που πρέπει να διαθέσει μία επιχείρηση που έχει δεσμευτεί να εφαρμόσει σύστημα ενεργειακής διαχείρισης είναι :

1. Θέσεις εργασίας (πχ ενεργειακούς υπευθύνους ή ομάδες ενεργειακής διαχείρισης) με κατάλληλη εκπαίδευση ή με δέσμευση για περαιτέρω συνεχή εκπαίδευση σε θέματα

εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας. Το ανθρώπινο δυναμικό είναι αναντικατάστατο σε διαχειριστική αξία, και αποτελεί την αχίλλειο πτέρνα μιας συστηματικής ενεργειακής διαχείρισης, αφού μπορεί ανάλογα με τον επαγγελματικό ζήλο, είτε να εξελίξει την συστηματική διαχείριση σε ανώτερα επίπεδα, είτε ακόμα και να την απαξιώσει, ενώ απαιτείται η αгаστή συνεργασία του συγκεκριμένου προσωπικού με τον ενεργειακό ελεγκτή. Ενδεικτικό οργανόγραμμα διαχείρισης ενέργειας, το οποίο δύναται να προσαρμόζεται ανάλογα με την εκάστοτε διοικητική δομή της επιχείρησης, δίδεται στο σχήμα 4.1:

Σχήμα 4.1 : Ενδεικτικό οργανόγραμμα ενεργειακής διαχείρισης



**ΕΔ:** Εκπρόσωπος Διοίκησης (συμμετέχει στις άμεσες αποφάσεις για δράσεις χαμηλού κόστους και εισηγείται τα σχέδια δράσης για το κάθε νέο έτος προς το Διοικητικό Συμβούλιο, ή την επικοινωνία προς τα έξω)

**ΕΕ:** Εσωτερικός Επιθεωρητής (ελέγχει και τεκμηριώνει την ορθή λειτουργία του συστήματος και την τήρηση των αρχείων και των δεσμεύσεων της διοίκησης για κάθε έτος)

**ΥΣΕΔ:** Υπεύθυνος Συστήματος Ενεργειακής Διαχείρισης (ευθύνεται για την τήρηση των αρχείων του συστήματος για την υλοποίηση των μέτρων – έχει συνήθως διοικητικές αρμοδιότητες)

**ΕΥ:** Ενεργειακός Υπεύθυνος (τεχνικός σύμβουλος - πχ μηχανικός - και υπεύθυνος για την συνεχή παρακολούθηση, τις τεχνικές αξιολογήσεις, τα προτεινόμενα έργα ΕΞΕ, την αξιολόγηση των δεδομένων, την ενημέρωση του ΣΥΝΤ και την ενεργειακή ανασκόπηση – ενδεικτικά καθήκοντα ΕΥ για το δημόσιο τομέα υπάρχουν στην ΚΥΑ Δ6/Β/14826 ΦΕΚ1122/2008)

**ΣΥΝΤ:** Συντηρητής (υπεύθυνος για την πρακτική υλοποίηση των μέτρων και την συνεχή ενημέρωση του ΕΥ και του ΣΥΝΤ για θέματα ενεργειακού ενδιαφέροντος)

Εδώ διευκρινίζεται ότι ο ενεργειακός ελεγκτής που επιθεωρεί μία επιχείρηση με συστηματική διαχείριση συνεργάζεται συνακόλουθα κυρίως με τον ΕΥ της επιχείρησης, αλλά και με τον ΥΣΕΔ, προκειμένου για την επαλήθευση των στοιχείων του εν λόγω συστήματος.

2. Οργάνωση της διοίκησης που ολοκληρώνεται μέσα από αναδιαμόρφωση του τρόπου αρχειοθέτησης και της τακτικής αξιολόγησης των ενεργειακών δεδομένων σε σχέση με τα παραγωγικά δεδομένα σε αντίστοιχες τακτικές αναφορές (είτε με απλές φόρμες excel, είτε με κατάλληλα λογισμικά ή ακόμα και με ειδικές πλατφόρμες διαχείρισης δεδομένων – βλέπε παράγραφο 4.4.3). Η οργάνωση, η διαχείριση και η αξιολόγηση των δεδομένων είναι και αυτές πολύ σημαντικές, δεδομένου ότι αποτελούν το τελικό παραδοτέο σε μια διοίκηση που έχει επενδύσει στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Διαχειριστικά

είναι σκόπιμο να γίνεται ανασκόπηση κατά το τέλος μίας περιόδου που ολοκληρώνεται ως προς την συνάφεια των δεδομένων, πχ στο τέλος της περιόδου ψύξης, όπου ξεκινάει η περίοδος θέρμανσης, ώστε ο κύκλος των δεδομένων να ταυτίζεται με την λειτουργία των συστημάτων H/M και κατά συνέπεια με τα δεδομένα και τις εξισώσεις βάσης. Ενδεικτικά παρατίθεται υπόδειγμα ετήσιας ενεργειακής ανασκόπησης του συστήματος ISO50001 στο κτήριο της ΡΑΕ για την περίοδο Οκτ2014-Σεπτ2015:

[http://www.rae.gr/site/file/categories\\_new/about\\_rae/factsheets/2016/gen/3003?p=file&i=0](http://www.rae.gr/site/file/categories_new/about_rae/factsheets/2016/gen/3003?p=file&i=0)

3. Συστήματα καταγραφής ενέργειας που κατά το δυνατόν να συνδέονται με τα υφιστάμενα συστήματα αυτοματισμών διαχείρισης της παραγωγής. Τα συστήματα καταγραφής αναλύονται διεξοδικότερα στην επόμενη παράγραφο, επειδή με αυτά έρχεται συνήθως σε άμεση επαφή ο ενεργειακός ελεγκτής, σε περιπτώσεις που δεν είναι διαθέσιμες ολοκληρωμένες αναφορές ή ακόμα και ενεργειακά ή παραγωγικά δεδομένα (επιμέρους υποσυστημάτων ή ετήσια ενεργειακή ανασκόπηση της επιχείρησης κλπ).

#### 4.4.3 Συστήματα απόκτησης δεδομένων και επιτήρησης ενέργειας (SCADA)

Τα συστήματα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) αφορούν την κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας, και αποτελούνται από τοπικούς ελεγκτές (controllers), που ελέγχουν επί μέρους στοιχεία και μονάδες μιας εγκατάστασης, και είναι συνδεδεμένοι με τον Master Station (Κεντρικό Σταθμό). Ο κεντρικός σταθμός είναι μόνιμα συνδεδεμένος με ένα H/Y, ώστε να επικοινωνεί τα δεδομένα που συλλέγει από την εγκατάσταση σε ένα πλήθος χρηστών H/Y πχ μέσω ενός τοπικού δικτύου (LAN), ή/και να μεταδίδει τα δεδομένα της εγκατάστασης σε απομακρυσμένα σημεία μέσω internet, ή μέσω του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου, ή μέσω μίας ιδιόκτητης αφιερωμένης γραμμής, ή ακόμα και μέσω κάποιου ασύρματου δικτύου τηλεπικοινωνιών.

Το πρώτο σημείο της επίσκεψης του ελεγκτή στον χώρο μιας επιχείρησης κατά τον ενεργειακό έλεγχο πρέπει να είναι το σύστημα διαχείρισης και τηλεμετρίας των H/M εξοπλισμών (BMS- Building Management System) ή/και της καταγραφής της ενέργειας (EMS – Energy Management System), ή αλλιώς συνηθίζεται σύμφωνα με τα ανωτέρω να λέγεται μόνο με τις λέξεις BMS ή BEMS ή SCADA. Μέσα από τα συστήματα επιτήρησης και καταγραφής είναι λοιπόν δυνατή η αναγνώριση του διαγράμματος ροής ενέργειας όλων των χρήσεων και των γραμμών παραγωγής. Τα βασικά ζητούμενα του ενεργειακού ελέγχου κατά την αναγνώριση αυτή είναι :

- 1) το πού (σε ποια χρήση, σε ποια γραμμή παραγωγής ή σε ποιά μηχανήμα) ,
- 2) το πώς (το προφίλ ισχύος στο χρόνο για όλα τα ανωτέρω, και σε σχέση με άλλα μεγέθη πχ θερμοκρασία, πίεση, παροχή κλπ),
- 3) το πόσο (σε ενέργεια και σε ισχύ),
- 4) το πότε χρειαζόμαστε την ενέργεια μέσα στην συγκεκριμένη εγκατάσταση και
- 5) σε σχέση με τι (πχ με την εξωτερική θερμοκρασία και την πληρότητα σε ότι αφορά τα παραλιακά ξενοδοχεία, ή το πλήθος των παραγόμενων προϊόντων για την βιομηχανία ).

Με βάση τα ανωτέρω, αν έχουμε μόνο δεδομένα επί παραδείγματι όπως :

- i) Τιμολόγια ενέργειας που μας δίνουν στίγμα μόνο για το πόσο, αλλά καμία πληροφορία για το που (ποιά επιμέρους γραμμή παραγωγής ή χρήση), το πώς, και το πότε (σχετικά με τις αιχμές),
- ii) Ένα αρχείο δεδομένων ενέργειας 15λέπτου, που συνήθως διατίθενται από τον πάροχο για τους μεγάλους καταναλωτές (μέσης τάσης), μας δίνει ένα στίγμα για το πόσο και το πότε, αλλά δεν ξέρουμε το πού (δεν γνωρίσουμε την συμμετοχή της κατανάλωσης των χρήσεων στο χρόνο) και το πώς (δεν υπάρχει προφίλ ισχύος για εντοπισμό των αιχμών).
- iii) Πολλοί ταξιδιωτικοί πράκτορες απαιτούν από τους ξενοδόχους να μετρούν κατά μέσο όρο τον δείκτη Κατανάλωσης ενέργειας ανά Διανυκτέρευση. Ωστόσο από μόνος του ο δείκτης αυτός δεν δείχνει πρακτικά τίποτα, χωρίς τη συσχέτισή του με άλλες μεταβλητές, όπως πχ αν δεν ξέρουμε, ποιά ημέρα αφορά, τι εξωτερική θερμοκρασία είχαμε τότε, μπήκε μπροστά το 2ο υδρόψυκτό Chiller, που παράγει ζεστό νερό από ανάκτηση, άνοιξε και η 3η πτέρυγα του ξενοδοχείου, και πως επηρεάζουν οι τελευταίοι δύο παράγοντες τον σταθερό όρο της γραμμής βάσης (baseline) κλπ.

Συνακόλουθα τα συστήματα επιτήρησης και καταγραφής ενέργειας είναι η κύρια πηγή δεδομένων, και η ανάλυση των δεδομένων αυτών είναι ο μόνος δρόμος για την κατανόηση της καταναλωτικής συμπεριφοράς της επιχείρησης. Συχνά σε πολλές επιχειρήσεις ή δημόσιες υπηρεσίες το BMS θεωρείται ότι είναι απλώς ένας H/Y, που καταγράφει τα ενεργειακά στοιχεία χωρίς αυτό να προκαλεί υποχρέωση ανάλυσης και επεξεργασίας των στοιχείων αυτών. Συνέπεια αυτής της παθητικής συμπεριφοράς είναι η μη προσαρμογή των χρονοπρογραμμάτων ή των σημείων ρύθμισης των ενεργειακών συσκευών (set-points) στις εκάστοτε συνθήκες και η άσκοπη κατανάλωση ενέργειας. Το BMS αποτελεί τον εγκέφαλο των H/M εξοπλισμών, αφού συνδέεται με όλα τα αισθητήρια, τα κέντρα ελέγχου των εξοπλισμών και παίρνει αποφάσεις για την κατάστασή τους. Ως εκ τούτου για να μπορεί να λειτουργεί αυτόβουλα και κατά περίπτωση, χρειάζεται μεγάλο επίπεδο γνώσεων και διαχειριστικής ικανότητας ελέγχου των καταστάσεων, που τελικά είναι πρακτικά αδύνατο προς το παρόν, να αντικαταστήσει την θετική επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονίσουμε ότι τα δεδομένα από τα συστήματα καταγραφής αποκτούν προστιθέμενη αξία, όταν δύναται να αναπαρίσταται η διακύμανσή των τιμών όλων των σχετικών μεταβλητών που αφορούν μία συγκεκριμένη ενεργειακή χρήση ή μία γραμμή παραγωγής (θερμοκρασία, κατάσταση on/off των κυκλοφορητών, των ηλεκτροβανών και του καυστήρα, ποσοστό ανοίγματος των εξωτερικών περσίδων, ή των τριόδων, ή ταχύτητας του ανεμιστήρα με ρυθμιστή στροφών σε μία ΚΚΜ, της κατανάλωσης του καυσίμου ή της ηλεκτρικής ενέργειας, και το προφίλ ισχύος) στον άξονα του χρόνου **ταυτόχρονα στο ίδιο χρονικό παράθυρο**. Εξίσου σημαντική είναι η αρχειοθέτηση των δεδομένων σε μορφή .csv ή .xlsx ή .txt, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους σε γραφήματα διακύμανσης, διασποράς, πιτών, αραχνοειδών ή ραβδογραφημάτων (βλέπε σχήματα στο Παράρτημα Ζ) . Με τον τρόπο αυτό γίνεται εύκολα κατανοητή η συμπεριφορά της κατανάλωσης ενέργειας και η εμφάνιση των αιχμών, καθώς και ο εντοπισμός τυχόν απωλειών, δυσλειτουργιών, και λοιπών παθογενειών, την στιγμή ακριβώς που συμβαίνουν, ενώ συνακόλουθα προκύπτει οφθαλμοφανώς, είτε η ανάγκη για βελτιστοποίηση των χρονοπρογραμμάτων ή των set-points, είτε η ρύθμιση και ο επαναπρογραμματισμός των υφιστάμενων αυτοματισμών, είτε ακόμα και η συντήρηση ή η αντικατάσταση μέρους των H/M συστημάτων.

Σε περίπτωση δε που η επιχείρηση διαθέτει συστηματική διαχείριση ενέργειας και τεχνικές εκθέσεις με επεξεργασμένα στοιχεία και γραφικές παραστάσεις, το έργο του ελεγκτή περιορίζεται, στο να διασταυρώσει τα στοιχεία με την πραγματικότητα, και να προτείνει τυχόν ελλείψεις, ή βελτιώσεις, είτε στο πεδίο της αποδοτικότητας των Η/Μ εξοπλισμών, είτε στο πεδίο του BMS.

## 5 Μεθοδολογία ανάλυσης δεδομένων

### 5.1 Γενικά

Η συλλογή στοιχείων αποτελεί στην ουσία την πρώτη φάση του ενεργειακού ελέγχου. Τα απαιτούμενα στοιχεία έχουν ήδη οριοθετηθεί κατά την φάση του σχεδιασμού και συνδέονται στενά με τους διατυπωμένους στόχους και τα κριτήρια του ελέγχου. Σε όλες τις περιπτώσεις το είδος των συλλεγομένων στοιχείων διαμορφώνεται κατά την πορεία του ελέγχου, ανάλογα με τις ειδικότερες απαιτήσεις που προκύπτουν.

Στο Οδηγό αυτό περιλαμβάνονται κατευθυντήρες οδηγίες και απαιτήσεις για την συλλογή στοιχείων οι οποίες αφορούν τις δύο τυπικές κατηγορίες των ενεργειακών ελέγχων: τον συνοπτικό και τον εκτενή.

Οι οδηγίες για τον εκτενή έλεγχο υποδιαιρούνται στις ακόλουθες ενότητες :

- Γενικά στοιχεία
- Στοιχεία παραγωγής
- Στοιχεία καταναλώσεων ενέργειας
- Στοιχεία εγκαταστάσεων
- Στοιχεία οργάνωσης

Σε περίπτωση συμπληρωματικών στόχων ή διαφορετικών κριτηρίων, ο ελεγκτής θα πρέπει να τροποποιήσει ανάλογα τις τυπικές οδηγίες που δίδονται εδώ, τεκμηριώνοντας αντιστοίχως την κάθε τροποποίηση, συμπλήρωση ή αφαίρεση.

### 5.2 Μέτρηση της χρήσης ενέργειας

#### 5.2.1 Χρονικό βήμα και χαρακτηριστικά της κατανάλωσης

Η παράγραφος αυτή καλύπτει τις απαιτήσεις για την μέτρηση της χρήσης ενέργειας σε συγκρότημα, η οποία καταχωρείται στο ερωτηματολόγιο αποτύπωσης.

(α) Χρονικό βήμα και χρονικό διάστημα. Το σύνηθες χρονικό βήμα των μετρήσεων είναι ο ένας μήνας, μια και στο βήμα αυτό συνήθως εκδίδονται οι λογαριασμοί των Εταιρειών Κοινής Ωφέλειας (ΕΚΩ). Στην περίπτωση αυτή, το χρονικό διάστημα των μετρήσεων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δώδεκα συνεχών μηνών. Εφ' όσον οι μήνες αυτοί δεν αντιπροσωπεύουν την τυπική κατανάλωση, το διάστημα αυτό θα πρέπει να επεκτείνεται μέχρι και 36 μήνες.

Εναλλακτικά το χρονικό βήμα των μετρήσεων μπορεί να είναι ωριαίο, ημερήσιο, τριμηνιαίο ή ετήσιο ανάλογα με τα διατιθέμενα στοιχεία και τις απαιτήσεις τεκμηρίωσης των στόχων εξοικονόμησης ενέργειας. Στις περιπτώσεις αυτές ο ελεγκτής αποφασίζει αναλόγως για το ελάχιστο χρονικό διάστημα των απαιτούμενων μετρήσεων.

(β) Μη αποθηκευόμενη ενέργεια. Η ποσότητα κάθε προμηθευόμενης και μη αποθηκευόμενης μορφής ενέργειας, όπως είναι η ηλεκτρική, θα πρέπει να μετράται με τον ίδιο μετρητή βάση του οποίου διεκπεραιώνεται η προμήθεια. Ποσότητες ενέργειας που αναφέρονται στα τιμολόγια προμήθειας γίνονται αποδεκτές.

(γ) Αποθηκευόμενη ενέργεια. Η κατανάλωση αποθηκευόμενης μορφής ενέργειας (π.χ. υγρά καύσιμα) θα υπολογίζεται με βάση τόσο τις προμηθευόμενες ποσότητες όσο και τις μεταβολές των αντίστοιχων αποθεμάτων, κατά το χρονικό βήμα αναφοράς (π.χ. ένας μήνας).

(δ) Διαδικασίες προμήθειας υγρών καυσίμων. Τα υγρά καύσιμα παρέχονται σε διάφορες ποιότητες και μετρώνται σε λίτρα. Η τιμή ανά λίτρο εξαρτάται από την ποιότητα, την θέση του συγκροτήματος και τον όγκο της προμήθειας. Η τιμή αυτή θα πρέπει να εκτιμάται τόσο σε επίπεδο προμήθειας όσο και σε ετήσια βάση ως ο μέσος όρος για το σύνολο των αγοραζόμενων ποσοτήτων.

Τα αποθέματα των δεξαμενών αποθήκευσης θα πρέπει να ελέγχονται πριν και μετά την κάθε παραλαβή και να συσχετίζονται με την προμηθευόμενη ποσότητα ενέργειας.

(ε) Διαδικασίες διακίνησης των υγρών καυσίμων. Εντός του συγκροτήματος, θα πρέπει να ελέγχεται ο τρόπος διακίνησης των υγρών καυσίμων στις επιμέρους παραγωγικές μονάδες. Εφ' όσον υπάρχουν διαθέσιμοι μετρητές, θα πρέπει να καταγράφονται αναλυτικά οι καταναλισκόμενες ποσότητες υγρών καυσίμων στις μονάδες αυτές.

Αλλιώς ο ελεγκτής θα πρέπει να καταγράφει τις διαδικασίες διακίνησης των υγρών καυσίμων και να προβαίνει σε αρχικές εκτιμήσεις ως προς τον καταμερισμό της χρήσης των καυσίμων στις επιμέρους διεργασίες με βάση τις τεχνικές ισοζυγίων ενέργειας και μετρήσεων που περιγράφονται στα επόμενα κεφάλαια.

(στ) Διαδικασίες προμήθειας και διακίνησης στερεών καυσίμων. Κάθε παραλαβή στερεών καυσίμων, θα πρέπει να ελέγχεται ως προς την ποσότητα, την ποιότητα και την τιμή μονάδος του καυσίμου. Επίσης θα πρέπει κατ' ελάχιστο να καταγράφεται το βάρος, η μέση θερμογόνος ικανότητα και η υγρασία του καυσίμου παραλαβής, όπως αυτές δίδονται από τον προμηθευτή ή μετρώνται σε εργαστήριο του φορέα του συγκροτήματος.

Για τον καταμερισμό της χρήσης στέρεων καυσίμων στις επιμέρους μονάδες, θα πρέπει να γίνεται ευρεία χρήση των διαθέσιμων μετρητικών στοιχείων για το βάρος ή τον όγκο του διακινούμενου καυσίμου. Σε περίπτωση έλλειψης τέτοιων στοιχείων, ο ελεγκτής θα πρέπει να κάνει εκτιμήσεις για τις επιμέρους χρήσεις με βάση τις τεχνικές ισοζυγίων ενέργειας και μετρήσεων που περιγράφονται στα επόμενα κεφάλαια.

(ζ) Ιδιοπαραγόμενη ενέργεια. Όλες οι μορφές ιδιοπαραγόμενης ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια, η θερμική ενέργεια από καύση παραπροϊόντων ή ανάκτηση θερμότητας, η συμπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, κ.λ.π. θα πρέπει να μετρώνται με την χρήση μετρητών θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Η ακρίβεια των μετρήσεων αυτών θα πρέπει να τεκμηριώνεται.

Σε περίπτωση μη ύπαρξης τέτοιων μετρητών ο ελεγκτής θα πρέπει να κάνει εκτιμήσεις για την ιδιοπαραγόμενη ενέργεια με βάση τις τεχνικές που περιγράφονται στα επόμενα κεφάλαια.

## 5.2.2 Μονάδες ενέργειας

(α) Όλες οι καταναλισκόμενες ποσότητες ενέργειας εκφράζονται με βάση τις φυσικές μονάδες μέτρησης τους (π.χ. kg, lt, m<sup>3</sup>, kWh, κλπ).

(β) Επίσης εκφράζονται σε μία ενιαία μονάδα ενέργειας, το GJ ή την kWh, με βάση τους συντελεστές μετατροπής οι οποίοι δίδονται στην σελίδα 11 του Παραρτήματος Α. Οι συντελεστές αυτοί εκφράζουν την θερμογόνο ικανότητα της κάθε μορφής ενέργειας για τις κατηγορίες καυσίμων. Σε περίπτωση όπου υπάρχουν ακριβή στοιχεία για την θερμογόνο

ικανότητα μίας μορφής ενέργειας, ο ελεγκτής επιλέγει κατά την κρίση του τον ανάλογο συντελεστή μετατροπής.

(γ) Για την έκφραση της κατανάλωσης ενέργειας σε μηνιαία βάση, θα πρέπει να γίνει χρονικός καταμερισμός των ποσοτήτων ενέργειας που αναγράφονται στα τιμολόγια προμήθειας (ΔΕΗ, πετρέλαιο, υγραέριο, κλπ). Ο καταμερισμός μπορεί να γίνει με απλές μεθόδους (π.χ. με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής ή επέκτασης) ή ακόμα με βάση συναρτήσεις χρονολογικής συσχέτισης της καταναλισκόμενης ενέργειας με άλλες χρονοσειρές (π.χ. μέγεθος παραγωγής, εξωτερική θερμοκρασία, κλπ). Μερικές τεχνικές ανάλυσης δίδονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Ο ελεγκτής επιλέγει τη μέθοδο του χρονικού καταμερισμού μετά από αιτιολόγηση.

### 5.2.3 Η περίοδος βάσης και η περίοδος απολογισμού

Από τα συλλεχθέντα ιστορικά στοιχεία, ο ενεργειακός ελεγκτής επιλέγει τα στοιχεία εκείνης της χρονικής περιόδου η οποία είναι τα πλέον αντιπροσωπευτικά και αναλογικά του τρόπου ενεργειακής κατανάλωσης για μία συγκεκριμένη εγκατάσταση ή υπηρεσία. Η περίοδος αυτής καλείται περίοδος «ενεργειακής κατανάλωσης βάσης» (baseline energy consumption).

Αντίθετα μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, η περίοδος καλείται περίοδος «ενεργειακής κατανάλωσης απολογισμού» (reporting period) και τα συλλεγόμενα στοιχεία χρησιμοποιούνται για να ελεγχθεί η επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας.

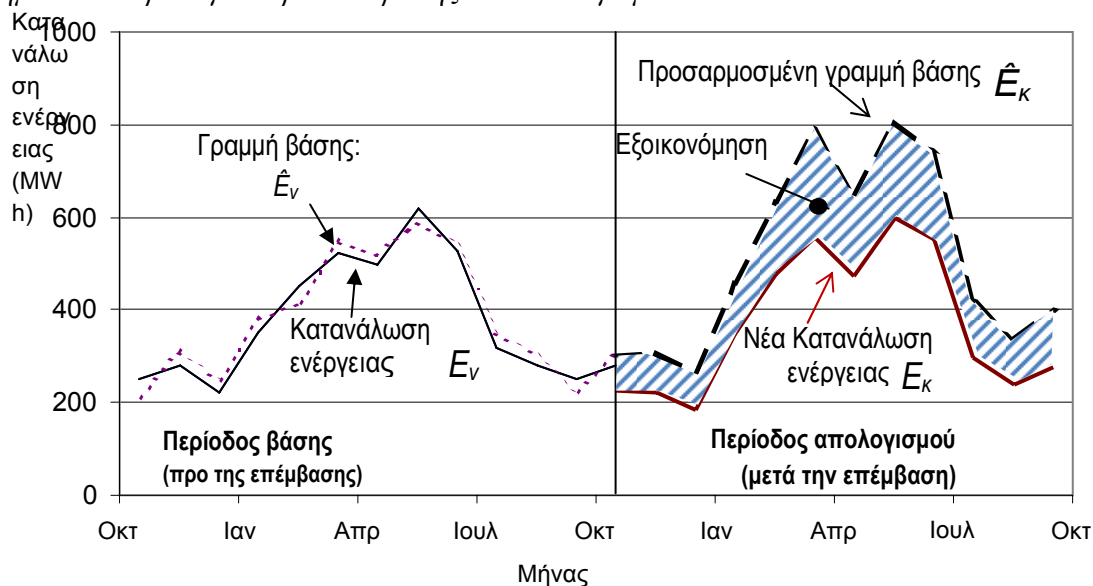
Κατά την περίοδο της κατανάλωσης βάσης, τα στοιχεία της κατανάλωσης ενέργειας συχνά συσχετίζονται με τα αντίστοιχα στοιχεία για τους παράγοντες προσαρμογής, δηλαδή τους παράγοντες εκείνους που επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την κατανάλωση ενέργειας. Η συσχέτιση αυτή συνήθως είναι γραμμική και για τούτο η μαθηματική συνάρτηση της συσχέτισης καλείται «τύπος της γραμμής βάσης» της ενεργειακής κατανάλωσης βάσης.

Στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί δίδονται εν είδη γραφικής παραστάσεως τα ανωτέρω. Στο σχήμα αυτό δίδονται μηνιαίες μετρήσεις καταναλώσεων ενέργειας πριν (περίοδος βάσης) και μετά (περίοδος απολογισμού) την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Κατά την περίοδο βάσης και με κυανή συνεχή γραμμή δίδονται οι μετρήσεις καταναλώσεων ενώ με λεπτή διακεκομμένη γραμμή δίδονται οι προβλέψεις του «τύπου γραμμής βάσης» για την αρχική γραμμή βάσης.

Κατά την περίοδο απολογισμού και με ερυθρά γραμμή δίδονται οι νέες μετρήσεις καταναλώσεων ενέργειας ενώ με μέλανα διακεκομμένη γραμμή δίδεται η γραμμή βάσης της καταναλώσεως κατά την περίοδο απολογισμού. Η γραμμή βάσης αυτή έχει κατασκευαστεί με βάση τον τύπο της γραμμής βάσης και με την χρήση των μετρήσεων για τους παράγοντες προσαρμογής (π.χ. η μέση θερμοκρασία του μήνα).

Με την γραμμοσκιασμένη περιοχή δίδεται η εκτιμώμενη εξοικονόμηση ενέργειας η οποία επήλθε έναντι της καταναλώσεως βάσης.

Σχήμα 5.1 : Ορολογία περιόδων βάσης και απολογισμού



### 5.3 Συλλογή δεδομένων της περιόδου βάσης

#### 5.3.1 Γενικά

Η συνηθέστερη πηγή δεδομένων για τις ενεργειακές καταναλώσεις μίας εγκατάστασης είναι οι λογαριασμοί των εταιρειών κοινής ωφέλειας (ΕΚΩ). Οι χρεώσεις των εταιρειών αυτών είναι κατά κανόνα τριών ειδών :

- α) Χρεώσεις ενέργειας
- β) Χρεώσεις ισχύος
- γ) Πάγιες χρεώσεις

Με τον όρο «χρέωση ενέργειας» περιλαμβάνονται όλες οι χρεώσεις ενός λογαριασμού οι οποίες είναι ευθέως ανάλογες τις καταναλώσεως ενέργειας για την περίοδο τιμολόγησης.

Με τον όρο «χρέωση ισχύος» περιλαμβάνονται οι χρεώσεις οι οποίες είναι ανάλογες του ρυθμού παροχής ενέργειας δηλαδή της μέσης ισχύος τροφοδοσίας. Η χρέωση αυτή αφορά τις δαπάνες υποδομής των ΕΚΩ για την κατασκευή και συντήρηση των δικτύων διανομής, οι οποίες επιμερίζονται στον κάθε καταναλωτή με βάση τον βαθμό απασχόλησης των δικτύων αυτών, μέσα σε μία περίοδο χρέωσης.

Στις πάγιες χρεώσεις περιλαμβάνονται οι ελάχιστες χρεώσεις ανά περίοδο τιμολόγησης καθώς και τα τέλη τρίτων. Τυπικά τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου δίδονται στην Προσθήκη ΙΙΙ.

#### 5.3.2 Τιμολόγια Εταιρειών Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι εταιρείες διακρίνουν συνήθως τα τιμολόγια τους με βάση τον συντελεστή χρησιμοποίησης (Σ.Χ.) ο οποίος ορίζεται ως εξής :

$$\text{Σ.Χ.} = \frac{\text{Κατανάλωση Περιόδου}}{(24 * \text{Ημέρες Περιόδου Κατανάλωσης} * \text{ΚΜΖ})}$$

όπου ΚΜΖ = καταμετρηθείσα μέγιστη ζήτηση οποιαδήποτε ώρα της ημέρας ή νύχτας.

Έτσι εάν βιομηχανικός ή εμπορικός καταναλωτής έχει Σ.Χ. <30%, πρέπει να επιλέξει το αντίστοιχο τιμολόγιο χαμηλού Σ.Χ το οποίο έχει φθηνότερη χρέωση ισχύος και ακριβότερη χρέωση ενέργειας έναντι του τιμολογίου υψηλού Σ.Χ. . Στον Πίνακα που ακολουθεί δίδονται τα τρέχοντα τιμολόγια ΔΕΗ (Ιούλιος 2016) στην Μέση Τάση του δικτύου.

Πίνακας : Τιμολόγια Μέσης Τάσης της ΔΕΗ (Ιούλιος 2016)

Ζώνη της ημέρας	Βιομηχανικά Τιμολόγια ΒΧ ή ΒΥ				Γενικό τιμολόγιο : ΒΓ :	
	ΒΧ : Σ.Χ.<30% Χρέωση:		ΒΥ : Σ.Χ.<30% Χρέωση:		Εμπορικό/βιομηχανικό Χρέωση:	
	Ισχύος (€/kW)	Ενέργειας (€/kWh)	Ισχύος (€/kW)	Ενέργειας (€/kWh)	Ισχύος (€/kW)	Ενέργειας (€/kWh)
7:00-23:00 τις εργάσιμες μέρες όλο το έτος	5,50		8,0		6,0	
7:00-23:00 τις εργάσιμες μέρες όλο το έτος		0,07124		0,05903		0,06428
23:00-7:00 τις εργάσιμες μέρες και όλες τις ώρες του Σαβ/κου και των αργιών του έτους		0,05657		0,04614		0,05062

όπου η χρεωστέα ζήτηση (XZ) λαμβάνεται ως συνάρτηση της Μέγιστης Ζήτησης (MZ) που καταγράφηκε μεταξύ 7:00 έως 23:00 καθ' όλη την περίοδο του λογαριασμού ως εξής:

δια Σ.Χ. < 0,3 :  $XZ = 1,18 * MZ * \text{Ημέρες Περιόδου Κατανάλωσης}/30$

δια Σ.Χ. > 0,3 :  $XZ = MZ * \text{Ημέρες Περιόδου Κατανάλωσης}/30$

Επιπρόσθετα χρεώνεται και το κόστος εκπομπών CO<sub>2</sub> ίσο με 0,00356 €/kWh το οποίο αναπροσαρμόζεται τακτικά με βάση τις διεθνείς χρηματιστηριακές τιμές εξαγοράς ρύπων (€/τόνο εκπομπής CO<sub>2</sub>).

Εκτός των ανωτέρω χρεώσεων δια τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας, χρεώσεις υπάρχουν και για την μεταφορά και διανομή του ρεύματος με πάγιους συντελεστές (Ιούλιος 2016):

Χρέωση μεταφοράς : χρέωση ισχύος : 1,236 €/kWκαι ανά μήνα

Λοιπές χρεώσεις : 0,0044 €/kWh

Χρέωση διανομής : χρέωση ισχύος : 1,125 €/kWκαι ανά μήνα

χρέωση ενέργειας : 0,0029 €/kWh

ETMEAP (χρέωση εκπομπών CO<sub>2</sub>) : 0,01012 €/kWh

Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ) : 0,01790 (Εμπορικό) ή 0,00669 (Βιομηχανικό) €/kWh

Ο υπολογισμός των Χρεώσεων Χρήσης του Συστήματος Μεταφοράς ανωτέρω γίνεται με εφαρμογή του εξής μαθηματικού τύπου:

$$XXSM = 1,236 \text{ (€/kW/μήνα)} \times (MA) \times (\text{Ημέρες λογαριασμού})/30$$

όπου MA είναι η καταμετρηθείσα Μέγιστη ζήτηση στη ζώνη Αιχμής (11:00-14:00)

Αντίστοιχα ο υπολογισμός των Χρεώσεων Χρήσης του Συστήματος Διανομής ανωτέρω γίνεται ως εξής:

$$\text{XXΣΔ} = 1,125 (\text{€/kW/μήνα}) \times (\text{MA}) \times (\text{Ημέρες λογαριασμού})/30 + \text{kWh} \times 0,0029 (\text{€/kWh})/\text{συνφ}$$

όπου kWh είναι η κατανάλωση ενέργειας της περιόδου του λογαριασμού και συνφ, είναι ο συντελεστής ισχύος ο οποίος χαρακτηρίζει την ύπαρξη αέργων φορτίων εις την εγκατάσταση του καταναλωτή.

Από την δομή αυτή του τιμολογίου μέσης τάσης της ΔΕΗ διαπιστώνεται ότι ο ενεργειακός ελεγκτής οφείλει να γνωρίζει άριστα τις επιμέρους χρεώσεις του τιμολογίου των Ηλεκτρικών Εταιρειών προκειμένου να είναι σε θέση να προτείνει οικονομικώς ανταποδοτικά μέτρα :

- α) μείωσης των εξόδων ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της επιλογής κατάλληλου τιμολογίου,
- β) περικοπής των αιχμών της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και αντίστοιχη μείωση των χρεώσεων ισχύος και
- γ) μείωσης των αέργων φορτίων (συνφ) με αντίστοιχη μείωση χρεώσεων ισχύος.

### 5.3.3 Τιμολόγια καυσίμων

Τα τιμολόγια καυσίμων χαρακτηρίζονται από χρεώσεις ενέργειας οι οποίες δίδονται κατά κανόνα σε φυσικές μονάδες (λίτρα ή τόνοι για το πετρέλαιο, κυβικά μέτρα για το φυσικό αέριο, κιλά για το υγραέριο, κλπ). Επομένως όταν είναι γνωστή η τιμή μονάδας και κατωτέρα θερμογόνο δύναμη (ΚΘΔ), η θερμιδική τιμή του καυσίμου λαμβάνεται ως :

$$\text{Θερμιδική τιμή καυσίμου} = \text{τιμή μονάδας (π.χ. €/λίτρο)} / \text{ΚΘΔ (kWh/λίτρο)}$$

**Εφαρμογή :** Εάν η τιμή του πετρελαίου κίνησης είναι 1,4 ευρώ ανά λίτρο και λαμβάνοντας ΚΘΔ πετρελαίου ίση με 11,75 kWh/kg (Πίνακας 3.2) και πυκνότητα πετρελαίου  $\rho = 0,85$  kg/λίτρο τότε η ΚΘΔ σε λίτρα ισούται με  $11,75 \times 0,85 = 10,0$  kWh/λίτρο και η θερμιδική τιμή ίση με 0,14 €/kWh.

Τα τιμολόγια φυσικού αερίου των εταιρειών παροχής αερίου (ΕΠΑ), διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με την χρήση όπως οικιακή (θέρμανση, μαγειρέμα), αυτόνομη θέρμανση, κλιματισμός, επαγγελματική, ή συμπαραγωγή.

Μερικές κατηγορίες τιμολογίων μπορεί να περιλαμβάνουν και μία πάγια χρέωση ισχύος, ανάλογα με το μέγεθος της ετήσιας κατανάλωσης φυσικού αερίου ή την καταγραφείσα μέση ζήτηση φυσικού αερίου σε m<sup>3</sup>/h κατά την περίοδο τιμολόγησης.

Σε όλες όμως τις περιπτώσεις η χρέωση ενέργειας του φυσικού αερίου γίνεται με βάση την κιλοβατώρα ανωτέρας θερμογόνου δυνάμεως. Τούτο γίνεται διότι σήμερα υπάρχει πλέον τεχνολογία πλήρους εκμεταλλεύσεως της ΑΘΔ σε λέβητες και καυστήρες συμπυκνώσεως, ήτοι λέβητες όπου τα εξερχόμενα καυσαέρια έχουν χαμηλή θερμοκρασία (<50°C) με αποτέλεσμα οι περιεχόμενοι υδρατμοί στο καυσαέριο να έχουν συμπυκνωθεί και επομένως να έχουν αποδώσει την θερμότητα συμπυκνώσεως.

Σε περίπτωση όμως κοινών λεβήτων και καυστήρων με υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων (>60°C) θα πρέπει η ενέργεια ΑΘΔ να μετατρέπεται στην ωφέλιμη θερμότητα με βάση την ΚΘΔ και αντιστοίχως να ευρίσκεται η θερμιδική τιμή του φυσικού αερίου.

**Εφαρμογή.** Το τιμολόγιο T3 της ΕΠΑ Θεσσαλονίκης δια τον Ιανουάριο του 2006 έδιδε τα εξής στοιχεία δια ένα πελάτη επαγγελματικής χρήσεως:

- κατανάλωση αερίου 500 Nm<sup>3</sup>,

- $A\Theta\Delta = 11,3814 \text{ kWh/Nm}^3$
- χρέωση ενέργειας  $A\Theta\Delta = 0,040856936 \text{ €/kWh}$  και
- συνολική χρέωση  $= 500 \times 11,3814 \times 0,040856936 = 232,5 \text{ €}$

Πολλαπλασιάζοντας με τον συντελεστή μετατροπής 1,11 (βλέπε ----) η χρέωση ενέργειας σε επίπεδο ΚΘΔ προκύπτει ίση με 0,04535119896 €/kWh.

#### 5.3.4 Άλλες πηγές στοιχείων

Άλλες πιθανές πηγές αναζήτησης στοιχείων καταναλώσεων και χρήσεων ενέργειας περιλαμβάνουν :

- μετρήσεις ενέργειας από επιμέρους μετρητές στην εγκατάσταση
- μετρήσεις ισχύος και ωρών λειτουργίας επιμέρους εγκαταστάσεων και μηχανών, όπως καταγράφονται από το σύστημα εποπτικού ελέγχου και καταγραφής στοιχείων (ΣΕΕΚΣ)
- στοιχεία ισχύος από πινακίδες εξοπλισμών και μηχανημάτων καθώς και μετρήσεις ή εκτιμήσεις ωρών λειτουργίας
- εκτιμήσεις καταναλώσεων ενέργειας με ή χωρίς δυναμική προσομοίωση της λειτουργίας ενός συστήματος
- στοιχεία καταγραφών παραγωγής ή συνεργείων συντήρησης εξοπλισμού, εσωτερικών ή εξωτερικών.
- εκθέσεις ενεργειακών ελέγχων ή τεχνικές μελέτες
- καταγραφές προμήθειας ή χρήσεως ενέργειας

Σε κάθε περίπτωση πρέπει τα συλλεγόμενα στοιχεία να αντιστοιχούν πλήρως στο χρονικό βήμα της περιόδου βάσης (π.χ. ένας μήνας) και σε περιπτώσεις αποκλίσεων, να γίνονται κατάλληλες αναγωγές στο χρονικό βήμα επιλογής.

### 5.4 Χρονολογικά διαγράμματα ενέργειας και δείκτες ενεργειακής επίδοσης

#### 5.4.1 Γενικά

Τα χρονολογικά διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας από μία μονάδα ή ένα συγκρότημα παριστάνει γραφικά την ισχύ μίας μορφής ενέργειας ως συνάρτηση του χρόνου, για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο

Κατασκευάζονται με βάση τα στοιχεία που καταγράφονται από τους μετρητές παροχής (μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, πετρελαίου, καυσίμων αερίων, κλπ). Παρέχουν άμεση πληροφόρηση και επιτρέπουν πρώτες εκτιμήσεις για τον τρόπο και τους κύριους τομείς χρήσης της ενέργειας σε ωριαία, ημερήσια και εποχιακή βάση. Κατά την διάρκεια των εκτεταμένων ελέγχων, θα πρέπει να κατασκευάζονται για όλους τους διαθέσιμους μετρητές και κατ' ελάχιστον στις ακόλουθες περιπτώσεις :

- Χρονοδιάγραμμα ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία βάση
- Χρονοδιάγραμμα ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια ή μηνιαία βάση
- Χρονοδιάγραμμα καυσίμων σε ημερήσια βάση ή μηνιαία βάση

#### 5.4.2 Χρονοδιάγραμμα 24ωρης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

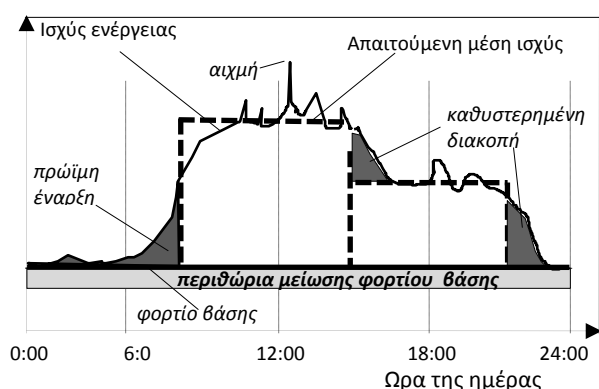
Κατασκευάζεται με βάση τα στοιχεία που καταγράφονται από τον μετρητή της ΔΕΗ κάθε τέταρτο της ώρας στην μέση τάση (ή σε ορισμένες περιπτώσεις και στην χαμηλή τάση) για τυπικές ημέρες της εβδομάδας και εποχές του έτους. Παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο χρήσης της τελικής ενέργειας (σχήμα 5.2) και ειδικότερα για την εκτίμηση των κάτωθι μεγεθών :

- της απαιτούμενης μέσης ισχύος ανά βάρδια,
- της αιχμής του ηλεκτρικού φορτίου (μέγιστο φορτίο του 24ώρου) και τα περιθώρια “ψαλιδισμού” αυτής,
- της ανίχνευσης της προέλευσης των επιμέρους αιχμών
- της σπατάλης ενέργειας λόγω πρώιμης έναρξης λειτουργίας των εγκαταστάσεων
- της σπατάλης ενέργειας λόγω της καθυστερημένης διακοπής και της λειτουργίας εν κενώ των εγκαταστάσεων
- του φορτίου βάσης και των περιθωρίων μείωσης του φορτίου αυτού, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της αυτοψίας,
- του συντελεστή φορτίου ( λόγος της αιχμής του φορτίου ως προς την συνολική κατανάλωση ενέργειας).
- της εν γένει προσαρμογής της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος στην προγραμματισμένη παραγωγή,
- της κατανάλωσης ηλεκτρισμού για επιμέρους φορτίου με συγκεκριμένο χρονικό προγραμματισμό.

Η απαιτούμενη μέση ισχύς ανά βάρδια σχεδιάζεται ως παρεμβολή στα στοιχεία του διαγράμματος, λαμβάνοντας υπόψη και το πρόγραμμα της παραγωγής για την κάθε βάρδια.

Με την υπέρθεση όλων των διαθέσιμων χρονοδιαγραμμάτων 24ωρης λειτουργίας, κατασκευάζεται η υπερβάλλουσα των ανωτάτων ορίων λειτουργίας (επονομαζόμενη *όρος*) καθώς και του φορτίου βάσης (κατώτατα όρια).

Σχήμα 5.2 : Χρονοδιάγραμμα 24ωρης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας



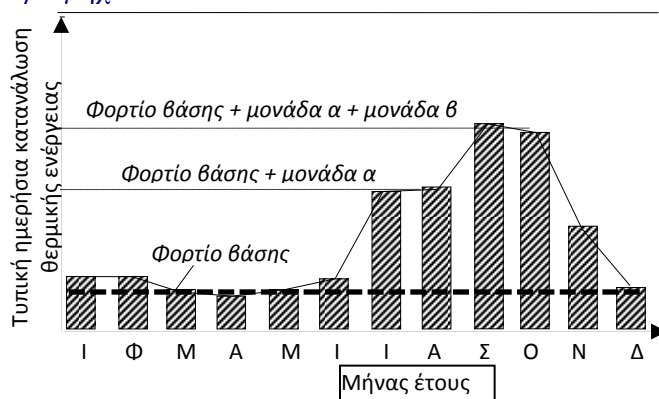
Με τα εν λόγω διαγράμματα, γίνεται μία πρώτη εκτίμηση των περιθωρίων εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ορθολογικότερης χρήσης αυτής. Επίσης παρέχονται σημαντικές πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας του συγκροτήματος και για τις

δυνατότητες καλύτερης προσαρμογής της λειτουργίας των εγκαταστάσεων στις απαιτήσεις και τον προγραμματισμό της παραγωγής.

### 5.4.3 Χρονοδιάγραμμα ημερήσιας κατανάλωσης θερμικής ενέργειας στη βιομηχανία

Κατασκευάζεται για τις τυπικές ημέρες της εβδομάδας ή του μήνα, με βάση τις ενδείξεις των μετρητών ή τους λογαριασμούς πληρωμών προς την ΔΕΗ και τους προμηθευτές. Παρέχει πρώτες εκτιμήσεις για το φορτίο βάσης και το μέγεθος των επιμέρους μονάδων ή εγκαταστάσεων που διακρίνονται από την εποχιακή τους λειτουργία.

Σχήμα 5.3 : Χρονοδιάγραμμα μέσης ημερήσιας/μηνιαίας κατανάλωσης θερμότητας σε βιομηχανία



Π.χ. σε μία βιομηχανία κονσέρβας, το εν λόγω χρονοδιάγραμμα υποδεικνύει την ποσότητα της θερμότητας που καταναλώνεται στο τμήμα ντομάτας, στο τμήμα ροδακίνου, ή στα υπόλοιπα τμήματα (Σχήμα 5.3).

Σε περίπτωση όπου τα παραγόμενα προϊόντα  $\Pi$  από την κάθε μονάδα μεταβάλλονται ανά μήνα, τότε υπολογίζεται η μέση ειδική κατανάλωση ενέργειας  $\varepsilon$  ανά παραγόμενο προϊόν με βάση τον τύπο:

$$\dots\dots\dots(\varepsilon_{\alpha} \Pi_{\alpha})_v + (\varepsilon_{\beta} \Pi_{\beta})_v + \dots\dots + (\Phi B)_v = K_v \quad (5.1)$$

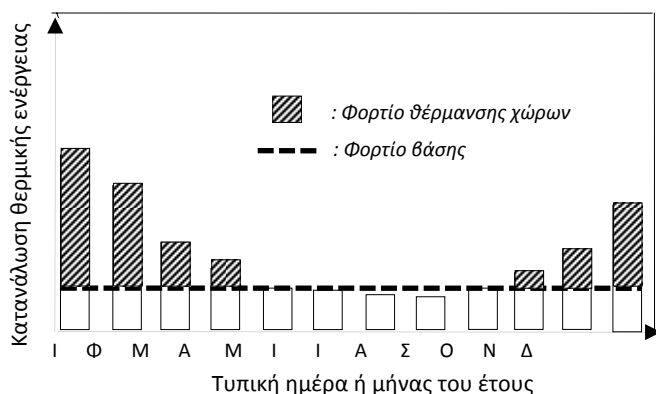
όπου :

- $\alpha, \beta, \gamma$  : δείκτες που χαρακτηρίζουν διαφορετικά προϊόντα ή μονάδες παραγωγής
- $v$  : δείκτης που χαρακτηρίζει την τυπική περίοδο κατανάλωσης (ημέρα ή τον μήνα του έτους).
- $\varepsilon$  : η ειδική κατανάλωση ενέργειας (kJ/ $\Pi$ )
- $\Pi$  : ο όγκος των παραγόμενων προϊόντων κατά την τυπική ημέρα ή μήνα (τεμάχια ή ποσότητα μάζας),
- $\Phi B$  : το φορτίο (κατανάλωση) βάσης, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα βοηθητικά φορτία, πλην των παραγωγικών (σε kJ). Η κατανάλωση αυτή δύναται να διαφέρει από μήνα σε μήνα,
- $K_v$  : η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά το χρονικό διάστημα  $v$  (σε KJ).

#### 5.4.4 Χρονοδιάγραμμα μέσης ημερήσιας κατανάλωσης θερμικής ενέργειας στο κτιριακό τομέα

Σε ένα κτιριακό συγκρότημα, το ημερήσιο θερμικό χρονοδιάγραμμα παρέχει την δυνατότητα εκτίμησης της απαιτούμενης θερμότητας για την θέρμανση των κτιριακών χώρων.

Σχήμα 5.4 : Μηνιαίο ή μέσο ημερήσιο θερμικό χρονοδιάγραμμα κτιριακού συγκροτήματος



Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4, η μέση ημερήσια ή μηνιαία απαίτηση θέρμανσης χώρων  $\Theta_{\Delta}$  προσδιορίζεται ανά μήνα μετά την αφαίρεση του θερμικού φορτίου βάσης το οποίο προσδιορίζεται από τους θερινούς μήνες.

Σημειωτέον ότι η ανωτέρω προσέγγιση αφορά μόνον την ζήτηση θερμότητας η οποία καλύπτεται από την θερμική ενέργεια των καυσίμων. Στην περίπτωση όπου η θέρμανση γίνεται με αντλίες θερμότητας ή με άλλες ηλεκτρικές πηγές, τότε, το φορτίο θέρμανσης θα πρέπει να προσεγγίζεται και από την πλευρά του χρονοδιαγράμματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο δείκτης ειδικής κατανάλωσης θερμότητας για την θέρμανσης χώρων μπορεί να διαμορφωθεί ως εξής :

$$\dots\dots\dots \epsilon_{\Theta X} = \Theta_{\Delta} / (A \times BH\Theta_{\Delta}) \quad (5.3)$$

όπου  $\Theta_{\Delta}$  είναι το φορτίο θέρμανσης χώρων,  $A$  είναι η θερμαινόμενη επιφάνεια και  $BH\Theta_{\Delta}$  είναι οι βαθμοημέρες θέρμανσης όπως ορίζονται στην επόμενη παράγραφο.

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται με βάση τα ιστορικά στοιχεία για την μηνιαία κατανάλωση καυσίμων και είναι κατάλληλος για την αξιολόγηση των ενεργειακών επιδόσεων κατά την χρήση της ενέργειας στο ίδιο κτίριο, χωρίς σημαντικές μεταβολές στον τρόπο χρήσης του κτιρίου και ειδικότερα στο ωράριο λειτουργίας. Η πληρότητα ή η έκταση των θερμαινόμενων χώρων του κτιρίου καλύπτεται μερικώς μέσω του παράγοντα  $A$

Η ειδική κατανάλωση θερμότητας για τα φορτία βάσης  $\epsilon_{\Theta X}$  εξαρτάται κυρίως από την έκταση των θερμαινόμενων χώρων  $A$ . Επίσης είναι δυνατόν να εξαρτάται από κάποιο δείκτη παραγωγικής δραστηριότητας  $\Pi$ .

Η επιλογή του δείκτη ειδικής κατανάλωσης θερμότητας θα πρέπει να αξιολογείται με βάση το κριτήριο της ελάχιστης διακύμανσης (ή των ελάχιστων τετραγώνων) των τιμών τις οποίες λαμβάνει για όλες τις τυπικές ημέρες ή μήνες που υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία κατανάλωσης. Οι εν λόγω τιμές θα πρέπει να παρουσιάζονται σε πινακοποιημένη ή γραφική μορφή. Γενικώς θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι δείκτης αυτός γίνεται αποδεκτός ως μέτρο ελέγχου της προόδου στον τομέα της εξοικονόμησης, από όλα τα αρμόδια στελέχη του συγκροτήματος.

#### 5.4.5 Οι βαθμομέρες θέρμανσης

Για την διαμόρφωση ενός δείκτη ειδικής κατανάλωσης θερμότητας για την θέρμανση χώρων εθχ, λαμβάνεται υπόψη η επιφάνεια των θερμαινόμενων χώρων A (σε m<sup>2</sup>) και οι βαθμομέρες θέρμανσης (BHΘ<sub>Δ</sub>) του χρονικού διαστήματος αναφοράς, όπου :

$$BH\Theta_{\Delta} = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24 \cdot N} (T_i - T_{h,k})_+ \approx N (T_i - \bar{T}_{\alpha})_+ \quad (\text{σε } ^\circ\text{C}) \quad (5.2)$$

T<sub>i</sub> : η θερμοκρασία αναφοράς των εσωτερικών χώρων (συνήθως λαμβάνεται ίση με 18 °C)

T<sub>h,k</sub> η ωριαία εξωτερική θερμοκρασία για τον χρονικό διάστημα αναφοράς N ημερών

$\bar{T}_{\alpha}$  : η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για το διάστημα αναφοράς (συνήθως μήνας) η οποία δημοσιεύεται από την EMY για κάθε μεγάλη πόλη της χώρας.

N: οι ημέρες που περιλαμβάνονται στο χρονικό διάστημα αναφοράς, το οποίο συνήθως λαμβάνεται ίσο με ένα ημερολογιακό μήνα, ή με όλη τη περίοδο θέρμανσης. Η τελευταία ορίζεται ως η περίοδος εκείνη, για όλες τις ημέρες της οποίας οι προσθετοί όροι του αθροίσματος των βαθμομερών παραμένουν θετικοί.

Σημειώνεται ότι ο υπολογισμός του αθροίσματος της εξίσωσης 5.2 γίνεται μόνο για τις ώρες εκείνες όπου η διαφορά θερμοκρασίας  $(T_i - T_{h,k})_+$  είναι θετική (εξ ου και ο δείκτης +). Ο υπολογισμός αυτός δεν είναι εύκολος διότι απαιτεί την αναλυτική γνώση των ωριαίων θερμοκρασιών καθ' όλη την χρονική περίοδο του διαστήματος αναφοράς. Για τον λόγο αυτό οι βαθμομέρες συνήθως υπολογίζονται προσεγγιστικά με το δεύτερο σκέλος της εξίσωσης 5.2, μόνο με χρήση της μέσης θερμοκρασίας της περιόδου αναφοράς και μόνο όταν  $(T_i - \bar{T}_{\alpha})_+ > 0$ . Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται στην Γερμανία και την ASHRAE (2001) καθώς και από την TOTEE 20701-3..

**Παράδειγμα:** Η μέση θερμοκρασία του μήνα Ιανουαρίου σε τέσσερις κλιματικά αντιπροσωπευτικές πόλεις της Ελλάδας δίδεται στην πρώτη γραμμή του πίνακα που ακολουθεί. Εάν ληφθεί ως τυπική θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου ίση με 18°C, υπολογίζονται βάσει του τύπου 5.2 οι βαθμομέρες θέρμανσης για τον μήνα Ιανουάριο:

Γραμμή	Μέγεθος	Φιλαδέλφεια (Αθήνα)	Μίκρα (Θεσσαλονίκη)	Ηράκλειο	Τρίπολη	Φλώρινα
1η	T <sub>M, IAN</sub> (°C)	8,7	5,3	12,1	5,1	0,5
2η	BHΘ <sub>IAN</sub> , (°C. ημέρες)	288	394	183	400	543

Η Βρετανική Μετεωρολογική Υπηρεσία προτείνει τον ακόλουθο τρόπο καλύτερης εκτίμησης των ημερησίων βαθμομερών θέρμανσης HBΘ με βάση τη μέγιστη T<sub>max</sub> και την Ελάχιστη T<sub>min</sub> μηνιαία θερμοκρασία :

$$\begin{aligned}
 \text{εάν } T_{max} \leq T_i & \quad \text{τότε HB}\Theta = T_i - (T_{min} + T_{max})/2 \\
 \text{εάν } T_{min} < T_i \text{ και } (T_{max} - T_i) < (T_i - T_{min}) & \quad \text{τότε HB}\Theta = (T_i - T_{min})/2 - (T_{max} - T_i)/4 \\
 \text{εάν } T_{max} > T_i \text{ και } (T_{max} - T_i) > (T_i - T_{min}) & \quad \text{τότε HB}\Theta = (T_i - T_{min})/4 \\
 \text{εάν } T_{min} > T_i & \quad \text{τότε HB}\Theta = 0
 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Στους πίνακες που ακολουθούν οι υπολογίζονται οι ημερήσιες (HBΘ) και η ετήσιες (BHΘ) βαθμοήμερες θέρμανσης (σε °C) με τρεις μεθόδους : α) Βρετανική μέθοδος (εξίσωση 5.3 και Πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3), β) Μέθοδος TOTEE 20701-3 (Πίνακας 5.5) και γ) Ενδιάμεση μέθοδος με χρήση αντί της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας την θερμοκρασία  $(T_{min}+T_{max})/2$ .

Παρατηρείται ότι οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων είναι σχετικά μικρές, με την Βρετανική μέθοδο να δίδει ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές.

Πίνακας 5.1 Μέσες ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες  $T_{min}$  (TOTEE 20701-3)

Σταθμός ΕΜΥ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελληνικό	7	7,2	8,4	11,5	15,8	20,2	22,9	22,9	19,7	15,6	12,1	8,8
Μίκρα	1,4	2,3	4,6	7,6	12,3	16,5	18,8	18,6	15,1	11	6,9	3
Ηράκλειο	9,1	9	9,7	11,9	15,1	19,1	21,7	21,9	19,4	16,6	13,5	10,8
Τρίπολη	0,9	1,2	2,5	4,9	8,2	11,9	14,3	14,5	11,6	8,3	4,9	2,8
Φλώρινα	-3,5	-1,7	1,3	5,1	9,2	12,5	14,4	14,2	11,2	6,9	2,5	-1,6

Πίνακας 5.2 Μέσες μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες  $T_{max}$  (TOTEE 20701-3)

Σταθμός ΕΜΥ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελληνικό	13,6	14,2	15,8	19,5	24,2	28,9	31,9	31,9	28,3	23,4	18,8	15,2
Μίκρα	9,3	11	14,3	19,2	24,5	29,3	31,6	31,3	27,2	21,3	15,4	10,9
Ηράκλειο	15,2	15,5	16,8	20,1	23,5	27,3	28,8	28,6	26,5	23,4	20,1	17
Τρίπολη	9,6	10,5	13	17,1	22,7	27,8	30,1	30,1	26,4	20,6	15,5	11,2
Φλώρινα	4,6	7,3	11,8	16,7	22	26,2	28,8	28,7	25,2	19	12,1	6,3

Πίνακας 5.3 HBΘ βάσει της Βρετανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας

Σταθμός ΕΜΥ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	BHΘ
Ελληνικό	7,7	7,3	5,9	2,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	2,8	6,0	1016
Μίκρα	12,7	11,4	8,6	4,9	1,4	0,4	0,0	0,0	0,7	2,7	6,9	11,1	1830
Ηράκλειο	5,9	5,8	4,8	2,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,7	4,1	778
Τρίπολη	12,8	12,2	10,3	7,0	3,7	1,5	0,9	0,9	1,6	4,2	7,8	11,0	2233
Φλώρινα	17,5	15,2	11,5	7,1	3,4	1,4	0,9	1,0	1,7	5,3	10,7	15,7	2760

Πίνακας 5.4 HBΘ με μέση μηνιαία θερμοκρασία  $= (T_{min}+T_{max})/2$

Σταθμός ΕΜΥ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	BHΘ
Ελληνικό	7,7	7,3	5,9	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	6,0	964
Μίκρα	12,7	11,4	8,6	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	6,9	11,1	1718
Ηράκλειο	5,9	5,8	4,8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	4,1	713
Τρίπολη	12,8	12,2	10,3	7,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	7,8	11,0	2027
Φλώρινα	17,5	15,2	11,5	7,1	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	10,7	15,7	2572

Πίνακας 5.5 HBΘ βάσει της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας από TOTEE 20701-3

Σταθμός ΕΜΥ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	BHΘ
Ελληνικό	7,7	7,4	5,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	6,0	947
Μίκρα	12,7	11,2	8,2	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	6,9	11,1	1676
Ηράκλειο	5,9	5,8	4,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	4,3	702
Τρίπολη	12,9	12,2	10,1	6,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	7,9	11,3	1967
Φλώρινα	17,5	15,3	11,3	6,5	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	11,0	15,8	2541

#### 5.4.6 Ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και βαθμομέρες ψύξης

Στον τομέα της βιομηχανίας, ισχύουν και εδώ οι διαπιστώσεις της παραγράφου 5.4.3. Σε ότι αφορά την περίπτωση των κτιρίων, διακρίνονται τρεις περιπτώσεις :

*Περίπτωση 1η: Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση χώρων.* Στην περίπτωση αυτή ισχύουν οι παρατηρήσεις της προηγούμενης παραγράφου. Εδώ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ενδεχόμενη παράλληλη χρήση καυσίμων πηγών για την θέρμανση χώρων.

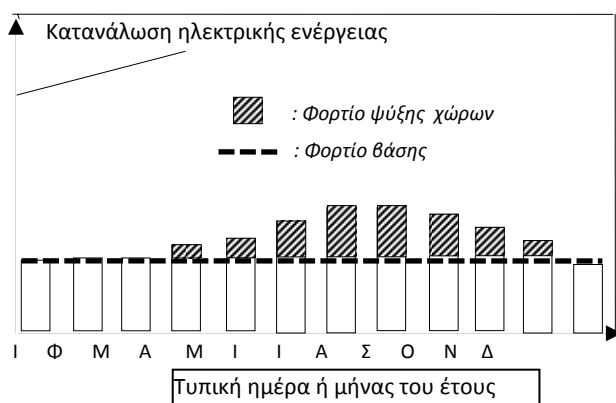
*Περίπτωση 2η: Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την ψύξη χώρων.* Στην περίπτωση αυτή ισχύουν κατ' αναλογία οι παρατηρήσεις της προηγούμενης παραγράφου, για την περίοδο ψύξης. Το ημερήσιο ηλεκτρικό χρονοδιάγραμμα παρέχει την δυνατότητα εκτίμησης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την ψύξη/κλιματισμό των κτιριακών χώρων (Σχήμα 5.5).

Κατ' αναλογία με την περίοδο θέρμανσης, διαμορφώνεται και εδώ δείκτης ειδικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την ψύξη/κλιματισμό των χώρων ως εξής :

$$\dots\dots\dots \epsilon_{\Psi X} = \Psi_{\Delta} / (A \times BH\Psi) \quad (5.4)$$

όπου  $\Psi_{\Delta}$  είναι το φορτίο ψύξης/κλιματισμού χώρων κατά την περίοδο  $\Delta$  και το οποίο συνήθως ταυτίζεται με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη/κλιματισμό .

*Σχήμα 5.5 : Χρονοδιάγραμμα μέσης ημερήσιας/μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτίρια*



$$\dots\dots\dots BH\Psi = N_{\Delta} (\bar{T}_{\alpha} - T_i) \text{ (σε } ^{\circ}\text{C)} \quad (5.5)$$

Με την εξίσωση 5.5 υπολογίζονται προσεγγιστικά οι βαθμομέρες ψύξης, κατ' αναλογία με τις ΒΗΘ της εξίσωσης 5.2 ανωτέρω. Η Βρετανική Μετεωρολογική Υπηρεσία συστήνει επίσης αντίστοιχη μέθοδο υπολογισμού των ημερήσιων βαθμομερών ψύξης (ΗΒΨ) κατ' αναλογία της 5.3 ως εξής :

εάν $T_{min} \geq T_i$	τότε $HB\Psi = (T_{min} + T_{max})/2 - T_i$
εάν $T_{max} < T_i$ και $(T_{max} - T_i) > (T_i - T_{min})$	τότε $HB\Psi = (T_{max} - T_i) / 2 - (T_i - T_{min}) / 4$
εάν $T_{min} > T_i$ και $(T_{max} - T_i) < (T_i - T_{min})$	τότε $HB\Psi = (T_{max} - T_i) / 4$
εάν $T_{max} \geq T_i$	τότε $HB\Psi = 0$

(5.6)

Η θερμοκρασία αναφοράς των εσωτερικών χώρων  $T_i$  συνήθως λαμβάνεται ίση με  $26^{\circ}\text{C}$  αλλά συχνά στον τριτογενή τομέα λαμβάνεται στους  $16^{\circ}\text{C}$  ή τους  $18^{\circ}\text{C}$  διότι τότε θεωρείται ότι μηδενίζονται τα φορτία ψύξης/ κλιματισμού στα κτίρια του τριτογενούς τομέα τα οποία έχουν μεγάλα εσωτερικά φορτία.

*Περίπτωση 3η: Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη και θέρμανση.*

Εδώ τα χρονοδιαγράμματα έχουν περιορισμένη δυνατότητα για τον εντοπισμό των φορτίων βάσης, μια και αυτά περιορίζονται μόνο κατά την θερινή περίοδο. Σε περιπτώσεις πλήρως κλιματιζόμενων κτιρίων (π.χ. νέα κτίρια γραφείων ή εστιατόρια) οι απαιτήσεις ψύξης/θέρμανσης επεκτείνονται και στους ενδιάμεσους μήνες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ιδιαίτερες δυσκολίες στην αναγνώριση των φορτίων βάσης.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και κλιματισμό που δίνονται στο Σχήμα 7.10 που ακολουθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Από το σχήμα αυτό διαπιστώνεται με σχετική σαφήνεια το μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο καταναλώνεται για ψύξη/κλιματισμό/αερισμό κατά τους θερινούς μήνες καθώς και για θέρμανση κατά τους χειμερινούς.

Στις περιπτώσεις αυτές, είναι συχνά αναγκαίο ο ελεγκτής να καταφεύγει σε πιο αναλυτικές μεθόδους για την εκτίμηση των φορτίων θέρμανσης και ψύξης των κλιματιζόμενων χώρων και διακριβώνει τα μοντέλα προσομοίωσης με τις πραγματικές καταναλώσεις του κτιρίου.

## 6 Ισοζύγια ενέργειας και ο βαθμός απόδοσης

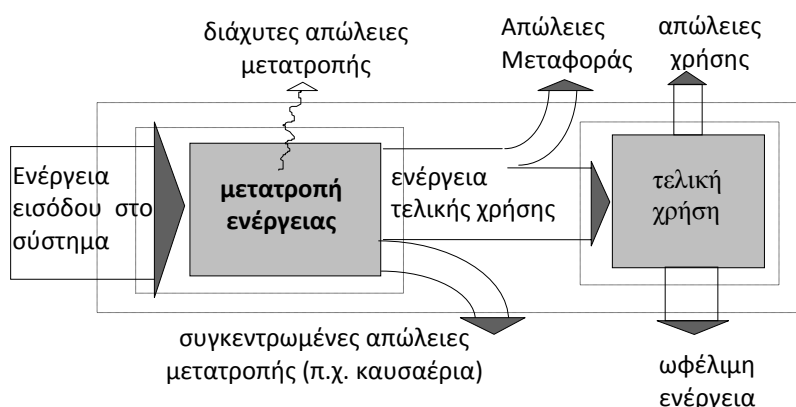
### 6.1 Ορισμοί και στόχοι των ισοζυγίων

Τα ισοζύγια της ενέργειας αποτελούν ένα απαραίτητο ενδιάμεσο βήμα για την ανάλυση και τον επιμερισμό των καταναλώσεων καθώς και για τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων και γενικότερα για την επίτευξη των στόχων της επιθεώρησης (παράγραφος 5.1). Με τα ισοζύγια αποτυπώνονται οι εισροές και οι εκροές ενέργειας σε ένα ενεργειακό σύστημα, κατά την διάρκεια μίας χρονικής περιόδου. Τα όρια του συστήματος μπορεί να αφορούν:

- ο μία μονάδα ή συσκευή για την μετατροπή ή χρήση της ενέργειας (Σχήμα 6.1).
- ο μία συγκεκριμένη μορφή ενέργειας (π.χ. ηλεκτρική, καύσιμα, ατμός, κλπ), από το σημείο εισροής έως την διανομής της στις επιμέρους χρήσεις (Σχήματα 6.2 και 6.3),
- ο ένα κτίριο ή ένα συγκρότημα κτιρίων και εγκαταστάσεων.

Η χρονική περίοδος μπορεί να εκτείνεται από μερικά λεπτά της ώρας έως και όλο το έτος.

Σχήμα 6.1: Τυπικά όρια ενεργειακού συστήματος κατά την χρήση ενέργειας

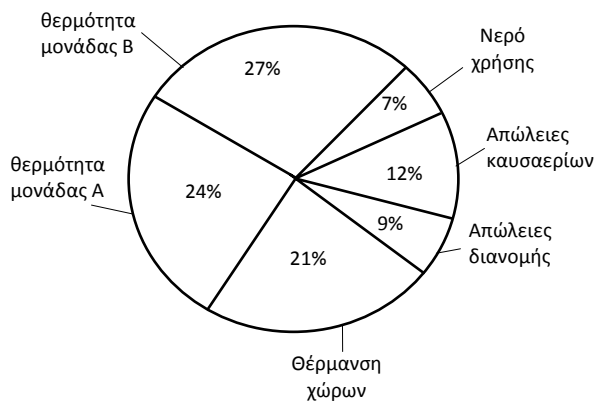


— : γραμμή ορίων συστημάτων

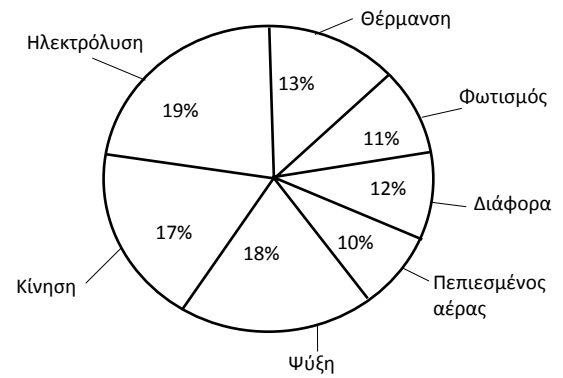
Τα όρια του συστήματος και η χρονική περίοδος για την οποία καταρτίζεται ένα ισοζύγιο επιλέγονται από τον ελεγκτή με βάση τους στόχους, το αντικείμενο και τα κριτήρια του ενεργειακού ελέγχου καθώς και τα διαθέσιμα στοιχεία. Κατά κανόνα οι στόχοι αυτοί περιλαμβάνουν :

- την εύρεση της κατανάλωσης ή της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας ανά κατηγορία τελικής χρήσης και συσχετίσή της με τους παράγοντες που την επηρεάζουν καθοριστικά (Πίνακας 6.1),
- την εκτίμηση του βαθμού απόδοσης μίας ενεργειακής μετατροπής και συσχετίσή του με τους καθοριστικούς παράγοντες,
- την εκτίμηση των *διάχυτων* και των *συγκεντρωμένων απωλειών ενέργειας* ανά μετατροπή ή τελική χρήση ενέργειας.
- τον έλεγχο και διακρίβωση των επιμέρους μετρητικών δεδομένων και αποτελεσμάτων ανά χρήση και την συμπλήρωση ή διόρθωση των στοιχείων καταναλώσεων.

Σχήμα 6.2: Τυπικό ισοζύγιο θερμότητας



Σχήμα 6.3: Τυπικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού



Πίνακας 6.1 : Καθοριστικοί παράγοντες προσαρμογής της κατανάλωσης ενέργειας

- α. Αύξηση/συρρίκνωση του όγκου της παραγωγής ή των παρεχόμενων υπηρεσιών.
- β. Αύξηση/συρρίκνωση των κτιριακών χώρων.
- γ. Μεταβολές στο ωράριο λειτουργίας των εγκαταστάσεων ή των κτιριακών χώρων.
- δ. Αλλαγές στον ενεργειακό ή παραγωγικό εξοπλισμό.
- ε. Μεταβολές στις καιρικές συνθήκες.
- στ. Αλλαγές στην ποιότητα των παρεχόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών.
- ζ. Μεταβολές στην ποιότητα των κλιματικών συνθηκών που διατηρούνται εντός των κτιριακών χώρων (θερμοκρασία, υγρασία).
- η. Μεταβολές στην ποιότητα των πρώτων υλών ή της παρεχόμενης ενέργειας (π.χ. πτώση τάσης ή διακυμάνσεις στην θερμογόνο ικανότητα των καυσίμων).

## 6.2 Η έννοια της απόδοσης

Σε μία εγκατάσταση ή σε ένα μηχάνημα το ενδιαφέρον συνήθως εστιάζεται στην αποδιδόμενη (ή ωφέλιμη) μορφή ενέργειας ως προς την προσδιδόμενη μορφή ενέργεια. Π.χ. σε μία εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης η ωφέλιμη ενέργεια είναι η αποδιδόμενη θερμότητα στον θερμαινόμενο χώρο ενώ η προσδιδόμενη ενέργεια είναι η τελική ενέργεια καυσίμου (βλέπε σχήμα 6.1.).

Ο «βαθμός απόδοσης» ή «απόδοση»  $\eta$  της εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης ορίζεται τότε ως εξής :

$$\text{Απόδοση (ή βαθμός απόδοσης)} = (\text{αποδιδόμενη ωφέλιμη ενέργεια}) / (\text{προσδιδόμενη ενέργεια})$$

$$\text{ή με χρήση συμβόλων : } \eta = E_{\Omega} / E_{\Pi}$$

### 6.3 Παράδειγμα ισοζυγίου και απόδοσης: κεντρική θέρμανση

#### 6.3.1 Τα υποσυστήματα

Μία συμβατική εγκατάσταση της κεντρικής θέρμανσης περιλαμβάνει τρία υποσυστήματα :

Υποσύστημα παραγωγής : Λέβητας για την παραγωγή θερμού νερού ή θερμού αέρα με καύση πετρελαίου ή φυσικού αερίου και εξαγωγή καυσαερίων στο περιβάλλον με καμινάδα. Επίσης περιλαμβάνει δεξαμενή πετρελαίου ή παροχή φυσικού αερίου με μετρητή παροχής, παροχή ηλεκτρισμού στο λεβητοστάσιο, αυτοματισμοί του λεβητοστασίου, και λοιπό εξοπλισμό

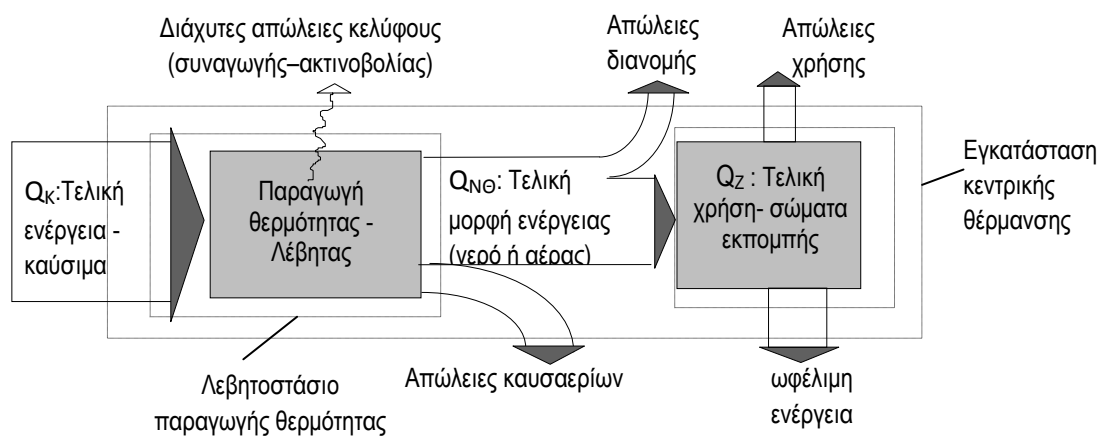
Υποσύστημα διανομής: Διανομή θερμού νερού ή θερμού αέρα προς τους θερμαινόμενους χώρους, με χρήση θερμομονωμένων σωληνώσεων ή αεραγωγών αντιστοίχως.

Υποσύστημα εκπομπής : Εκπομπή θερμότητας προς τον θερμαινόμενο χώρο μέσω θερμομαντικών σωμάτων ή στοιχείων ανεμιστήρα (FANCOILS) ή ενδοδαπέδιας εγκαταστάσεως

#### 6.3.2 Απώλειες μετατροπής και βαθμοί απόδοσης

Σε κάθε υποσύστημα συντελούνται μετατροπές ενέργειας και υπάρχουν απώλειες θερμότητας. Στο Σχήμα 6.4 αποτυπώνονται αυτές οι απώλειες μετατροπής. Στον λέβητα, δύο είναι βασικές απώλειες θερμότητα : οι απώλειες καυσαερίων οι οποίες είναι της τάξεως του 10 με 20% και οι απώλειες μετάδοσης θερμότητας από το κέλυφος του λέβητα προς τον αέρα του λεβητοστασίου, μέσα από συναγωγή και ακτινοβολία.

Σχήμα 6.4: Τοπικά όρια εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης



Στο σύστημα κεντρικής θέρμανσης διακρίνονται οι ακόλουθες ροές ενέργειας: :

$\dot{Q}_K$  : Ροή ενέργειας καυσίμου, κατανάλωση ενέργειας

$\dot{Q}_{N\Theta}$  : Ροή ενέργεια του νερού θέρμανσης (ή αέρα)

$\dot{Q}_Z$  : Ροή θερμότητας προς τον χώρο

### 6.3.3 Ισοζύγιο ενέργειας στον Λέβητα

Ο βαθμός απόδοσης λέβητα ορίζεται ως ο λόγος της θερμικής ισχύος  $\dot{Q}_{N\Theta}$  του παραγόμενου θερμού νερού ως προς την παρεχόμενη ισχύ καυσίμου  $\dot{Q}_K$  :

$$\eta_{\Lambda} = \dot{Q}_{N\Theta} / \dot{Q}_K \quad (6.1)$$

Με βάση την αρχή διατήρησης της ενέργειας, (1ο θερμοδυναμικό αξίωμα), οι ροές ενέργειας στο υποσύστημα του λέβητα πρέπει να ικανοποιούν την εξίσωση (βλέπε Σχήμα 6.4):

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_{N\Theta} + \dot{A}_K + \dot{A}_{\Delta} + \dot{A}_A \quad (6.2)$$

όπου  $\dot{A}_K$  και  $\dot{A}_{\Delta}$  είναι οι απώλειες καυσαερίων και οι διάχυτες απώλειες του κελύφους λέβητα ενώ  $\dot{A}_A$  είναι κάθε άλλη άδηλη απώλεια θερμότητας, όπως είναι π.χ. οι απώλειες από άκαυστο καύσιμο και ύπαρξη CO στα καυσαέρια. Δηλαδή με την εξίσωση 6.2 διατυπώνεται η αρχή ότι η ενέργεια δεν χάνεται αλλά όταν ένα σύστημα είναι σε μόνιμη κατάσταση (δηλαδή η θερμοκρασιακή του κατάσταση είναι σταθερή), όση ενέργεια εισέρχεται σε ένα σύστημα, τόση εξέρχεται. Διαιρώντας την 6.2 με την ισχύ του καυσίμου προκύπτει ότι :

$$1 = \frac{\dot{Q}_{N\Theta}}{\dot{Q}_K} + \frac{\dot{A}_K}{\dot{Q}_K} + \frac{\dot{A}_{\Delta}}{\dot{Q}_K} + \frac{\dot{A}_A}{\dot{Q}_K}$$

$$\frac{\dot{Q}_{N\Theta}}{\dot{Q}_K} = \eta_{\Lambda} = 1 - \frac{\dot{A}_K}{\dot{Q}_K} - \frac{\dot{A}_{\Delta}}{\dot{Q}_K} - \frac{\dot{A}_A}{\dot{Q}_K} = 1 - \pi_K - \pi_{\Delta} - \pi_A \quad (6.3)$$

Από την εξίσωση 6.3 προκύπτει ότι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα μπορεί να εκτιμηθεί εάν μετρηθούν ή εκτιμηθούν τα ποσοστά  $\pi$  των επιμέρους απωλειών θερμότητας.

### 6.3.4 Βαθμός απόδοσης στο σύστημα κεντρικής θέρμανσης



Βάσει και του σχήματος 6.4, η κατανάλωση ενέργειας σχετίζεται με την ζήτηση ως ακολούθως :

$$Q_K = Q_Z / (\eta_{\Lambda} \eta_{\Delta} \eta_X), \quad \text{όπου} \quad (6.4)$$

$\eta_{\Lambda}$  : βαθμός απόδοσης λέβητα

$\eta_{\Delta}$  : βαθμός απόδοσης διανομής = 1 – (απώλειες διανομής)%

$\eta_X$  : Βαθμός απόδοσης χρήσης ενέργειας = 1 – (απώλειες χρήσης)%

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_K K \Theta \Delta \quad (6.5)$$

$$\dot{Q}_{N\Theta} = \dot{m}_N c_P \Delta T \quad (6.6)$$

όπου  $\dot{m}_K$  (kg/h) είναι η παροχή καυσίμου,

$\dot{m}_N$  είναι η παροχή θερμού νερού θέρμανσης στο λέβητα (kg/h),

$c_p$  είναι η θερμοχωρητικότητα του νερού (4,187 kJ/(kg.°C))

$\Delta T$  είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού από τον λέβητα ( $\Delta T \sim 20^\circ\text{C}$ )

### 6.3.5 Μέτρηση βαθμού απόδοσης

Επομένως βάσει των ανωτέρω υπάρχουν δύο τρόποι για τη μέτρηση του βαθμού απόδοσης ενός λέβητα : ο άμεσος (εξίσωση 6.1, 6.5 και 6.6) και ο έμμεσος (εξίσωση 6.3 και 6.4).

Κατά τον άμεσο τρόπο γίνεται ευθείας μέτρηση όλων των μεγεθών τα οποία υπεισέρχονται στις ανωτέρω εξισώσεις δηλαδή: α) μέτρηση της παροχής καυσίμου, β) μέτρηση της παροχής θερμού νερού, γ) μέτρηση των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του θερμού νερού από τον λέβητα. Η ΚΘΔ του καυσίμου λαμβάνεται από τον προμηθευτή του καυσίμου, ή με βάση τις τυπικές τιμές που δίδονται στο κεφάλαιο 3 (παράγραφος 3.2).

**Παράδειγμα 6.1** : Σε ένα λέβητα φυσικού αερίου μετρήθηκαν τα ακόλουθα μεγέθη : α) παροχή φυσικού αερίου ίση με 12 Nm<sup>3</sup>/h, β) παροχή θερμού νερού 4700 kg/h και γ) η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του θερμού νερού ίση με 60°C και 80°C αντίστοιχως. Ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης του λέβητα γίνεται ως ακολούθως:

Η ΚΘΔ του φυσικού αερίου λαμβάνεται ίση από τον Πίνακα 3.3 με 8626 kcal/Nm<sup>3</sup>. Μετατρέποντας σε kWh διαιρώντας με 860 τότε προκύπτει ότι ΚΘΔ = 10 kWh/Nm<sup>3</sup>. Επομένως η ισχύς του παρεχόμενου καυσίμου ισούται με 10 kWh/Nm<sup>3</sup> x 12 Nm<sup>3</sup>/h = 120 kW. Η προσδιδόμενη θερμική ισχύς στο θερμό νερό ισούται με :

$$\dot{Q}_{\text{NΘ}} = \dot{m}_N \cdot c_p \cdot \Delta T = 4700 \text{ kg/h} \cdot 4,187 \text{ kJ/(kg.K)} \cdot 20^\circ\text{C} = 376.830 \text{ kJ/h}$$

Διαιρώντας με 3600 για την μετατροπή των kJ σε kWh, τότε:  $\dot{Q}_{\text{NΘ}} = 104,67 \text{ kW}$ .

Τέλος ο βαθμός απόδοσης του λέβητα προκύπτει ίσος με :  $\eta_A = 104,67/120 = 87,2\%$

Στο Παράρτημα Γ δίδεται εναλλακτικά η μεθοδολογία για τον έμμεσο τρόπο υπολογισμού του βαθμού απόδοσης του λέβητα βάσει της εξίσωσης 6.3. Η μεθοδολογία αυτή επιτρέπει επίσης και την εκτίμηση του εποχιακού βαθμού απόδοσης για λέβητες οι οποίοι λειτουργούν διακοπτόμενα και υπό μερικό φορτίο.

### 6.4 Ο βαθμός απόδοσης στην ηλεκτροπαραγωγή

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης της μετατροπής καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια διανομής ισούται με το γινόμενο των βαθμών απόδοσης των επιμέρους μετατροπών, καθώς και τις απώλειες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (βλέπε Εικόνα 3.1) :

$$\eta = \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \eta_7 \cdot \eta_8 \cdot \eta_9 \quad \text{όπου}$$

Καύσιμο → 1. Καύση και παραγωγή θερμότητας → 2. Παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης στον ατμολέβητα → 3. Εκτόνωση (αποσυμπίεση) του ατμού στον ατμοστρόβιλο και παραγωγή περιστροφικής κίνησης στον κοινό άξονα του ατμοστροβίλου/ ηλεκτρογεννήτριας (μηχανική ενέργεια) → 4. Μετατροπή της κίνησης του άξονα της ηλεκτρογεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια → 5. Ανύψωση της τάσης σε μετασχηματιστή στα 150 έως 400 kV → 6. Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης → 7. Μείωση τάσης σε μετασχηματιστή στα 20 kV → 8. Τοπική διανομή ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης → 9. Μείωση τάσης σε τοπικό μετασχηματιστή στα 230/400 Volt → 10. Παροχή ρεύματος χαμηλής τάσης στους καταναλωτές

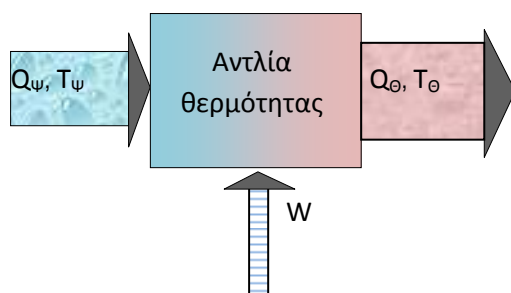
Η μετατροπή της ενέργειας του ατμού σε μηχανική ενέργεια στον άξονα του ατμοστροβίλου είναι ο σημαντικότερος όλων (μικρότερος), λόγω του 2<sup>ου</sup> θερμοδυναμικού αξιώματος. Σήμερα ο μέσος βαθμός αποδόσεως η των ατμοηλεκτρικών μονάδων για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας έως τον τελικό καταναλωτή είναι της τάξεως του 40%. Το οποίο σημαίνει ότι για κάθε kWh που καταναλώνεται σήμερα στα σπίτια μας καταναλώνονται 1/0,04 = 2,5 kWh πρωτογενούς ενέργειας. Ο μέσος βαθμός απόδοσης για τις λιγνιτικές μονάδες είναι της τάξεως του 34% και για τις μονάδες συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο φυσικό αέριο είναι 50%.

## 6.5 Αντλία θερμότητας

### 6.5.1 Ενεργειακό ισοζύγιο και θεωρητικός βαθμός απόδοσης

Η αντλία θερμότητας είναι σήμερα η πλέον αποδοτική τεχνολογία στην θέρμανση, τόσο από ενεργειακής όσο και από οικονομικής απόψεως. Γι' αυτό περιγράφεται και εξετάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα Δ. Στην παρούσα παράγραφο εξετάζεται από πλευράς ενεργειακής απόδοσης.

Η αντλία θερμότητας είναι μία μηχανή η οποία λειτουργεί ακριβώς αντίστροφα από μία θερμική μηχανή η οποία παράγει έργο. Η αντλία θερμότητας καταναλώνει έργο W υπό την μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να «αντλήσει» θερμότητα Q<sub>ψ</sub> από το ψυχρό περιβάλλον θερμοκρασίας T<sub>ψ</sub> και να αποδώσει θερμότητα Q<sub>θ</sub> θερμοκρασίας T<sub>θ</sub> στο θερμαινόμενο χώρο.



Εφαρμόζοντας το 1ο θερμοδυναμικό αξίωμα (αρχή διατήρησης της ενέργειας) γύρω από μία αντλία θερμότητας έχουμε το εξής ενεργειακό ισοζύγιο :

$$Q_{\psi} + W = Q_{\theta} \rightarrow W = Q_{\theta} - Q_{\psi}$$

Επομένως ο βαθμός απόδοσης η<sub>Αθ</sub> της αντλίας θερμότητας ή αγγλιστί COP, ορίζεται ως εξής :

$$\eta_{A\theta} = \text{COP} = Q_{\theta}/W = Q_{\theta}/(Q_{\theta} - Q_{\psi}) = 1/(1 - Q_{\psi}/Q_{\theta}) \quad (6.7)$$

Ο βαθμός απόδοσης η<sub>Αθ</sub> είναι ακριβώς αντίστροφος του βαθμού απόδοσης μίας θερμικής μηχανής η της εξίσωσης 1.5. Ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας είναι :

$$\eta'_{A\theta} = 1/(1 - T_{\psi}/T_{\theta}) \quad (6.8)$$

όπου οι θερμοκρασίες T<sub>θ</sub> και T<sub>ψ</sub> δίδονται σε βαθμούς Kelvin.

**Παράδειγμα 6.2 :** Μία αντλία θερμότητας αντλεί θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον θερμοκρασίας T<sub>ψ</sub> = 0°C και την αναβαθμίζει στους T<sub>θ</sub> = 48°C Ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης εκτιμάται από τον τύπο 8.2.

T<sub>ψ</sub> = 273,15°K και T<sub>θ</sub> = 273,15 + 48°C = 321,15°K και επομένως ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης προκύπτει από την εξίσωση 8.2 ίσος με η' <sub>Αθ</sub> = 6,7

Στον πίνακα που ακολουθεί υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης 8.2. ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης για διάφορες παραλλαγές θερμοκρασιών

T <sub>θ</sub> (°C)	35	35	35	48	48	48
T <sub>ψ</sub> (°C)	0	5	12	0	5	12

$\eta'_{\text{A}\theta}$	8,8	10,3	13,4	6,7	7,5	8,9
--------------------------	-----	------	------	-----	-----	-----

Από τον πίνακα αυτό διαπιστώνεται ότι ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία  $T_{\theta}$  ή όσο μειώνεται η θερμοκρασία  $T_{\psi}$ .

Η ίδια τάση εμφανίζεται και με τον πραγματικό βαθμό απόδοσης, όπως αυτός περιγράφεται και εξάγεται εις το Παράρτημα Δ.

### 6.5.2 Ο θερμοηλεκτρικός βαθμός απόδοσης

Οι αντλίες θερμότητας σύγχρονης τεχνολογίας (μεταβλητών στροφών συμπιεστή) όταν λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, εμφανίζουν εποχιακούς βαθμούς απόδοσης οι οποίοι κυμαίνονται γύρω στο  $\eta_{\text{A}\theta} = \text{COP} = 3,7$ . Εις το σημείο αυτό γεννάται η απορία : Πως συγκρίνονται οι βαθμοί απόδοσης της αντλίας θερμότητας και του λέβητα συμπυκνώσεως ο οποίος έχει σήμερα την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση. Ειδικότερα εξετάζεται ο βαθμός απόδοσης κατά την χρήση της πρωτογενούς ενέργειας και μάλιστα του φυσικού αερίου το οποίο μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για την παραγωγή θερμότητας με δύο εναλλακτικούς τρόπους :

- α) Καύση φυσικού αερίου σε ένα λέβητα συμπύκνωσης ο οποίος έχει ένα εποχιακό βαθμό απόδοσης για την χώρα μας περί το 92%
- β) Καύση φυσικού αερίου σε μία σύγχρονη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας με μία αντλία θερμότητας.

Μία μονάδα ηλεκτροπαραγωγής τελευταίας τεχνολογίας είναι η μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής Συνδυασμένου Κύκλου η οποία έχει βαθμό απόδοσης ηλεκτροπαραγωγής περί το 54%. Εάν ληφθούν υπ' όψιν οι απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας κατά την μεταφορά και διανομής οι οποίες είναι της τάξεως του 7%, τότε ο καθαρός βαθμός απόδοσης της ηλεκτροπαραγωγής  $\eta_{\text{H}}$  ανέρχεται σε  $54\% (1-0,07) = 50,2\%$

Επομένως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται η κατανάλωση φυσικού αερίου ενέργειας ίσης με  $W/\eta_{\text{H}}$

Επομένως ο πρωτογενής βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας ισούται με :

$$\eta_{\text{A}\theta,\text{H}} = Q_{\theta} / (W/\eta_{\text{H}}) = \eta_{\text{A}\theta} \cdot \eta_{\text{H}} = 3,7 (50,2\%) = 185,7\% \quad (6.9)$$

Ο βαθμός αυτός συγκρινόμενος με τον αντίστοιχο βαθμό απόδοσης του λέβητα συμπυκνώσεως του 92%, διαπιστώνεται ότι είναι διπλάσιος. Δηλαδή για την ίδια παραγωγή θερμότητας, η αντλία θερμότητας χρειάζεται την μισή ποσότητα φυσικού αερίου έναντι του καλύτερου λέβητα, ήτοι εξοικονομεί περί το 50% του καυσίμου.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα οικονομικά της αντλίας θερμότητας, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μία από τις καλύτερες δυνατές επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στην θέρμανση είναι η αντικατάσταση των παλαιών λεβήτων των κεντρικών θερμάνσεων με σύγχρονες αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών. Η αντικατάσταση παλαιότερων λεβήτων με σωστά διαστασιολογημένα αντλία θερμότητας, επιφέρει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας της τάξεως του 65 με 75%.

## 7 Η γραμμή βάσης

### 7.1 Γενικά

Ένας από τους κύριους στόχους των ενεργειακών ελέγχων είναι η εύρεση του τύπου της κατανάλωσης γραμμής βάσης (baseline consumption) ή της κατανάλωσης βάσης ανά τελική χρήση και ανά μορφή ενέργειας. Για τη κάθε σημαντική κατανάλωση ενέργειας, συγκεντρώνονται κατ' ελάχιστον στοιχεία κατανάλωσης για τους συνεχείς δώδεκα τελευταίους μήνες. Ο ελεγκτής διερευνά τις τυχόν μεταβολές των ανωτέρω καθοριστικών παραγόντων και την ενδεχόμενη συσχέτισή τους με την κατανάλωση ενέργειας. Η συσχέτιση αυτή δίδεται με τη βοήθεια μαθηματικού τύπου. (παράγραφος 7.4).

Η κατανάλωση βάσης μπορεί να αφορά ένα μοναδικό φορτίο ή ένα πλήθος φορτίων. Ανάλογα με τις απαιτήσεις δύναται να ορίζεται για χρονικό διάστημα ώρας, μίας ημέρας ή ενός μήνα. Η κατανάλωση βάσης μπορεί επίσης να αφορά την εξέλιξη των αιχμών της ηλεκτρικής ισχύος. Στην περίπτωση αυτή το χρονικό διάστημα βάσης είναι το ένα τέταρτο της ώρας.

Στην περίπτωση όπου η κατανάλωση βάσης αφορά ένα μόνο φορτίο (π.χ. ένας κινητήρας) τότε η εύρεση του τύπου είναι σχετικά εύκολη. Συνήθως απαιτείται μέτρηση του βαθμού απόδοσης της συσκευής σε πλήρες φορτίο ή μερικό φορτίο. Για συσκευές τύπου ON/OFF απαιτείται μία μόνο μέτρηση σε πλήρες φορτίο. Για συσκευές που δύνανται να αυξομειώνουν το φορτίο τους αναλογικά (π.χ. ένας πιεστικός βιομηχανικός λέβητας) συνήθως απαιτούνται περισσότερες μετρήσεις του βαθμού απόδοσης, σε διάφορες αντιπροσωπευτικές στάθμες φορτίου.

Σε περιπτώσεις όμως όπου η κατανάλωση βάσης αφορά ένα σύνολο φορτίων, τότε η εύρεση του τύπου γίνεται με βάση τις μεθόδους της στατιστικής (γραμμική ή μή γραμμική παλινδρόμηση). Εδώ θα πρέπει να αξιοποιείται το σύνολο των διαθέσιμων στοιχείων για την κατανάλωση ενέργειας. Εφόσον η κατανάλωση ενέργειας εμφανίζει μία σταθερή συμπεριφορά, με διακύμανση των διαθέσιμων στοιχείων μικρότερη από  $\pm 3\%$ , η κατανάλωση βάσης δύναται να οριστεί με βάση μόνο ενεργειακά μεγέθη.

Σε αντίθετη περίπτωση η κατανάλωση πρέπει να συσχετίζεται με ένα ή περισσότερους καθοριστικούς παράγοντες και να διαμορφώνεται ο αντίστοιχος μαθηματικός τύπος. Οι απαιτήσεις για την προβλεπτική ακρίβεια του τύπου αυτού δίδονται σε επόμενη παράγραφο.

Ο τύπος της γραμμής βάσης, δύναται να προβλέπει την κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία τελικής χρήσης για την οποία αναπτύσσεται, κάτω από συνήθεις μεταβολές των καθοριστικών παραγόντων. Δύο είναι οι κυριότερες εφαρμογές του τύπου της γραμμής βάσης:

- (α) *Εκ των προτέρων προβλέψεις, δηλαδή προβλέψεις μελλοντικών καταναλώσεων ενέργειας κάτω από άγνωστες τιμές των καθοριστικών παραγόντων. Στη περίπτωση αυτή απαιτείται η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών των παραγόντων αυτών (π.χ. η αύξηση του όγκου παραγωγής για το επόμενο έτος) πριν την εκτίμηση της μελλοντικής κατανάλωσης.*
- (β) *Εκ των υστέρων εκτιμήσεις, δηλαδή εκτιμήσεις καταναλώσεων στο παρελθόν, κάτω από διαμορφωμένες και γνωστές τιμές των καθοριστικών παραγόντων.*

## 7.2 Εκ των προτέρων πρόβλεψη καταναλώσεων και εξοικονομούμενης ενέργειας

### 7.2.1 Πότε απαιτούνται

Με τις εκ των προτέρων προβλέψεις εκτιμώνται μελλοντικές καταναλώσεις ενέργειας εντός της περιόδου ενδιαφέροντος, με την υπόθεση ότι δεν θα ληφθεί κανένα μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας. Οι προβλέψεις αυτές είναι απαραίτητες όταν αναμένονται σημαντικές μεταβολές στους καθοριστικούς παράγοντες της κατανάλωσης όπως ο όγκος παραγωγής ή το ωράριο λειτουργίας.

Στην περίπτωση αυτή η προβλεπόμενη κατανάλωση ενέργειας και οι προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας τότε θα πρέπει να τεκμηριώνονται με βάση την εκ των προτέρων πρόβλεψη της μελλοντικής κατανάλωσης και της εξοικονομούμενης ενέργειας και όχι με βάση τα ιστορικά στοιχεία της κατανάλωσης.

### 7.2.2 Διακρίβωση και διόρθωση ιστορικών στοιχείων

Οι εκ των προτέρων εκτιμήσεις εφαρμόζονται επίσης και για τον έλεγχο, διόρθωση ή την απόρριψη ιστορικών στοιχείων καταναλώσεων τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις έναντι της αντίστοιχης εκτίμησης με το πρότυπο της κατανάλωσης αναφοράς. Η διακρίβωση αυτή είναι απαραίτητη μια και κανένα στοιχείο δεν είναι απαλλαγμένο σφάλματος, ειδικότερα σε περιπτώσεις συγκροτημάτων όπου η συλλογή των ενεργειακών δεδομένων δεν είχε προσλάβει συστηματικό χαρακτήρα.

Με βάση τις εκ των υστέρων εκτιμήσεις, εντοπίζονται στοιχεία καταναλώσεων τα οποία εμφανίζουν ιδιαίτερα μεγάλες αποκλίσεις έναντι των υπολοίπων στοιχείων. Επίσης δύναται να γίνουν εκτιμήσεις για τη τυπική απόκλιση των προβλέψεων για την κατανάλωση αναφοράς ως προς τα πραγματικά στοιχεία. Τέλος είναι δυνατή η συμπλήρωση των χρονοσειρών των στοιχείων, σε περιπτώσεις ελλειπών στοιχείων.

## 7.3 Εκ των υστέρων εκτίμηση της εξοικονομούμενης ενέργειας

Κύρια χρήση της εκ των υστέρων κατανάλωσης βάσης είναι η εκτίμηση της διορθωμένης γραμμής βάσης (όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1) και της εξοικονομηθείσας ενέργειας μετά την λήψη των μέτρων εξοικονόμησης.

Η νέα κατανάλωση ενέργειας μετά την λήψη μέτρων, συγκρίνεται όχι με τα ιστορικά στοιχεία της κατανάλωσης ενέργειας αλλά με την εκ των υστέρων πρόβλεψη της κατανάλωσης (η οποία θα είχε προκύψει χωρίς την λήψη μέτρων), με βάση τις νέες, γνωστές τιμές των καθοριστικών παραγόντων. Η *εξοικονομούμενη ενέργεια* για ένα χρονικό διάστημα  $N$  υπολογίζεται τότε ως εξής:

$$\Delta \hat{E}_N = \hat{E}_N - E_N, \text{ όπου} \quad (7.1)$$

$\Delta \hat{E}_N$ : η εκτίμηση (εκ των υστέρων) της εξοικονομούμενης ενέργειας κατά το χρονικό διάστημα  $N$ , όπου το σύμβολο  $\square$  (καπέλο) υποδηλώνει εκτιμώμενο και όχι μετρούμενο μέγεθος.

$\hat{E}_N$ : η εκτίμηση (εκ των υστέρων) της κατανάλωσης αναφοράς η οποία θα είχε προκύψει για το ίδιο χρονικό διάστημα εάν δεν είχαν ληφθεί μέτρα εξοικονόμησης  $N$ , υπό τα νέα δεδομένα των καθοριστικών παραγόντων.

$E_N$ : η μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας

Ο δείκτης N υποδεικνύει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Η σύγκριση εδώ μπορεί να γίνει για χρονικό διάστημα μικρότερο των δώδεκα μηνών μιά και ο τύπος της κατανάλωσης αναφοράς δύναται να προδιορίζει την κατανάλωση σε μηνιαία ή ημερήσια βάση.

Η ανωτέρω πρόβλεψη της κατανάλωσης είναι *εκ των υστέρων*, δηλαδή λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές τιμές των καθοριστικών παραγόντων. Πρακτικά η πρόβλεψη αυτή δίνει την ενέργεια την οποία θα καταναλώνε το σύστημα κατά την χρονική περίοδο N, εάν δεν είχαν ληφθεί μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας.

Με τον τρόπο αυτό αξιολογείται αντικειμενικά η επίδραση ενός προγράμματος ή μίας επένδυσης εξοικονόμησης ενέργειας επί της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας, ή του βαθμού απόδοσης μίας συσκευής, μέσω της αφαίρεσης των επιδράσεων των υπολοίπων ανεξάρτητων παραγόντων.

Για παράδειγμα, όταν ένα συγκρότημα λαμβάνει μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και παράλληλα αυξάνει τον κύκλο εργασιών του, τότε είναι δυνατόν να παρατηρηθεί αύξηση αντί για μείωση της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας. Με την ανωτέρω προσέγγιση, το πρόβλημα αυτό επιλύεται με την εκ των υστέρων πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας, η οποία λαμβάνει υπόψη την επίδραση του όγκου της παραγωγής επί της κατανάλωσης ενέργειας.

## 7.4 Ο τύπος της γραμμής βάσης

### 7.4.1 Γενικά

Τα ενεργειακά ισοζύγια καταρτίζονται κατά την φάση της εκτενούς επιθεώρησης και αφορούν τον λεπτομερή ισολογισμό ενέργειας (είσοδος/ έξοδος) σε βασικές διεργασίες μετατροπής ή χρήσης της ενέργειας. Η κατάρτιση ενός ισοζυγίου αποτελεί μία χρονοβόρα διαδικασία και γι' αυτό θα πρέπει να επιλέγονται με προσοχή οι διεργασίες για τις οποίες αναπτύσσονται τα εν λόγω ισοζύγια. Τα κριτήρια επιλογής διεργασιών εξαρτώνται από τους στόχους της επιθεώρησης. Κατά κανόνα περιλαμβάνουν :

- (α) Το μέγεθος της τελικής ή ωφέλιμης ενέργειας που οι εν λόγω διεργασίες καταναλώνουν,.
- (β) Τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας που εμφανίζουν,
- (γ) Την απαίτηση για τεκμηρίωση ή την παρακολούθηση του βαθμού απόδοσης κατά την μετατροπή ή τη χρήση της ενέργειας.

Κύριο προϊόν ενός ενεργειακού ισοζυγίου είναι η εκτίμηση της αποδοτικότητας της μετατροπής ή της χρήσης της ενέργειας. Η αποδοτικότητα αυτή προσμετράται με δύο κριτήρια : Τον βαθμό απόδοσης η και την ειδική κατανάλωση ενέργειας ε.

Ο βαθμός απόδοσης συνήθως χρησιμοποιείται για τις διεργασίες μετατροπής μίας μορφής ενέργειας σε άλλα π.χ. μίας τελικής ενέργειας (πετρέλαιο) σε ωφέλιμη ενέργεια (ατμός) :

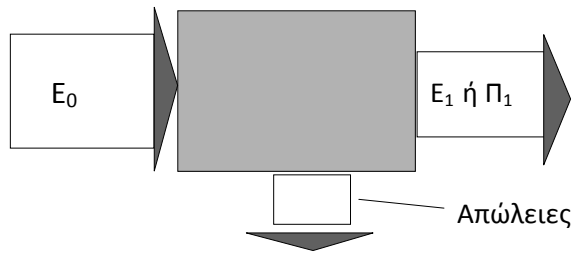
$$\eta = \frac{E_1}{E_0} \quad (7.2)$$

όπου  $E_0$  και  $E_1$  είναι η προσδιδόμενη (τελική) και η αποδιδόμενη (ωφέλιμη) ενέργεια αντιστοίχως.

Αντίθετα, η ειδική κατανάλωση ενέργειας ε ορίζεται με τον ανάστροφο τρόπο :

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E_1} \quad (7.3)$$

όπου η προσδιδόμενη ενέργεια είναι στον αριθμητή ενώ η απορροφόμενη ωφέλιμη ενέργεια από το τελικό προϊόν είναι στον παρανομαστή. Συχνά η ειδική κατανάλωση εκφράζεται όχι με βάση την απορροφόμενη ενέργεια, αλλά την μάζα ή τις αριθμητικές ποσότητες των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών



Τα ενεργειακά ισοζύγια υπολογίζονται σε ωριαία, ημερήσια, εποχιακή ή ετήσια βάση ανάλογα με τους στόχους και τις απαιτήσεις. Για την εκτίμηση του βαθμού απόδοσης μίας ενεργειακής μετατροπής, απαιτείται η κατάρτιση ισοζυγίων σε ωριαία βάση ενώ τα ετήσια ισοζύγια δίνουν πληροφορίες για την μέση απόδοση κατά την χρήση της ενέργειας και την κατανομή των σχετικών δαπανών.

Για την εκτίμηση του βαθμού απόδοσης τα ισοζύγια υπολογίζονται σε ωριαία ή ημερήσια βάση ενώ η ειδική κατανάλωση ενέργειας  $\varepsilon$  εκτιμάται με βάση μηνιαία ισοζύγια.

#### 7.4.2 Τύπος γραμμής βάσης : συσχέτιση ενέργειας και παραγωγής

Η συσχέτιση της καταναλισκόμενης ενέργειας με την παραγωγή αποτελεί τον κυριότερο τρόπο για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας ή της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας  $\varepsilon$ . Οι τεχνικές που παρουσιάζονται εδώ, στηρίζονται στα στοιχεία που συνήθως συγκεντρώνονται κατά τη φάση της εκτεταμένης επιθεώρησης.

Ο συνήθης τύπος συσχέτισης είναι η γραμμική συσχέτιση :

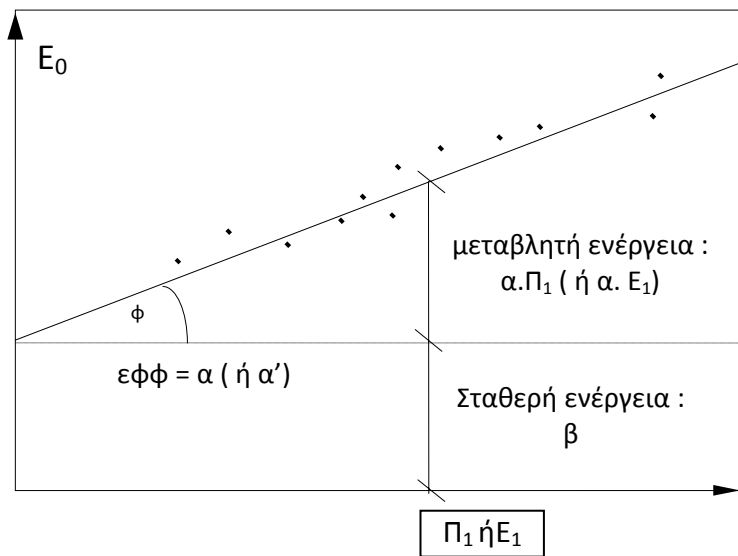
$$E_0 = \alpha \Pi_1 + \beta \quad (7.4)$$

Με αμιγώς ενεργειακούς όρους, η ανωτέρω συσχέτιση γράφεται :

$$E_0 = \alpha' E_1 + \beta \quad (7.5)$$

Η εκτίμηση των παραμέτρων  $\alpha$  (ή  $\alpha'$ ) και  $\beta$  γίνεται με γραφικό τρόπο, με βάση τα υφιστάμενα ωριαία ή μηνιαία στοιχεία :

Σχήμα 7.7 : Συσχέτιση ενέργειας εισόδου με την παραγωγή ή την ενέργεια εξόδου



Η σταθερή ενέργεια δεν εξαρτάται από το επίπεδο των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών (ή το επίπεδο της παραγόμενης ωφέλιμης ενέργειας). Καταναλώνεται σε χρήσεις όπως σε φωτισμό, σε αερισμό χώρων, σε απώλειες γραμμών μεταφοράς ενέργειας ή σε απώλειες ενεργειακών συσκευών.

Η μεταβλητή ενέργεια σχετίζεται ευθέως με τον όγκο των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών (ή της ωφέλιμης ενέργειας). Τέτοιου είδους ενέργεια είναι ο ατμός που καταναλώνεται σε βιομηχανικές διεργασίες (όπως η ξήρανση) ή η ηλεκτρική ενέργεια των ηλεκτροκαμίνων.

Με βάση το διάγραμμα ενέργειας - παραγωγής, ελέγχεται τόσο η σταθερή όσο και η μεταβλητή ενέργεια. Από πλευράς βέλτιστου αποδόσεως, η σταθερή ενέργεια πρέπει να διατηρείται στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο. Μεγάλη σταθερή ενέργεια συγκριτικά με την μεταβλητή, υποδεικνύει μεγάλες απώλειες ενέργειας ή νεκρούς χρόνους λειτουργίας. Αντίθετα μεγάλη μεταβλητή ενέργεια (μεγάλη γωνία φ) υποδεικνύει χαμηλό βαθμό απόδοσης ή πεπαλαιωμένη τεχνολογία των συναφών εγκαταστάσεων.

Με βάση τα στοιχεία του γραφήματος ενέργειας- παραγωγής, σχεδιάζονται τα γραφήματα για την ειδική κατανάλωση ενέργειας  $\varepsilon$  ή τον βαθμό απόδοσης  $\eta$ . Οι τύποι για την  $\varepsilon$  και τον  $\eta$  εξάγονται εκ των ανωτέρω τύπων ως ακολούθως :

$$\dots\dots\dots \varepsilon = \frac{E_0}{\Pi_1} = \alpha + \frac{\beta}{\Pi_1} \quad (7.6)$$

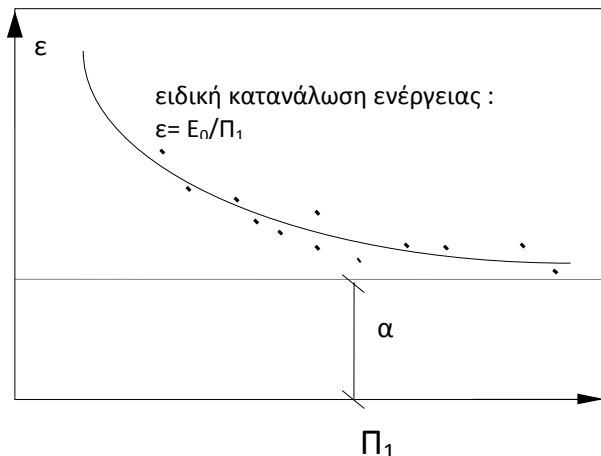
$$\dots\dots\dots \eta = \frac{E_1}{E_0} = 1 / (\alpha' + \frac{\beta}{E_1}) \quad (7.7)$$

Με βάση τα στοιχεία του σχήματος ενέργειας παραγωγής (σχήμα 7.7), σχεδιάζονται τα γραφήματα των ανωτέρω τύπων.

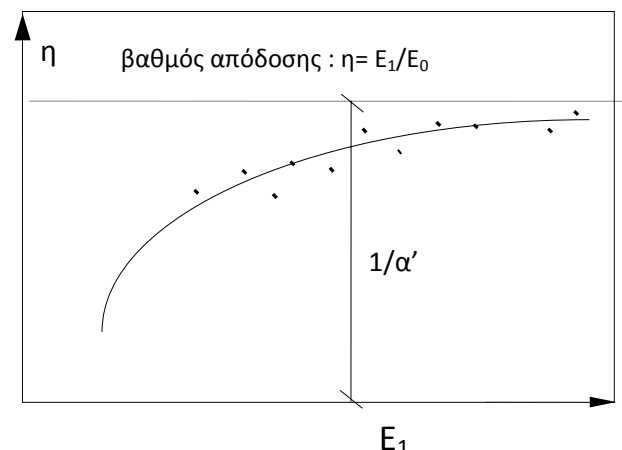
Εφ' όσον η γραμμική συσχέτιση δεν είναι ικανοποιητική, τότε θα πρέπει να επιλέγονται μή γραμμικές εξισώσεις για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων (π.χ. τριώνυμα).

Εάν η διασπορά των στοιχείων είναι μεγάλη (με συντελεστή συσχέτισης  $R^2$  μικρότερο του 0,85), τότε ο ενεργειακός ελεγκτής θα πρέπει να εξετάζει την επίδραση δευτερευόντων παραγόντων, όπως για παράδειγμα οι βαθμομερές θέρμανσης ή η μέση ποιότητα των πρώτων υλών. Οι παράμετροι αυτοί θα πρέπει να εισάγονται και να τροποποιούν αναλόγως τα στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας ή τον όγκο παραγωγής.

Σχήμα 7.7 :Συσχέτιση ειδικής κατανάλωσης ενέργειας με όγκο παραγωγής



Σχήμα 7.8 :Συσχέτιση βαθμού απόδοσης ενεργειακής μετατροπής με την ωφέλιμη ενέργεια



Εφ' όσον τα προβλήματα διασποράς συνεχίζονται, τότε ο ενεργειακός ελεγκτής θα πρέπει να διαιρεί την υπό εξέταση διεργασία σε μερικότερα υποσυστήματα και να επαναλαμβάνει την διαδικασία συσχέτισης. Ως κριτήριο για το όριο διασποράς των στοιχείων θα πρέπει να λαμβάνεται το μέγεθος του σφάλματος της συσχέτισης ως προς τα πραγματικά δεδομένα.

Τα γραφήματα για τα  $\epsilon$  και  $\eta$  αξιοποιούνται για την παρακολούθηση της προόδου ενός προγράμματος εξοικονόμησης ενέργειας και την ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Κατά κανόνα θα πρέπει να αποτελούν συστατικό μέρος του εκτενούς ελέγχου, εκτός και αν αποδεικνύεται ότι δεν προκύπτει τέτοιου είδους απαίτηση με βάση του στόχους της επιθεώρησης.

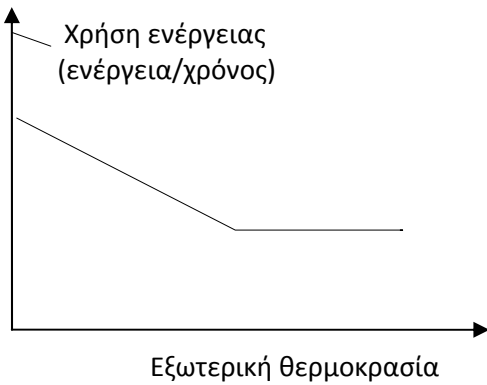
### 7.5 Συσχέτιση ενέργειας και μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας ή βαθμομερών

Για την περίπτωση των κτιριακών συγκροτημάτων, συνήθως απαιτείται η συσχέτιση των καταναλώσεων ενέργειας για την θέρμανση και ψύξη με τις βαθμομερές 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.

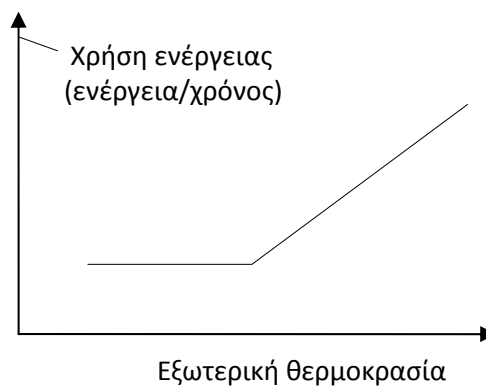
Στην απλή τους μορφή, τα πρότυπα αυτά έχουν γραμμική μορφή και μπορεί να είναι δύο, τριών τεσσάρων ή και πέντε παραμέτρων, ανάλογα με την χρήση ενέργειας (Σχήμα 7.9).

Σχήμα 7.9 : Πρότυπα γραμμικής συσχέτισης του φορτίου θέρμανσης και ψύξης με την εξωτερική θερμοκρασία

(α) πρότυπο τριών παραμέτρων για θέρμανση



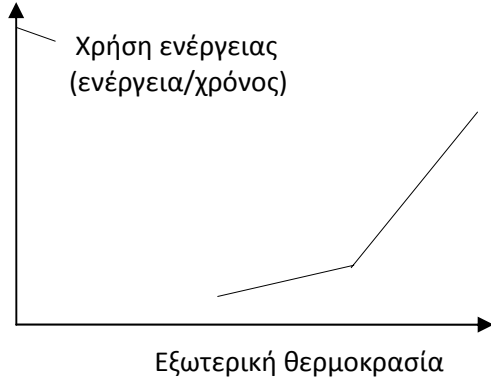
(β) πρότυπο τριών παραμέτρων για ψύξη



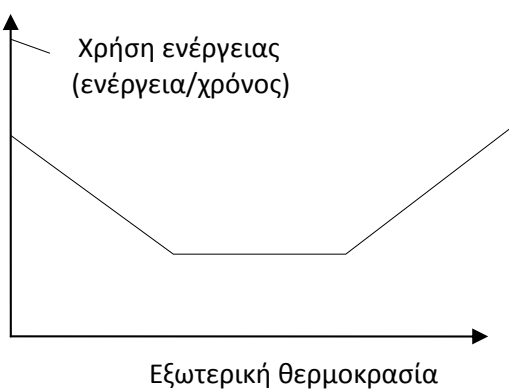
(γ) πρότυπο τεσσάρων παραμέτρων για θέρμανση



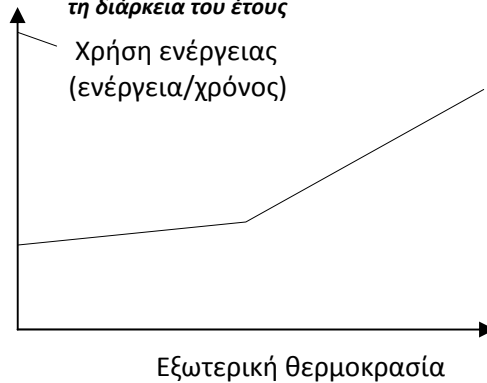
(δ) πρότυπο τεσσάρων παραμέτρων για ψύξη



(ε) πρότυπο πέντε παραμέτρων για θέρμανση και ψύξη

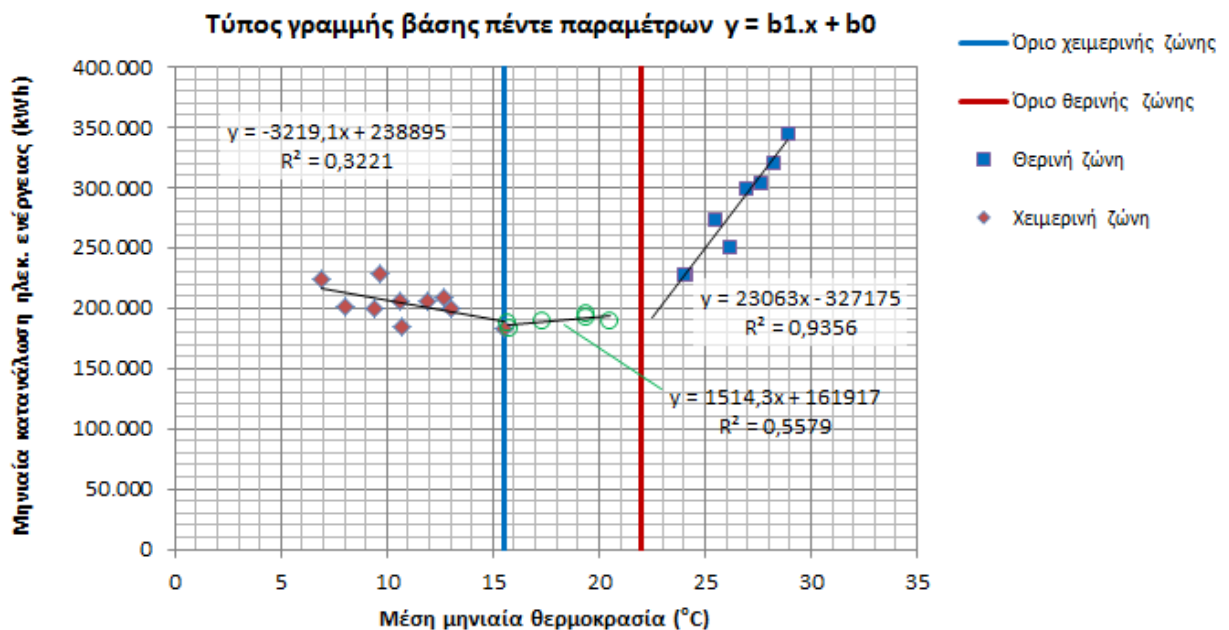


(στ) πρότυπο τεσσάρων παραμέτρων για ψύξη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους



Η έννοια των παραμέτρων περιγράφει τις σταθερές  $\alpha$  και  $\beta$  στην εξίσωση μίας ευθείας γραμμής:  $y = \alpha x + \beta$ . Το πρότυπο (α) του Σχήματος 7.9 είναι τεσσάρων παραμέτρων δύο αποτελείται από δύο ευθύγραμμα τμήματα ενώ το πρότυπο στο σχήμα (ε) είναι πέντε παραμέτρων αφού η μεσαία γραμμή είναι οριζόντια.

Σχήμα 7.10 : Συσχέτιση μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας του Γενικού Νοσοκομείου Άρτας με την μέση εξωτερική θερμοκρασία (Φύλλο «Γραμμή Βάσης» του αρχείου «Εργαλείο Ενεργειακών Ελέγχων.xls» (Προσθήκη I).



Ένα παράδειγμα γραμμής βάσης έξι παραμέτρων δίδεται στο Σχήμα 7.10. Από το Σχήμα αυτό διαπιστώνεται ότι η ενδιάμεση εποχή είναι πολύ μικρή αλλά τελικώς χρειάζεται και γι' αυτήν χωριστός τύπος για την κατανάλωση βάσης ο οποίος εν προκειμένω δίδεται με την εξίσωση  $y = 1514,3 x + 161.917$

Η υπόθεση της γραμμικότητας ισχύει όταν το χρονικό βήμα της ενεργειακής ανάλυσης λαμβάνεται τουλάχιστον 3 έως 4 φορές μεγαλύτερο από την χρονική σταθερά της θερμοδυναμικής απόκρισης του κτιρίου. Για τις συνήθεις βαριές κατασκευές της χώρας ο χρόνος αυτός μπορεί να κυμαίνεται από 7 έως και 12 ώρες.

Για την επιλογή του κατάλληλου προτύπου, ο ενεργειακός ελεγκτής :

- (α) Προβαίνει σε μηνιαία εκτίμηση των καταναλώσεων ενέργειας για θέρμανση, ψύξη κλιματισμό και φωτισμό. Η εκτίμηση αυτή δύναται να στηρίζεται σε μετρήσεις καταναλώσεων, στους μηνιαίους λογαριασμούς των παρόχων ή ακόμα και σε θεωρητικές εκτιμήσεις, ελλείψει διαθέσιμων στοιχείων.
- (β) Προμηθεύεται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και τους διασυνδεδεμένους μετεωρολογικούς σταθμούς της χώρας τις βαθμοημέρες ψύξης/ θέρμανσης με βάση τα στοιχεία του πλησιέστερου σταθμού μέτρησης.
- (γ) Δημιουργεί γραφικές παραστάσεις των καταναλώσεων ενέργειας ως προς τις βαθμοημέρες θέρμανσης/ψύξης ή την μέση εξωτερική θερμοκρασία και επιλέγει το κατάλληλο πρότυπο συσχέτισης (γραμμικό ή μη γραμμικό)..

## 7.6 Εκτίμηση των ετήσιων καταναλώσεων ενέργειας

Με βάση τα πρότυπα που δημιουργούνται για τον βαθμό απόδοσης ή την ειδική κατανάλωση ενέργειας, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας  $E_{ετ}$  σε ένα ενεργειακό υποσύστημα υπολογίζεται ως :

$$E_{ετ} = \sum_{κ=1}^{\Delta} \varepsilon_{κ} \Pi_{κ} = \sum_{κ=1}^{\Delta} \varepsilon_{κ} \dot{\Pi}_{κ} \Omega_{κ} \quad (7.8)$$

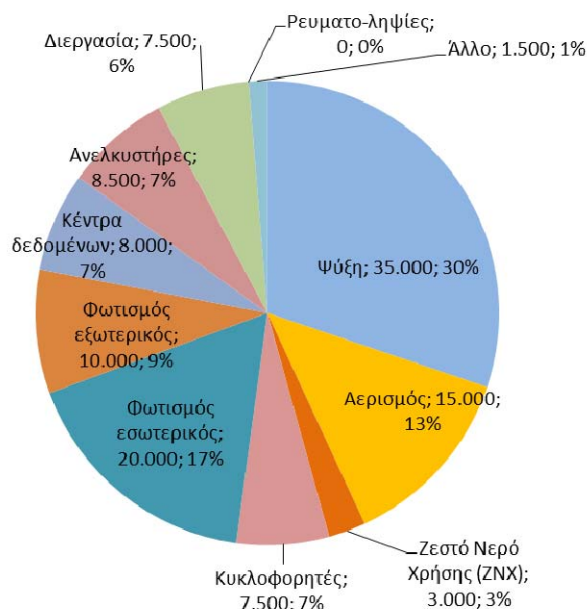
ή

$$E_{ετ} = \sum_{κ=1}^{\Delta} (E_{1,κ} / \eta_{κ}) = \sum_{κ=1}^{\Delta} (\dot{E}_{1,κ} / \eta_{κ}) \Omega_{κ} \quad (7.9)$$

όπου  $\Delta$  υποδεικνύει τον αριθμό των χαρακτηριστικών επιπέδων φορτίου  $E_1$  ή δυναμικότητας παραγωγής  $\Pi$ , για τα οποία υπάρχει ισχυρή συνάρτηση με τον βαθμό απόδοσης ή την ειδική κατανάλωση ενέργειας.  $\Omega_{κ}$  δηλώνει τον αριθμό ωρών λειτουργίας σε κάθε επίπεδο φορτίου ή δυναμικότητας.

Η εκτίμηση των παραμέτρων  $\varepsilon$  και  $\eta$  δύναται να γίνει με βάση ένα περιορισμένο αριθμό στοιχείων ή μετρήσεων.

Αντίθετα η εκτίμηση της παραμέτρου  $\Omega$  για την κάθε ενεργειακή συσκευή (π.χ. ένας ψύκτης ή λαμπτήρας) είναι ενίοτε ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα, μια και δεν υπάρχουν κατά κανόνα διαθέσιμες μετρήσεις. Ο επιθεωρητής συχνά καταφεύγει σε κατά προσέγγιση εκτιμήσεις με βάση το ωράριο λειτουργίας ή εμπειρικά στοιχεία λειτουργίας. Μία απλουστευτική μέθοδος για τον προσδιορισμό των ετήσιων καταναλώσεων από τις επιμέρους συσκευές/συστήματα του φορέα, δίδονται στο φύλλο «Χρήση ενέργειας» του αρχείου EXCEL με τίτλο «Εργαλείο ενεργειακών ελέγχων.xls» (Προσθήκη Ι).



Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία για τις ώρες λειτουργίας μίας ενεργειακής συσκευής, συνιστάται η συσχέτιση των καταναλώσεων ενέργειας με άλλα ενδιαμέσα μεγέθη της παραγωγής για τα οποία υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία παραγωγής ανά στάθμη δυναμικότητας.

Ένα τυπικό ετήσιο ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα κτίριο του τριτογενούς τομέα δίδεται παραπλεύρως (Φύλλο : «Επιμερισμός» του αρχείου «Εργαλείο Ενεργειακών Ελέγχων.xls» (Προσθήκη Ι).

## 7.7 Απαιτήσεις

### 7.7.1 Γενικές απαιτήσεις

Ανάλογα με τους στόχους και τα κριτήρια του ελέγχου (συνοπτικού ή εκτενούς) και με βάση τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία καταναλώσεων ενέργειας, καθορίζεται η έκταση, η χρονική ανάλυση και η ακρίβεια των ισοζυγίων ενέργειας.

Ως γενική απαίτηση καθορίζεται ότι η κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει να προσμετράται για ένα μεγάλο εύρος διακύμανσης των καθοριστικών παραγόντων, το οποίο αντιστοιχεί σε συνήθειες και τυπικές διακυμάνσεις της παραγωγικής δραστηριότητας. Οι εν λόγω διακυμάνσεις θα πρέπει επίσης να καταγράφονται όσο το δυνατόν αναλυτικότερα, στο πλαίσιο των διαθέσιμων κονδυλίων για την επιθεώρηση. Με αυτό τον τρόπο αναπτύσσονται αξιόπιστοι τύποι της *κατανάλωσης αναφοράς*, για όλες τις απαιτούμενες κατηγορίες τελικής χρήσης. Σε καμία περίπτωση δεν γίνονται αποδεκτά στοιχεία κατανάλωσης που αντιστοιχούν σε μη τυπικές ή ακραίες συνθήκες λειτουργίας.

Για κάθε χρήση της ενέργειας για την οποία καταρτίζεται ισοζύγιο, θα διερευνάται η επίδραση κατ' ελάχιστον των κάτωθι παραγόντων :

- (α) των ωρών λειτουργίας της συναφούς εγκατάστασης,
- (β) του όγκου της παραγωγικής δραστηριότητας ή η έκταση των απασχολούμενων χώρων,
- (γ) των καιρικών μεταβολών.

### 7.7.2 Έκταση των ισοζυγίων

Στην συνοπτική επιθεώρηση τα ισοζύγια περιορίζονται σε επίπεδο των βασικών λειτουργικών μονάδων ενός συγκροτήματος όπως, οι κύριες βιομηχανικές μονάδες και τα μεγάλα κτίρια. Επίσης καλύπτουν τις βασικές διεργασίες στο συγκρότημα από πλευράς τελικής χρήσης της ενέργειας. Για παράδειγμα καλύπτουν το σύνολο της καταναλισκόμενης θερμότητας καυσίμων που προορίζεται για θέρμανση χώρων, χωρίς να υπεισέρχονται σε ανάλυση κατά κτίριο.

Αντίθετα στην εκτενή επιθεώρηση τα ισοζύγια καταρτίζονται σε όλες τις ενεργοβόρες παραγωγικές διεργασίες και κτιριακές εγκαταστάσεις. Η κατανάλωση κάθε μορφής ενέργειας αναλύεται σε επιμέρους καταναλώσεις που αφορούν κύριες και βοηθητικές συσκευές και εγκαταστάσεις, καθώς και επιμέρους κτιριακούς χώρους.

### 7.7.3 Χρονικό βήμα της ενεργειακής ανάλυσης

Για την συνοπτική επιθεώρηση, η τυπική χρονική περίοδος ανάλυσης είναι το τελευταίο δωδεκάμηνο για το οποίο υπάρχουν πλήρη στοιχεία. Καταγράφονται και παραθέτονται τα στοιχεία καταναλώσεων σε μηνιαία βάση, όπως προκύπτουν από τα τιμολόγια και τους λογαριασμούς ενέργειας. Επιπροσθέτως παρουσιάζονται τυχόν διαθέσιμα στοιχεία για την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας ή ωριαία κατανάλωση ενέργειας για τυπικές μέρες και ώρες του έτους.

Αντίθετα, για την εκτενή επιθεώρηση, όλα τα ανωτέρω στοιχεία είναι απαραίτητα. Η ανάλυση γίνεται σε μηνιαία ή ωριαία βάση, ενώ, ειδικότερα για την περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας, η ανάλυση μπορεί να γίνει σε βάση τετάρτου, σύμφωνα με τον τρόπο μέτρησης των αιχμών της ηλεκτρικής ζήτησης, όπως αυτές καθορίζονται από την ΔΕΗ.

Στην συνοπτική επιθεώρηση, η ειδική κατανάλωση ενέργειας εκφράζεται σε ετήσια ή εποχιακή βάση (χειμώνα, καλοκαίρι). Ο τύπος της κατανάλωσης αναφοράς συνήθως δίδεται από ένα ανηγμένο μέγεθος της κατανάλωσης ως προς τον αντίστοιχο όγκο της παραγωγής, τις ώρες λειτουργίας, τις βαθμομέρες θέρμανσης ή ψύξης και την έκταση των απασχολούμενων χώρων.

Στην εκτενή επιθεώρηση, ο τύπος για την κατανάλωση αναφοράς έχει αναλυτική μαθηματική έκφραση και διαμορφώνεται με βάση αναλυτικά στοιχεία μηνιαίας ή ωριαίας κατανάλωσης (Παράγραφος 7.5).

#### 7.7.4 Απαιτήσεις ακριβείας

Οι απαιτήσεις ακριβείας αφορούν :

- (α) την ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία τελικής χρήσης (θέρμανση διεργασιών, θέρμανση χώρων, φωτισμός, κλπ),
- (β) τις ετήσιες απώλειες ενέργειας ανά κατηγορία τελικής χρήσης,
- (γ) την προβλεπτική ικανότητα του τύπου για την κατανάλωση αναφοράς.

Για την κατηγορία (α), η απαιτούμενη ακρίβεια είναι συνάρτηση των οικονομικών κριτηρίων της επιθεώρησης βάσει των οποίων επιλέγονται και ιεραρχούνται οι προτάσεις εξοικονόμησης. Ο *χρόνος απόσβεσης* αποτελεί το συνηθέστερο κριτήριο.

Ο χρόνος απόσβεσης ενός μέτρου εξοικονόμησης ενέργειας, το οποίο απευθύνεται σε μία συγκεκριμένη χρήση ενέργειας, είναι αντιστρόφως ανάλογος της ποσότητας ενέργειας η οποία καταναλώνεται στη χρήση αυτή.

Για τις επεμβάσεις νοικοκυρέματος ο επιτρεπόμενος χρόνος απόσβεσης κυμαίνεται από μερικούς μήνες μέχρι ένα χρόνο. Είναι όλες οι επεμβάσεις άμεσης προτεραιότητας και εντοπίζονται σχετικά εύκολα από τον συνοπτικό έλεγχο. Οι απαιτήσεις ακριβείας κατά την εκτίμηση της ενέργειας τελικής χρήσης είναι επομένως περιορισμένες. Υπερεκτιμήσεις της τάξης του 50% δεν ανατρέπουν ουσιαστικά την προτεραιότητα υλοποίησης των προτεινόμενων επεμβάσεων μια και πάλι ο πραγματικός χρόνος απόσβεσης δεν θα υπερβαίνει το διάστημα των 18 μηνών.

Αντίθετα για τις επεμβάσεις που προτείνονται στα πλαίσιο του εκτενούς ελέγχου ο χρόνος απόσβεσης μπορεί να φθάνει έως και πέντε χρόνια και να βρίσκεται επομένως σε οριακά επίπεδα ως προς τα κριτήρια λήψης αποφάσεων του φορέα. Παράλληλα, μεγάλα σφάλματα στις εκτιμήσεις της ενέργειας τελικής χρήσης, δυνατόν να οδηγούν σε λανθασμένη ιεράρχηση επεμβάσεων. Εφόσον δεν προβλέπεται διαφορετικά, το σφάλμα εκτίμησης της ενέργειας ανά κατηγορία τελικής χρήσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το  $\pm 15\%$  το οποίο αντιστοιχεί σε σφάλμα εκτίμησης του χρόνου απόσβεσης  $-17,5\%$ ,  $+13\%$ .

Αντίστοιχες είναι οι απαιτήσεις ακριβείας κατά την εκτίμηση των απωλειών ενέργειας. (κατηγορία β). για την *εκ των προτέρων πρόβλεψη* του τύπου της κατανάλωσης αναφοράς (κατηγορία γ) οι απαιτήσεις ακριβείας δίδονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## 7.8 Στοιχεία παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας

Δείκτες όπως kWh/ημέρα, kWh/m<sup>2</sup>, kWh/m<sup>3</sup>, kWh/προϊόν, kWh/διανυκτέρευση είναι σημαντικό να παρακολουθούνται, πάντα όμως σε σχέση με άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές - εφόσον υπάρχουν- που επηρεάζουν την κατανάλωση. Για παράδειγμα στο τέλος μίας τυχαίας ημέρας ενός έτους σε μία βιομηχανία παραγωγής παγωτών μετρήθηκε για την συγκεκριμένη γραμμή παραγωγής του παγωτού πύραυλος, ειδική κατανάλωση 6kWh/τεμάχιο, ενώ σε κάποια άλλη ημέρα του έτους μετρήσαμε 6,5kWh/τεμάχιο. Είναι όμως αυτό από μόνο του αρκετό για να συμπεράνουμε, ότι κατά την πρώτη εκ των δύο ημερών, έχουμε καλλίτερη ενεργειακή επίδοση στην παραγωγή μας? Εκτεταμένη ανάλυση σχετικά με το ερώτημα αυτό γίνεται στο Παράρτημα Ζ.

Το συμπέρασμα από τα ανωτέρω είναι ότι πρέπει να μετράμε συστηματικά και τα παραγωγικά μας δεδομένα, αλλά και την αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας. Και για να γίνεται αυτό αξιόπιστα, και σύμφωνα με το πρώτο προαπαιτούμενο των ελαχίστων απαιτήσεων του παραρτήματος VI του νόμου 4342/2015, θα πρέπει κατά το δυνατόν η επιχείρηση να θέτει αρχείο δεδομένων, για **τουλάχιστον τρία έτη** πριν από τον ενεργειακό έλεγχο. Αυτό αναδεικνύει την αναγκαιότητα για εγκατάσταση εκτεταμένου δικτύου μετρητών ενέργειας και ισχύος, αν όχι ανά μηχανήμα, ή ανά κινητήρα, **τουλάχιστον ανά κέντρο κόστους, ή ανά χρήση ή ανά γραμμή παραγωγής.** Συνακόλουθα τα συστήματα BMS είναι απαραίτητα για την καταγραφή και συλλογή παραγωγικών δεδομένων ή άλλες μεταβλητών που επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγή μας. Ήδη οι μεγάλες επιχειρήσεις έχουν επενδύσει σε τέτοια συστήματα, απλώς θα πρέπει:

- 1) να βελτιστοποιηθούν οι καταγραφές ενέργειας σε σχέση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που επηρεάζουν τους δείκτες, είτε πρόκειται για τις εξισώσεις βάσης (baseline), είτε πρόκειται για άλλους επιμεριστικούς δείκτες που επηρεάζουν την παραγωγή.
- 2) να γίνουν πιο συστηματικές και τακτικές οι καταγραφές και αξιολογήσεις των δεδομένων αυτών.

Στο παρακάτω σχήμα 7.11 παρατηρούμε ότι, το ωράριο λειτουργίας ενός μεγάλου διοικητικού κτιρίου γραφείων με set-point σχεδιασμού 18°C είναι για τις εργάσιμες μόνο ημέρες από τις 07:00-19:00, και ότι οι τρέχουσες βαθμοώρες (κόκκινα εμβαδά) που «καλείται» να καλύψει ο λέβητας, ελάχιστα επηρεάζουν την κατανάλωση Φ.Α. Άρα θεωρητικά θα μπορούσε συμπεράνει κανείς, ότι κατά τον υπολογισμό της εξίσωσης βάσης θα ήταν δυνατό να εξαιρέσουμε από τον υπολογισμό τις υπόλοιπες βαθμοώρες, ή τουλάχιστον να εξαιρέσουμε τις βαθμοώρες του Σαβ/κου. Το ίδιο θα ίσχυε, ακόμα και αν αθροίζαμε σε αυτές, τη διαφορά των βαθμοωρών που θα αντιστοιχούσαν στο set-point λειτουργίας του κτιρίου 22°C, αλλάζοντας ελάχιστα με τον τρόπο αυτό, μέσα από την παλινδρόμηση τους σταθερούς συντελεστές της εξίσωσης βάσης. Ωστόσο κατά την συνήθη πρακτική, οι βαθμοημέρες θέρμανσης (που λαμβάνονται με set-point σχεδιασμού τους 18°C αθροιστικά στο σύνολο του μήνα περιλαμβάνοντας τις νύχτες και τα Σαβ/κα, όπου παγώνει το νερό του δικτύου θέρμανσης) προσομοιώνουν παρόλα αυτά σε μηνιαία βάση με σχετικά πολύ ικανοποιητικό τρόπο την συμπεριφορά των κτιρίων που διαθέτουν κεντρικό αερισμό και κλιματισμό ή πχ των ξενοδοχείων της Αθήνας με 12μηνη λειτουργία. Αντίθετα η μέγιστη ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία προσομοιώνει σε εβδομαδιαία βάση καλλίτερα την

καταναλωτική συμπεριφορά παραλιακών ξενοδοχείων, που δεν διαθέτουν κεντρικό αερισμό και κλιματισμό, σε σχέση με τις βαθμομέρες ψύξης. Το ίδιο ισχύει και για εγκαταστάσεις βιομηχανικής ψύξης ή ειδικών βιομηχανικών διεργασιών που εξαρτώνται από την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ειδικά για την επιλογή των Βαθμομερών θέρμανσης υπάρχουν 4 πηγές που μπορεί κανείς να αντλήσει δεδομένα :

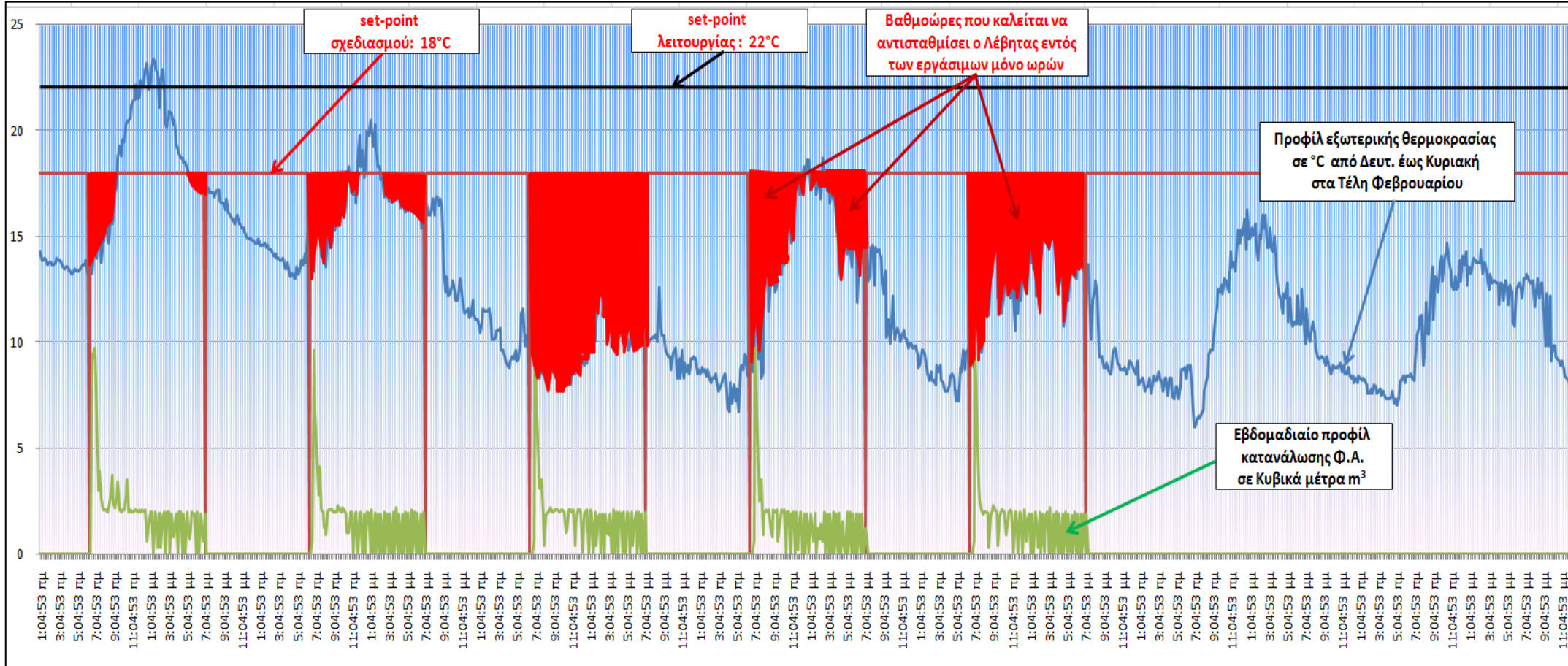
- 1) Από τη NASA (δορυφορικά δεδομένα),
- 2) Από επίσημες ιστοσελίδες μετεωρολογικών σταθμών που περιλαμβάνουν την περιοχή που μας αφορά,
- 3) Από ιδιόκτητο αισθητήριο εξωτερικής θερμοκρασίας ή μετεωρολογικό σταθμό που ανήκει πχ στο BMS του καταναλωτή,
- 4) Από ερευνητικό κέντρο που διαθέτει σταθμό μέτρησης στην περιοχή που μας αφορά (Αστεροσκοπείο ή Πανεπιστήμιο).

Τις περισσότερες φορές και για ποικίλους λόγους τα δεδομένα αυτών των τεσσάρων πηγών είναι διαφορετικά μεταξύ τους (πχ τα τοπικά αισθητήρια επηρεάζονται στις μεγαλουπόλεις από την ακτινοβολία και την τοπική ροή θερμότητας των δωματίων ή των διπλανών κτιρίων και των εξοπλισμών, ενώ τα δορυφορικά δεδομένα αποκλίνουν κατά μέσο όρο από τις τοπικές διακυμάνσεις του καιρού).

Ωστόσο η αρχική μας επιλογή κατά τον υπολογισμό της εξίσωσης βάσης που αντιστοιχεί στην περίοδο αναφοράς θα καθορίσει και τις μελλοντικές μας επιλογές, ήτοι : Δεν επιτρέπεται να αλλάζουμε πηγή δεδομένων από έτος σε έτος, ή αλλιώς, αν πχ επιλέξουμε ως πηγή το Αστεροσκοπείο Αθηνών, δεν δύναται σε επόμενα έτη να αλλάξουμε πηγή δεδομένων, γιατί αυτό θα επέφερε αλλοίωση και στρέβλωση στα συμπεράσματά μας. Η ανάλυση παλινδρόμησης προκειμένου για τον υπολογισμό της εξίσωσης βάσης (baseline) σε έναν καταναλωτή, δεν είναι τίποτε άλλο από στατιστική συσχέτιση με την οποία ερμηνεύουμε την καταναλωτική συμπεριφορά ως προς τις ανεξάρτητες μεταξύ τους μεταβλητές ή παράγοντες που την επηρεάζουν.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα κατά την διαδικασία επιλογής βαθμομερών θέρμανσης ή ψύξης είναι το set-point (σημείο ρύθμισης) σχεδιασμού. Η διαφοροποίηση του συγκεκριμένου set-point μπορεί να επάγει σε αρκετές διακεκριμένες περιπτώσεις σοβαρό σφάλμα κατά τον υπολογισμό της εξίσωσης βάσης (baseline), και για το λόγο αυτό προτείνεται η επιλογή του set-point σχεδιασμού των κτιρίων σύμφωνα με την ΥΑ Αριθμ.Δ6/7094-ΦΕΚ 918 Β'/23-05-2011 (18°C για την θέρμανση-HDD και 26°C για την ψύξη-CDD), επειδή η αλλαγή του σε οποιοδήποτε στάδιο (στο στάδιο της αρχικής επιλογής των δεδομένων που αφορούν την περίοδο αναφοράς, στο στάδιο της ενδιάμεσης επιλογής δεδομένων ή στο στάδιο της βελτιστοποίησης της στατιστικής παλινδρόμησης), μπορεί να προκαλέσει ανωμαλίες στην ανάλυση μελλοντικών δεδομένων. Οποιαδήποτε άλλη επιλογή set-point βαθμομερών θέρμανσης ή ψύξης είναι αποδεκτή, αρκεί να μην μεταβάλλεται σε οποιοδήποτε ενδιάμεσο στάδιο υπολογισμού ή σε επόμενα έτη. Σε περίπτωση που υπάρχει σχετική εξοικείωση με την διαδικασία αναζήτησης της baseline, το βέλτιστο set-point από την πλευρά της στατιστικής ανάλυσης θεωρείται συνήθως εκείνο, που ελαχιστοποιεί το τυπικό σφάλμα της εξίσωσης-γραμμής αναφοράς, και συνεπώς μειώνει στο μέλλον την αβεβαιότητα του υπολογισμού της αναμενόμενης κατανάλωσης ενέργειας.

Σχήμα 7.11 : Εβδομαδιαίο προφίλ εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος, Λειτουργία του λέβητα και βαθμομέρες θέρμανσης κατά τις ώρες λειτουργίας του



Αναφορικά με τα παραγωγικά δεδομένα που αφορούν χαλασμένες παρτίδες ή αστοχίες σε συσκευασίες που δεν αποτελούν προϊόντα προς πώληση υπάρχουν 2 δρόμοι:

- Τα προϊόντα αυτά να εξαιρούνται από τα καθαρά προς πώληση προϊόντα (αφού δεν αποτελούν πλέον πόρους προς ρευστοποίηση για την επιχείρηση), οπότε η ενέργεια που απαιτήθηκε για την παραγωγή τους, συνεχίζει να προσμετράται στην συνολική κατανάλωση (επειδή συνήθως είναι και δύσκολο να επιμεριστεί η ενέργεια ανά χαλασμένο προϊόν) .
- Σε περίπτωση που η αστοχία είναι μαζική, να εξαιρούνται από τα καθαρά προς πώληση προϊόντα, μαζί με την ενέργεια που απαιτήθηκε για την παραγωγή τους. Η συγκεκριμένη κατανάλωση ενέργειας στην περίπτωση αυτή θεωρείται παραγωγική απώλεια ενέργειας και ερμηνεύεται αναλόγως.

## 8 Τεχνικές εκτίμησης και εφαρμογής του τύπου γραμμής βάσης

### 8.1 Ο τύπος της γραμμής βάσης

#### 8.1.1 Γενική μορφή του τύπου

Οι καταναλώσεις ενέργειας  $E_k$  ή αλλιώς  $Y_k$  συνήθως προσεγγίζονται με ένα τύπο της κατανάλωσης βάσης, αποκαλούμενου στην συνέχεια τύπος γραμμής βάσης.

Ο τύπος αυτός μπορεί να είναι και μη γραμμικός αλλά συνήθως λαμβάνεται γραμμικός ως εξής :

$$\hat{Y}_k = \beta_0 + \beta_1 X_{k,1} + \beta_2 X_{k,2} + \dots + \beta_p X_{k,p} + \delta_k \quad (8.1)$$

όπου

$k$  δείκτης αρίθμησης των χρονικών διαστημάτων σε σύνολο  $K$  διατεταγμένων συνόλων κατά τα οποία μετρώνται η κατανάλωση ενέργειας  $Y_k$  και οι τιμές των ανεξαρτήτων μεταβλητών  $X_{k,1}, X_{k,2}, \dots, X_{k,p}$  που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας αυτή

$p$  είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών (π.χ. όγκος παραγωγής, μέση εξωτερική θερμοκρασία, μέση σύσταση πρώτων υλών, κλπ) και  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_p$  είναι οι αντίστοιχοι παράμετροι του τύπου γραμμής βάσης.

$\delta_k$  είναι το σφάλμα εκτίμησης της κατανάλωσης ενέργειας  $\hat{Y}_k$  κατά το χρονικό διάστημα  $k$  έναντι της πραγματικής μετρηθείσας  $Y_k$ , δηλαδή ορίζεται ως η διαφορά:

$$\delta_k = (\hat{Y}_k - Y_k). \quad (8.2).$$

Όσο μικρότερο είναι το σφάλμα αυτό, τόσο καλύτερα προβλέπει ο τύπος την κατανάλωση βάσης με βάση τις αντίστοιχες τιμές των διορθωτικών παραγόντων (ανεξάρτητες μεταβλητές).

Οι παράμετροι  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  προσδιορίζονται συνήθως με τις γνωστές τεχνικές παλινδρόμησης πολλαπλών μεταβλητών. Συνήθως και στην πράξη ο τύπος περιορίζεται σε μία έως δύο ανεξάρτητες μεταβλητές.

#### 8.1.2 Η εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης

Η επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας  $EE_M$  για  $M$  χρονικά διαστήματα μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης, εκτιμάται ως άθροισμα των διαφορών :

$$EE_M = \sum_{m=1}^M (\hat{Y}_m - Y_m) \quad (8.3)$$

όπου  $Y_m$  είναι η μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά το χρονικό διάστημα  $m$  σε σύνολο  $M$  διαστημάτων μετρήσεων και

$\hat{Y}_m$  είναι η κατανάλωση ενέργειας η οποία αντιστοιχεί στην γραμμή βάσης της κατανάλωσης και υπολογίζεται από τον τύπο 8.1 με βάση τις νέες μετρήσεις των ανεξαρτήτων μεταβλητών  $X_{m,1}, X_{m,2}, \dots, X_{m,p}$ ,

Σε ποσοστιαία μορφή η επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας εκτιμάται ως εξής :

$$\varepsilon_M = \left( EE_M / \sum_{m=1}^M \hat{Y}_m \right) = \left( \sum_{m=1}^M (\hat{Y}_m - Y_m) / \sum_{m=1}^M \hat{Y}_m \right) \quad (8.4)$$

Για  $M = 1$ , δηλαδή για μία μόνο μέτρηση  $Y_1$  μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας η εξοικονόμηση  $EE$  ή  $\varepsilon$  (ως ποσοστό) υπολογίζεται ως:

$$EE_1 = (\hat{Y}_1 - Y_1) \quad (8.5)$$

και

$$\varepsilon_1 = (EE_1 / \hat{Y}_1) = \frac{(\hat{Y}_1 - Y_1)}{\hat{Y}_1} \quad (8.6)$$

### 8.1.3 Παράδειγμα εφαρμογής

Κατά τον έλεγχο μίας Ξενοδοχειακής μονάδας ο ενεργειακός ελεγκτής συγκέντρωσε τα ακόλουθα στοιχεία για τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας  $Y$  (σε MWh), την μέση θερμοκρασία του μήνα  $X_1$  (σε °C) και την μέση πληρότητα του ξενοδοχείου  $X_2$  (%). Στον Πίνακα 8.1. ο ελεγκτής υπολογίζει επίσης και την γραμμή βάσης για τα στοιχεία αυτά όπως προκύπτει από την εφαρμογή της εξίσωσης 8.1. Παρατηρείται ότι οι προβλέψεις της γραμμής βάσης προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα αρχικά μετρητικά δεδομένα για τις καταναλώσεις ενέργειας.

Πίνακας 8.1 : Διατεταγμένα σύνολα δεδομένων προ της λήψεως μέτρων

Μήνας	$X_{1,k}$	$X_{2,k}$	$Y_k$	$\hat{Y}_k$
ΜΑΡ	15	37	32	30,47
ΑΠΡ	17	45	45	44,34
ΜΑΙ	19	65	68	65,47
ΙΟΥΝ	22	82	76	89,30
ΙΟΥΛ	26	92	105	113,43
ΑΥΓ	27	100	130	122,79
ΣΕΠ	24	92	115	104,39
ΟΚΤ	19	90	78	80,57
ΝΟΕ	16,5	85	68	66,24

Βάσει των στοιχείων αυτών ο ενεργειακός ελεγκτής προσδιορίζει τις παραμέτρους της παλινδρόμησης με την βοήθεια ενός στατιστικού προγράμματος (π.χ. με την υπορουτίνα «Παλινδρόμηση» στο EXCEL):  $\beta_0 = -59,714$ ,  $\beta_1 = 4,522$  και  $\beta_2 = 0,604$

Τον επόμενο χρόνο και μετά την υλοποίηση των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, ο ενεργειακός ελεγκτής συνέλεξε τα ακόλουθα δεδομένα του Πίνακα 8.2. Στον Πίνακα αυτό υπολογίζονται επίσης :

- α)  $\hat{Y}_m$  βάσει του τύπου 8.1.
- β)  $EE_M$  : η εξοικονόμηση ενέργειας σε κάθε χρονικό διάστημα μηνός (τύπος 8.3)
- γ) το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας σε κάθε χρονικό διάστημα, βάσει του τύπου 8.4 για  $M=1$

Πίνακας 8.2 : Διαταγμένα σύνολα δεδομένων και υπολογισμών μετά την λήψη μέτρων

Μήνας	$m, M$	$X_{1,m}$	$X_{2,m}$	$Y_m$	$\hat{Y}_m$	$EE_M$	$\epsilon_m$	$\epsilon_M$
<b>Απρ</b>	1	17	55	35	50,4	15,38	30,5%	30,5%
<b>Μαϊ</b>	2	21	75	62	80,6	18,55	23,0%	25,9%
<b>Ιουν</b>	3	23	85	74	95,6	21,64	22,6%	24,5%
<b>Ιουλ</b>	4	25	95	82	110,7	28,72	25,9%	25,0%
<b>Αυγ</b>	5	27	100	95	122,8	27,79	22,6%	24,4%

- δ) το αθροιστικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας βάσει του τύπου 8.4

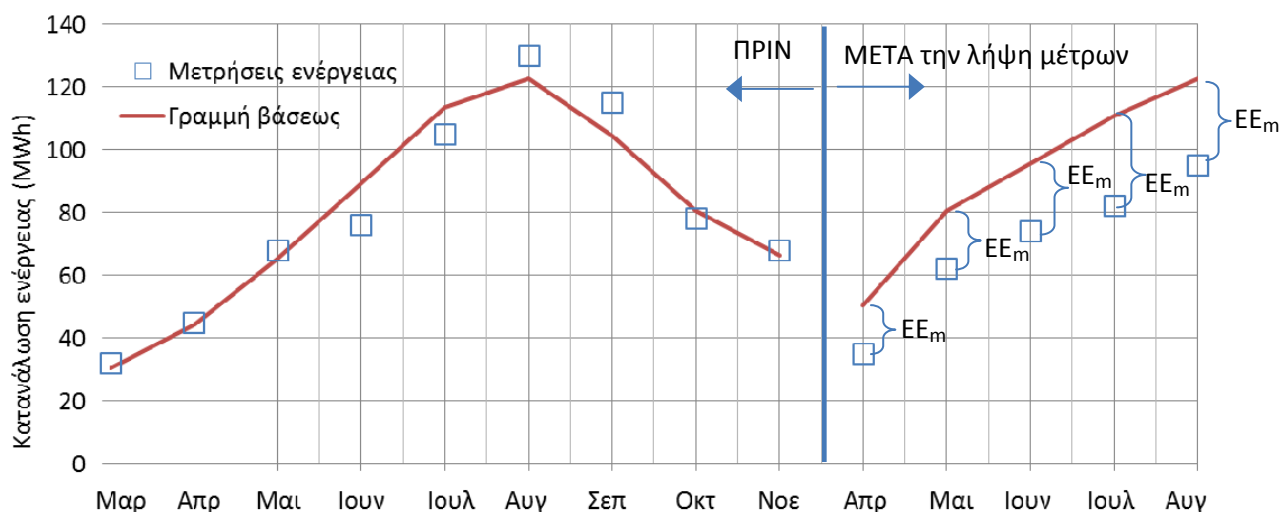
Τα αποτελέσματα αυτά δίδονται επίσης και γραφικά στο Σχήμα 8.1. όπου η γραμμή βάσης αντιστοιχεί τους υπολογισμούς βάσει του τύπου 8.1. Παρατηρείται ότι η γραμμή βάσης κατά την περίοδο βάσης (πριν την λήψη μέτρων) προσεγγίζει αρκετά ικανοποιητικά τα μετρητικά δεδομένα.

Στον Πίνακα 8.2, οι τρεις πρώτες αριθμητικές στήλες δίδουν τα νέα δεδομένα τα οποία ελήφθησαν μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ενώ στήλη  $\hat{Y}_m$  δίνει τους υπολογισμούς για την προσαρμοσμένη γραμμή βάσης βάσει του τύπου 8.1 και των δεδομένων του Πίνακα 8.2 ( $\hat{Y}_k$  και  $\hat{Y}_m$ ) ενώ οι μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας αντιστοιχούν στα στοιχεία  $Y_k$  και  $Y_m$  των ανωτέρω Πινάκων.

Τα εν λόγω στοιχεία παριστάνονται γραφικά στο Σχήμα 8.1, στον οποίο δίδονται με αγκύλες τα μεγέθη εξοικονόμησης ενέργειας  $EE_m$  κατά την περίοδο μετά την λήψη μέτρων.

Τέλος στον Πίνακα 8.2 δίδονται και τα αθροιστικά ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας  $\epsilon_M$  τα οποία αντιστοιχούν στην εξίσωση 8.4.

Σχήμα 8.1. : Γραμμή βάσης και εξοικονόμηση ενέργειας



## 8.2 Τυπικό σφάλμα και απαιτήσεις ακριβείας

### 8.2.1 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του σφάλματος εκτιμήσεως

Αποδεικνύεται από την θεωρία της παλινδρόμησης ότι η μέση τιμή  $\bar{\delta}$  των σφαλμάτων παλινδρόμησης  $\delta$  είναι μηδενική :

$$\bar{\delta} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\hat{Y}_k - Y_k) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \hat{Y}_k - \bar{Y} = 0 \quad (8.7)$$

όπου 
$$\bar{Y} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sqrt{Y_k} \quad (8.8)$$

Η τυχαία μεταβλητή  $\hat{Y}_k$  με τα οποία προβλέπονται στοιχεία  $Y_k$  καλείται αμερόληπτη εκτιμήτρια των στοιχείων  $Y_k$  διότι έχει τον ίδιο μέσο όρο με αυτά.

Το τυπικό σφάλμα  $\sigma(\delta)$  της τυχαίας μεταβλητής (σφάλματος)  $\delta$  ορίζεται ως εξής:

$$\sigma(\delta) = RMSE = \sqrt{\frac{1}{(K-p-1)} \sum_{k=1}^K (\hat{Y}_k - Y_k)^2}, \quad (8.9)$$

όπου RMSE(Root Mean Square Error)= Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (PMTΣ)

Επομένως έχοντας ένα σύνολο αρχικών  $K$  καταναλώσεων και των αντίστοιχων τιμών των διορθωτικών παραμέτρων υπολογίζεται απ' ευθείας η μέση τιμή  $\bar{Y}$  και το τυπικό σφάλμα RMSE.

Είναι γνωστό από την Στατιστική ότι η τυπική απόκλιση του σφάλματος  $\delta$  σε μία γραμμική πολυδιάστατη παλινδρόμηση ακολουθεί την στατιστική κατανομή κατά Student τα βασικά

χαρακτηριστικά της οποίας δίδονται στο Σχήμα 8.2. Η κατανομή αυτή ομοιάζει με την κανονική κατανομή (κατά Gauss) και είναι συνάρτηση των βαθμών ελευθερίας της παλινδρόμησης ( $df = \text{degrees of freedom}$ ). οι οποίοι ισούνται με  $df=K-p-1$ . όπου  $K$  είναι ο αριθμός των διατεταγμένων στοιχείων της παλινδρόμησης και  $p$  είναι ο αριθμός των ανεξαρτήτων μεταβλητών. Στο Σχήμα 8.2 δίδεται η κατανομή για  $df = 12$ . Όταν οι  $df$  τείνουν στο άπειρο, η κατανομή Student τείνει προς την κανονική κατανομή.

### 8.2.2 Η αβεβαιότητα εκτίμησης της εξοικονόμησης ενέργειας

Η εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας με την εξίσωση 8.3 ή 8.4 ενέχει την αβεβαιότητα εκτιμήσεως των όρων της διαφοράς : της εκ των υστέρων γραμμής βάσης  $\hat{Y}_m$  έχει της ίδιας τάξεως αβεβαιότητα πρόβλεψης με την  $\hat{Y}_k$ , εκ των προτέρων πρόβλεψης  $\tau$  των καταναλώσεων ενέργειας κατά την περίοδο βάσης. Η αβεβαιότητα αυτή μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την τυπική απόκλιση των όρων της εξίσωσης 8.5(για μία μέτρηση) ή την 8.3 (για περισσότερες). Για μία μέτρηση στο χρονικό διάστημα μη αβεβαιότητα  $A$  εκτιμάται από το τυπικό σφάλμα  $\sigma$  επί ένα συντελεστή  $t$ :

$$A(E E_m) = t \cdot \sigma(E E_m) \quad (8.10a)$$

Βάσει της αβεβαιότητας αυτής εκφράζεται το διάστημα διακύμανσης των προβλέψεων για την εξοικονόμηση ενέργειας :

$$E E_m \pm t \cdot \sigma(E E_m) \quad (8.10b)$$

Θεωρώντας ότι το εκ των υστέρων σφάλμα της προβλεπτικής μεταβλητής  $\hat{Y}_m$  είναι το ίδιο με το εκ των προτέρων σφάλμα της μεταβλητής αυτής βάσει των στοιχείων της περιόδου βάσης  $\hat{Y}_k$  τότε η τυπική απόκλιση  $\sigma$  του σφάλματος εκτίμησης υπολογίζεται ως εξής :

$$\sigma^2(E E_m) = \sigma^2(\delta_m) = \sigma^2(\hat{Y}_k) + \sigma^2(Y_m) \quad (8.11)$$

$\sigma^2(\hat{Y}_k)$  είναι η τυπική απόκλιση του τύπου 8.1 από τις πραγματικές μετρήσεις και η οποία εκτιμάται από την εξίσωση 8.9 ανωτέρω και

$\sigma(Y_m)$  είναι η τυπική απόκλιση του μετρητικού σφάλματος της νέας κατανάλωσης  $Y_m$  η οποία εκτιμάται από το μετρητικό σφάλμα του οργάνου μέτρησης, όπως το δίδουν οι προμηθευτές (διά  $t$  κατά Studentίσο με 1).

Σε περίπτωση όπου η μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας γίνεται από την εταιρεία παροχής και βάσει αυτής γίνεται και η χρέωση της ενέργειας, τότε η αβεβαιότητα της μέτρησης λαμβάνεται μηδενική, ανεξάρτητα του σφάλματος του οργάνου, γιατί τελικώς ο λογαριασμός πληρώνεται βάσει αυτής της μετρήσεως.

### 8.2.3 Ο τυπικός στόχος EE και η συναφής αβεβαιότητα

Οι απαιτήσεις ακριβείας θα πρέπει να προσδιορίζονται σε συνάρτηση με το στόχο εξοικονόμησης ενέργειας.

Ακολουθώντας την διεθνή πρακτική το κριτήριο ακριβείας διαμορφώνεται εδώ με βάση την τυπική απόκλιση  $\sigma$  των σφαλμάτων εκτίμησης. Ως γενικό κριτήριο ακρίβειας λαμβάνεται ότι το διπλάσιο του σφάλματος εκτίμησης όπως υπολογίζεται από την εξίσωση 8.9, θα πρέπει να είναι μικρότερο του στόχου εξοικονόμησης ενέργειας :

$$A(t=2) = 2 \cdot \sigma(EE) < (\text{ΣΤΟΧΟΣ } EE) = EE \quad (8.12\alpha)$$

$$\text{ή σε ποσοστιαία βάση : } EE \Sigma EE = \alpha(t=2)\% = \frac{2\sigma(EE)}{\bar{Y}} \leq \frac{EE}{\bar{Y}} = \varepsilon \quad (8.12\beta)$$

όπου  $\varepsilon$  είναι το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας  $EE$  ως προς την μέση τιμή της κατανάλωσης  $\bar{Y}$ . Η απαίτηση της εξίσωσης 8.12α μπορεί να γραφεί εναλλακτικά :

$$\sigma(EE)/EE < 0,5 \quad (8.12\gamma)$$

Σήμερα το κριτήριο αυτό του τύπου 8.12β προτείνεται από το IPVMP και ονομάζεται εδώ ως «Ελάχιστος Επαληθεύσιμος Στόχος Εξοικονόμησης Ενέργειας» (EEΣΕΕ)..

Για την εκτίμηση της αβεβαιότητας γίνεται χρήση του Σχήματος 8.2 για την στατιστική κατανομή κατά Student. Από την συνάρτηση πιθανότητας (ερυθρά καμπύλη) η πιθανότητα για  $t = 2$ , είναι 0,9657. Σε μορφή συμβόλων :

$$\Pi(t=2) = 0,9657 \quad (8.13)$$

Αντιστρόφως για πιθανότητα  $\Pi = 0,95$  η αντίστοιχη τιμή του  $\sigma$  ισούται με  $t = 1,7823$ ..

$$\text{Δηλαδή: } t(\Pi=0,95) = 1,7823 \quad (8.14)$$

Αυτό σημαίνει ότι στο μονόπλευρο διάστημα εμπιστοσύνης από  $-\infty$  έως 1,7823 υπάρχει το 95% των πιθανών τιμών της  $EE_m$ . Σε αυτή την περίπτωση η γαλάζια ουρά στο δεξιό αλλά και στο αριστερό μέρος της καμπύλης του Σχήματος 8.2 θα ισούται με 5% λόγω συμμετρίας και αφού το σύνολο του εμβαδού της συνάρτησης πυκνότητας ισούται με 1, όπως εξ' άλλου φαίνεται και από την ερυθρά καμπύλη (συνάρτηση πιθανότητας). Επομένως το εμβαδό μεταξύ των δύο κατακόρυφων γραμμών στα σημεία 1,1823 και -1,1823 ισούται με 95%-5% = 90%.

Δηλαδή για το αμφίπλευρο διάστημα  $t = \pm 1,1823$  τότε ο βαθμός αυτού του αμφίπλευρου διαστήματος εμπιστοσύνης ισούται με 90%. Παρομοίως για το αμφίπλευρο διάστημα  $t = \pm 2,0$  τότε ο βαθμός του αμφίπλευρου αυτού διαστήματος εμπιστοσύνης θα ισούται με  $0,9657 - (1 - 0,9657) = 0,9657 - 0,0343 = 93,13\%$ .

#### 8.2.4 Απαιτήσεις ακριβείας

Εκείνο όμως που είναι το πλέον κρίσιμο σε μία επένδυση εξοικονόμησης ενέργειας είναι το κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης (δηλαδή το σημείο  $-t \cdot \sigma$  στο σχήμα 8.2) να είναι μεγαλύτερο από ένα κάτω όριο το οποίο πρέπει να συμφωνείται με τον επενδυτή (π.χ.  $t = -2$ ). Τότε πλέον το διάστημα εμπιστοσύνης ενδιαφέροντος γίνει μονόπλευρο και εκτείνεται μεταξύ αυτού του κάτω ορίου και του  $+\infty$ . Στην περίπτωση αυτή τα ανωτέρω αμφίπλευρα διαστήματα εμπιστοσύνης όταν γίνουν μονόπλευρα προς τα κάτω έχουν τους ακόλουθους βαθμούς εμπιστοσύνης :

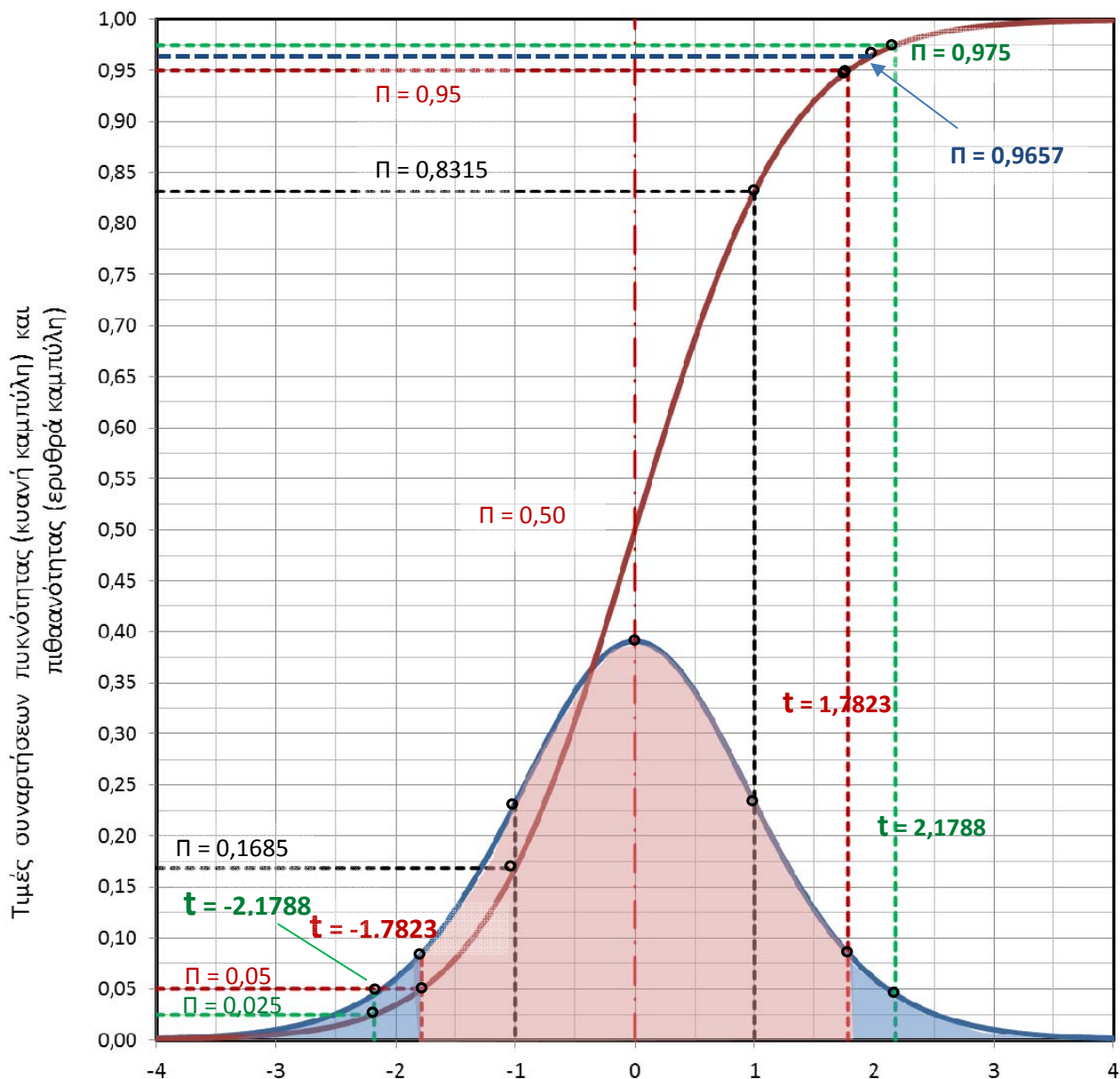
Μονόπλευρο Διάστημα  $t = -2$  έως  $+\infty$  :  $\Pi = 96,57\%$

Μονόπλευρο Διάστημα  $t = -1,7823$  έως  $+\infty$  :  $\Pi = 95\%$

Βάσει των ανωτέρω διαπιστώνεται ότι εφ' όσον ο στόχος εξοικονόμησης ενέργειας  $EE$  είναι μεγαλύτερος από  $2\sigma$ , αυτό συνεπάγεται ότι η πιθανότητα ώστε η  $EE$  να είναι τελικός μηδενική ή και αρνητική θα είναι μικρότερη από  $1 - 0,9657 = 3,43\%$ . Αντίστοιχα όταν ο στόχος  $EE$  είναι μεγαλύτερος από  $1,7823 \cdot \sigma$ , τότε η πιθανότητα μηδενικής ή αρνητικής

εξοικονόμησης θα είναι μικρότερη από το 5%. Σημειώνεται ότι και στις δύο αυτές τις περιπτώσεις, η πιθανότητα ώστε η ΕΕ να υπερβεί τον στόχο είναι ίση με 50%.

Σχήμα 8.2 : Τυπικά χαρακτηριστικά της συνάρτησης κατανομής t (Student) για  $df = 12$



Επομένως μία καλή πολιτική για τον καθορισμό των στόχων εξοικονόμησης ενέργειας είναι ο ενεργειακός ελεγκτής να συμφωνεί με τον επενδυτή τον στόχο και την πιθανότητα αυτός να μην επιτευχθεί. Για τούτο ο ενεργειακός ελεγκτής προτείνει συνήθως στόχο ΕΕ μεγαλύτερο από 2σ κατά  $\pi$  έτσι ώστε η πιθανότητα 3,4% να αφορά πλέον τον πρόσθετο στόχο  $\pi$ , βάσει του οποίου υπάρχει μία ανεκτή οικονομική απόδοση από τον επενδυτή ακόμα και εάν μηδενιστεί το μέρος του αναμενόμενου στόχου που αντιστοιχεί στο 2σ με πιθανότητα 3,4% ή μικρότερη.

Στον πίνακα που ακολουθεί, δίδεται η μονόπλευρη πιθανότητα  $\Pi(t=2)$  της κατανομής  $t$  για  $t = -\infty$  έως  $2$  καθώς και η αντίστοιχη πιθανότητα  $1-\Pi(t=2)$ , μηδενικής ή αρνητικής εξοικονόμησης για τους διάφορους βαθμούς ελευθερίας της κατανομής Student.

Πίνακας 8.3 : Πιθανότητες κατανομής  $t$  (Student) για  $t = 2$ , ως συνάρτηση των βαθμών ελευθερίας  $df$

df	$\Pi(t=2)$	$1-\Pi(t=2)$	df	$\Pi(t=2)$	$1-\Pi(t=2)$
1	85,24%	14,76%	26	97,20%	2,80%
2	90,82%	9,18%	27	97,22%	2,78%
3	93,03%	6,97%	28	97,24%	2,76%
4	94,19%	5,81%	29	97,25%	2,75%
5	94,90%	5,10%	30	97,27%	2,73%
6	95,38%	4,62%	31	97,28%	2,72%
7	95,72%	4,28%	32	97,30%	2,70%
8	95,97%	4,03%	33	97,31%	2,69%
9	96,17%	3,83%	34	97,32%	2,68%
10	96,33%	3,67%	35	97,33%	2,67%
11	96,46%	3,54%	36	97,35%	2,65%
12	96,57%	3,43%	37	97,36%	2,64%
13	96,66%	3,34%	38	97,37%	2,63%
14	96,74%	3,26%	39	97,38%	2,62%
15	96,80%	3,20%	40	97,38%	2,62%
16	96,86%	3,14%	50	97,45%	2,55%
17	96,91%	3,09%	60	97,50%	2,50%
18	96,96%	3,04%	70	97,53%	2,47%
19	97,00%	3,00%	80	97,56%	2,44%
20	97,04%	2,96%	90	97,57%	2,43%
21	97,07%	2,93%	100	97,59%	2,41%
22	97,10%	2,90%	200	97,66%	2,34%
23	97,13%	2,87%	500	97,70%	2,30%
24	97,15%	2,85%	1000	97,71%	2,29%
25	97,18%	2,82%	$+\infty$	97,72%	2,28%

Από τον Πίνακα αυτό διαπιστώνεται ότι για μικρούς βαθμούς ελευθερίας  $df$  η μονόπλευρη αβεβαιότητα αυξάνεται. Για την μείωση αυτής της αβεβαιότητας επιβάλλεται ο αρχικός αριθμός μετρήσεων  $K$  βάσει του οποίου εξάγονται οι παράμετροι της παλινδρόμησης πρέπει να είναι τουλάχιστον 12.

### 8.3 Εφαρμογή – στατιστικά κριτήρια – εκ των προτέρων προβλέψεις

#### 8.3.1 Το φύλλο «Παλινδρόμηση»

Για την διευκόλυνση των ενεργειακών ελεγκτών αναπτύσσεται εδώ το υπολογιστικό φύλλο «Παλινδρόμηση» σε αρχείο «Εργαλείο Ενεργειακών Ελέγχων.xls» σε περιβάλλον EXCEL (Προσθήκη I) για την εκ των προτέρων στατιστική αξιολόγηση του τύπου της γραμμής βάσης και της αβεβαιότητας κατά την εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας. Με το πρόγραμμα αυτό ελέγχεται και καθορίζεται ο στόχος ΕΕ ώστε αυτός να ανταποκρίνεται στις προσδοκίες του επενδυτή.

Στο πρόγραμμα αυτό δίδονται τα δεδομένα του παραδείγματος της παραγράφου 8.1.3, δηλαδή δίδονται οι τιμές των μετρήσεων X και Y προ και μετά από την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (Πίνακες 8.1 και 8.2).

Το πρόγραμμα δίνει ως αποτέλεσμα όλα τα υπολογιζόμενα μεγέθη των εν λόγω Πινάκων καθώς και επίσης και τον ακόλουθο πίνακα στατιστικών αποτελεσμάτων:

Πίνακας 8.4 : Στατιστική ανάλυση του φύλλου «Παλινδρόμηση»

df	RMSE	R <sup>2</sup>	ta 95%	tm 95%	Π(t=2)
6	8,481	0,947	2,447	1,943	0,954
	b	s	t	Άνω 95%	Κάτω 95%
X0	-59,714	14,590	-4,093	-95,415	-24,013
X1	4,522	1,072	4,218	1,899	7,145
X2	0,604	0,207	2,912	0,096	1,112
79,7	: Μέση τιμή της καταναλώσεως βάσεως				
21,3%	: Ελάχιστος Επαληθεύσιμος Στόχος ΕΕ κατά IPMVP (τύπος 8.12β)				
29,7%	: Ελάχιστος Επαληθεύσιμος Στόχος ΕΕ κατά ASHRAE (τύπος 8.20)				

df : βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom)

RMSE : είναι η τυπική απόκλιση σ και δίδεται από τον τύπο 8.9

R<sup>2</sup> : ο συντελεστής προσδιορισμού ο οποίος δίδεται από τον τύπο:

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^K (\hat{Y}_k - Y_k)^2}{\sum_{k=1}^K (\hat{Y}_k - \bar{Y})^2} \quad (8.15)$$

Ο συντελεστής αυτός είναι ένα μέτρο για τον βαθμό ερμηνείας του τύπου 8.1. με τα πραγματικά δεδομένα. Χωρίς να υπάρχει ένα σαφές κάτω όριο για το τι συνιστά ικανοποιητική συσχέτιση, όταν R<sup>2</sup><0,92 η συσχέτιση θεωρείται ικανοποιητική.

ta 95% : είναι ο αριθμός t για τον οποίο επιτυγχάνεται βαθμός εμπιστοσύνης 95% για ένα αμφίπλευρο διάστημα -t έως t.

tm 95% : είναι ο αριθμός t για τον οποίο επιτυγχάνεται βαθμός εμπιστοσύνης 95% για ένα μονόπλευρο διάστημα -t έως +∞.

Π(t=2) : είναι η πιθανότητα του μονόπλευρου διαστήματος (-∞ έως t) ή (-t έως +∞)

Τα ανωτέρω στοιχεία είναι πληροφοριακού χαρακτήρα και εξαρτώνται τόσο από την συσχέτιση του τύπου 8.1 όσο και τους βαθμούς ελευθερίας της συσχέτισης df. Ο αμέσως επόμενος πίνακας χαρακτηρίζει την ποιότητα της συσχέτισης που επιτυγχάνεται δια του τύπου 8.1.

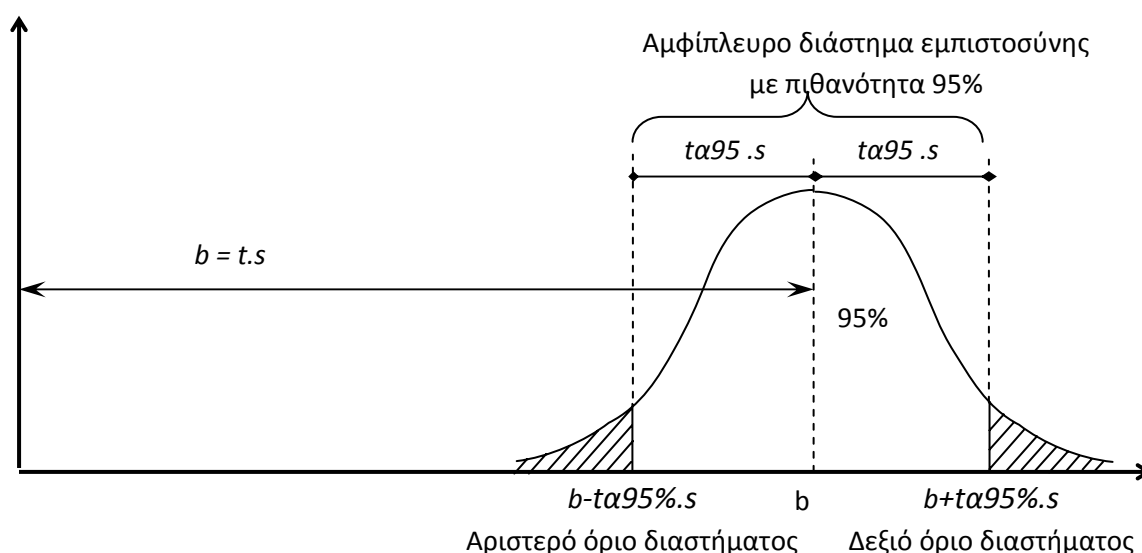
στήλη b: Δίνει τους συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης όπως υπολογίζονται από το πρόγραμμα «Παλινδρόμηση». Σημειώνεται ότι ο συντελεστής b που αντιστοιχεί στην γραμμή X0 είναι ο σταθερός όρος του τύπου 8.1.

s : είναι η τυπική απόκλιση για κάθε αντίστοιχο συντελεστή β οι οποίοι ακολουθούν και αυτοί την στατιστική κατανομή κατά Student.

t: ο συντελεστής κατά Student ο οποίος προκύπτει ως  $t = b/s$  και δείχνει πόσα «s» απέχει η τιμή του β από το μηδέν..

Εφ' όσον τείνει απολύτως μεγαλύτερο από το απόλυτο του τα 95% δηλαδή εάν  $|t| > |t_{\alpha 95\%}|$  τότε εκτιμάται ότι ο συντελεστής β δεν είναι μηδενικός με βαθμό εμπιστοσύνης 95%, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Από το Σχήμα αυτό παρατηρείται ότι εφ' όσον  $t_s > t_{\alpha 95\%}$  τότε το διάστημα εμπιστοσύνης του συντελεστή β ουδέποτε περιέχει το σημείο μηδέν.

Στην πράξη το κριτήριο συνήθως απλουστεύεται στο εξής :  $|t| > 2$  Εάν κάποιος παράγοντας β δεν ικανοποιεί αυτό το κριτήριο θα πρέπει κανονικά να απορριφθεί από την συσχέτιση 8.1.



Άνω όριο 95% : αυτό υπολογίζεται ως  $b + t_{\alpha 95\%.s}$  όπως φαίνεται στο σχήμα ανωτέρω.

Κάτω όριο 95% : αυτό υπολογίζεται ως  $b - t_{\alpha 95\%.s}$  όπως φαίνεται στο σχήμα ανωτέρω.

Τέλος το πρόγραμμα «Παλινδρόμηση» υπολογίζει τον ελάχιστο επαληθεύσιμο στόχο Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΕΕΣΕΕ) κατά IPMVP με βάση την εξίσωση 8.12β και κατά ASHRAE όπως εξηγείται στη συνέχεια, ο οποίο αντιστοιχεί στην ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων της περιόδου βάσης (εν προκειμένω 21,3%).

### 8.3.2 Εναλλακτική μέθοδος : η υπορουτίνα «παλινδρόμηση» στο EXCEL

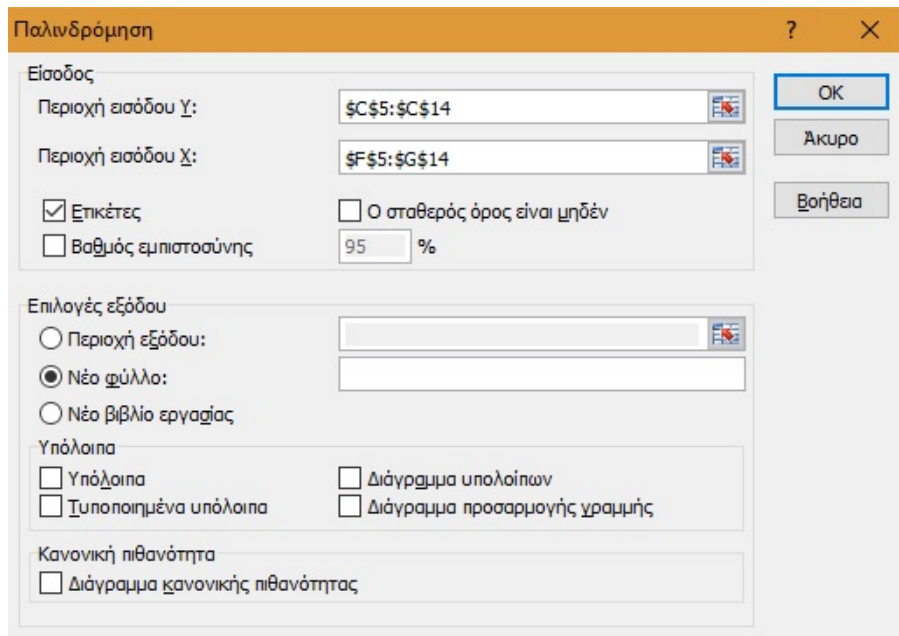
Το λογιστικό φύλο εργασίας EXCEL παρέχει ένα πλήθος στατιστικών εργαλείων στο «Πακέτο Εργαλείων Ανάλυσης» το οποίο ενεργοποιείται μέσα από τις εντολές : Αρχείο > Επιλογές > Πρόσθετα > Μετάβαση και τρέχει με την εντολή Δεδομένα > Ανάλυση δεδομένων.

Στο πακέτο αυτό υπάρχει η επιλογή «Παλινδρόμηση» με την οποία εμφανίζεται η οθόνη εισαγωγής δεδομένων που δίδεται στην Εικόνα 8.1. Εις την οθόνη αυτή εισάγονται οι τιμές

των Πινάκων Y και X με βάση τα αντίστοιχα κελιά του EXCEL. Εις τα δεδομένα αυτά μπορεί να περιληφθούν και οι ετικέτες των πινάκων αυτών, εφ' όσον έχει ενεργοποιηθεί το αντίστοιχο πλαίσιο της οθόνης εισόδου.

Τα αποτελέσματα δίδονται επίσης στο «Εργαλείο Ενεργειακών Ελέγχων» με το φύλλο «EXCEL Παλινδρόμηση» δίδονται στον Πίνακα 8.5 που ακολουθεί:

Εικόνα 8.1 : Οθόνη εισαγωγής δεδομένων υπορουτίνας «Παλινδρόμηση» του EXCEL



Πίνακας 8.5 : Αποτελέσματα υπορουτίνας ανάλυσης παλινδρόμησης με το EXCEL.

Στατιστικά παλινδρόμησης	
Πολλαπλό R	0,973280601
R Τετράγωνο	0,947275129
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0,929700172
Τυπικό σφάλμα	8,481409015
Μέγεθος δείγματος	9

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ			
	βαθμοί ελευθερίας	SS	MS
Παλινδρόμηση	2	7754,394207	3877,197
Υπόλοιπο	6	431,6057933	71,9343
Σύνολο	8	8186	

	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t
Τεταγμένη επί την αρχή	-59,71422619	14,59022594	-4,09276
X1	4,522049366	1,07195946	4,218489
X2	0,604052149	0,207449543	2,911803

Από την σύγκριση του Πίνακα 8.5 με τον Πίνακα 8.4 διαπιστώνεται ότι οι δύο μέθοδοι δίδουν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα.

### 8.3.3 Εφαρμογή – εκ των υστέρων προβλέψεις

Με το πρόγραμμα «Παλινδρόμηση» στο «Εργαλείο Ενεργειακών Ελέγχων» προσδιορίζεται επίσης και η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

Ως εφαρμογή λαμβάνονται μετρήσεις μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης όπως δίδονται στον Πίνακα 8.6.

Πίνακας 8.6 : Εκ των υστέρων εκτιμήσεις για την εξοικονόμηση μετά την λήψη μέτρων

Μήνας	k	Υρ	Χ1,ρ	Χ2,ρ	Υρεk	ΕΕk	εκ	ΥρεK	εK	ΕΕΣΕΕ
Απρ	1	35	17	55	50,383	15,383	30,53%	50,383	30,53%	29,7%
Μαϊ	2	62	21	75	80,553	18,553	23,03%	65,468	25,92%	21,0%
Ιουν	3	74	23	85	95,637	21,637	22,62%	75,525	24,53%	17,1%
Ιουλ	4	82	25	95	110,722	28,722	25,94%	84,324	24,99%	14,8%
Αυγ	5	95	27	100	122,786	27,786	22,63%	92,016	24,36%	13,3%

Στον πίνακα 8.6 και στις στήλες Υρ και Χρ δίδονται οι μετρήσεις της εξαρτημένης μεταβλητής (κατανάλωση ενέργειας) και των ανεξαρτήτων μεταβλητών Χ1 και Χ2 μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης όπου ο δείκτης ρ σημαίνει post (= μετά). Με την χρήση του υπολογιστικού μοντέλου του φύλλου «Παλινδρόμηση» υπολογίζονται τα εξής :

Υρεk : Κατανάλωση ενέργειας η κατά το χρονικό διάστημα k (μετά την λήψη μέτρων) όπως αυτή εκτιμάται με βάση τον τύπο της γραμμής βάσης και τα στοιχεία Χρ.

ΕΕk : Εξοικονόμηση κατά το χρονικό διάστημα k όπου  $Eek = Υρεk - Υρ$  (τύπος 8.5)

εκ : Ποσοστό εξοικονόμησης κατά το χρονικό διάστημα k (τύπος 8.6)

ΥρεK : Ο μέσος όρος των καταναλώσεων ενέργειας κατά τα χρονικά διαστήματα 1,2, ..., K (μετά την λήψη μέτρων) ( $ΥρεK = Υρε1 + Υρε2 + \dots + ΥρεK$ )/K

εK : Μέσο ποσοστό εξοικονόμησης για όλα τα χρονικά διαστήματα από 1 έως K (τύπος 8.4)

ΕΕΣΕΕ: Ο παράγοντας αυτός είναι ο Ελάχιστος Επαληθεύσιμος Στόχος Εξοικονόμησης Ενέργειας και δίδεται από τον τύπο 8.16β που ακολουθεί.

## 8.4 Η μέθοδος του προτύπου ASHRAE 14/2002.

### 8.4.1 Το κριτήριο αποδοχής

Η μέθοδος αυτής στηρίζεται στην μεθοδολογία που ανέπτυξαν οι T. Agami και P.E. David E. Claridge η οποία δημοσιεύτηκε στο περιοδικό HVAC&R RESEARCH, VOL. 6, NO. 1 Ιανουάριος 2000, βάσει της οποίας εκτιμάται ο λόγος  $A(EE_M)/EE_M$  όπου  $A(EE_M)$  είναι η αβεβαιότητα στην εξοικονόμηση ενέργειας  $A(t) = t \cdot \sigma$ . Για  $t=1$  δίδεται ως εξής:

$$\frac{A(EE_M)}{EE_M} = \frac{1,26 \sigma(EE)}{\bar{Y} \varepsilon_M} \left[ \left( 1 + \frac{2}{K} \right) \frac{1}{M} \right]^{0,5} < 0,5 \quad (8.16\alpha)$$

Ο δείκτης M υποδηλώνει το πλήθος των μετρήσεων οι οποίες λαμβάνονται κατά την περίοδο απολογισμού, δηλαδή την περίοδο μετά την λήψη μέτρων EE και  $\varepsilon_M$  είναι το συνολικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας όπως αυτό εκτιμάται με την εξίσωση 8.4.

Επειδή εν προκειμένω στην εξίσωση 8.16 έχει ληφθεί ο συντελεστής τίσος με 1, αυτό αντιστοιχεί στο αμφίπλευρο διάστημα  $\pm 1\sigma$ . Βάσει του Σχήματος 8.2 (για  $df = 12$ ) η πιθανότητα του διαστήματος αυτού ισούται με  $[0,8315 - (1-0,8315)] = 66,3\%$ . Για την περίπτωση του παραδείγματος της παραγράφου 8.2.5 και για  $df = 6$  τότε το ανωτέρω διάστημα εμπιστοσύνης  $\pm 1\sigma$  γίνεται :  $[0, +822 - (1-0,822)] = 64,4\%$ .

Η ASHRAE συνιστά ο λόγος αυτός να είναι μικρότερος του 0,5.

Επιλύοντας την εξίσωση 8.16α ως προς το  $\varepsilon_M$  προκύπτει ο ελάχιστος επαληθεύσιμος στόχος εξοικονόμησης ενέργειας (ΕΕΣΕΕ) κατά ASHRAE :

$$ΕΕΣΕΕ = \frac{(1,26) \sigma(EE)}{0,5 \bar{Y}} \left[ \left( 1 + \frac{2}{K} \right) \frac{1}{M} \right]^{0,5} < \varepsilon_M \quad (8.16\beta)$$

#### 8.4.2 Εφαρμογή

Εφαρμόζοντας την εξίσωση 8.16 προκύπτει ότι :

$$\frac{1,26(8,481)}{79,67} \left[ \left( 1 + \frac{2}{9} \right) \frac{1}{5} \right]^{0,5} = 0,0663 < 0,5 \varepsilon_M \rightarrow \varepsilon_M > 13,3\%$$

όπου  $\sigma(EE) = \text{RMSE}$ . Η τιμή αυτή του 13,3% είναι η τελευταία τιμή της εφαρμογής στον Πίνακα 8.6.

Από την άλλη πλευρά εάν το κριτήριο της ASHRAE εφαρμοστεί για μία μόνο μέτρηση μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ( $M=1$ ) τότε προκύπτει ότι  $\varepsilon_M > 29,7\%$

Με τα αποτελέσματα αυτά διαπιστώνεται ότι :

- ο ελάχιστος επαληθεύσιμος στόχος εξοικονόμησης ενέργειας πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 13,3% για  $M=5$  και 29,7% για  $M=1$ . Δηλαδή όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των περιόδων  $M$  κατά τις οποίες λαμβάνονται μετρήσεις, τόσο μικρότερη καθίσταται η αβεβαιότητα όπως προκύπτει ευθέως και από την εξίσωση 8.16β.
- ο ελάχιστος επαληθεύσιμος στόχος εξοικονόμησης ενέργειας του 13,3% είναι σαφώς μικρότερος του ελάχιστου στόχου 21,3% κατά IPVMP του Πίνακα 8.4 ενώ ο στόχος του 29,7% είναι μεγαλύτερος. Δηλαδή το κριτήριο της ASHRAE είναι συντηρητικότερο για  $M=1$  λόγω του προσεγγιστικού του χαρακτήρα έναντι του κριτηρίου της εξίσωσης 8.12β. Όμως για  $M \gg 1$  τότε οι απαιτήσεις για τον ΕΕΣΕΕ μειώνονται σημαντικά και αναλόγως με τον παράγοντα  $(1/M)^{0,5}$ .

Επομένως όταν η εξοικονόμηση ενέργειας διαπιστώνεται από ένα πλήθος μετρήσεων μετά την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, τότε συνιστάται η χρήση της εξίσωσης 8.16β

διότι με αυτή λαμβάνεται υπ' όψιν η μείωση της αβεβαιότητας λόγω του πλήθους των μετρήσεων επαλήθευσης.

#### 8.4.3 Παραλλαγή μεθόδου για τα συσχετιζόμενα υπόλοιπα

Στον τύπο 8.1. η παράμετρος  $\delta$  αποκαλείται και υπόλοιπο. Στην περίπτωση όπου έχουμε μία χρονοσειρά πολλών ημερήσιων ή ωριαίων μετρήσεων καταναλώσεως ενέργειας (δηλαδή όταν  $K \gg 1$ ), τότε συχνά τα υπόλοιπα αυτά συσχετίζονται μεταξύ τους, δηλαδή έχουν συντελεστή αυτοσυσχέτισης  $\rho$  με χρονικό βήμα καθυστέρησης 1, διαφορετικό από το μηδέν, όπου :

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{K-1} (Y_i - \bar{Y})(Y_{i+1} - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^{K-1} (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (8.17)$$

Στην περίπτωση αυτή το πρότυπο ASHRAE 14 συνιστά την χρήση της ακόλουθης παραλλαγής της εξίσωσης 8.16:

$$\frac{A(E E_M)}{E E_M} = \frac{1,26 \sigma(E E)}{\bar{Y} \varepsilon_M} \left[ \frac{K}{K'} \left( 1 + \frac{2}{K'} \right) \frac{1}{M} \right]^{0,5} < 0,5 \quad (8.18a)$$

όπου 
$$K' = K \frac{1 - \rho}{1 + \rho} \quad (8.19)$$

Η εξίσωση 8.18 μπορεί να επιλυθεί ως προς  $\varepsilon_M$ , δίδοντας έτσι τον ελάχιστο στόχο εξοικονόμησης ενέργειας ο οποίος μπορεί να εκτιμηθεί στατιστικώς ικανοποιητικά από το τύπο γραμμής βάσης που εξάγεται με αυτά τα δεδομένα.

$$\varepsilon_M \geq \frac{1,26 \sigma(E E)}{0,5 \bar{Y}} \left[ \frac{K}{K'} \left( 1 + \frac{2}{K'} \right) \frac{1}{M} \right]^{0,5} \quad (8.18\beta)$$

#### 8.4.4 Η αβεβαιότητα της δειγματοληψίας

Σε περίπτωση όπου υπάρχουν πολλά ομοειδή φορτία (π.χ. λαμπτήρες φωτισμού) οι καταναλώσεις των οποίων προσεγγίζονται με δειγματοληψία, δημιουργείται μία νέα πηγή αβεβαιότητας το οποίο καλείται σφάλμα δειγματοληψίας  $\sigma(\Delta)$  και το οποίο προστίθεται στο συνολικό σφάλμα της εξίσωσης 8.11 :

$$\sigma^2(E E) = \sigma^2(\delta_m) = \sigma^2(\hat{Y}_k) + \sigma^2(Y_m) + \sigma^2(\Delta) \quad (8.20)$$

Το σφάλμα δειγματοληψίας προτείνεται από την ASHRAE 14 να υπολογίζεται ως εξής:

$$\sigma(\Delta) = \frac{1}{\bar{Y}} \sqrt{\left( 1 - q/Q \left[ \sum_{i=1}^K (Y_i - \bar{Y})^2 / (q-1) \right] / q \right)} \quad (8.21)$$

όπου  $Q$  είναι το σύνολο των φορτίων και  $n$  είναι ο αριθμός των δειγμάτων

Συνολική αβεβαιότητα στην εξοικονόμηση ενέργειας εκτιμάται ως

$$A(E E_M) = t. [\sigma(E E_M) + \sigma(Y_M)] + z. \sigma(\Delta) \quad (8.22\alpha)$$

Παρατηρείται στην εξίσωση 8.22 ότι το διάστημα εμπιστοσύνης για το σφάλμα της δειγματοληψίας ακολουθεί την κανονική κατανομή και όχι την κατανομή Student και επομένως πολλαπλασιάζεται με το  $z$  της κανονικής κατανομής το οποίο λαμβάνει τις ακόλουθες τιμές του Πίνακα 8.7 για  $df = + \infty$ , όταν δηλαδή η κατανομή Student ταυτίζεται με τη κανονική κατανομή.

Το  $z$  λαμβάνεται συνήθως ίσο με  $t$  ιδίως αυτό οδηγεί σε πιο συντηρητικά αποτελέσματα.

$$A(E E_M) = t. [\sigma(E E_M) + \sigma(Y_M) + \sigma(\Delta)] \quad (8.22\beta)$$

### 8.5 Άλλες περιπτώσεις

Συχνά συμβαίνει ο τύπος της γραμμής βάσης 8.1. να εκπίπτει στην περίπτωση όπου

$$\hat{Y}_k = \beta_0 + \delta_k \quad (8.23)$$

δηλαδή η κατανάλωση ενέργειας να μην εξαρτάται από άλλους παράγοντες και να είναι σταθερή. Τότε λαμβάνοντας την μέση τιμή της εξίσωσης 8.23 προκύπτει ότι  $\beta_0 = \bar{Y}$  όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 8.2.1.

Στην περίπτωση αυτή ισχύουν όλα τα προαναφερθέντα εις το κεφάλαιο αυτό υπό την προϋπόθεση ότι αντί του όρου RMSE λαμβάνεται η Τυπική Απόκλιση STD των μετρήσεων  $Y_k$  ως προς την μέση τιμή των μετρήσεων :

$$STD = \sigma(Y) = \sqrt{\frac{1}{(K-1)} \sum_{k=1}^K (Y_k - \bar{Y})^2}, \quad (8.24)$$

Πίνακας 8.7 : Πιθανότητες (αμφίπλευρες) κατανομής Student και αντίστοιχες τιμές  $t$

df	Πα(t=1)	Πα(t=2)	t(Πα=95%)	t(Πα=90%)	t(Πα=80%)	t(Πα=68%)
1	50,00%	70,48%	12,7062	6,3138	3,0777	1,8190
2	57,74%	81,65%	4,3027	2,9200	1,8856	1,3116
3	60,90%	86,07%	3,1824	2,3534	1,6377	1,1889
4	62,61%	88,39%	2,7764	2,1318	1,5332	1,1344
5	63,68%	89,81%	2,5706	2,0150	1,4759	1,1037
6	64,41%	90,76%	2,4469	1,9432	1,4398	1,0840
7	64,94%	91,44%	2,3646	1,8946	1,4149	1,0703
8	65,34%	91,95%	2,3060	1,8595	1,3968	1,0602
9	65,66%	92,34%	2,2622	1,8331	1,3830	1,0525
10	65,91%	92,66%	2,2281	1,8125	1,3722	1,0464
11	66,12%	92,92%	2,2010	1,7959	1,3634	1,0415
12	66,30%	93,13%	2,1788	1,7823	1,3562	1,0374
13	66,44%	93,32%	2,1604	1,7709	1,3502	1,0340
14	66,57%	93,47%	2,1448	1,7613	1,3450	1,0311
15	66,68%	93,61%	2,1314	1,7531	1,3406	1,0285

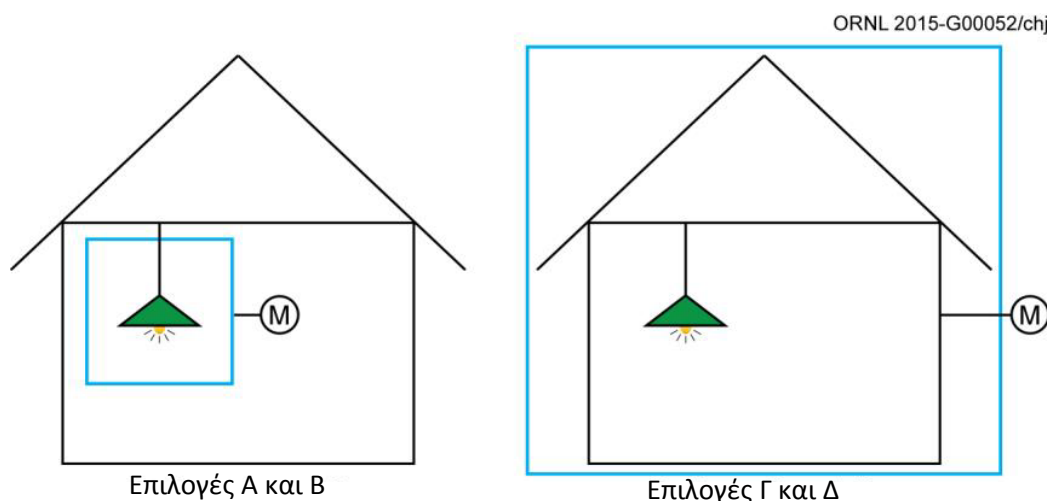
df	$\Pi\alpha(t=1)$	$\Pi\alpha(t=2)$	$t(\Pi\alpha=95\%)$	$t(\Pi\alpha=90\%)$	$t(\Pi\alpha=80\%)$	$t(\Pi\alpha=68\%)$
16	66,78%	93,72%	2,1199	1,7459	1,3368	1,0263
17	66,87%	93,83%	2,1098	1,7396	1,3334	1,0244
18	66,94%	93,92%	2,1009	1,7341	1,3304	1,0227
19	67,01%	94,00%	2,0930	1,7291	1,3277	1,0212
20	67,07%	94,07%	2,0860	1,7247	1,3253	1,0198
21	67,13%	94,14%	2,0796	1,7207	1,3232	1,0186
22	67,18%	94,20%	2,0739	1,7171	1,3212	1,0174
23	67,23%	94,26%	2,0687	1,7139	1,3195	1,0164
24	67,27%	94,31%	2,0639	1,7109	1,3178	1,0155
25	67,31%	94,35%	2,0595	1,7081	1,3163	1,0146
26	67,35%	94,40%	2,0555	1,7056	1,3150	1,0138
27	67,38%	94,43%	2,0518	1,7033	1,3137	1,0131
28	67,41%	94,47%	2,0484	1,7011	1,3125	1,0124
29	67,44%	94,51%	2,0452	1,6991	1,3114	1,0118
30	67,47%	94,54%	2,0423	1,6973	1,3104	1,0112
31	67,49%	94,57%	2,0395	1,6955	1,3095	1,0107
32	67,52%	94,60%	2,0369	1,6939	1,3086	1,0102
33	67,54%	94,62%	2,0345	1,6924	1,3077	1,0097
34	67,56%	94,65%	2,0322	1,6909	1,3070	1,0092
35	67,58%	94,67%	2,0301	1,6896	1,3062	1,0088
36	67,60%	94,69%	2,0281	1,6883	1,3055	1,0084
37	67,62%	94,71%	2,0262	1,6871	1,3049	1,0080
38	67,64%	94,73%	2,0244	1,6860	1,3042	1,0076
39	67,65%	94,75%	2,0227	1,6849	1,3036	1,0073
40	67,67%	94,77%	2,0211	1,6839	1,3031	1,0070
50	67,79%	94,91%	2,0086	1,6759	1,2987	1,0044
60	67,87%	95,00%	2,0003	1,6706	1,2958	1,0028
70	67,92%	95,06%	1,9944	1,6669	1,2938	1,0016
80	67,97%	95,11%	1,9901	1,6641	1,2922	1,0007
90	68,00%	95,15%	1,9867	1,6620	1,2910	1,0000
100	68,03%	95,18%	1,9840	1,6602	1,2901	0,9994
500	68,22%	95,40%	1,9647	1,6479	1,2832	0,9954
1000	68,24%	95,42%	1,9623	1,6464	1,2824	0,9950
<b><math>+\infty</math></b>	<b>68,27%</b>	<b>95,45%</b>	<b>1,9600</b>	<b>1,6449</b>	<b>1,2816</b>	<b>0,9945</b>

## 9 Τα πρωτόκολλα Μέτρησης και Επαλήθευσης (M&E) των επιδόσεων

### 9.1 Οι τέσσερις εναλλακτικές επιλογές : A, B, Γ και Δ

Το Διεθνές Πρωτόκολλο Μετρήσεων και Επαλήθευσης των Επιδόσεων ενέργειας (IPMVP – International Performance Monitoring and Verification Protocol) διακρίνουν τέσσερις μεθοδολογικές επιλογές για την μέτρηση και επαλήθευση (M&E = Measurement and Verification) των αποτελεσμάτων ενός έργου εξοικονόμησης ενέργειας: A, B, Γ και Δ. Αυτές οι Επιλογές υποδιαιρούνται σε δύο κατηγορίες : απομόνωση επέμβασης και ολικής εγκατάστασης. Η μέθοδος της απομόνωσης επέμβασης εξετάζει μόνο τον επηρεαζόμενο εξοπλισμό ή σύστημα, ανεξάρτητα από την υπόλοιπη εγκατάσταση. Η μέθοδος ολικής εγκατάστασης εξετάζει την συνολική χρήση ενέργειας χωρίς να δίνει έμφαση στις επιδόσεις του επιμέρους εξοπλισμού. Η βασική διαφορά σε αυτές τις προσεγγίσεις είναι το που ακριβώς σχεδιάζεται το όριο ενός Μέτρου Εξοικονόμησης Ενέργειας (MEE), όπως δίδεται στο Σχήμα 9.1. Οι επιλογές A και B είναι μέθοδοι απομόνωσης επέμβασης, η επιλογή Γ είναι μέθοδος ολικής εγκατάστασης και η επιλογή Δ μπορεί να εφαρμοστεί και στις δύο περιπτώσεις αλλά συνήθως εφαρμόζεται ως μέθοδος ολικής εγκατάστασης.

Σχήμα 9.1. : Μέθοδοι απομόνωσης επέμβασης (επιλογές A και B) έναντι μεθόδων ολικής εγκατάστασης συγκροτήματος (επιλογές Γ και Δ).



Όπως αναφέρεται προηγουμένως, οι ενεργειακές επιδόσεις μπορούν να μετρηθούν με διάφορους τρόπους:

- Τιμολόγια ή μετρήσεις από μετρητές παρόχων ενέργειας με τις ίδιες προσαρμογές όπως κάνει ο πάροχος ενέργειας
- Ειδικές μετρητικές διατάξεις οι οποίες απομονώνουν ένα Μέτρο Εξοικονόμησης Ενέργειας (MEE) ή ένα τμήμα μίας εγκατάστασης από την υπόλοιπη. Οι μετρήσεις μπορεί να είναι περιοδικές για μικρά χρονικά διαστήματα ή συνεχείς καθ' όλη την περίοδο βάσης ή απολογισμού.
- Χωριστές μετρήσεις παραμέτρων που επηρεάζουν την χρήση ενέργειας. Π.χ. τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του ηλεκτρικού φορτίου ενός εξοπλισμού και οι ώρες

λειτουργίας αυτού μπορεί να μετρηθούν χωριστά και να πολλαπλασιαστούν μεταξύ τους ώστε να υπολογιστεί η χρήση ενέργειας του εξοπλισμού αυτού.

- Μέτρηση αποδεδειγμένων διαμεσολαβητών που ελέγχουν την χρήση της ενέργειας. Π.χ. εάν η χρήση ενέργειας σε ένα κινητήρα συσχετίζεται με το σήμα εξόδου από ένα οδηγό μεταβλητών στροφών που ελέγχει τον κινητήρα, το σήμα αυτό εξόδου μπορεί να ένας αποδεδειγμένος διαμεσολαβητής της ενέργειας του κινητήρα
- Προσομοίωση υπολογιστή η οποία έχει διακριβωθεί με μερικά πραγματικά δεδομένα επιδόσεων του εξομοιωθέντος συστήματος ή εγκατάστασης (Επιλογή Δ).

Εάν μία τιμή ενέργειας είναι ήδη γνωστή με επαρκή ακρίβεια ή όταν είναι πιο δαπανηρό να μετρηθεί απ' ότι δικαιολογείται από τις περιστάσεις, τότε η μέτρηση ενέργειας μπορεί να μην είναι αναγκαία ή κατάλληλη. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να γίνουν εκτιμήσεις για μερικές παραμέτρους κάποιου ΜΕΕ, αλλά οι άλλες πρέπει να μετρηθούν (Επιλογή Α).

Η εκλογή μίας εκ των ανωτέρω Επιλογών απαιτεί πολλαπλή αξιολόγηση περιλαμβανομένης και της θέσης του ορίου των μετρήσεων. Εάν αποφασιστεί η εξοικονόμηση να προσδιοριστεί σε επίπεδο εγκατάστασης, τότε μπορεί να ευνοηθούν οι Επιλογές Γ ή Δ. Εάν όμως ενδιαφέρει μόνο η καθ' αυτό επίδοση ενός ΜΕΕ, μπορεί να είναι πιο κατάλληλη μία τεχνική απομόνωσης της επέμβασης (Επιλογές Α, Β ή και ενίοτε Δ)

Ο Πίνακας 9.1 συνοψίζει τις τέσσερις Επιλογές οι οποίες εξετάζονται αναλυτικότερα στην συνέχεια.

*Πίνακας 9.1. : Συνολική θεώρηση επιλογών Μέτρησης & Επαλήθευσης (M&E)*

Επιλογή Πρωτοκόλλου	Πως υπολογίζεται η εξοικονόμηση	Τυπικές εφαρμογές
<p><b>Α. Απομόνωση Επέμβασης: Μέτρηση παραμέτρου-κλειδί</b></p> <p>Η εξοικονόμηση προσδιορίζεται από επιτόπιες μετρήσεις της ή των παραμέτρων-κλειδιά που καθορίζουν την χρήση ενέργειας του ή των συστημάτων που επηρεάζονται από ένα ΜΕΕ ή/και την επιτυχία της επέμβασης.</p> <p>Η συχνότητα της μέτρησης μπορεί να είναι βραχυπρόθεσμη έως συνεχής και εξαρτάται από τις αναμενόμενες διακυμάνσεις της μετρούμενης παραμέτρου και της διάρκειας της περιόδου απολογισμού.</p> <p>Οι παράμετροι που δεν επιλέγονται για επιτόπιες μετρήσεις, εκτιμώνται. Οι εκτιμήσεις μπορεί να στηρίζονται σε ιστορικά δεδομένα, προδιαγραφές των κατασκευαστών ή τεχνικές κρίσεις. Απαιτείται έγγραφη τεκμηρίωση της πηγής ή της αιτιολόγησης της εκτιμώμενης παραμέτρου. Επίσης αξιολογείται το πιθανό σφάλμα εξοικονόμησης το οποίο προκύπτει από την εκτίμηση έναντι της μετρήσεως.</p>	<p>Με τεχνικούς υπολογισμούς της ενέργειας των περιόδων βάσης και απολογισμού από :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• βραχυπρόθεσμες ή συνεχείς μετρήσεις των παραμέτρων-κλειδιά</li> <li>• Εκτιμώμενες τιμές</li> </ul> <p>Με συνήθειες ή ασυνήθειες προσαρμογές</p>	<p>Μία ανακαίνιση φωτιστικών όπου η απορροφούμενη ισχύς είναι η παράμετρος-κλειδί η οποία μετράται περιοδικώς.</p> <p>Οι ώρες λειτουργίας των φωτιστικών εκτιμώνται με βάση το ωράριο της εγκατάστασης και την συμπεριφορά των χρηστών</p>

<p><b>Β. Απομόνωση Επέμβασης : Μέτρηση όλων των παραμέτρων</b></p> <p>Η εξοικονόμηση προσδιορίζεται με επιτόπιες μετρήσεις της χρήσης ενέργειας του συστήματος που επηρεάζεται από το ΜΕΕ.</p> <p>Η συχνότητα των μετρήσεων μπορεί να είναι βραχυπρόθεσμη έως συνεχής και εξαρτάται από τις αναμενόμενες μεταβολές στην εξοικονόμηση και το μήκος της περιόδου απολογισμού.</p>	<p>Με βραχυπρόθεσμες ή συνεχής μετρήσεις της ενέργειας βάσης και απολογισμού ή/και ή τεχνικοί υπολογισμοί με χρήση μετρήσεων διαμεσολαβητών της χρήσης ενέργειας</p> <p>Με συνήθεις ή ασυνήθεις διορθώσεις</p>	<p>Εφαρμογή ενός ρυθμιστή μεταβλητών στροφών και αυτοματισμών σε κινητήρα για την ρύθμιση της ροής της αντλίας.</p> <p>Μέτρηση της απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος (kW) από τον κινητήρα κάθε λεπτό της ώρας. Κατά την περίοδο βάσης αυτός ο μετρητής τοποθετείται για μία εβδομάδα ώστε να επαληθεύσει την σταθερή φόρτιση του κινητήρα. Κατά την απολογιστική περίοδο ο μετρητής παραμένει συνεχώς εν λειτουργία.</p>
<p><b>Γ. Συνολικές παρεμβάσεις</b></p> <p>Η εξοικονόμηση προσδιορίζεται με μετρήσεις ενέργειας σε συνολικό επίπεδο εγκατάστασης ή σε μερικό επίπεδο αυτής</p> <p>Καθ' όλη την περίοδο απολογισμού λαμβάνονται συνεχής μετρήσεις της ολικής κατανάλωσης ενέργειας σε όλη την εγκατάσταση</p>	<p>Ανάλυση της κατανάλωσης βάσης και απολογισμού εγκαταστάσεως όλης της εγκατάστασης (μετρήσεις παρόχου)</p> <p>Συνήθεις προσαρμογές με τεχνικές όπως απλή αναγωγή ή ανάλυση παλινδρόμησης. Ασυνήθεις προσαρμογές όπως απαιτείται.</p>	<p>Πολύπλευρο πρόγραμμα διαχείρισης ενέργειας που επηρεάζει πολλά συστήματα στην εγκατάσταση. Μέτρηση χρήσης ενέργειας με τους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου των παρόχων για 12 μήνες περιόδου βάσης και καθ' όλη τη διάρκεια της απολογιστικής περιόδου</p>
<p><b>Δ. Διακριβωμένη προσομοίωση</b></p> <p>Η εξοικονόμηση προσδιορίζεται μέσω προσομοίωσης της χρήσης ενέργειας όλης της εγκαταστάσεως ή μίας επιμέρους εγκαταστάσεως. Οι ρουτίνες της προσομοίωσης έχουν καταδειχθεί ότι εξομοιώνουν επαρκώς τις πραγματικές επιδόσεις ενέργειας που μετρώνται στην εγκατάσταση. Αυτή η Επιλογή συνήθως απαιτεί σημαντικές δεξιότητες στην διακριβωμένη προσομοίωση.</p>	<p>Προσομοίωση της χρήσης ενέργειας, διακριβωμένη με ωριαία ή μηνιαία δεδομένα τιμολογίων των παρόχων. (Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρητές ενέργειας τελικής χρήσης, για την εξομάλυνση των δεδομένων.</p>	<p>Πολύπλευρο πρόγραμμα ενεργειακής διαχείρισης το οποίο επηρεάζει πολλά συστήματα σε μία εγκατάσταση χωρίς την ύπαρξη όμως μετρητών κατά την περίοδο βάσης.</p> <p>Μετρήσεις χρήσης ενέργειας μετά την τοποθέτηση μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας και αερίου χρησιμοποιούνται για να διακριβωθεί η προσομοίωση.</p> <p>Η ενεργειακή κατανάλωση βάσης προσδιορίζεται με χρήση της διακριβωμένης προσομοίωσης και συγκρίνεται με την προσομοίωση της απολογιστικής περιόδου.</p>

## 9.2 Επιλογές Α και Β : Απομόνωση επέμβασης

### 9.2.1 Γενικά

Με την απομόνωση ενός ΜΕΕ στενεύει το όριο μετρήσεων με σκοπό να μειώσει την απαιτούμενη προσπάθεια για την παρακολούθηση των ανεξαρτήτων μεταβλητών και των στατικών παραγόντων όταν οι επεμβάσεις επηρεάζουν μόνο ένα τμήμα της εγκατάστασης. Όμως όρια μικρότερα από ολόκληρη την εγκατάσταση συνήθως απαιτούν πρόσθετους

μετρητές στο όριο μετρήσεως. Στενότερα όρια μετρήσεων επίσης εισάγουν την πιθανότητα «διαρροών» μέσω μη μετρούμενων διαδραστικών επιδράσεων.

Εφ' όσον η μέτρηση είναι σε λιγότερο μέρος από την συνολική εγκατάσταση, τα αποτελέσματα των τεχνικών απομόνωσης επέμβασης δεν μπορούν να συσχετιστούν με την συνολική κατανάλωση ενέργειας όπως δίδεται στους λογαριασμούς των παρόχων. Επίσης αλλαγές στις εγκαταστάσεις πέραν του ορίου μετρήσεως αλλά άσχετες με το MEE δεν θα αναφερθούν με την τεχνική της απομόνωσης επέμβασης, αλλά θα περιληφθούν στην μετρούμενη κατανάλωση ή αιχμή κατανάλωσης του παρόχου..

Υπάρχουν διαθέσιμες δύο επιλογές απομόνωσης της χρήσης ενέργειας από ένα εξοπλισμό που επηρεάζεται από ένα MEE

- Επιλογή Α : Απομόνωση Επέμβασης : Μέτρηση της παραμέτρου-κλειδί
- Επιλογή Β : Απομόνωση Επέμβασης : Μέτρηση όλων των παραμέτρων

Οι μετρητικές διατάξεις της απομόνωσης τοποθετούνται στο όριο μέτρησης μεταξύ του εξοπλισμού ο οποίος επηρεάζεται από το MEE και του εξοπλισμού που δεν επηρεάζεται.

### 9.2.2 Παράδειγμα απομόνωσης επέμβασης

Ένας λέβητας αντικαθίσταται με ένα πιο αποδοτικό λέβητα νέας τεχνολογίας. Το όριο μετρήσεων σχεδιάζεται ακριβώς γύρω από τον λέβητα έτσι ώστε η αξιολόγηση του νέου λέβητα να μην επηρεάζεται από μεταβολές του θερμικού φορτίου όλης της εγκατάστασης.

Αυτό που χρειάζεται εδώ για την αξιολόγηση των αποδόσεων των δύο λεβήτων καθ' όλο το εύρος του φορτίου λειτουργίας είναι μετρητές για την κατανάλωση καυσίμου και της θερμικής επίδοσης (εξόδου) του λέβητα. Η εξοικονόμηση της αντικατάστασης λέβητα εκτιμάται με την μετρηθείσα βελτίωση της απόδοσης επί το εκτιμώμενο ετήσιο φορτίο του λέβητα.

Ο έλεγχος της απόδοσης του νέου λέβητα θα επαναλαμβάνεται κάθε χρόνο.

### 9.2.3 Τεχνικές απομόνωσης επεμβάσεων

Όταν σχεδιάζεται ένα μετρητικό όριο, θα πρέπει να δίδεται προσοχή στην εξέταση όλων των ενεργειακών ροών οι οποίες επηρεάζονται από το MEE, πέρα του ορίου. Θα πρέπει να παρέχεται μία μέθοδος για την εκτίμηση τέτοιων διαδραστικών επιδράσεων. Π.χ. η μείωση του φωτιστικού φορτίου συχνά μειώνει και τα φορτία Θέρμανσης/Ψύξης/Κλιματισμού (ΘΨΚ) αλλά το μόνο λογικό μετρητικό όριο θα περιέχει μόνο την χρήση ηλεκτρισμού για τα φώτα και όχι τις επιδράσεις στην θέρμανση και την ψύξη. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι επιδράσεις ενός MEE στις απαιτήσεις ενέργειας ΘΨΚ, συνιστούν ένα διαδραστικό φαινόμενο το οποίο πρέπει να αξιολογηθεί. Εάν το φαινόμενο αυτό αναμένεται να είναι σημαντικό, θα μπορούσαν να γίνουν τεχνικές εκτιμήσεις για την διαδραστική επίδραση ως ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας φωτισμού. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι συμβατικοί υπολογισμοί φορτίων θέρμανσης και κλιματισμού για την εκτίμηση των καταλλήλων ποσοστών σε κάθε εποχιακό φορτίο. Εάν όμως το όριο μετρήσεων επεκταθεί ώστε να περιλάβει και αυτά τα διαδραστικά φαινόμενα δεν υπάρχει λόγος να εκτιμηθούν.

Πέραν των εκτιμώμενων διαδραστικών φαινομένων, το μετρητικό όριο ορίζει τα σημεία μέτρησης και το αντικείμενο τυχόν προσαρμογών που πρέπει να γίνουν λαμβάνοντας υπ' όψιν την ακόλουθη εξίσωση 9.1:

$$\begin{aligned} \text{Εξοικονόμηση} &= (\text{Ενέργεια γραμμής βάσης} - \text{Ενέργεια Απολογιστικής Περιόδου}) \\ &\pm \text{Συνήθεις Προσαρμογές} \pm \text{Ασυνήθεις προσαρμογές.} \end{aligned} \quad (9.1.)$$

Μόνο αλλαγές στο ενεργειακό σύστημα και στις παραμέτρους λειτουργίας εντός του μετρητικού ορίου πρέπει να παρακολουθούνται ώστε να ετοιμαστούν οι όροι προσαρμογής της εξίσωσης 9.1.

Γενικά οι παράμετροι μπορεί να μετρώνται συνεχώς ή περιοδικώς σε βραχεία χρονικά διαστήματα. Η απόφαση για συνεχή ή περιοδική μέτρηση θα εξαρτηθεί από την αναμενόμενη διακύμανση μίας παραμέτρου. Όπως μία παράμετρος δεν αναμένεται να αλλάζει, μπορεί να μετρηθεί αμέσως μετά την υλοποίηση ενός ΜΕΕ και να ελέγχεται περιστασιακώς καθ' όλη την απολογιστική περίοδο. Η συχνότητα αυτών των ελέγχων μπορεί να προσδιορίζεται αρχίζοντας με συχνές μετρήσεις ώστε να επαληθευτεί ότι η παράμετρος αυτή είναι σταθερή. Όταν αποδειχθεί σταθερή, η συχνότητα των μετρήσεων μπορεί να μειωθεί. Για την διατήρηση του ελέγχου της εξοικονόμησης καθώς πίπτει η συχνότητα μετρήσεων, θα μπορούσαν να αναληφθούν συχνότερες επιθεωρήσεις ή άλλες δοκιμές ώστε να διαπιστώνονται οι κατάλληλοι χειρισμοί.

Οι συνεχείς μετρήσεις παρέχουν μεγαλύτερη βεβαιότητα στην απολογιζόμενη εξοικονόμηση και πιο πολλά δεδομένα για την λειτουργία του εξοπλισμού. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιείται ώστε να βελτιώνεται ή να βελτιστοποιείται η λειτουργία του εξοπλισμού, βελτιώνοντας έτσι τα οφέλη του ΜΕΕ. Αποτελέσματα πολλών μελετών καταδεικνύουν ότι 5 με 15% εξοικονόμησης μπορεί να επιτευχθεί ετησίως για μέσου προσεκτικής χρήσης των καταγραφικών συνεχούς καταγραφής δεδομένων. Εάν η μέτρηση δεν είναι συνεχής και οι μετρητές αφαιρούνται μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων, θα πρέπει να καταγράφεται η τοποθεσία των μετρητών και οι προδιαγραφές της μετρητικής διάταξης σε χρήση. Όταν μία παράμετρος αναμένεται να είναι σταθερή, τα διαστήματα μέτρησης μπορεί να είναι βραχεία και περιστασιακά.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες σε μία βιομηχανική μονάδα παρέχουν ένα κοινό παράδειγμα σταθερής ροής ισχύος, με την υπόθεση ότι έχουν σταθερό φορτίο. Όμως οι περίοδοι λειτουργίας των κινητήρων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το είδος του προϊόντος που παράγεται μέρα με την μέρα. Όταν μία παράμετρος μπορεί να αλλάζει περιοδικώς, οι περιστασιακές μετρήσεις μίας παραμέτρου (ώρες λειτουργίας του κινητήρα) πρέπει να γίνονται σε στιγμές αντιπροσωπευτικές της κανονικής λειτουργίας του συστήματος.

Όταν μία παράμετρος μπορεί να μεταβάλλεται ημερησίως ή ωριαίως, όπως συμβαίνει στα περισσότερα συστήματα θέρμανσης ή κλιματισμού, η απλούστερη λύση είναι η συνεχής μέτρησης. Διότι για φορτία εξαρτώμενα από τον καιρό, οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται σε μία αρκετά μεγάλη χρονική περίοδο ώστε να χαρακτηρίζουν επαρκώς τις μεταβολές του φορτίου διαμέσου όλων των επιμέρους τμημάτων του κανονικού ετήσιου κύκλου (π.χ. για κάθε εποχή και ημέρα της εβδομάδας ή σαββατοκύριακο) και να επαναλαμβάνονται όπως απαιτείται κατά την απολογιστική περίοδο.

Εκεί όπου περιλαμβάνονται μέσα στο μετρητικό όριο πολλαπλές εφαρμογές του ίδιου ΜΕΕ, μπορεί να γίνει χρήση στατιστικών δειγμάτων ως μία αποδεκτή μέτρηση του συνόλου των παραμέτρων. Π.χ. αυτό συμβαίνει όταν η ολική απορροφώμενη φωτιστική ισχύς δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί στον ηλεκτρικό πίνακα λόγω της παρουσίας άλλων μη φωτιστικών φορτίων στον ίδιο πίνακα. Αντίθετα αν στατιστικώς σημαντικό δείγμα φωτιστικών μετράται πριν και μετά την επέμβαση ώστε να αξιολογηθεί η αλλαγή στην απορροφώμενη ισχύ. Αυτά

τα δεδομένα του δείγματος μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως «μετρήσεις» της συνολικώς απορροφόμενης ισχύος σύμφωνα με τις στατιστικές τεχνικές που δίδονται στην παράγραφο 8.3.4.

Φορητοί μετρητές μπορεί να χρησιμοποιούνται μόνο όταν απαιτούνται βραχυπρόθεσμες μετρήσεις. Η δαπάνη για τους φορητούς μετρητές μπορεί να κατανεμηθεί μεταξύ και άλλων στόχων της εταιρείας. Όμως οι μόνιμες μετρητικές διατάξεις παρέχουν επίσης πληροφορίες στα στελέχη της λειτουργίας ή στον εξοπλισμό αυτομάτου ελέγχου για την βελτιστοποίηση των συστημάτων. Επιπρόσθετοι μετρητές μπορούν να επιτρέψουν την χρέωση των επιμέρους χρηστών ή τμημάτων σε μία εγκατάσταση.

Τελικώς οι τεχνικές απομόνωσης των επεμβάσεων είναι ιδανικές:

- Όταν ενδιαφέρει μόνο η επίδοση των συστημάτων που επηρεάζονται από ένα ΜΕΕ, είτε λόγω των ευθυνών που ανατίθενται στα διάφορα μέρη ενός συμβολαίου ενεργειακής επίδοσης είτε όταν η επιδιωκόμενη εξοικονόμηση είναι πολύ μικρή ώστε να ανιχνευτεί εντός του διαθέσιμου χρόνου με την Επιλογή Γ
- Όταν τα διαδραστικά αποτελέσματα ενός ΜΕΕ επί της χρήσης ενέργειας άλλου εξοπλισμού της εγκατάστασης μπορεί λογικά να εκτιμηθούν είναι να υποθεθούν ότι είναι ασήμαντα.
- Όταν πιθανές αλλαγές στην εγκατάσταση, πέραν του μετρητικού ορίου θα είναι δύσκολο να ταυτοποιηθούν ή να αξιολογηθούν
- Όταν οι ανεξάρτητες μεταβλητές που επηρεάζουν την χρήση ενέργειας δεν είναι ιδιαίτερος δύσκολο ή δαπανηρό να επιτηρηθούν
- Όταν υπάρχουν επιμέρους μετρητές που απομονώνουν την χρήση ενέργειας των συστημάτων
- Όταν οι μετρητές που προστίθενται στο μετρητικό όριο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για άλλους σκοπούς όπως είναι η λειτουργική ανασκόπηση ή η χρέωση ενοικιαστών
- Όταν η μέτρηση των παραμέτρων είναι λιγότερο δαπανηρή από την Επιλογή Δ (προσομοίωση) ή Επιλογή Γ με ασυνήθης προσαρμογές.
- Όταν μακροπρόθεσμες δοκιμές δεν δικαιολογούνται
- Όταν δεν χρειάζεται να συμβιβαστούν οι απολογιστικές εκθέσεις εξοικονόμησης με της χρεώσεις πληρωμών των παρόχων ενέργειας

### **9.3 Επιλογή Α : Μέτρηση παραμέτρου-κλειδί**

#### **9.3.1 Γενικά**

Με την Επιλογή Α, τα ενεργειακά μεγέθη στην εξίσωση 9.1 εξάγονται από υπολογισμό κάνοντας χρήση ενός συνδυασμού μετρήσεων μερικών παραμέτρων και εκτιμήσεων για τις άλλες. Τέτοιες εκτιμήσεις πρέπει μόνο να χρησιμοποιούνται εκεί όπου μπορεί να δειχθεί ότι η συνδυαστική αβεβαιότητα από όλες αυτές τις εκτιμήσεις δεν θα επηρεάσει σημαντικά την απολογιζόμενη εξοικονόμηση. Η απόφαση για το ποιες παράμετροι θα μετρηθούν και ποιες θα εκτιμηθούν λαμβάνεται αφού ληφθούν υπ' όψιν την συμβολή εκάστης παραμέτρου στην συνολική αβεβαιότητα της απολογιζόμενης εξοικονόμησης. Οι εκτιμώμενες τιμές και η

ανάλυση σημαντικότητάς τους θα πρέπει να περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα μετρήσεων και επαλήθευσης (M&E = Measurement and Verification). Οι εκτιμήσεις πρέπει να βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα όπως καταγραφές των ωρών λειτουργίας της περιόδου βάσης, δημοσιευμένες ονομαστικές τιμές των κατασκευαστών εξοπλισμού, εργαστηριακές δοκιμές ή τυπικά μετεωρολογικά δεδομένα.

Εάν μία παράμετρος όπως οι ώρες χρήσης είναι γνωστή ότι είναι σταθερή και ότι δεν αναμένεται να επηρεαστεί από το MEE, τότε η μέτρησή της κατά την απολογιστική περίοδο είναι επαρκής. Επίσης η μέτρηση κατά την απολογιστική περίοδο τέτοιου είδους σταθερών παραμέτρων μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρηση της τιμής γραμμής βάσης.

Η επιλογή Α η πραγματική εξοικονόμηση επαληθεύεται με από βραχυπρόθεσμες, περιοδικές ή συνεχής μετρήσεις, εκτιμήσεις και τεχνικούς υπολογισμούς. Ιδανικά οι σύντομες μετρήσεις πρέπει να επαναλαμβάνονται τουλάχιστον ετησίως. Οι μετρήσεις των παραμέτρων-κλειδιά μπορεί να είναι ένα σημαντικό μέρος των ετησίων διαδικασιών επαλήθευσης, όμως σε μερικές περιπτώσεις όπου μία παράμετρος-κλειδί δεν αναμένεται να μεταβάλλεται σημαντικά με τον χρόνο, μπορεί να είναι επαρκής μία μοναδική μέτρηση κατά την περίοδο μετά την υλοποίηση ενός MEE. Τότε εκτελούνται επιθεωρήσεις και άλλες δραστηριότητες επαλήθευσης της λειτουργίας σε τακτικά διαστήματα κατά την περίοδο απολογισμού.

Με την επιλογή Α, η εξοικονόμηση προσδιορίζεται με μετρήσεις των παραμέτρων-κλειδιά όπως η ισχύς, η απόδοση ή η λειτουργία ενός συστήματος, πριν την επέμβαση και περιοδικώς κατά την απολογιστική περίοδο, πολλαπλασιάζοντας την διαφορά με ένα εκτιμώμενο συντελεστή. Η χρήση εκτιμήσεων είναι ο ευκολότερος και ο λιγότερο δαπανηρός τρόπος για τον προσδιορισμό της εξοικονόμησης. Μπορεί επίσης να είναι η λιγότερο ακριβής μέθοδος με την μεγαλύτερη όμως αβεβαιότητα. Αυτή η μέθοδος προσδιορισμού της εξοικονόμησης μπορεί να είναι επαρκής για μερικούς τύπους επεμβάσεων όπου ένας μοναδικός παράγοντας αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό της αβεβαιότητας στην εξοικονόμηση.

Εκεί όπου πρόκειται να εγκατασταθούν πολλαπλά ίδια τεμάχια, είναι συχνά πιο οικονομικά αποτελεσματικό να εκτελεστούν μετρήσεις της παραμέτρου-κλειδί σε ένα τυχαίο δείγμα του εγκαθιστάμενου εξοπλισμού. Η σχέση του μεγέθους του δείγματος με την εκτιμητική αβεβαιότητα της εξοικονόμησης δίδονται στην παράγραφο 8.3.4

### 9.3.2 Μετρήσεις

Η κύρια εξέταση κατά την υλοποίηση της Επιλογής Α είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων που θα μετρηθούν και εκείνων που θα εκτιμηθούν. Π.χ. τα Watt ανά φωτιστικό είναι συχνά η επίδοση-κλειδί στις επεμβάσεις φωτισμού.

Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν την χρήση ενέργειας (π.χ. ώρες λειτουργίας) μπορεί να εκτιμηθούν και να καθοριστούν κατά την περίοδο μετά την υλοποίηση της επέμβασης. Όταν αυτοί οι παράμετροι δεν είναι γνωστοί με επαρκή βεβαιότητα, πρέπει να μετρώνται κατά την περίοδο βάσης και μετά να καθορίζονται συμβατικώς.

### 9.3.3 Εκτιμήσεις

Οι εκτιμώμενοι παράμετροι θα επηρεάζουν την απολογιζόμενη εξοικονόμηση καθ' όλη την διάρκεια της μετά την υλοποίηση περιόδου. Όλες οι εκτιμήσεις θα πρέπει να βασίζονται σε αξιόπιστες και τεκμηριωμένες πηγές και πρέπει να είναι γνωστές με υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης. Ενώ οι άμεσες μετρήσεις από καταγραφικά ή από το υφιστάμενο σύστημα

διαχείρισης ενέργειας είναι προτιμητέες, αυτή όμως η πληροφορία μπορεί να μην είναι διαθέσιμη ή μπορεί να είναι δαπανηρό να αποκτηθεί. Οι πηγές πληροφοριών επί των οποίων πρέπει να βασιστούν οι εκτιμήσεις περιλαμβάνουν (σε φθίνουσα σειρά προτίμησης) τα εξής:

- Μαθηματικοί τύποι που εξάγονται από μετρήσεις και επιτήρηση της λειτουργίας
- Δεδομένα των κατασκευαστών ή τυπικούς πίνακες (όπως πίνακες φωτισμού)
- Ευρωπαϊκά πρότυπα της CEN ή διεθνών οργανισμών όπως της ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Airconditioning Engineers)
- Τυπικά μετεωρολογικά στοιχεία
- Παρατηρήσεις του κτιρίου και της συμπεριφοράς των χρηστών
- Καταγραφές λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης

Οι εκτιμώμενοι παράμετροι δεν πρέπει να προέρχονται από τα επόμενα :

- Ατεκμηρίωτες υποθέσεις και πρόχειρους κανόνες
- Ιδιωτικούς «κλειστούς» υπολογιστικούς αλγόριθμους ή άλλο ατεκμηρίωτο λογισμικό
- Προφορικές συμφωνίες χωρίς υποστηρικτικά έγγραφα
- Εικασίες για τις παραμέτρους λειτουργίας
- Εξισώσεις που δεν στέκουν μαθηματικώς ή που εξάγονται από αμφισβητήσιμα δεδομένα.

## **9.4 Επιλογή Β : Απομόνωση επέμβασης με μέτρηση όλων των παραμέτρων**

### **9.4.1 Γενικά**

Η επιλογή Β για Μ&Ε είναι μέθοδος απομόνωσης επέμβασης ή μέθοδος επιπέδου συστήματος. Η προσέγγιση αυτή προορίζεται για ΜΕΕ με παράγοντες οι επιδόσεις των οποίων (παραγωγική ικανότητα, ζήτηση, ισχύς) ή η λειτουργία των οποίων (ώρες λειτουργίας φωτισμού, ψυκτικοί τόνοι ωριαίως) μπορεί να μετρηθούν. Είναι παρόμοια με την Επιλογή Α αλλά κάνει χρήση μετρήσεων συνοπτικών, περιοδικών ή συνεχών όλων των ενεργειακών μεγεθών ή όλων των παραμέτρων που χρειάζονται για τον υπολογισμό της ενέργειας κατά την απολογιστική περίοδο. Αυτή η προσέγγιση παρέχει υψηλότερη ακρίβεια κατά τον υπολογισμό της εξοικονόμησης αλλά αυξάνει τα έξοδα Μ&Ε.

Η Επιλογή Β εφαρμόζεται τυπικώς όταν ισχύει μία ή όλες εκ των κατωτέρω συνθηκών:

- Είναι επιθυμητά τα ατομικά επίπεδα εξοικονόμησης ανά επέμβαση
- Οι διαδραστικές επιδράσεις μπορεί να εκτιμηθούν με μεθόδους χωρίς την χρήση μακροπρόθεσμων μετρήσεων
- Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που επηρεάζουν την χρήση ενέργειας δεν είναι σύνθετες και εξαιρετικά δύσκολες ή δαπανηρές στην επιτήρηση
- Είναι διαθέσιμα τα δεδομένα λειτουργίας του εξοπλισμού μέσω του συστήματος διαχείρισης και ελέγχου

- Υπάρχουν επιμέρους μετρητές οι οποίοι καταγράφουν την χρήση ενέργειας των υποσυστημάτων υπό εξέταση (π.χ. χωριστοί μετρητές για τα συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού)

#### 9.4.2 Μεθοδολογική προσέγγιση της Επιλογής Β

Κατά την επιλογή Β το δυναμικό εξοικονόμησης επαληθεύεται μέσω παρατηρήσεων, επιθεωρήσεων και επιτόπου βραχυπρόθεσμες ή συνεχής μετρήσεις της ενέργειας ή των μεσολαβούντων παραγόντων στη χρήση ενέργειας. Οι τύποι για την γραμμή βάσης κατά κανόνα αναπτύσσονται με συσχέτιση της μετρούμενης ενέργειας με ανεξάρτητες μεταβλητές-κλειδιά. Ανάλογα με το μέτρο ΕΕ, μπορεί να επαρκούν τοπικές ή σύντομες μετρήσεις για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης της γραμμής βάσης, με την μέτρηση μίας ή περισσότερων μεταβλητών μετά την υλοποίηση της επέμβασης, ιδίως όταν δεν αναμένονται μεταβολές των ενεργειακών επιδόσεων. Όταν από την άλλη συμβαίνουν τέτοιου είδους μεταβολές, είναι καλύτερα να μετρώνται οι παράμετροι συνεχώς κατά την περίοδο μετά την υλοποίηση. Η συνεχής επιτήρηση της πληροφορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση ή την βελτιστοποίηση των επιδόσεων μίας επέμβασης.

#### 9.4.3 Εξεταζόμενοι παράγοντες κατά την διαδικασία Μ&Ε

Η επιλογή Β είναι κατάλληλη για μέτρα στα οποία χρειάζεται να μετρηθεί η πραγματική χρήση ενέργειας για λόγους συγκρίσεως με τον τύπο της γραμμής βάσης για τον προσδιορισμό της εξοικονόμησης. Οι εξεταζόμενοι παράγοντες κατά την εφαρμογή της Επιλογής Β περιλαμβάνουν τους ακόλουθους:

- Όλες οι τεχνολογίες τελικής χρήσης μπορούν να επαληθευτούν με την Επιλογή Β, όμως ο βαθμός δυσκολίας και δαπάνης συναφώς προς την επαλήθευση αυξάνει όσο αυξάνει η μετρητική πολυπλοκότητα
- Η μέτρηση ή ο προσδιορισμός της εξοικονόμησης με χρήση της Επιλογής Β μπορεί να είναι πιο δύσκολος και δαπανηρός από την Επιλογή Α. Όμως τα αποτελέσματα είναι κατά κανόνα πιο ακριβή με την μέθοδο Β παρά με τις εκτιμήσεις που ορίζονται στην Επιλογή Α.
- Περιοδικές επιτόπου ή βραχυπρόθεσμες μετρήσεις παραγόντων είναι κατάλληλες όταν δεν αναμένονται μεταβολές στα φορτία και την λειτουργία. Όταν αναμένονται τέτοιες μεταβολές, είναι καλύτερα οι παράμετροι να μετρώνται συνεχώς.
- Η εκτέλεση μετρήσεων συνεχώς ή περιοδικώς κατά τακτά χρονικά διαστήματα λαμβάνει υπ' όψιν τις μεταβολές λειτουργίας και θα επιφέρει μειωμένη αβεβαιότητα της εξαχθείσας εξοικονόμησης. Οι συνεχείς μετρήσεις παρέχουν μακροπρόθεσμα συνεπή δεδομένα για την χρήση ενέργειας ενός εξοπλισμού ή συστήματος.
- Τα δεδομένα που συλλέγονται για υπολογισμούς εξοικονόμησης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση ή την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του εξοπλισμού αυθωρί και παραχρήμα, βελτιώνοντας έτσι τα οφέλη της επέμβαση. Για επεμβάσεις σταθερού φορτίου όμως, μπορεί να μην υπάρχει ενδογενές πλεονέκτημα της συνεχούς έναντι της βραχυπρόθεσμης μέτρησης.

## 9.5 Επιλογή Γ – Μετρήσεις Ολόκληρης Εγκατάστασης

### 9.5.1 Γενικά

Η Επιλογή Γ για M&E περιλαμβάνει τις διαδικασίες ανάλυσης δεδομένων για ολόκληρη την εγκατάσταση ή μέρους αυτής ή των λογαριασμών των ενεργειακών παρόχων ώστε να διαπιστώνεται η επίδοση επεμβάσεων για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα των περιόδων γραμμής βάσης και απολογισμού. Επειδή οι μετρητές των παρόχων ενέργειας αποτελούν την βάση για τις χρεώσεις παρόχων, η ανάλυση των λογαριασμών των παρόχων κατά τις περιόδους γραμμής βάσης και απολογισμού θεωρείται μερικές φορές ότι είναι ο πλέον κατάλληλος τρόπος για τον προσδιορισμό της εξοικονόμησης. Όμως στην πράξη, η Επιλογή Γ σπανίως εφαρμόζεται σε συμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας για λόγους μεταξύ των οποίων είναι οι ακόλουθοι:

- Ένα έργο σε ένα συγκρότημα συχνά περιλαμβάνει μόνο ένα υποσύνολο των κτιρίων ενώ ο μετρητής του παρόχου μετρά την ενέργεια στο σύνολο των κτιρίων. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι αλλαγές στην μετρούμενη ενέργεια λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας στο κτίριο της επέμβασης μπορεί να αποκρυφτούν από άλλες αλλαγές στην ευρύτερη εγκατάσταση, περιλαμβανομένων των νέων κατασκευών, κατεδαφίσεων ή και αλλαγών χρήσεων ή παραγωγής
- Όταν μετρητές κτιρίων εγκατασταθούν από ένα μέρος διαφορετικό από τον πάροχο ενέργειας, οι μετρητές πρέπει να συντηρούνται και να διακριβώνονται και τα δεδομένα να συγκεντρώνονται και αποθηκεύονται. Δεδομένα από τέτοιους μετρητές είναι συχνά δύσκολο να αποκτηθούν και μπορεί να είναι ατελή ή/και αμφισβητήσιμης ακριβείας.
- Ακόμα και εάν ακριβή μετρητικά δεδομένα είναι διαθέσιμα στα κτίρια των επεμβάσεων, κατά την διάρκεια του χρόνου αλλαγές στην πληρότητα, τις χρήσεις, την αποστολή και τα συνδεδεμένα φορτία απαιτούν επιπρόσθετες – και εν δυνάμει πιο πολύπλοκες – προσαρμογές στην γραμμή βάσης. Η παρακολούθηση αυτών των αλλαγών αυξάνει τις απαιτήσεις πληροφοριών και τις δαπάνες M&E. Η εξοικονόμηση καταλήγει όλο και περισσότερο να εξαρτάται από τις προσαρμογές και λιγότερο από τους λογαριασμούς των παρόχων.
- Η ανάλυση όλης της εγκατάστασης δεν είναι πάντα πολύ ακριβής μέθοδος για την εκτίμηση της εξοικονόμησης. Το τυπικό σφάλμα της εκτιμήσεως της εξοικονόμησης εξαρτάται από την μεταβλητότητα στην χρήση ενέργειας στο κτίριο (λόγω της συμπεριφοράς των χρηστών, τρόποι χρήσης του εξοπλισμού, κλπ) καθώς και καιρικές συνθήκες κατά τις περιόδους βάσης και απολογισμού.
- Από μόνη της, η μέτρηση όλης της εγκατάστασης δεν παρέχει δεδομένα σε επίπεδο συστήματος για την εξασφάλιση βέλτιστων επιδόσεων ενός MEE.

Για την Επιλογή Γ οι μέθοδοι παλινδρόμησης μπορεί να είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό της εξοικονόμησης από πολλαπλά και διαδραστικά MEE και για τον προσδιορισμό του οφέλους του των έργων τα οποία δεν μπορεί να μετρηθούν ευθέως όπως είναι η περίπτωση θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους. Οι τεχνικές παλινδρόμησης απαιτούν εμπειρία και αναλυτές με προσόντα. Επομένως η μέθοδοι Επιλογής Γ μπορούν να εφαρμόζονται μόνο σε έργα τα οποία ικανοποιούν τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Η εξοικονόμηση να προβλέπεται άνω του 10% έως 20% της συνολικής κατανάλωσης, όπως μετράται από τον πάροχο ή επιμέρους μετρητές σε μηνιαία βάση.
- Δεδομένα καταναλώσεων διαθέσιμα για τουλάχιστον 12 μήνες (κατά προτίμηση 24) ή περισσότερο κατά την περίοδο της γραμμής βάσης ώστε να υπολογιστεί ο τύπος της γραμμής βάσης
- Χρήση δεδομένων τουλάχιστον 9 μηνών (κατά προτίμηση 12) κατά την απολογιστική περίοδο για τον υπολογισμό της ετήσιας εξοικονόμησης
- Είναι διαθέσιμα επαρκή δεδομένα των ανεξαρτήτων μεταβλητών για την ανάπτυξη ενός ακριβούς τύπου για την γραμμή βάσης και υπάρχουν διαδικασίες για την ανίχνευση των απαιτούμενων μεταβλητών για την εφαρμογή του τύπου κατά την περίοδο του απολογισμού.
- Τα φορτία από την πλευρά του μετρητή, πέραν εκείνων που εμπλέκονται στην επέμβαση, είναι μικρά και αναμένονται να παραμείνουν σταθερά με τον χρόνο ή καταγράφονται κατά τις περιόδους βάσης και απολογισμού μαζί με άλλες πληροφορίες που επηρεάζουν την χρήση ενέργειας όπως είναι η πληρότητα των κτιρίων, η συμπεριφορά των χρηστών και ωράριο λειτουργίας.

Ακόμα, δοθέντων των αλλαγών στην χρήση ενέργειας που συμβαίνουν στα περισσότερα κτίρια καθώς και των αλλαγών της παραγωγής, της πληρότητας και του φορτίου του εξοπλισμού, η Επιλογή Γ είναι συχνά πιο κατάλληλη για χρήση μεσοπρόθεσμη (π.χ. 2 έως 3 έτη). Όταν η εξοικονόμηση προσδιοριστεί, η διαδικασία M&E μπορεί να μεταστραφεί σε μία τεχνική απομόνωσης επεμβάσεων όπως είναι οι Επιλογές Α ή Β. Μία επιλογή τύπου Α μπορεί να περιλαμβάνει επιθεωρήσεις εξοπλισμού, επαλήθευση των τάσεων στα δεδομένα ή/και μετρήσεις των επιδόσεων των παραμέτρων-κλειδιά ως μέρος της συνολικής επαληθευτικής προσέγγισης.

#### **9.5.2 Μεθοδολογική προσέγγιση της Επιλογής Γ**

Με την Επιλογή Γ, η εξοικονόμηση ενέργειας προσδιορίζεται με την χρήση του παρόχου ενέργειας για όλη την εγκατάσταση ή με μετρήσεις σε επίπεδο εγκατάστασης. Η εξοικονόμηση προσδιορίζεται δια μέσου ανάλυσης δεδομένων του παρόχου ή του μετρητή (θερμίδες, καύσιμα, κιλοβάτ, κιλοβατώρες, κλπ) και των ανεξάρτητων μεταβλητών οι οποίες επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας. Αναπτύσσονται τύποι της παλινδρόμησης για την πρόβλεψη της χρήσης ενέργειας με βάση κατάλληλες ανεξάρτητες μεταβλητές για το έργο. Οι τύποι της παλινδρόμησης μπορεί να λαμβάνουν υπ' όψιν την επίδραση του καιρού και άλλων ανεξάρτητων μεταβλητών, ενώ η απλή σύγκριση των λογαριασμών των παρόχων δεν μπορεί. Η ανάλυση απαιτεί μία αξιολόγηση της συμπεριφοράς μίας εγκατάστασης όπως αυτή σχετίζεται με μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές (π.χ. μέση εξωτερική θερμοκρασία, πληρότητα κτιρίων, επίπεδο παραγωγής) με χρήση της ανάλυσης παλινδρόμησης.

#### **9.5.3 Συλλογή δεδομένων**

Η συλλογή, η επικύρωση και η κατάλληλη εφαρμογή των δεδομένων είναι σημαντικά στοιχεία κατά την ανάλυση δεδομένων παρόχου ή μετρητών ενέργειας. Οι τεχνικές της Επιλογής Γ κάνουν χρήση τριών τύπων δεδομένων : δεδομένα παρόχων ενέργειας ή άλλα μετρούμενα στοιχεία, ανεξάρτητες μεταβλητές και πληροφορίες για μη συναφείς αλλαγές στην εγκατάσταση. Αυτές οι πηγές δεδομένων εξετάζονται εν συνεχεία.

### 9.5.3.1 Δεδομένα παρόχου ή μετρητών και Ανεξάρτητες Μεταβλητές

Δεδομένα του παρόχου ή μετρητών παρέχουν την βάση για υπολογισμό της εξοικονόμησης επιτρέποντας την σύγκριση με της προσαρμοσμένες γραμμές βάσης με την χρήση ενέργειας κατά την περίοδο απολογισμού. Ανεξαρτήτως του τύπου των δεδομένων, το κλειδί για την κατάλληλη εφαρμογή των δεδομένων αυτών είναι η διασφάλιση ότι όλες οι ημερομηνίες αρχής και τέλους των δεδομένων ευθυγραμμίζονται με εκείνες των ανεξαρτήτων μεταβλητών. Συλλέγοντας δεδομένα για τις ανεξάρτητες μεταβλητές πιο συχνά σε σχέση με τα δεδομένα ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην ευθυγράμμιση των χρονικών διαστημάτων. Τα μετρητικά δεδομένα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Μηνιαία δεδομένα λογαριασμών. Τα δεδομένα αυτά είναι συνήθως διαθέσιμα σε μηνιαία διαστήματα. Υπάρχουν κατά κανόνα δύο είδη μηνιαίων στοιχείων λογαριασμών: ολική χρήση του μήνα και συγκεντρωτικά δεδομένα σε μικρότερες περιόδους κατά την χρονική στιγμή της χρήσης. Αν και οι δύο τύποι μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ένα τύπο παλινδρόμησης, τα δεδομένα κατά τον χρόνο-χρήσεως είναι προτιμότερα διότι παρέχουν περισσότερη πληροφόρηση για τον τρόπο χρήσεως της ενέργειας. Σε πολλές περιπτώσεις επίσης καταγράφεται και η αιχμή της ζήτησης, όπως συμβαίνει με τους εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές της μέσης τάσεως.
- Δεδομένα χρέωσης παρόχου ανά τέταρτο της ώρας. Αυτού του είδους τα δεδομένα καταγράφουν την μέση ζήτηση (ή χρήση ενέργειας) για κάθε τέταρτο της ώρας. Για την ανάλυση της γραμμής βάσης, αυτά τα δεδομένα είναι συχνά χρήσιμα διότι επιτρέπουν την συγκεντρωτικό υπολογισμό καταναλώσεων σε ημερήσια ή μηνιαία βάση.
- Χρεώσεις αποθηκευόμενης ενέργειας. Οι μετρήσεις αποθεμάτων (π.χ. καύσιμα σε δεξαμενές) ή πληροφορίες για τις ποσότητες παράδοσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της ιστορικής κατανάλωσης για πηγές καυσίμων, αν και οι επιμέρους μετρητές προτιμώνται.
- Άλλα μετρητικά δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα σε επίπεδο εγκατάστασης από μετρητές που δεν συνδέονται με ένα συγκεκριμένο πάροχο ενέργειας. Προσωρινοί μετρητές μπορούν επίσης να τοποθετηθούν για την ανάπτυξη του τύπου της γραμμής βάσης.

### 9.5.4 Αλλαγές εγκατάστασης

Μία μεγάλη πρόκληση της Επιλογής Γ είναι ο συνυπολογισμός διαφόρων παραγόντων πέραν του ΜΕΕ οι οποίοι επηρεάζουν την συνολική χρήση ενέργειας, όπως είναι οι αλλαγές στα φορτία ή στα τετραγωνικά χρήσης των κτιρίων. Η παρακολούθηση των αλλαγών αυτών παρέχει ένα μέσο για λογιστικοποίηση των αλλαγών αυτών στην χρήση της ενέργειας. Επαρκής παρακολούθηση των πληροφοριών που απαιτούνται για να γίνουν αυτές οι ασυνήθεις προσαρμογές της γραμμής βάσης, μπορεί να συνιστούν συχνά ένα λίαν δυσχερές καθήκον το οποίο μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της δαπάνης των διαδικασιών Μ&Ε.

### 9.5.5 Εξεταζόμενοι παράγοντες κατά την διαδικασία M&E<sup>2</sup>

Τα ακόλουθα σημεία θα πρέπει να εξετάζονται όταν αναλύονται τα δεδομένα της Επιλογής Γ για τους σκοπούς του M&E.

- Όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας πρέπει να καθορίζεται το κατά πόσο λαμβάνονται υπ' όψιν ή όχι στον τύπο παλινδρόμησης. Κρίσιμες παράμετροι μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν τον καιρό (μέση θερμοκρασία ή βαθμοημέρες), τον όγκο της παραγωγής, την πληρότητα των κτιρίων, την ρύθμιση των θερμοκρασιών στο σύστημα Θέρμανσης/Ψύξης/Κλιματισμού, την σύσταση των πρώτων υλών, το μείγμα των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών, κλπ. Για τις κτιριακές εγκαταστάσεις η πιο κοινή παράμετρος που λαμβάνεται υπ' όψιν είναι η εξωτερική θερμοκρασία ενώ για τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις το μέγεθος της παραγωγής.
- Η μορφή και το περιεχόμενο τυχόν χωριστών τύπων κατά την απολογιστική περίοδο (εάν υπάρχουν) πρέπει να προδιαγράφονται μαζί με τους στατιστικούς δείκτες αποδοχής. Η στατιστική αποδοχή των τελικών τύπων παλινδρόμησης πρέπει να αποδεικνύεται.
- Δεδομένα για τις ανεξάρτητες μεταβλητές πρέπει να αντιστοιχούν στις χρονικές περιόδους της χρεώσεως των παρόχων κατά ημερομηνία και χρονικό διάστημα. Θα πρέπει να καθορίζεται ένα σχέδιο για συλλογή δεδομένων, περιλαμβανομένων των πηγών και των συχνοτήτων.
- Το καλύτερο είναι οι τύποι να αναπτύσσονται με πλήρη ετήσια δεδομένα (12, 24, 36 ή 48 μήνες) έτσι ώστε να μην υπερτονίζονται οι εποχιακές διακυμάνσεις.
- Είναι αναγκαίο να καθορίζεται το πως θα παρακολουθούνται οι αλλαγές μη σχετιζόμενες με την εγκατάσταση του ΜΕΕ καθ' όλη την περίοδο απολογισμού και πως τα δεδομένα αυτά θα χρησιμοποιούνται για την επιτέλεση προσαρμογών στην εξοικονόμηση
- Εάν η κατανάλωση γραμμής βάσης πρέπει να προσαρμόζεται έτσι ώστε να ενσωματώνει μία ελάχιστη κατανάλωση ή τα πρότυπα λειτουργίας (όπως τα ελάχιστα επίπεδα αερισμού ή φωτισμού), κάθε τροποποίηση του τύπου πρέπει να αναφέρεται λεπτομερώς.

## 9.6 Επιλογή Δ – Διακριβωμένη προσομοίωση

### 9.6.1 Γενικά

Η Επιλογή Δ περιλαμβάνει διαδικασίες ανάλυσης της συνολικής εγκατάστασης ή ενός συστήματος για την επαλήθευση των επιδόσεων επεμβάσεων με χρήση διακριβωμένων τύπων προσομοίωσης με υπολογιστή. Η υπολογιστική προσομοίωση είναι ένα ισχυρό εργαλείο που επιτρέπει τους έμπειρους χρήστες να εξομοιώσουν τα μηχανολογικά συστήματα των εγκαταστάσεων καθώς και των σχετικών κτιρίων έτσι ώστε να προβλέπουν την χρήση ενέργειας από μία διεργασία ή από μία κτιριακή εγκατάσταση με σκοπό την

---

<sup>2</sup>Για περισσότερες πληροφορίες δείτε ASHRAE Guideline 14-2014, IPMVP Volume 1 (EVO 10000-1:2012) για περισσότερη πληροφορία για την ανάλυση χρεώσεων παρόχων, και το IPMVP volume για τα θέματα Στατιστικής και Αβεβαιότητας IPMVP (EVO 10100-1:2014).

πρόβλεψη την κατανάλωση ενέργειας πριν και μετά την υλοποίηση ενός ΜΕΕ. Η ακρίβεια των μαθηματικών τύπων διασφαλίζεται με την χρήση δεδομένων επιτόπιων μετρητών (υπομετρητών) για να περιγράψουν τις συνθήκες της περιόδου βάσης ή απολογισμού. Προσεκτικά ανεπτυγμένοι τύποι προσομοίωσης μπορεί να παρέχουν εκτιμήσεις της εξοικονόμησης για επιμέρους ΜΕΕ ενός έργου εξοικονόμησης. Ποιο λεπτομερής τύποι προσομοίωσης γενικώς βελτιώνουν την ακρίβεια των υπολογισμών εξοικονόμησης αλλά αυξάνουν την δαπάνη. Μία διακριβωμένη προσομοίωση κτιρίου όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της εξοικονόμησης από άλλες εν δυνάμει επεμβάσεις.

Η προσομοίωση κτιρίων και διεργασιών απαιτεί έμπειρους και ειδικούς αναλυτές και επομένως οι μέθοδοι της Επιλογής Δ πρέπει να εφαρμόζονται μόνο για έργα τα οποία ικανοποιούν μερικές ή όλες από τις ακόλουθες απαιτήσεις και χαρακτηριστικά.

- Όταν τα έργα εξοικονόμησης είναι πολύπλοκα με ένα μεγάλο αριθμό ΜΕΕ για την οικονομικά αποτελεσματική εφαρμογή των μεθόδων Απομόνωσης Επεμβάσεων Α ή Β.
- Όταν οι διαδραστικές επιδράσεις μεταξύ ΜΕΕ είναι αρκετά πολύπλοκες για τις μεθόδους Απομόνωσης Επεμβάσεων αλλά χρειάζεται να ποσοτικοποιηθούν.
- Όταν αναμένονται πολύπλοκες προσαρμογές της γραμμής βάσης κατά την απολογιστική περίοδο
- Όταν είναι επιθυμητές η επιμέρους τιμές εξοικονόμησης ανά ΜΕΕ χωριστά.
- Όταν περιλαμβάνονται νέες κατασκευές
- Όταν τα επίπεδα εξοικονόμησης είναι αρκετά ώστε να δικαιολογούν την δαπάνη προσομοίωσης.
- Όταν δεν είναι διαθέσιμα τα ενεργειακά δεδομένα της περιόδου βάσης ή απολογισμού, αλλά όχι και στις δύο

Η Επιλογή Δ είναι ιδιαίτερος χρήσιμη εκεί όπου δεν υφίσταται γραμμή βάσης (π.χ. νέες κατασκευές ή μεγάλες τροποποιήσεις κτιριακών χώρων ή διεργασιών) ή οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την εξοικονόμηση δεν είναι εύκολα μετρήσιμοι (π.χ. μειωμένη ηλιακή απολαβή ή απώλειες μέσω των παραθύρων).

Καταστάσεις όπου η υπολογιστική προσομοίωση δεν ενδείκνυται περιλαμβάνουν:

- Η ανάλυση της εξοικονόμησης ενός ΜΕΕ η οποία μπορεί να προσδιοριστεί οικονομικώς πιο αποτελεσματικά με άλλες μεθόδους
- Κτίρια ή κτιριακές εγκαταστάσεις που δεν μπορούν να εξομοιωθούν επαρκώς όπως εκείνα με πολύπλοκη γεωμετρία ή άλλα ασυνήθη χαρακτηριστικά
- ΜΕΕ τα οποία δεν μπορούν να εξομοιωθούν επαρκώς όπως τα φράγματα ακτινοβολιών ή αλγόριθμοι ελέγχου με βάση την ζήτηση οι οποίοι είναι σημαντικοί στην σύγκριση των υποθέσεων περιόδου βάσης ή περιόδου απολογισμού.
- Έργα με περιορισμένους πόρους οι οποίοι δεν επαρκούν να υποστηρίξουν την προσπάθεια που απαιτείται για συλλογή, προσομοίωση, διακρίβωση και τεκμηρίωση των δεδομένων.

Ακόμα και για τα απλούστερα έργα, η ανάπτυξη και η διακρίβωση των τύπων προσομοίωσης είναι δραστηριότητες με χρονική ένταση και πρέπει να επιτελούνται από καταξιωμένους

ειδικούς σε θέματα προσομοίωσης κτιρίων ή συγκεκριμένων βιομηχανικών διεργασιών. Η ανάλυση με διακριβωμένη προσομοίωση είναι μία δαπανηρή διαδικασία M&E και πρέπει να αναλαμβάνεται μόνο σε έργα τα οποία παράγουν αρκετή εξοικονόμηση που να δικαιολογεί την χρήση της.

Αν και η Επιλογή Δ εφαρμόζεται τόσο σε επίπεδο παραγωγικής διεργασίας όσο και κτιριακού συγκροτήματος, στην συνέχεια η περιγραφή της Μεθόδου αυτής εστιάζεται κατά κύριο λόγο σε θέματα επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια.

#### **9.6.2 Μεθοδολογική προσέγγιση Επιλογής Δ**

Η Επιλογή Δ για M&E ενός υφιστάμενου κτιρίου περιλαμβάνει κατά κανόνα τα επόμενα πέντε γενικά βήματα : (1) συλλογή δεδομένων, (2) εισαγωγή δεδομένων και δοκιμή των μοντέλων της γραμμής βάσης, (3) διακρίβωση των μοντέλων της γραμμής βάσης, (4) ανάπτυξη και επεξεργασία των μοντέλων της περιόδου απολογισμού και (5) επαλήθευση των επιδόσεων και υπολογισμός εξοικονόμησης. Τα βήματα αυτά εξετάζονται αναλυτικότερα στην συνέχεια.

Η μέθοδος που ακολουθείται για τις νέες κατασκευές είναι ελαφρώς διαφορετική και επεξηγείται λεπτομερώς στο τεύχος IPMVP Volume III ((EVO 30000-1.2006)). Μία πρωτογενής διαφορά των μεθόδων μεταξύ των υφιστάμενων και των νέων είναι η διαθεσιμότητα δεδομένων από τους παρόχους ενέργειας. Στις νέες κατασκευές, το μοντέλο ενεργειακής επίδοσης διακριβώνεται με δεδομένα των παρόχων διότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την περίοδο βάσης, αν και υπάρχει πάντα η δυνατότητα συγκρίσεως με παρόμοια κτίρια. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόζεται επίσης και για υφιστάμενα κτίρια για τα οποία δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία ενεργειακών καταναλώσεων κατά την περίοδο βάσης.

##### **9.6.2.1 Συλλογή δεδομένων**

Τα απαιτούμενα δεδομένα για την προσομοίωση ενός υφιστάμενου κτιρίου μπορεί να είναι ογκώδη και επομένως η συλλογή όλων των απαιτούμενων δεδομένων αποτελεί το κλειδί της υπόθεσης. Για τούτο συνιστάται η συλλογή περιεκτικών δεδομένων γραμμής βάσης. Όλα τα συλλεγόμενα δεδομένα και πληροφορίες δεν είναι απαραίτητο να ενσωματωθούν στο μοντέλο αλλά μπορεί να περιληφθούν για την ικανοποίηση ειδικότερων απαιτήσεων για την ακρίβεια του μοντέλου. Όλη η συλλεγόμενη πληροφορία και δεδομένα πρέπει να τεκμηριώνονται σε μορφή η οποία επιτρέπει την ανασκόπηση με την οφειλόμενη επιμέλεια. Ανεπαρκής, ανοργάνωτη, αυτοαναιρούμενη ή αντιφατική τεκμηρίωση μπορεί να αποτελέσει βάση για την απόρριψη του φακέλου σε περίπτωση ελέγχου.

Για την απόκτηση δεδομένων διακρίβωσης του μοντέλου, πρέπει να περιλαμβάνεται στις διαδικασίες M&E του έργου μετρητές σε επίπεδο υποσυστήματος κτιρίου για την περίοδο βάσης και την περίοδο απολογισμού. Τα ειδικότερα υποσυστήματα τα οποία επιλέγονται για επιτήρηση είναι κατά κανόνα τα υλοποιημένα MEE και τα συναφή υποσυστήματα. Για MEE όπως είναι τα παράθυρα ή η θερμομόνωση τα οποία δεν μπορούν να επιτηρηθούν, τα επηρεαζόμενα συστήματα Θ/Ψ/Κ θα πρέπει να μετρώνται. Η διακρίβωση του μοντέλου θα ωφεληθεί τα μέγιστα από την επιτήρηση των τελικών χρήσεων ενέργειας για τα οποία υπάρχει ακόμα και η ελάχιστη πληροφόρηση.

Τα απαιτούμενα δεδομένα κατά κανόνα περιλαμβάνουν τα εξής :

- Καταγραφές των χρεώσεων των παρόχων για ένα διάστημα τουλάχιστον 12 συνεχών μηνών (και προτιμότερα 24, 26 ή 38) για τους μήνες αμέσως πριν την υλοποίηση του ΜΕΕ. Τα δεδομένα χρεώσεων παρόχων πρέπει να περιλαμβάνουν ημερομηνία λήψεως της κατανάλωσης, κατανάλωση ενέργειας (kWh), ζήτηση αιχμής (kW) και καύσιμα θερμάνσεως (π.χ. φυσικό αέριο). Μπορεί να απαιτηθούν και πρόσθετα δεδομένα, χρονικού διαστήματος ώρας ή τετάρτου.
- Αρχιτεκτονικά, ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά σχέδια με προτίμηση στα επιμετρικά σχέδια (σχέδια όπως τελικώς κατασκευάστηκαν).
- Δεδομένα αυτοψίας και επισκόπησης της εγκατάστασης, περιεκτικά δεδομένα εξοπλισμού και συστημάτων, που συλλέγονται κατά κανόνα κατά τον ενεργειακό έλεγχο και τα οποία περιλαμβάνουν τα εξής:
  - ο Συστήματα Θ/Ψ/Κ, κύριος εξοπλισμός (π.χ. ψύκτες και λέβητες), ωφέλιμη ισχύς, αριθμός, τύπος και σειριακός αριθμός, ηλικία, κατάσταση, ωράριο λειτουργίας κλπ.
  - ο Συστήματα Θ/Ψ/Κ, δευτερέων εξοπλισμός (π.χ. Κλιματιστικές Μονάδες, τερματικά δοχεία αναμείξεως, κλπ): χαρακτηριστικά, μεγέθη και τύποι ανεμιστήρων, μεγέθη και απόδοση κινητήρων, ονομαστικές παροχές και στατικές πιέσεις, συστήματα αεραγωγών, ανάκτηση θερμότητας και τύπος αυτοματισμών και ελέγχου.
  - ο Συστήματα αυτομάτου ελέγχου Θ/Ψ/Κ, ζώνες ελέγχου, ρυθμίσεις θερμοκρασιών, ρυθμίσεις και ωράρια αυτοματισμών και τυχόν προγράμματα σειριακού ελέγχου
  - ο Συστήματα φωτισμού: αριθμός και τύπος λαμπτήρων, ονομαστικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων και πηνίων (ballasts), ωράριο φωτισμού, κλπ
  - ο Πληρότητα κτιρίων : καταμέτρηση πληθυσμού, ωράρια λειτουργίας διαφορετικών ζωνών.
  - ο Άλλα φορτία με σημαντικές καταναλώσεις ενέργειας : τύπος (διεργασία, αεροσυμπιεστές, θερμαντήρες νερού, ανελκυστήρες), κατανάλωση ενέργειας, ωράριο λειτουργίας

Επιπρόσθετα στοιχεία αυτοψίας και ελέγχου πέραν των συνήθως συλλεγόμενων περιλαμβάνουν:

- ο Φορτία ρευματοληψίας : σύνοψη των κυρίων και τυπικών φορτίων από ρευματολήπτες και ορισμός τιμών ανά ζώνη
- ο Κτιριακό κέλυφος και θερμική μάζα: διαστάσεις και τύπος εξωτερικών και εσωτερικών τοίχων, χαρακτηριστικά των παραθύρων καθώς και προσανατολισμός και σκίαση κτιρίου από παρακείμενα σκιάδια και αντικείμενα. Η εκτίμηση του ρυθμού διείσδυσης αέρα είναι επιθυμητή αλλά αυτό είναι συχνά δύσκολο να γίνει.
- ο Συστήματα Θ/Ψ/Κ : παροχές αερισμού/εξαερισμού οι οποίες μπορεί να έχουν δραματικές επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας
- Βραχεία επιτήρηση. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας κτιρίου (BEMS) ή τα καταγραφικά δεδομένων ρυθμίζονται για να καταγράφουν δεδομένα συστήματος με τον

χρόνο. Κατά κανόνα επιτηρούνται τα κύρια συστήματα χρήσης ενέργειας και εξοπλισμός εμπλεκόμενος με ένα MEE. Αυτά τα δεδομένα μπορεί να απαιτούνται εάν κάποια ειδικά υποσυστήματα (π.χ. η μονάδα του ψύκτη), χρειάζεται να εξομοιωθεί μαθηματικώς για τον προσδιορισμό της εξοικονόμησης. Τα δεδομένα αποκαλύπτουν πως τα μεταβλητά φορτία αλλάζουν με τις συνθήκες λειτουργίας του κτιρίου όπως ο καιρός, η πληρότητα, το ημερήσιο ωράριο, κλπ

- Επιτόπου μετρήσεις ειδικού εξοπλισμού. Η ισχύς που απορροφάται στον φωτισμό, το φορτίο ρευματοληψίας, εξοπλισμός Θ/Ψ/Κ και άλλα κυκλώματα πρέπει να καταγράφεται για να προσδιοριστεί η ισχύς λειτουργίας του πραγματικού εξοπλισμού.
- Συνεντεύξεις χειριστών. Η χειριστές της εγκατάστασης μπορεί να παρέχουν τις περισσότερες από τις ανωτέρω αναφερόμενες πληροφορίες καθώς και πληροφορίες σχετικά με τις αποκλίσεις από την κανονική λειτουργία του εξοπλισμού.
- Δεδομένα καιρού. Για λόγους διακρίβωσης, απαιτείται η συλλογή αντιπροσωπευτικών μετεωρολογικών στοιχείων της τοποθεσίας της εγκατάστασης (εξωτερική θερμοκρασία, υγρασία, κλπ) για την χρονική περίοδο ενδιαφέροντος προ και μετά την λήψη του (των) MEE.
- Ελάχιστες απαιτήσεις Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. Για νέες κατασκευές καθώς και για μεγάλες ανακαινίσεις είναι υποχρεωτική η τήρηση των ελαχίστων προδιαγραφών βάσης για το κτιριακό κέλυφος και τον εξοπλισμό. Θα πρέπει πάντα να γίνεται χρήση των ελαχίστων απαιτήσεων για τον εξοπλισμό, όπως υπαγορεύονται από τους κτιριακούς κανονισμούς.

#### **9.6.2.2 Εισαγωγή δεδομένων και εκτέλεση του προγράμματος γραμμής βάσης**

Τα δεδομένα πρέπει να προσαρμόζονται όπως απαιτείται στο μοντέλο της γραμμής βάσης και να εισάγονται στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Δεδομένα-κλειδιά είναι οι φυσικές ιδιότητες του κτιρίου, οι τύποι και βαθμοί απόδοσης εξοπλισμού και συστημάτων, κατάλληλα μετεωρολογικά δεδομένα και ο αυτόματος έλεγχος. Ειδική προσοχή πρέπει να δίδεται στα συστήματα τα οποία θα τροποποιηθούν από τα MEE.

Ο οδηγός χρήσης του προγράμματος προσομοίωσης και τα άλλα σχετικά υλικά θα πρέπει να εξετάζονται αναλυτικά ώστε να προσδιορίζεται το πως θα εισάγονται καταλλήλως τα συλλεχθέντα στοιχεία στο πρόγραμμα. Με βάση τον όγκο των δεδομένων αυτών, μπορεί να ληφθούν κατάλληλες αποφάσεις για το πως θα αναπαρασταθούν τα δεδομένα στα αρχεία δεδομένων τους προγράμματος. Αυτό μπορεί να γίνει οικονομικώς αποτελεσματικά από ένα έμπειρο ειδικό σε θέματα προσομοίωσης κτιρίων και των συστημάτων αυτών.

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, θα πρέπει να εκτελεστούν μερικές προσομοιώσεις ώστε να δοκιμαστούν τα μοντέλα του προγράμματος. Θα πρέπει να εξετάζονται τα αρχεία αποτελεσμάτων για να διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχουν σφάλματα στο πρόγραμμα. Ακολουθούν μεριά σημεία που πρέπει να ελέγχονται :

- Ικανοποιούν τα συστήματα Θ/Ψ/Κ τα φορτία θέρμανσης και ψύξης;
- Είναι σωστά τα ωράρια λειτουργίας του εξοπλισμού ;
- Είναι ακριβείς οι αποδόσεις του εξοπλισμού;
- Είναι η προβλέψεις του προγράμματος λογικοφανείς;

### **9.6.2.3 Διακρίβωση του Μοντέλου Γραμμής Βάσης**

Το μοντέλο προσομοίωσης της γραμμής βάσης θα πρέπει να διακριβώνεται με χρήση διαδικασίες που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 8 συγκρίνοντας την ενέργεια και την ζήτηση που προβλέπεται από το μοντέλο με την χρήση και ζήτηση των μετρηθέντων στοιχείων από τον πάροχο ενέργειας ή άλλους μετρητές. Για έργα νέας κατασκευής, η ενέργεια γραμμής βάσης θα πρέπει να συγκρίνεται με άλλα κτίρια τα οποία έχουν παρόμοια λειτουργία και χρήση. Εάν οι απαιτούμενες ανοχές δεν ικανοποιηθούν, τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο πρέπει να επανεξεταστούν μέχρι τα όρια ανοχής να ικανοποιηθούν.

Το διακριβωμένο μοντέλο θα πρέπει να τεκμηριώνεται με την επίδειξη των τελικών παραμέτρων εισόδου για το μοντέλο. Αυτή η πληροφορία καθώς επίσης και τα πραγματικά αποτελέσματα της διακρίβωσης, πρέπει να παρέχονται στις υποβολές για M&E.

### **9.6.2.4 Δημιουργία και επεξεργασία του μοντέλου της περιόδου απολογισμού**

Αρχίζοντας με το διακριβωμένο μοντέλο γραμμής βάσης, το μοντέλο πρέπει να επικαιροποιείται ώστε να περιλαμβάνει τα MEE του κτιρίου ώστε να αναπτυχθεί το μοντέλο της απολογιστικής περιόδου.

Εάν είναι επιθυμητά τα επιμέρους επίπεδα εξοικονόμησης από έκαστο MEE, μία προσέγγιση που περιλαμβάνει τις διαδραστικές επιδράσεις των MEE είναι να εισάγονται τα MEE διαδοχικά στο μοντέλο γραμμής βάσης. Μερικά προγράμματα επιτρέπουν την διαδοχική αθροιστική προσομοίωση των διαδοχικών MEE δημιουργώντας μία κυλιόμενη γραμμή βάσης. Η πρώτη εκτέλεση του προγράμματος είναι το μοντέλο γραμμής βάσης, η δεύτερη είναι MEE1, η Τρίτη MEE1 και MEE2, η τέταρτη εκτέλεση είναι MEE1, MEE2 και MEE3. Μετά την εισαγωγή του τελικού MEE, το μοντέλο θα παριστάνει την κατάσταση επιδόσεων της περιόδου απολογισμού με εγκατεστημένα όλα τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει τις διαδραστικές επιδράσεις στην εξοικονόμηση εκάστου MEE.

Ο προσδιορισμός της αλληλουχίας κατά την οποία εισάγεται έκαστο MEE στο μοντέλο συνιστά μία σημαντική εξέταση για την διαχείριση των διαδραστικών επιδράσεων. Κατά κανόνα τα μέτρα τα οποία επηρεάζουν τα συνολικά θερμικά ή ψυκτικά φορτία πρέπει να εισάγονται πρώτα. Δευτερεύοντα MEE είναι εκείνα τα οποία επιδρούν στα υποσυστήματα Θ/Ψ/Κ και τελευταία τα MEE τα οποία επηρεάζουν το κεντρικό μηχανοστάσιο.

Μερικά προγράμματα προσομοίωσης εκτελούν έκαστο MEE έναντι της αρχικής γραμμής βάσης, αγνοώντας τυχόν διαδραστικές επιδράσεις μεταξύ των μέτρων. Αυτά τα ενδιάμεσα αποτελέσματα δεν είναι πάντα 100% προσθετικά, καθώς δύο MEE τα οποία εξοικονομούν έκαστο 2% μπορεί να μην εξοικονομούν 4% όταν συνδυαστούν. Μετά την συνεξέταση των διαδραστικών επιδράσεων, αυτά τα MEE σε συνδυασμό μπορεί τελικώς να εξοικονομήσουν 3%.

Όταν εφαρμόζεται αυτή η προσέγγιση, πρέπει το πρόγραμμα να εκτελείται για μία ακόμα τελική φορά η οποία να περιλαμβάνει όλα τα μέτρα, ώστε να προσδιοριστούν οι διαδραστικές επιδράσεις όλων των MEE. Αυτή η προσέγγιση δεν επιμερίζει τις διαδραστικές επιδράσεις στα επιμέρους MEE.

### **9.6.2.5 Επαλήθευση επιδόσεων και υπολογισμός εξοικονόμησης**

Η μέθοδος για τον προσδιορισμό της εξοικονόμησης εξαρτάται από την φάση του έργου. Κατά την φάση κατασκευής του έργου, η προτεινόμενη εξοικονόμηση προσδιορίζεται με

αφαίρεση των αποτελεσμάτων της απολογιστικής περιόδου βάσει όλων των προτεινόμενων ΜΕΕ από τα αποτελέσματα του διακριβωμένου μοντέλου γραμμής βάσης, με χρήση τόσο των συμφωνημένων δεδομένων για τον καιρό όσο και για τις συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης.

Μετά το πρώτο έτος λειτουργίας, υπάρχουν δύο επιλογές για τον υπολογισμό της επαληθευμένης εξοικονόμησης:

1. Διακρίβωση του μοντέλου της περιόδου απολογισμού και αφαίρεση των αποτελεσμάτων από το μοντέλο γραμμής βάσης με χρήση των ιδίων συνθηκών ή
2. αφαίρεση των μετρηθέντων δεδομένων του παρόχου της απολογιστικής περιόδου από τα αποτελέσματα του μοντέλου γραμμής βάσης το οποίο επικαιροποιήθηκε με βάση τις πραγματικές συνθήκες.

Η πρώτη επιλογή απαιτεί το μοντέλο της περιόδου απολογισμού να διακριβώνεται με χρήση των διαδικασιών που περιγράφονται στην παράγραφο 9.6.4. Επικαιροποιείται το μοντέλο της περιόδου απολογισμού με χρήση δεδομένων τα οποία συλλέχθηκαν κατά την περίοδο απολογισμού από καταγραφές της εγκατάστασης, από επιτόπιες μετρήσεις, από βραχεία επιτήρηση καθώς και από δεδομένα του παρόχου ενέργειας. Η προσπάθεια μπορεί να ελαχιστοποιείται με την συλλογή δεδομένων από τα εγκαταστημένα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης.

Εάν είναι επιθυμητό να εκτιμηθεί η εξοικονόμηση για ένα συγκεκριμένο έτος, πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα πραγματικά καιρικά δεδομένα καθώς και άλλα στοιχεία από το έτος αυτό. Εάν πρόκειται να γίνει αναγωγή της εξοικονόμησης σε τυπικές συνθήκες, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τα τυπικά δεδομένα του καιρού. Σε κάθε περίπτωση αμφότερα τα μοντέλα γραμμής βάσης και απολογιστικής περιόδου πρέπει να τρέξουν με τα ίδια καιρικά δεδομένα. Τα καιρικά δεδομένα προς χρήση καθορίζεται στο πρόγραμμα Μ&Ε για κάθε εγκατάσταση. Εάν και χρονικά απαιτητική, η προσέγγιση της Επιλογής Δ ταιριάζει καλά σε προσαρμογές μοντέλων όταν συμβαίνουν σημαντικές αλλαγές της εγκατάστασης κατά την διάρκεια της περιόδου απολογισμού. Εάν πρόκειται να προσδιοριστεί η εξοικονόμηση για κάθε ΜΕΕ μαζί με τις διαδραστικές επιδράσεις, τα ΜΕΕ πρέπει να εισάγονται διαδοχικά στο μοντέλο και να τρέχουν οι προσομοιώσεις αμέσως μετά κάθε εισαγωγή, όπως περιγράφεται προηγουμένως. Η εξοικονόμηση από τα επιμέρους ΜΕΕ προσδιορίζεται από την διαφορά στην ενέργεια ή την ζήτηση μεταξύ δύο διαδοχικών εκτελέσεων του προγράμματος. Η εξοικονόμηση που προσδιορίζεται για τα επιμέρους ΜΕΕ πρέπει αθροιζόμενη να ισούται με την εξοικονόμηση με την ολική εξοικονόμηση που υπολογίζεται από τις εκτελέσεις μεταξύ περιόδων γραμμής βάσης και απολογισμού. Είναι σημαντικό ότι η εξοικονόμηση προσδιορίζεται όταν σε αμφότερα τα μοντέλα εισάγονται ίδιες συνθήκες (καιρός, πληρότητα, ωράριο, σημεία ρύθμισης, κλπ) εκτός από τα χαρακτηριστικά μεγέθη των εγκαθιστάμενων ΜΕΕ.

Οι χρεώσεις ενέργειας και δομή των τιμολογίων που καθορίζεται στο πρόγραμμα Μ&Ε, εφαρμόζονται επί της εξοικονόμησης ενέργειας όπως προσδιορίζεται από το μοντέλο. Εάν οι χρεώσεις των παρόχων περιλαμβάνονται στο μοντέλο, θα πρέπει να παρέχεται επαρκής περιγραφή και χαρακτηρισμός της εξοικονόμησης ενέργειας ώστε να μπορεί να επαληθευτούν οι υπολογισμοί χρεώσεων του μοντέλου. Όταν εφαρμόζονται χρονικά μεταβαλλόμενες χρεώσεις ή άλλα ωράρια μεταβλητών χρεώσεων, η εξοικονόμηση αιχμής

(σε kW) και ενέργειας (kWh) πρέπει να αναλύονται σε κατάλληλες κατηγορίες ώστε να προσδιορίζεται η εξοικονόμηση λειτουργικών δαπανών.

### 9.6.3 Λογισμικό προσομοίωσης

Τα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται είναι προγράμματα «ολικής εγκατάστασης» τα οποία επιτρέπουν την δημιουργία εξειδικευμένων μοντέλων για κτίρια και τα συστήματά τους και χρησιμοποιούν ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα για την πρόβλεψη της χρήση ενέργειας. Αυτά τα προγράμματα είναι πολύ ευέλικτα και επιτρέπουν ακριβή μοντελοποίηση των περισσότερων κτιρίων μέσω προσαρμοσμένων δεδομένων εισόδου. Δύο από τα πλέον κοινά προγράμματα τα οποία διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο είναι τα προγράμματα eQUEST and EnergyPlus<sup>3</sup>.

Ένας πλήρης κατάλογος προγραμμάτων ενεργειακής προσομοίωσης διατηρείται από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ στην διεύθυνση :

<http://www.buildingenergysoftwaretools.com/>

Αυτά τα προγράμματα προσομοίωσης απαιτούν εκτενή δεδομένα εισαγωγής ώστε να εξομοιώνουν επακριβώς την χρήση ενέργειας σε ένα κτίριο. Ωριαία στοιχεία για ένα τυπικό μετεωρολογικό έτος δεν διατίθενται ακόμα δημόσια από την EMMY αλλά εκτιμάται ότι στο εγγύς μέλλον αυτό θα αλλάξει, μια και τέτοιου είδους δεδομένα έχουν ήδη αναπτυχθεί από το ΚΑΠΕ και το Εθνικό Αστεροσκοπείο. Πάντως για την προσομοίωση της πραγματικής λειτουργίας ενός κτιρίου υπάρχει η δυνατότητα προμήθειας ωριαίων μετεωρολογικών δεδομένων από την EMMY στους περισσότερους μετεωρολογικούς σταθμούς της χώρας.

Εναλλακτικά με τα προγράμματα είναι δυνατόν να γίνει χρήση προγραμμάτων ημερήσιου ή μηνιαίου βήματος σε περιπτώσεις όπου τα αξιολογούμενα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας δεν είναι δυναμικού χαρακτήρα, όπως π.χ. είναι τα νέα συστήματα αυτοματοποίησης και ελέγχου τα οποία παρεμβαίνουν στο σύστημα σε ωριαία βάση και επιδρούν σημαντικά στον ωριαίο βαθμό απόδοσης του εξοπλισμού και στην ωριαία χρήση ενέργειας κατά την Θ/Ψ/Κ.

Σε κάθε περίπτωση τα προγράμματα προσομοίωσης τα οποία είναι αποδεκτά για την Επιλογή Δ πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- να είναι εμπορικώς διαθέσιμα, υποστηριζόμενα και τεκμηριωμένα
- να είναι ικανά να προσομοιώνουν επαρκώς το έργο, την τοποθεσία και τα MEE
- να είναι ικανά να διακριβωθούν σε ένα αποδεκτό επίπεδο ακριβείας
- να επιτρέπουν την χρήση μετεωρολογικών δεδομένων σε ωριαία μορφή.

Όπως αναφέρεται ανωτέρω και κατ' εξαίρεση είναι δυνατόν να γίνει αποδεκτή η χρήση μοντέλων ημερήσιου ή μηνιαίου βήματος, μετά από αναλυτική τεκμηρίωση της δυνατότητας του μοντέλου (π.χ. όπως αυτό προδιαγράφεται από το πρότυπο EN 13790) επιτρέπει την εξομοίωση των υπό εξέταση MEE σε ικανοποιητικό επίπεδο. Τέτοιου τύπου μέτρα είναι οι επεμβάσεις θερμομόνωσης ή αντικατάστασης υαλοπινάκων ή κουφωμάτων στο κέλυφος ενός κτιρίου.

---

<sup>3</sup>eQUEST διατίθεται στην διεύθυνση <http://doe2.com/equest/> (τρέχουσα έκδοση είναι eQUEST 3.65), και το EnergyPlus στη διεύθυνση : <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.

## 9.6.4 Διακρίβωση μοντέλου

### 9.6.4.1 Γενικά

Η διακρίβωση του μοντέλου για υφιστάμενα κτίρια επιτυγχάνεται μέσω της διασύνδεσης των δεδομένων εισαγωγής της προσομοίωσης με τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα καταναλώσεων όλου του κτιρίου. Ο προσομοιωτής μπορεί να είναι όλου του κτιρίου ή μόνο για την τελική κατανάλωση ή το σύστημα που επηρεάζεται από το MEE. Όπου είναι δυνατόν να πρέπει να η διακρίβωση του μοντέλου να γίνεται και για τις δύο περιόδους γραμμής βάσης και απολογισμού. Η διακρίβωση του μοντέλου είναι κατά κανόνα μία επαναληπτική διαδικασία ρυθμίζοντας τα δεδομένα εισαγωγής του μοντέλου και επανασυγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τα μετρηθείσες καταναλώσεις. Ένα μοντέλο θεωρείται διακριβωμένο όταν έχουν ικανοποιηθεί οι στατιστικοί δείκτες που επιδεικνύουν την διακρίβωση. Οι επιδιωκόμενες απαιτήσεις διακρίβωσης πρέπει να καθίζονται στο πρόγραμμα M&E ειδικά για κάθε MEE, και οι τυπικές απαιτήσεις δίδονται στον Πίνακα 9.2. Αυτές οι απαιτήσεις θα πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα για την ικανοποίηση των αναγκών ενός έργου.

Πίνακας 9.2: Αποδεκτές ανοχές διακρίβωσης προγράμματος(\*)

Τύπος διακρίβωσης	Δείκτης	Αποδεκτή τιμή(**)
Μηνιαίως	MBE <sub>month</sub>	± 5%
	C <sub>v</sub> (RMSE <sub>month</sub> )	15%
Ωριαίως	MBE <sub>month</sub>	±10 %
	C <sub>v</sub> (RMSE <sub>month</sub> )	30%

(\*) : Τα δεδομένα αυτά ελήφθησαν από το πρότυπο ASHRAE 14- 2015

(\*\*) : Χαμηλότερες τιμές υποδεικνύουν καλύτερη διακρίβωση

Ακρώνυμα (ορίζονται στην επόμενη παράγραφο) : MBE = mean bias error (μέσο σφάλμα πόλωσης), C<sub>v</sub> = coefficient of variation (συντελεστής μεταβλητότητας), RMSE = root mean square error (ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος).

Για τα περισσότερα μοντέλα, η διακρίβωση μπορεί να γίνει σε πολλαπλά επίπεδα ως εξής:

- Διακρίβωση σε επίπεδο συστήματος με ωριαία μετρούμενα δεδομένα
- Διακρίβωση σε επίπεδο ολόκληρου του κτιρίου με μηνιαία δεδομένα του παρόχου
- Διακρίβωση σε επίπεδο εγκατάστασης με ωριαία δεδομένα του παρόχου.

Ο καθορισμός του επιπέδου διακρίβωσης που απαιτείται εξαρτάται από την αξία του έργου, την διαθεσιμότητα των στοιχείων και την ανάγκη για βεβαιότητα στην εκτίμηση της εξοικονόμησης. Όλα τα μοντέλα πρέπει να διακριβώνονται σε μηνιαία δεδομένα κατ' ελάχιστον. Μοντέλα προσομοίωσης τα οποία εστιάζουν σε ειδικότερα συστήματα πρέπει να διακριβώνονται με δεδομένα επιπέδου συστήματος. Επίσης η διακρίβωση των μοντέλων σε ωριαία δεδομένα θα βοηθήσει να εξασφαλιστεί ακρίβεια, ιδιαίτερα κατά τον προσδιορισμό της εξοικονόμησης της αιχμής του συστήματος. Η διακρίβωση ενός προγράμματος προσομοίωσης υπολογιστή με μετρημένα δεδομένα του παρόχου, υπαγορεύει την ανάγκη για πραγματικά καιρικά δεδομένα και όχι τυπικά.

Οι διαδικασίες διακρίβωσης πρέπει να εφαρμόζονται σε όλες τις πηγές εξοικονόμησης (αιχμή, ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, κλπ) αλλά πρέπει να εστιάζουν στις κύριες πηγές.

#### 9.6.4.2 Στατιστικοί δείκτες

Για όλες αυτές τις προσεγγίσεις, πρέπει να υπολογίζονται δύο προγραφόμενοι στατιστικοί δείκτες ώστε να καταστεί ένα μοντέλο διακριβωμένο : ο δείκτης μέσου σφάλματος πόλωσης (MBE) και ο συντελεστής μεταβλητότητας (Coefficient of Variance), της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος  $C_V(\text{RMSE})$ . Οι προτεινόμενες απαιτήσεις διακρίβωσης είναι εκείνες του Πίνακα 9.2. Ειδικότερη στόχοι διακρίβωσης μπορούν να καθοριστούν για κάθε έργο εξοικονόμησης, με βάση ένα κατάλληλο επίπεδο προσπάθειας. Αυτή η διαδικασία πρέπει να εφαρμόζεται στον ηλεκτρισμό (kWh), στην αιχμή (kW) και σε όλα τα άλλα καύσιμα.

Επιπρόσθετα στους στατιστικούς δείκτες, ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την κατανόηση της μεταβλητότητας που υπάρχει στο μοντέλο είναι οι γραφικές συγκριτικές τεχνικές. Όπως αναφέρεται ανωτέρω, στο μοντέλο πρέπει να χρησιμοποιούνται πραγματικά δεδομένα του καιρού τα οποία αντιστοιχούν στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Κατά κανόνα η ενεργειακή κατανάλωση που προβλέπεται από το μοντέλο και μετράται από τον πάροχο ή από μετρητή, προσδιορίζεται για κάθε μήνα ή για κάθε χρονικό διάστημα των εισαγόμενων δεδομένων καθώς επίσης για όλο το έτος ή περίοδο και επιτελείται στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Οι ίδιες τεχνικές μπορεί να εφαρμόζονται σε ωριαία δεδομένα ή δεδομένα υποσυστήματος. Οι στατιστικές τιμές που χρειάζεται να υπολογιστούν είναι οι MBE και  $C_V(\text{RMSE})$ .

- Ο δείκτης MBE υποδεικνύει το πόσο καλά προβλέπεται η κατανάλωση ενέργειας από το μοντέλο, συγκριτικά με τα μετρηθέντα δεδομένα. Θετικές τιμές δείχνουν ότι το μοντέλο υπερεκτιμά τις πραγματικές τιμές, αρνητικές τιμές δείχνουν ότι το μοντέλο υποτιμά τις πραγματικές τιμές. Όμως υπόκειται σε σφάλματα ακυρώσεως όπου ο συνδυασμός θετικών και αρνητικών τιμών τείνει να μειώνει το MBE. Για να ληφθούν υπ' όψιν τα ακυρωτικά σφάλματα, απαιτείται επίσης και ο δείκτης  $C_V(\text{RMSE})$ .
- Ο δείκτης  $C_V(\text{RMSE})$  υποδεικνύει την συνολική αβεβαιότητα των προβλέψεων για την χρήση ενέργειας σε όλη την εγκατάσταση. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του δείκτη αυτού, τόσο καλύτερη είναι η διακρίβωση. Η τιμή αυτή είναι πάντα θετική.

Το μέσο σφάλμα πόλωσης υπολογίζεται αφαιρώντας την προσομοιωμένη κατανάλωση ενέργειας από την μετρηθείσα κατανάλωση ενέργειας για όλα τα διαστήματα σε μία δεδομένη περίοδο. Οι διαφορές από κάθε διάστημα αθροίζονται και μετά διαιρούνται από το άθροισμα της μετρηθείσας κατανάλωσης ενέργειας κατά την ίδια χρονική περίοδο. Ο υπολογισμός του MBE δίδεται με την εξίσωση 9.1:

$$MEB(\%) = \frac{\sum_{\text{Περίοδος}} (S - M)_{\text{Διάστημα}}}{\sum_{\text{Περίοδος}} (M)_{\text{Διάστημα}}} \times 100 \quad (9.1)$$

όπου  $M$  και  $S$  είναι οι μετρηθείσες και προσομοιωθείσες κιλοβατώρες (ή η κατανάλωση καυσίμου) κατά ένα χρονικό διάστημα αντιστοίχως

Ο δείκτης  $C_V(\text{RMSE})$  είναι ένα ανηγμένο μέτρο της μεταβλητότητας μεταξύ δύο συνόλων δεδομένων. Για τις διεργασίες διακριβωμένης προσομοίωσης, εξάγεται τετραγωνίζοντας την διαφορά δύο ζευγών σημείων δεδομένων σε κάθε διάστημα καθ' όλη την περίοδο, και μετά

διαιρώντας με τον αριθμό των σημείων, δίδοντας έτσι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Η τετραγωνική ρίζα αυτού του μεγέθους δίνει τον δείκτη RMSE. Ο δείκτης Cv(RMSE) εξάγεται διαιρώντας το RMSE με το μέση τιμή των μετρηθέντων δεδομένων καθ' όλη την περίοδο.

Ο δείκτης RMSE μίας περιόδου υπολογίζεται με βάση την εξίσωση 9.2.

$$RMSE_{\text{Περίοδος}} = \sqrt{\sum_{\text{Περίοδος}} \frac{(S - M)_{\text{Διάστημα}}^2}{N_{\text{Διάστημα}}}} \quad (9.2)$$

όπου  $N_{\text{Διάστημα}}$  είναι ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων της περιόδου απολογισμού

Η μέση τιμή των μετρούμενων δεδομένων για την περίοδο δίδεται από την εξίσωση 9.3.

$$A_{\text{Περίοδος}} = \frac{\sum_{\text{Περίοδος}} M_{\text{Διάστημα}}}{N_{\text{Διάστημα}}} \quad (9.3)$$

Ο δείκτης Cv(RMSE) υπολογίζεται από την εξίσωση 9.4.

$$Cv(RMSE)_{\text{Περίοδος}} = \frac{RMSE_{\text{Περίοδος}}}{A_{\text{Περίοδος}}} \quad (9.4)$$

Οι βασικές διαφορές κατά την εφαρμογή αυτών των δεικτών σε διάφορα σύνολα δεδομένων (μηνιαία, ωριαία, μετρούμενα ή του παρόχου) είναι : α) οι αποδεκτές τιμές των δεικτών και β) ο ορισμός του «διαστήματος» και της «περιόδου» σε κάθε εξίσωση ανωτέρω. Η εφαρμογή αυτών των στατιστικών δεικτών για κάθε επίπεδο διακρίβωσης εξετάζεται λεπτομερώς στην συνέχεια.

#### 9.6.4.3 Διακρίβωση υποσυστημάτων με μετρητικά δεδομένα

Η διακρίβωση των υποσυστημάτων κτιριακών μοντέλων με μετρητικά δεδομένα μπορεί να απαιτείται για την επαύξηση της ακρίβειας και για την διασφάλιση της συνολικής ακρίβειας του μοντέλου για την ικανοποίηση των στόχων. Η ωριαία χρήση ενέργειας όπως προβλέπεται από το μοντέλο συγκρίνεται έναντι ωριαίων μετρήσεων χρήσης ενέργειας προκειμένου να προσδιοριστεί η ακρίβεια των προβλέψεων για την χρήση ενέργειας σε επίπεδο υποσυστήματος.

Τα περισσότερα προγράμματα προσομοίωσης όπως π.χ. το eQuest εξάγουν τα αποτελέσματα σε διαστήματα κατ' ελάχιστον μίας ώρας. Επομένως για την διακρίβωση, σε κάθε ώρα πρέπει να λαμβάνεται η μέση τιμή των μετρητικών δεδομένων. Π.χ. εάν συλλέγονται δεδομένα ζήτησης τετάρτου σε ένα ψύκτη (kW), εξ αυτών πρέπει να λαμβάνεται ο μέσος όρος σε κάθε ώρα.

Όταν εφαρμόζονται οι ανωτέρω στατιστικές εξισώσεις 9.1 έως 9.4 σε υπομετρητικά δεδομένα, το διάστημα ισούται με μία ώρα και η περίοδος μπορεί να καθορίζεται από τον χρήστη.

#### 9.6.4.4 Διακρίβωση σε επίπεδο όλης της εγκατάστασης με μηνιαία δεδομένα

Η σύγκριση της χρήσης ενέργειας που προβλέπεται από ένα μοντέλο κτιρίου με τους μηνιαίους λογαριασμούς του παρόχου αποτελεί το ελάχιστο επίπεδο διακρίβωσης που πρέπει να επιτελείται για κάθε μοντέλο ενός υφιστάμενου κτιρίου και με ετήσια περίοδο.

#### 9.6.4.5 Διακρίβωση σε επίπεδο όλης της εγκατάστασης με ωριαία δεδομένα

Όταν εφαρμόζονται ωριαία δεδομένα, το διάστημα είναι μίας ώρας και η περίοδος μπορεί να ορίζεται από τον χρήστη και συχνά χρησιμοποιείται περίοδος ενός μηνός της χρέωσης του παρόχου. Αυτοί οι δείκτες όμως μπορεί να υπολογίζονται για ολόκληρη την περίοδο ή για ημέρες της εβδομάδας, σαββατοκύριακα και ημέρες διακοπών χωριστά.

#### 9.6.5 Διαδικασία M&E

Κατά την ανάπτυξη σχεδίων M&E σε κάθε έργο με χρήση της Επιλογής Δ, πρέπει να εξετάζονται και αντιμετωπίζονται πολλές πτυχές της διαδικασίας. Μερικά από τα πλέον κοινά βήματα της διαδικασίας εξετάζονται στη συνέχεια.

- Χρήση ενός έμπειρου επαγγελματία στην ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων. Αν και τα προγράμματα προσομοίωσης καθιστούν την όλη διαδικασία απλούστερη, οι δυνατότητες ενός προγράμματος και οι απαιτήσεις για πραγματικά δεδομένα δεν μπορεί να γίνουν πλήρως κατανοητά από μη έμπειρους χρήστες και τα εξαγόμενα μοντέλα μπορεί να μην είναι ακριβή.
- Προσδιορισμός της διαθεσιμότητας των δεδομένων από τις χρεώσεις των παρόχων
- Προσδιορισμός της διαθεσιμότητας ωριαίων ή μηνιαίων δεδομένων χρεώσεων και της δυνατότητας εγκατάστασης μετρητών για την συλλογή ωριαίων δεδομένων. Διακρίβώσεις με ωριαία δεδομένα είναι γενικά πιο ακριβείς από διακρίβώσεις με μηνιαία στοιχεία, επειδή υπάρχουν περισσότερα σημεία σύγκρισης. Ωριαία δεδομένα ενέργειας ή ζήτησης ισχύος είναι διαθέσιμα μόνο σε μεγάλους πελάτες των παρόχων ή μπορεί να συλλεχθούν με φορητά καταγραφικά δεδομένων. Εάν υπάρχουν μόνο μηνιαία δεδομένα χρεώσεων, η διεξαγωγή πρόσθετων βραχυπρόθεσμων μετρήσεων σε επίπεδο υποσυστήματος μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια του μοντέλου.
- Χρήση πραγματικών δεδομένων ενεργειακών επιδόσεων του εξοπλισμού στο μοντέλο προσομοίωσης. Πολλά προγράμματα προσομοίωσης έχουν βιβλιοθήκες εξοπλισμού Θ/Ψ/Κ που προβλέπουν πολύ καλά την ενεργειακή επίδοση των πραγματικών συστημάτων. Απαιτείται προσεκτική διερεύνηση των περιγραφών της βιβλιοθήκης Θ/Ψ/Κ ώστε να διασφαλιστεί η ορθή εκπροσώπηση των πραγματικών συστημάτων καθώς και η περαιτέρω ανάπτυξη από τον χρήστη καμπύλων επίδοσης του εξοπλισμού με βάση επιτόπιες μετρήσεις ή στοιχεία του κατασκευαστή.
- Προδιαγραφή επιτόπιων μετρήσεων και βραχυπρόθεσμης παρακολούθησης των παραμέτρων-κλειδιά για τις περιόδους της γραμμής βάσης και απολογισμού. Οι μετρήσεις αυτές διευρύνουν τα δεδομένα για όλη την εγκατάσταση και χαρακτηρίζουν ακριβέστερα τα κτιριακά συστήματα. Προτείνεται να παρακολουθείται η τελική χρήση καθ' όλη την περίοδο εκείνη που αντικατοπτρίζει το πλήρες εύρος της λειτουργίας του εξοπλισμού (π.χ. άνοιξη και θέρος για τα συστήματα ψύξης). Τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνεται η διακρίβωση σε επίπεδο υποσυστήματος. Είναι αναγκαία η προσεκτική επιλογή των τοπικών μετρήσεων και της βραχυπρόθεσμης παρακολούθησης επειδή η επιλογή αυτή μπορεί να προσθέσει σημαντικά έξοδα και χρονικές απαιτήσεις στο έργο.
- Χρήση δεδομένων για την τάση ή την κλίση (μεταβολή) των χρήσεων ενέργειας για τον προσδιορισμό του τρόπου λειτουργίας των διατάξεων αυτομάτου ελέγχου. Ο σειριακός έλεγχος των κτιριακών αυτοματισμών είναι δύσκολο να ερμηνευτεί μέσω συνεντεύξεων,

επιτόπου καταγραφών, στοιχείων κατασκευαστών και επιτόπου μετρήσεων. Ο καλύτερος τρόπος για την εξακρίβωση των πραγματικών σειριακών ελέγχων είναι μέσω της κλίσης των δεδομένων. Μερικές φορές το σύστημα διαχείρισης ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των πραγματικών κανόνων λειτουργίας. Όμως η ικανότητα αποθήκευσης στοιχείων σε πολλά συστήματα είναι περιορισμένη.

- Καθορισμός διαδικασιών διακρίβωσης μοντέλου η οποία θα ακολουθείται από μηνιαία, ωριαία ή δεδομένα υποσυστημάτων τόσο για την περίοδο γραμμής βάσης όσο και για την περίοδο απολογισμού. Προδιαγραφή στατιστικών απαιτήσεων με βάση την απαιτούμενη ακρίβεια για το έργο.
- Καθορισμός προγράμματος προσομοίωσης και πηγών μετεωρολογικών δεδομένων (μετεωρολογικός σταθμός ή τυπικά καιρικά δεδομένα).
- Καθαρή επεξήγηση του τρόπου υπολογισμού της εξοικονόμησης μετά το πρώτο έτος. Η διατήρηση επικαιροποιημένων μοντέλων μπορεί να είναι μία δαπανηρή υπόθεση. Για έργα χωρίς ουσιαστικές αναμενόμενες αλλαγές στην εγκατάσταση, η Επιλογή Γ με ανάλυση των χρεώσεων των παρόχων μπορεί να είναι απολύτως εφικτή. Ανεξάρτητα από το πως υπολογίζεται η εξοικονόμηση κάθε έτος, η συνεχιζόμενη επίδοση των μετρημένων αναγκών πρέπει να επαληθεύεται περιοδικώς.

## 10 Ενεργειακοί έλεγχοι στις μεταφορές

### 10.1 Γενικά

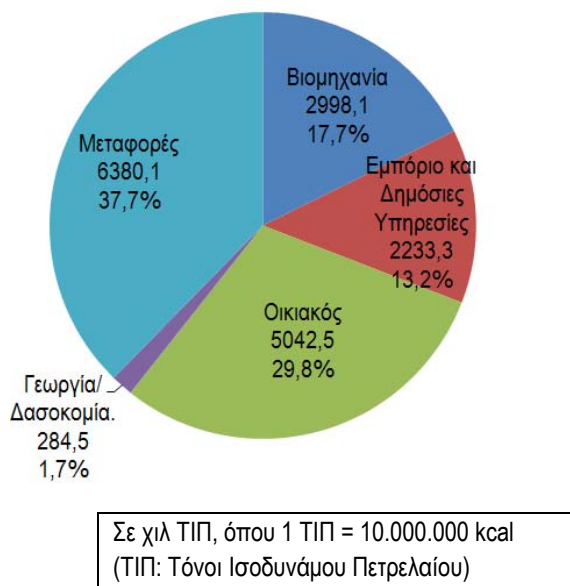
Στο νόμο 4342/2015 έχουν περιληφθεί απαιτήσεις για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας στις μεταφορές αφού από το άρθρο 2 παρ.2 της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ και στον ορισμό της «τελικής κατανάλωσης ενέργειας», έχουν περιληφθεί και οι μεταφορές ως πεδίο εφαρμογής του νόμου.

Σύμφωνα με τον ορισμό του περιεχομένου των ενεργειακών ελέγχων του Παραρτήματος VI του νόμου 4342/2015, οι ενεργειακοί έλεγχοι «περιλαμβάνουν λεπτομερή επισκόπηση των χαρακτηριστικών της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου ή μιας ομάδας κτιρίων, μιας βιομηχανικής δραστηριότητας ή εγκατάστασης, περιλαμβανομένων και των μεταφορών».

Με την διατύπωση αυτή και λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο ενεργειακός έλεγχος για να είναι αντιπροσωπευτικός (βλέπε παράγραφο 4.3.4.1) πρέπει να καλύπτει το 90% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, μέσα στην οποία περιλαμβάνεται και η ενέργεια για τις μεταφορές, τόσο επιβατών όσο και εμπορευμάτων, με τις εξαιρέσεις της παραγράφου 4.3.4.4.

Η σημασία των μεταφορών στην κατανάλωση τελικής ενέργειας στην χώρα μας αναδεικνύεται με το Σχήμα 10.1. όπου ο τομέας των μεταφορών κατέλαβε το έτος 2012 το 37,7% της τελικής κατανάλωσης έναντι του 17,7% της βιομηχανίας του 29,8% του οικιακού τομέα και του 13,2% του τριτογενούς κτιριακού τομέα. Δηλαδή ο τομέας των μεταφορών καταναλώνει ελαφρώς λιγότερη τελική ενέργεια έναντι του κτιριακού τομέα (43%)

Σχήμα 10.1 Τελική ενεργειακή κατανάλωση (Ελλάδα 2012)



Βεβαίως και στην πράξη το ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας των επιχειρήσεων στις μεταφορές επιχειρήσεις μπορεί να κυμαίνεται κάτω του 5% της συνολικής κατανάλωσης τελικής ενέργειας έως πάνω του 50% (ναυτιλιακές, εμπορευματικές εταιρίες). Ανεξάρτητα όμως του ποσοστού αυτού είναι σκόπιμο στην πράξη να καταγράφεται η ετήσια κατανάλωση μίας επιχείρησης στις μεταφορές και να επιμερίζεται στις επιμέρους χρήσεις : επιβατικές, εμπορευμάτων, διακίνηση προσωπικού, ή ανά κατηγορία στόλου οχημάτων. Και τούτο διότι στον τομέα των μεταφορών είναι συχνά σχετικά ευχερές να εντοπιστούν επιμέρους ανεπάρκειες στον προγραμματισμό και την διακίνηση, η ανάταξη των οποίων με αμιγώς διαχειριστικά μέτρα δύναται να επιφέρει σημαντικά ποσοστά εξοικονόμησης.

Ιδιαίτερα για τη Ναυτιλία, επειδή διέπεται από διεθνείς συμβάσεις, παρατίθεται το ειδικό Παράρτημα Η.

## 10.2 Κανονιστικά έγγραφα και απαιτήσεις

### 10.2.1 Γενικά

Το γενικό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 16247-1 για την διαδικασία ενεργειακού ελέγχου έχει ισχύ και στον τομέα των μεταφορών. Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 16247-4 προβλέπει τόσο εναρμονισμένες διαδικασίες και απαιτήσεις για όλους τους τομείς των μεταφορών : οδικές, ναυτιλιακές, αεροπορικές, και σιδηροδρομικές καθώς και ειδικές απαιτήσεις κατά τομέα.

Επομένως τα δύο πρότυπα αυτά αποτελούν την βάση για κάθε ενεργειακό έλεγχο στις μεταφορές.

### 10.2.2 Συλλογή και ανάλυση στοιχείων

Σύμφωνα και με τα πρότυπα της σειράς ΕΛΟΤ EN 16247, η εναρμονισμένη για όλους τους τομείς μεταφορών διαδικασία συλλογής στοιχείων μεταξύ άλλων θα πρέπει να περιλαμβάνει:

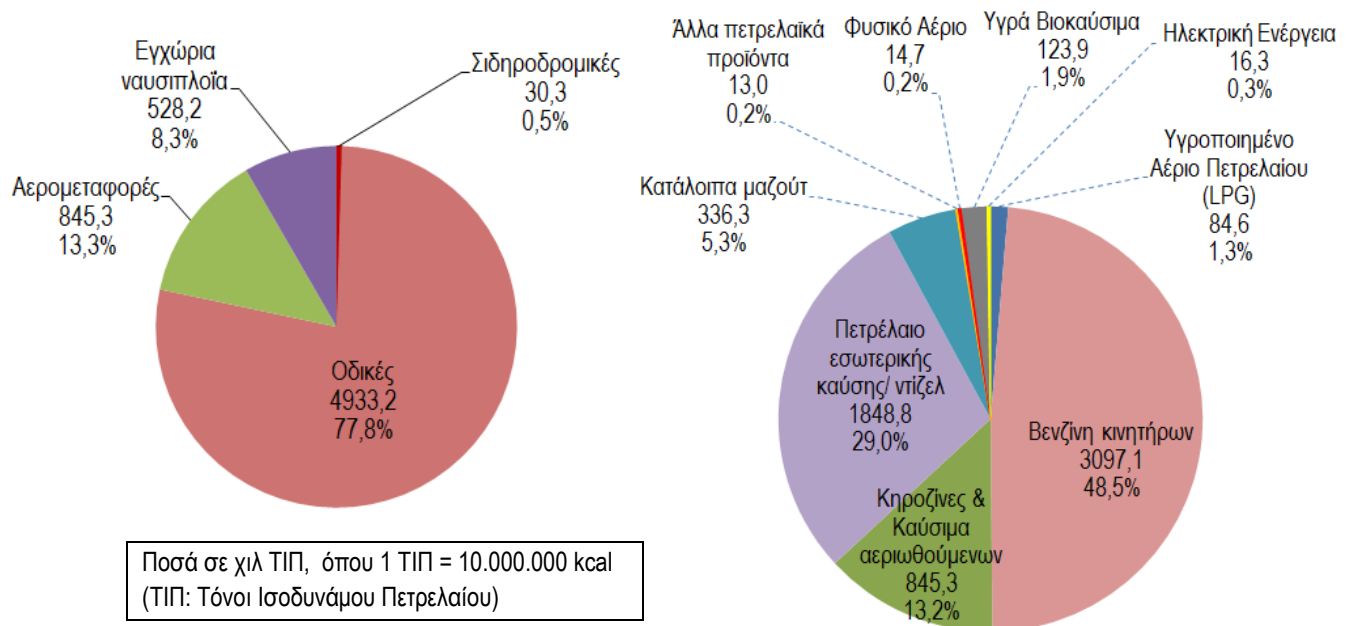
- Κατανάλωση ενέργειας ή ώρες λειτουργίας εκάστου οχήματος κατά το περασμένο έτος,
- Μερίδιο μεταφορικών επιδόσεων μεταξύ των σχετικών μέσων (μονάδα: επιβάτες.χλμ)
- Μερίδιο εκάστου μεταφορικού μέσου στην γραμμή μεταφοράς (μονάδα: τόνοι.χλμ)
- Σύνθεση του στόλου και των οχημάτων (π.χ. επιτρεπόμενο μέγιστο βάρος, κατανάλωση καυσίμου, τύπος καυσίμου και ειδικότερα για φορτηγά το μέγεθος και η Ευρωπαϊκή κλάση (Euroclass) της μηχανής
- Δυναμικό βελτιστοποίησης δρομολογίων
- Εάν οι μεταφορές ή μέρος αυτών ανατίθεται εκτός επιχείρησης, θα πρέπει να αξιολογηθούν κριτήρια συναφή προς την ενέργεια για την κατανομή του στόλου
- Προγράμματα συντήρησης, έγγραφα φύλλων ελέγχου για επιθεωρήσεις εγκρίσεις, και συντήρηση.
- Κατάρτιση οδηγών ή προγράμματα κατάρτισης για το λοιπό προσωπικό ή συνεργάτες για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την επιτήρηση των επιπτώσεων μέτρων εξοικονόμησης (π.χ. προγράμματα κατάρτισης οδηγών, μετρήσεις πιέσεως ελαστικών κατά τον ανεφοδιασμό με καύσιμα.
- Οδηγίες συναφείς προς την ενέργεια για την προμήθεια οχημάτων
- Κώδικες ενεργειακής απόδοσης στον τομέα των μεταφορών (κατ' ελάχιστον αναφορικά με την κατανάλωση καυσίμων και εκπομπών CO<sub>2</sub>).
- Ενεργειακά αποδοτική διαχείριση ταξιδίων
- Διαχείριση διακίνησης προσωπικού

Συστατικό στοιχείο της ανάλυσης των δεδομένων αποτελεί η γραφική παράσταση και ο επιμερισμός των καταναλώσεων καυσίμων κατά ομάδες ως προς τον τομέα μεταφορών, τον τύπο καυσίμου και τεχνολογία του στόλου των μεταφορικών μέσων. Α.

Στη συνέχεια δίδεται ένα παράδειγμα του επιμερισμού με βάση τα ισοζύγια ενέργειας για την Ελλάδα το έτος 2012 (πηγή : Energy balance sheets Statistical books, 2011-2012)

<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5785109/KS-EN-14-001-EN.PDF>

Σχήμα 10.2 : Κατανομή τελικής ενέργειας ανά είδος μεταφορικού μέσου και καυσίμου (Ελλάδα 2012)



Στο ανωτέρω σχήμα αριστερά δίδεται η συνολική κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά τομέα μεταφορών σε χιλιάδες τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) και σε ποσοστό. Παρατηρείται ότι οι Οδικές μεταφορές επιβατών και εμπορευμάτων κυριαρχούν στον τομέα των μεταφορών ακολουθούμενες από τις αερομεταφορές και την ναυσιπλοΐα. Στο σχήμα δεξιά δίδεται η κατανάλωση ανά τύπο καυσίμου. Παρατηρείται ότι τα καύσιμα κινήσεως (βενζίνη, πετρέλαιο) κυριαρχούν κατά 77% στη συνολική κατανάλωση ακολουθούμενα από τις κηροζίνες (ως καύσιμα αεροπορίας) και το βαρύ πετρέλαιο μαζούτ (ως ναυτιλιακό πετρέλαιο).

Η διάκριση πρέπει επίσης να γίνεται κατά τύπο και τεχνολογία οχήματος όπως αυτά διακρίνονται από τους εκάστοτε κανονισμούς, όπως π.χ. είναι η Οδηγία 2001/116/ΕΕ για τις οδικές μεταφορές.

### 10.3 Αξιολογούμενα μέτρα και δείκτες εξοικονόμησης ενέργειας

#### 10.3.1 Αξιολογούμενα μέτρα εξοικονόμησης

Στο πλαίσιο των προτάσεων για τα μέτρα εξοικονόμησης, θα πρέπει να καλύπτονται τα εξής:

- Βελτίωση των προγραμμάτων συντήρησης
- Οδηγίες προμήθειας οχημάτων σχετικές με την ενέργεια και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.
- Τακτικά επαληθευόμενη εκπαίδευση οδηγών και βελτιστοποίηση προγραμματισμού δρομολογίων
- Μέτρα και τεχνολογίες μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών
- Μετρήσεις/εκτιμήσεις καταναλώσεων με βάση αποδοτικούς δείκτες και γραμμές βάσης.
- Εναλλακτική διαχείριση επιχειρηματικών ταξιδιών
- Εναλλακτική διαχείριση κινητικότητας προσωπικού

Για την αξιολόγηση των μέτρων ισχύει και εδώ η ανάπτυξη των κεφαλαίων 8 περί γραμμής βάσης και 9 περί πρωτοκόλλων εξοικονόμησης. Συχνά οι επεμβάσεις εξοικονόμησης εντάσσονται στην κατηγορία του πρωτοκόλλου Α και επομένως αρκεί η παρακολούθηση ενός δείκτη πριν και μετά την υιοθέτηση μέτρων εξοικονόμησης.

Τυπικοί δείκτες ενεργειακών επιδόσεων στην κατανάλωση καυσίμου (ΚΚ) περιλαμβάνουν :

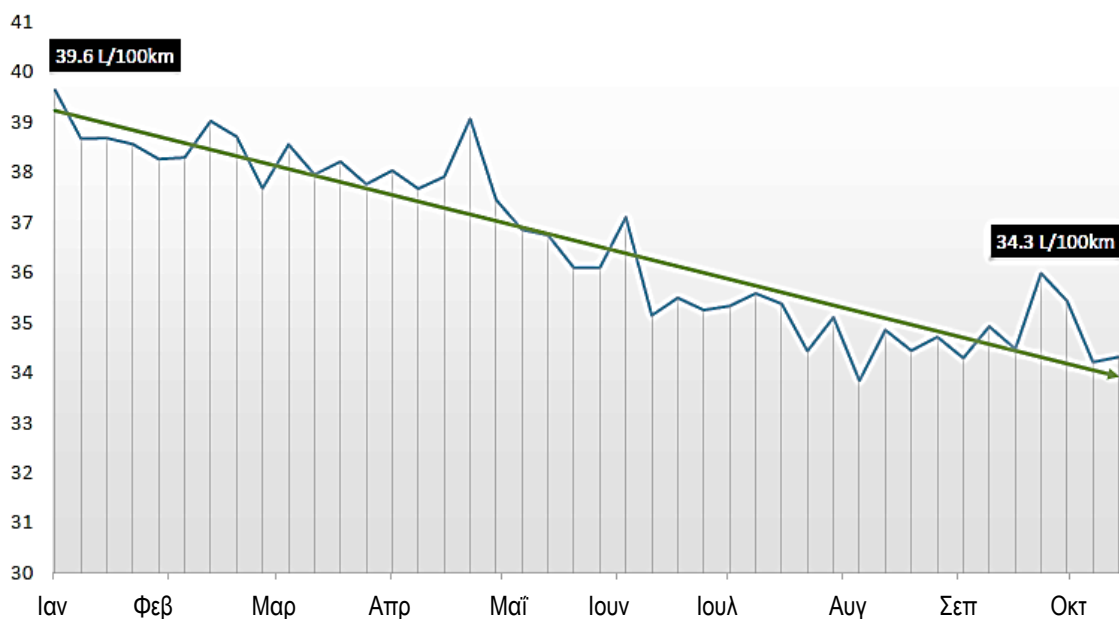
1. Λίτρα ανά 100 χλμ οχήματος
2. Λίτρα καυσίμου ανά χλμ. και τόνο βάρους
3. Λίτρα καυσίμου ανά χλμ και επιβάτη
4. Λίτρα καυσίμου να μεταφερόμενο τόνο

Τυπικοί δείκτες οικονομίας καυσίμου (ΟΚ) περιλαμβάνουν :

1. χλμ ανά λίτρο (km/l) ή μίλια ανά γαλόνι (mpg)

Τυπικό παράδειγμα εξέλιξης δείκτη επίδοσης καυσίμου δίδεται στο χρονολογικό διάγραμμα που ακολουθεί. Από τέτοιου τύπου χρονολογικά διαγράμματα είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η εξοικονόμηση με την εβδομαδιαία μέτρηση ενός μόνο δείκτη (πρωτόκολλο τύπου Α).

Σχήμα 10.3 : Χρονολογικό διάγραμμα επίδοσης καυσίμων μετά την λήψη μέτρων



Οι επιδόσεις καυσίμων στις μεταφορές μπορεί να συγκριθούν με :

- Επιδόσεις παρελθόντων ετών: συγκρίνονται οι τρέχουσες επιδόσεις με τις επιδόσεις του έτους βάσης.
- Ομότιμες επιχειρήσεις :σύγκριση των επιδόσεων μεταξύ ομοειδών ή ομότιμων επιχειρήσεων μέσω κλαδικών μελετών ή στατιστικών στοιχείων
- «Πρώτο»: συγκρίσεις με τις πλέον καθιερωμένες πρακτικές που θεωρούνται οι καλύτερες στον κλάδο

### 10.3.2 Διάκριση μεταξύ δεικτών Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου και Απόδοσης Καυσίμου

Στο σημείο αυτό διευκρινίζονται οι όροι «Απόδοση Καυσίμου» (ΑΚ) και «Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου» (ΕΚΚ) οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως, αλλά συχνά κατά τρόπο εναλλακτικό και λανθασμένο που μπορεί να προκαλέσει σύγχυση.

- *Απόδοση καυσίμου* είναι ένα μέτρο του πόσο μακριά μπορεί να ταξιδέψει ένα όχημα ανά μονάδα καυσίμου όπως είναι το λίτρο ή το γαλόνι και εκφράζεται με τον δείκτη  $x = \text{λίτρα}/100 \text{ km}$  ή  $\text{gpm}$  (gallons per mile).
- *Ειδική Κατανάλωση καυσίμου* είναι το αντίστροφο της οικονομίας καυσίμου το οποίο επίσης χρησιμοποιείται ευρέως ανά τον κόσμο και εκφράζεται με τον δείκτη  $y = \text{λίτρα ανά } 100 \text{ km}$ . Το μέγεθος αυτό είναι θεμελιώδες διότι μπορεί να εφαρμοστεί ευθέως ως μέτρο εξοικονόμησης όγκου καυσίμου. Η ποσοστιαία εξοικονόμηση καυσίμου  $\varepsilon$  (%) η οποία επέρχεται από ένα μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να εκφραστεί ευθέως ως το ποσοστό μείωσης του δείκτη αυτού  $\varepsilon = (y - y_0/y_0)$  όπου  $y_0$  είναι η αρχική τιμή του δείκτη.

Ευκόλως αποδεικνύεται ότι η σχέση των δύο ανωτέρω δεικτών είναι :

$$y = 100/x \text{ ή αλλιώς } EKK = 100/AK \quad (10.1)$$

Λαμβάνοντας την παράγωγο της 10.1 προκύπτει ότι :

$$dy/dx = -100/x^2 = -y/x \rightarrow dy/y = -dx/x \quad (10.2)$$

Δηλαδή η διαφορική ποσοστιαία μεταβολή των δύο δεικτών είναι ίση κατά μέτρο και αντίθετη. Ολοκληρώνοντας την 10.2 από αρχικές τιμές  $x_0, y_0$ , έως τις τελικές τιμές  $x$  και  $y$ :

$$\ln(y/y_0) = -\ln(x/x_0) = \ln(x_0/x) \rightarrow y/y_0 = x_0/x \rightarrow (y_0 - y)/y_0 = (x - x_0)/x \quad (10.3)$$

Η εξίσωση 10.3 υποδηλώνει ότι η ποσοστιαία μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου έναντι της αύξησης του δείκτη απόδοσης καυσίμου είναι μία γραμμική σχέση.

Π.χ. εάν  $x = 2x_0$ , δηλαδή εάν αυξηθεί ο δείκτης οικονομίας καυσίμων κατά 100% τότε από την 10.3 συνάγεται ότι η εξοικονόμηση στην κατανάλωση καυσίμων θα ανέλθει σε:

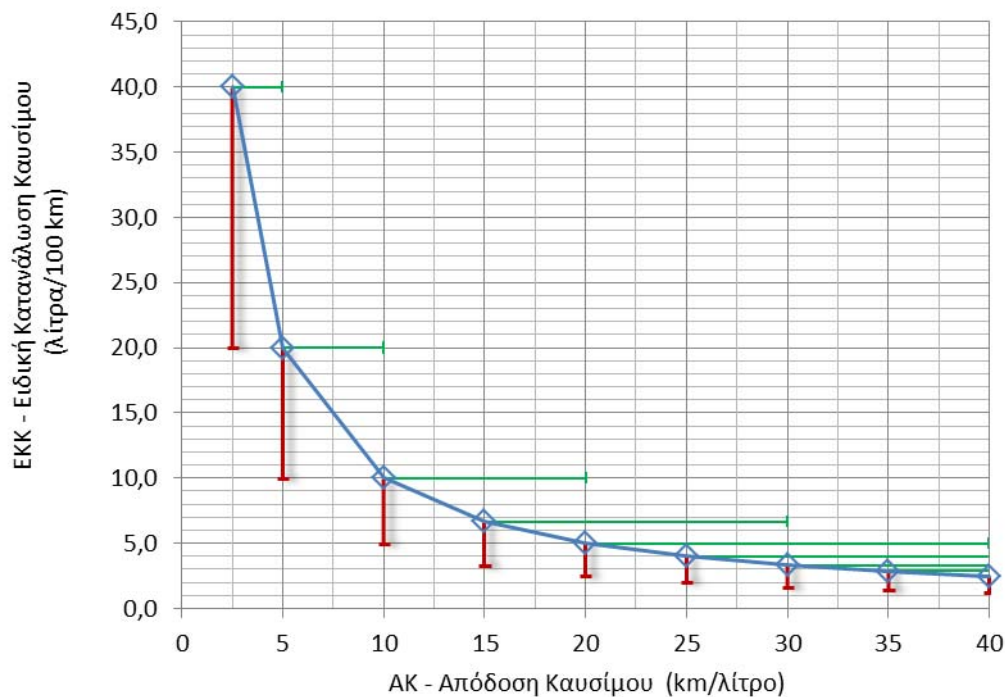
$$(y_0 - y)/y_0 = (2 \cdot x_0 - x_0)/(2 \cdot x_0) = 1/2 = 50\% \quad (10.4)$$

Με την εξίσωση 10.3 και 10.4 υπολογίζονται ενδεικτικά οι ακόλουθες τιμές:

Αύξηση δείκτη ΑΚ (%)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Μείωση δείκτη ΕΚΚ(%) και εξοικονόμηση καυσίμων (%)	9,1%	16,7%	23,1%	28,6%	33,3%	37,5%	41,2%	44,4%	47,4%	50,0%

Τέλος σημαντική είναι η παρατήρηση ότι η εξοικονόμηση καυσίμου (δείκτης ΕΚΚ) είναι μεγαλύτερη στις περιπτώσεις οχημάτων με χαμηλότερο αρχικό δείκτη ΟΚ και τούτο διότι η καμπύλη ΕΚΚ-ΑΚ είναι εμφανίζει οξεία κλίση για χαμηλές τιμές των ΑΚ. Τούτο υποδεικνύεται γραφικά στο Σχήμα 10.4 που ακολουθεί με τις ερυθρές κατακόρυφες γραμμές οι οποίες δίδουν την κατά 50% εξοικονόμηση καυσίμου (βάσει της εξισώσεως 10.4) όταν ο δείκτης ΑΚ αυξηθεί κατά 100%

Σχήμα 10.4 : Τιμές δεικτών EKK έναντι AK προ της λήψεως μέτρων και εξοικονόμηση καυσίμου (ερυθρές ράβδοι) για 100% αύξηση της απόδοσης καυσίμου (πράσινες ράβδοι)



Π.χ. παρατηρείται ότι όταν η αρχική τιμή του δείκτη  $AK = 5$  τότε η αντίστοιχη τιμή του δείκτη  $EKK = 20$ . Εάν ο δείκτης αυξηθεί κατά 100% και φθάσει στο 10 (πράσινη ράβδος), τότε η οικονομία καυσίμου που επιτυγχάνεται είναι ίση με 20 μονάδες (ερυθρή ράβδος). Αντίθετα εάν η αρχική τιμή είναι 10 ή 20 τότε η επιτυγχανόμενη εξοικονόμηση καυσίμου ισούται με 5 ή 2,5 μονάδες αντιστοίχως.

Η παρατήρηση αυτή υποδεικνύει ότι κατά την διοργάνωση προγραμμάτων εξοικονόμησης ενέργειας στις μεταφορές προηγούνται εκείνα τα μέτρα εξοικονόμησης που αφορούν οχήματα χαμηλότερης οικονομίας καυσίμων διότι εκεί αναμένονται τα μεγαλύτερα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη.

### 10.3.3 Μέση επιχειρησιακή απόδοση καυσίμου (ΜΕΑΚ)

Για την καλύτερη παρακολούθηση της απόδοσης καυσίμου σε επίπεδο στόλου οχημάτων τα οποία διανύουν περίπου τα ίδια χιλιόμετρα αποστάσεων ετησίων, ο δείκτης ΜΕΑΚ υπολογίζεται ως ο αρμονικός μέσος των αποδόσεων καυσίμου των επιμέρους οχημάτων :

$$MEAK = \frac{N_A + N_B + N_\Gamma + N_\Delta}{\frac{N_A}{AK_A} + \frac{N_B}{AK_B} + \frac{N_\Gamma}{AK_\Gamma} + \frac{N_\Delta}{AK_\Delta}} \quad (10.5)$$

όπου οι δείκτες Α, Β, Γ και Δ υποδηλώνουν ομάδες οχημάτων του ίδιου τύπου και Ν τον αριθμό των οχημάτων ανά ομάδα.

Παραδείγματος χάριν εάν υποθεθεί ότι εάν μία επιχείρηση διαθέτει τέσσερα οχήματα με απόδοση καυσίμου εκάστου 5, 7, 12 και 15 km/λίτρο τότε :

$$\text{ΜΕΑΚ} = \frac{1+1+1+1}{\frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{12} + \frac{1}{15}} = 8,12 \text{ km / L} \quad (10.6)$$

Η παρακολούθηση του δείκτη ΜΕΑΚ σε επίπεδο επιχείρησης αναδεικνύει την συνισταμένη των προσπαθειών για εξοικονόμηση καυσίμων στις επιχειρησιακές μεταφορές.

## 10.4 Οδικές μεταφορές

### 10.4.1 Γενικά

Η ενεργειακή απόδοση των καυσίμων και οι Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου (ΑΘ) μπορούν να βελτιστοποιηθούν με τέσσερις τύπους μέτρων :

1. Μείωση των φορτίων στο όχημα (βάρος, αντίσταση κυλίσεως και αέρα, απαιτούμενα φορτία)
2. Αύξηση του βαθμού απόδοσης κατά την βελτίωση της αλληλουχίας μετατροπής του καυσίμου και την ανάκτηση απωλειών.
3. Μεταστροφή σε καύσιμο με λιγότερο ή χωρίς άνθρακα (φυσικό αέριο, υδρογόνο, κλπ)
4. Μείωση των ΕΑΘ εκτός CO<sub>2</sub>.

### 10.4.2 Μείωση των φορτίων του οχήματος

#### Το βάρος του οχήματος

Τα φορτία στο όχημα περιλαμβάνουν την δύναμη που χρειάζεται για την επιτάχυνση του οχήματος και την υπέρβαση της αδράνειας και το βάρος του οχήματος κατά την άνοδο υπό κλίση οδοστρώματος. Στις συχνές στάσεις και εκκινήσεις σε αστικό περιβάλλον οι αεροδυναμικές δυνάμεις δεν συμβάλλουν στα φορτία αλλά η αντίσταση κύλισης και ειδικότερα οι αδρανειακές δυνάμεις.

Η μείωση των αδρανειακών φορτίων επιτυγχάνεται με μείωση του βάρους του οχήματος, με βελτιωμένη σχεδίαση και ευρύτερη χρήση ελαφρών υλικών. Η μείωση των απωλειών των ελαστικών επιτυγχάνεται με την βελτίωση της σχεδίασης του ελαστικού και των υλικών για την μείωση του συντελεστή αντίστασης στην κύλιση καθώς επίσης με την διατήρηση της κατάλληλης πίεσης ελαστικών. Η μείωση του βάρους επίσης συνεισφέρει διότι οι απώλειες ελαστικών είναι γραμμική συνάρτηση του βάρους του οχήματος.

Μία μείωση του βάρους του οχήματος κατά 10% μπορεί να βελτιώσει την οικονομία καυσίμου κατά 4 έως 8%, ανάλογα με τις αλλαγές του μεγέθους του οχήματος και με το κατά πόσο η μηχανή προσαρμόζεται σε μικρότερα μεγέθη. Συχνά όμως η μείωση του βάρους έρχεται σε αντίθεση με την πολιτική των κατασκευαστών για την διεύρυνση της ασφάλειας και της οδηγικής άνεσης του οχήματος. Η μείωση του βάρους επιτυγχάνεται με μία σταδιακή μεταστροφή των υλικών από τον χάλυβα, ο οποίος σήμερα ανέρχεται στο 75% του συνολικού βάρους του οχήματος. Τέτοια υλικά περιλαμβάνουν την χρήση του αλουμινίου, ειδικών κραμάτων και πλαστικού καθώς ακόμα και χάλυβα υψηλής αντοχής έναντι του συμβατικού χάλυβα.

### Μείωση των αεροδυναμικών φορτίων

Κατά την οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους κυριαρχούν οι αεροδυναμικές δυνάμεις επειδή αυτές αυξάνονται με το τετράγωνο της ταχύτητας, δηλαδή αεροδυναμικές δυνάμεις στα 90km/ώρα είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερες στα 45 km/h.

Η μείωση των αεροδυναμικών δυνάμεων επιτυγχάνεται με αλλαγή στο σχήμα του οχήματος,



με την εξομάλυνση των επιφανειών του οχήματος, μειώνοντας της διατομής του οχήματος, με τον έλεγχο της ροής του αέρα κάτω από το όχημα και άλλα μέτρα. Τυπικά μέτρα για την εξομάλυνση των αεροδυναμικών φορτίων περιλαμβάνουν την χρήση ειδικών αεροδυναμικών τομών και καλυμμάτων για την κάλυψη του φορτίου ακόμα και όταν η καρότσα είναι άδεια.

Ίσως το βασικότερο μέτρο για την μείωση των αεροδυναμικών φορτίων είναι η επιλογή βέλτιστης ταχύτητας κινήσεως του οχήματος και ιδίως των φορτηγών βαρέως τύπου που εμφανίζουν υψηλούς αεροδυναμικούς συντελεστές οπισθέλκουσας  $C_D$ . Πέραν από την αυτονόητη προσαρμογή στους περιορισμούς ταχύτητας του κώδικα οδικής κυκλοφορίας, μία επιχείρηση μπορεί η ίδια να θέσει περιορισμούς στην ταχύτητα κινήσεως του στόλου της μετά από αναλυτική εξέταση και εύρεση της βέλτιστης ταχύτητας κινήσεως από πλευράς οικονομίας καυσίμων η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις κυμαίνεται μεταξύ 80 και 90 km/h.

Η βελτιστοποίηση της ταχύτητας σε συνδυασμό με την βέλτιστο σχεδιασμό των δρομολογίων και την αποφυγή κυκλοφοριακών προβλημάτων για την κατά το δυνατόν διατήρηση της ταχύτητας στα βέλτιστα επίπεδα από πλευράς οικονομίας καυσίμου, αποτελούν σήμερα τους κύριους λόγους εισαγωγής γεωγραφικών συστημάτων ανίχνευσης και παρακολούθησης του στόλου οχημάτων μίας επιχείρησης. Τα συστήματα αυτά συχνά συμβάλλουν σε σημαντικές αυξήσεις της οικονομίας καυσίμων σε συνδυασμό με την βελτίωση της ασφάλειας και της χρονικής αξιοπιστίας των παραδόσεων.

Μέτρα για την μείωση των αναγκών ψύξης των επιβατών, π.χ. με αλλαγή της υάλου των παραθύρων ώστε να ανακλάται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία περιλαμβάνονται στην ομάδα των εξεταζόμενων μέτρων.

### 10.4.3 Μέτρα για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κινητήρων οχημάτων

#### Γενικά

Η βελτίωση της απόδοσης καυσίμου με την οποία η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε έργο για την κίνηση του οχήματος και την παροχή συνθηκών άνεσης στους επιβάτες, επίσης συμβάλει στην μείωση των εκπομπών ΑΘ (αερίων θερμοκηπίου). Αυτή περιλαμβάνει μέτρα για την βελτίωση της απόδοσης της μηχανής και της λοιπής συστοιχίας μετάδοσης της κίνησης καθώς και των βοηθητικών συστημάτων περιλαμβανομένου του κλιματισμού και της θέρμανσης.

Η βελτίωση της απόδοσης της μηχανής επιτυγχάνεται με τρία διαφορετικά είδη μέτρων:

- αυξάνοντας την θερμοδυναμική απόδοση
- μειώνοντας τις απώλειες τριβών
- μειώνοντας τις απώλειες άντλησης οι οποίες περιλαμβάνουν την απαιτούμενη ενέργεια για την αναρρόφηση αέρα και καυσίμου στους κυλίνδρους και εξαγωγή των καυσαερίων

Έκαστο είδος μέτρων μπορεί να αντιμετωπιστεί με πλειάδα αλλαγών στην σχεδίαση, στα υλικά και στην τεχνολογία. Βελτιώσεις στην μετάδοση ισχύος περιλαμβάνουν την μείωση των απωλειών στο κιβώτιο ταχυτήτων και μπορούν να βοηθήσουν την μηχανή να λειτουργεί κατά τον πλέον αποδοτικό τρόπο.

Επίσης μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της αδράνειας και να επιταχύνει το όχημα η οποία κανονικά χάνεται όταν το όχημα επιβραδύνεται λόγω αεροδυναμικών δυνάμεων και αντίσταση κυλίσεως καθώς και λόγω μηχανικής πέδησης (ως θερμότητα), μπορεί να επανακτηθεί ως ηλεκτρική ενέργεια εάν υπάρχει αναγεννητικό σύστημα πέδησης όπως στα υβριδικά οχήματα.

#### Βελτίωση της θερμοδυναμικής απόδοσης

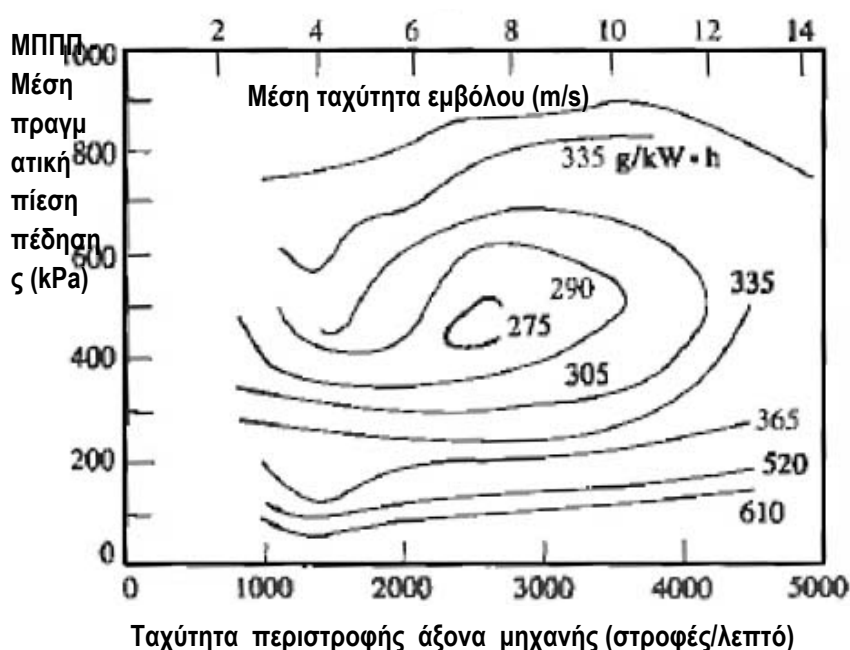
Οι μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) οι οποίες χρησιμοποιούνται ως κινητήρες οχημάτων, είναι είτε τεχνολογίας έναυσης με σπινθηρισμό (ΕΣΠ), δηλαδή βενζινοκινητήρες είτε έναυσης με συμπίεσης (ΕΣΥ) δηλαδή ντιζελοκινητήρες χωρίς μπουζί. Ο βαθμός απόδοσης των ΜΕΚ συνήθως εκφράζεται με την ειδική κατανάλωση καυσίμου πέδησης (ΕΚΚΠ) η οποία μεγιστοποιείται σε μία περιοχή ταχυτήτων εμβόλου και ροπής πέδησης η οποία εκφράζεται συνήθως με την μέση πραγματική πίεση πέδησης (ΜΠΠΠ =  $b_{\text{mep}}$  = brake me an effective pressure). Ένα τυπικό γράφημα για τον βαθμό απόδοσης αυτό δίδεται στο Σχήμα 10.6. Από το σχήμα αυτό παρατηρείται ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης (ΕΚΚΠ = 275 g/kWh) εμφανίζεται γύρω στα 2700 rpm και ΜΠΠΠ = 500 kPa

Ο όρος «ισχύς πέδησης» (brake power) υποδεικνύει την ισχύ  $I_b$  την οποία αναπτύσσει η μηχανή στον στροφαλοφόρο άξονά της εν αντιδιαστολή με την ισχύ  $I_w$  που αποδίδεται στους τροχούς (wheels) η οποία υπολείπεται της ισχύος πέδησης κατά τις απώλειες μετάδοσης της κίνησης μέχρι τον άξονα των τροχών. Η ισχύς πέδησης μετράται εργαστηριακά με την εφαρμογή μίας πέδης στον άξονα της μηχανής για την επιβολή και μέτρηση της ροπής στρέψης  $M_b$  η οποία συνδέεται με την  $P_b$  βάσει του τύπου :  $I_b = P_b \cdot \omega$ , όπου  $\omega$  είναι η γωνιακή ταχύτητα του άξονα της μηχανής η οποία συνδέεται με την συχνότητα περιστροφής  $n$  με τον γνωστό τύπο :  $\omega$  (rpm) =  $2\pi n/60$ . Η ισχύς πέδησης  $I_b$  συνδέεται με την ΜΠΠΠ με

την σχέση :  $I_b = z \cdot M \cdot V_h \cdot v / (K \cdot 30)$ , όπου  $z$  είναι ο αριθμός των κυλίνδρων της μηχανής,  $V_h$  είναι ο όγκος εμβολισμού του εμβόλου εντός του κυλίνδρου και  $K = 2$  για δίχρονες και 4 για τετράχρονες μηχανές.

Στην πράξη δεν είναι δυνατόν ο οδηγός να λειτουργεί στο όχημα σταθερά στις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας. Χρειάζεται συχνά να επιταχύνει το όχημα σε μεγαλύτερες στροφές ή μεγαλύτερες ροπές λόγω αυξημένων αεροδυναμικών φορτίων ή φορτίων βάρους και έτσι κατά μέσο όρο η ΕΚΚΠ είναι χαμηλότερη, συμβάλλοντας έτσι στην αυξημένη κατανάλωση καυσίμου της τάξεως του 30 με 50% έναντι του βελτίστου σημείου λειτουργίας.

Σχήμα 10.6 : Ειδική κατανάλωση καυσίμου πέδησης (ΕΚΚΠ) μηχανής εσωτερικής καύσης με έναυση σπινθήρα (βενζινοκινητήρες)



Η ισχύς πέδησης  $I_b$  μίας μηχανής υπολείπεται της ενδεικνυόμενης ή θεωρητικής Ισχύος  $I_i$ , δηλαδή της Ισχύος  $\eta$  οποία μετράται με το δυναμόμετρο κατά τις απώλειες άντλησης  $I_p$ , τριβών της μηχανής  $I_f$  και των βοηθητικών της μηχανής  $I_a$ :

$$I_b = I_i - I_p - (I_f + I_a) \quad (10.6)$$

Η θερμική απόδοση της μηχανής σε επίπεδο πέδησης  $\eta_b$  ισούται με  $\eta_b = I_b / (mf \cdot K \Theta I_f)$  όπου  $mf$  είναι η παροχή καυσίμου και  $K \Theta I_f$  είναι η κατώτερα θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου.

Μία τυπική παράθεση μέτρων και επεμβάσεων εξοικονόμησης σε κινητήρες ντίζελ δίδεται στον Πίνακα που ακολουθεί:

Μέτρο βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης της μηχανής	Εξοικονόμηση καυσίμου (%)					
	Μεγάλη μηχανή			Μικρή μηχανή <1,5L		
	Μέση	Μέγ.	Ελάχ.	Μέση	Μέγ.	Ελάχ.
Μείωση μεγέθους (Downsizing)	4	3	5	1	0	2
Μείωση ταχύτητας	1,5	1	2	0,5	0	1
Μείωση τριβών	1,5	1	2	1,5	1	2
Βελτιώσεις της καύσης	3	2	4	3	2	4
<b>Ολική βελτίωση απόδοσης μηχανής</b>	<b>10</b>			<b>6</b>		
Βελτίωση βοηθητικών	1	0,5	1,5	1	0,5	1,5
Μείωση απωλειών μετάδοσης κίνησης	2	1,5	2,5	0	0	0
<b>Σύνολο δυναμικού εξοικονόμησης</b>	<b>13</b>			<b>7</b>		

#### 10.4.4 Χρήση εναλλακτικών καυσίμων

Η χρήση διαφορετικών εναλλακτικών υγρών καυσίμων σε μείγμα με την βενζίνη και το πετρέλαιο ντίζελ απαιτεί ελάχιστες αλλαγές έναντι των αερίων καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες απαιτούνε μεγάλες αλλαγές. Τα εναλλακτικά καύσιμα περιλαμβάνουν την αιθανόλη (προς συμπλήρωση της βενζίνης) ή βιοντίζελ και μεθανόλη, συνθετική βενζίνη ή ντίζελ παρασκευασμένο από φυσικό αέριο, άνθρακα ή άλλες πρώτες ύλες.

Τα αέρια καύσιμα περιλαμβάνουν το φυσικό αέριο, το προπάνιο, τον διμεθυλαιθέρα (υποκατάστατο του ντίζελ) και υδρογόνο. Κάθε καύσιμο μπορεί να παρασκευαστεί από μία ποικιλία πηγών με ευρύ φάσμα επιπτώσεων στις εκπομπές ΑΘ.

Κατά την αξιολόγηση των επιπτώσεων των διαφορετικών καυσίμων στην οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές ΑΘ πρέπει επίσης να περιλαμβάνεται και η αξιολόγηση των εκπομπών ΑΘ που σχετίζονται με την παραγωγή και την διανομή του καυσίμου. Π.χ. κατά την κατανάλωση υδρογόνου δεν παράγονται ΑΘ πέραν των υδρατμών από την εξάτμιση του οχήματος. Όμως η παραγωγή ΑΘ κατά την παραγωγή υδρογόνου μπορεί να είναι πολύ υψηλή εάν το υδρογόνο παράγεται από συμβατικά καύσιμα (εκτός βεβαίως το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα διαχωρίζεται και οδηγείται προς αποθήκευση).

#### 10.5 Θεσμικό πλαίσιο για τις οδικές μεταφορές στην Ευρώπη

Ο τομέας των οδικών μεταφορών λόγω της σημασίας του στην κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές ΑΘ, έχει τύχει ιδιαίτερης προσοχής σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία έχει εκδώσει μία σειρά Οδηγιών και Κανονισμών αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση και τις εκπομπές ΑΘ στα οχήματα:

Γενικά οι Κανονισμοί εκπομπών έχουν υιοθετηθεί ως μέρος της διαδικασίας έγκρισης τύπου για τα νέα αυτοκίνητα, φορτηγά, μικρά και μεγάλα λεωφορεία και υλοποιούνται με ένα χρονοδιάγραμμα απαιτήσεων για τα νέα οχήματα. Σήμερα οι τρέχουσες απαιτήσεις είναι : για ελαφρά οχήματα (επιβατικά και μικρά λεωφορεία) : Euro6 ενώ για οχήματα βαρέως τύπου : EuroVI. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθοι Κανονισμοί:

- Οδηγία 2007/46/ΕΕ παρέχει το κοινό νομικό πλαίσιο για την έγκριση τύπου οχημάτων
- Ο Κανονισμός Euro 5 και 6, 715/2007/ΕΕ καθορίζει τα όρια εκπομπών οχημάτων για ελεγχόμενους ρύπους, ιδίως οξειδίων του Αζώτου (NOx) στα 80 mg/km

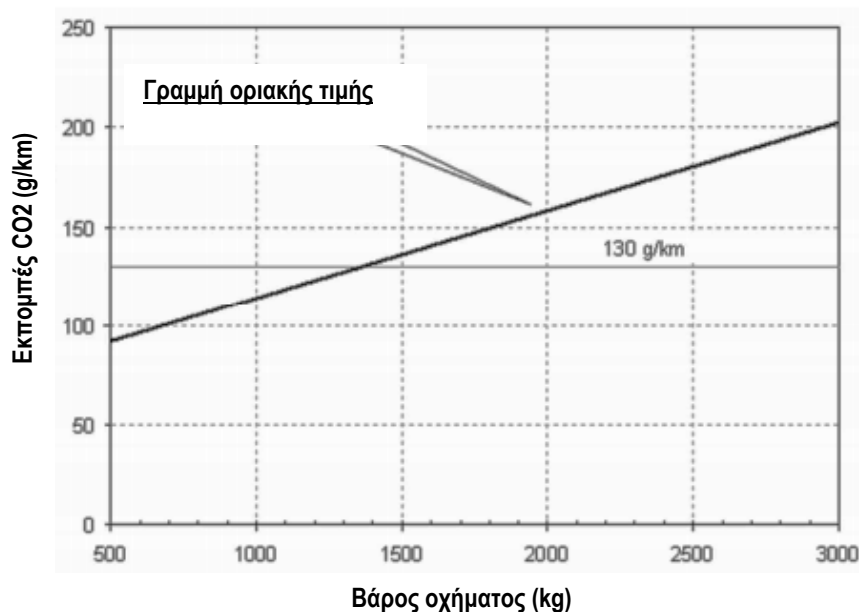
- Ο Κανονισμός 692/2008/ΕΕ υλοποιεί και τροποποιεί τον Κανονισμό 715/2007
- Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 443/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με τα πρότυπα επιδόσεων για τις εκπομπές από τα καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα, στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης προσέγγισης της Κοινότητας για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από ελαφρά οχήματα

Ο τελευταίος αυτός κανονισμός θέτει όρια για τις εκπομπές ΑΘ των οχημάτων και επομένως θέτει εμμέσως όρια για την ειδική κατανάλωση καυσίμων. Ειδικότερα προβλέπει ότι οι ειδικές εκπομπές CO<sub>2</sub> για κάθε καινούργιο επιβατικό αυτοκίνητο, μετρούμενες σε γραμμάρια ανά χιλιόμετρο, υπολογίζονται για την περίοδο από 1012 έως 2015 με τον τύπο

$$\text{Ειδικές εκπομπές CO}_2 = 130 + a \times (M - M_0)$$

όπου: M = μάζα του οχήματος σε χιλιόγραμμα (kg) M<sub>0</sub> = 1 372,0 a = 0,045

Ο τύπος αυτός δίδεται γραφικά στο σχήμα που ακολουθεί.



Τα όρια για την ειδική κατανάλωση καυσίμων προσδιορίζονται εμμέσως ως εξής. Θέτοντας ως ΟΕ το όριο εκπομπής CO<sub>2</sub> του κανονισμού (σε g/km) τότε η ειδική κατανάλωση καυσίμου ΕΕΚ σε λίτρα/100 km υπολογίζεται από το όριο αυτό ως εξής:

$$ΕΕΚ = 100 \times ΟΕ \text{ (g/km)} / E \text{ (kg/L)} = (ΟΕ) / (10 \cdot E) \quad (10.7)$$

όπου E είναι η εκπομπή CO<sub>2</sub> σε kg ανά λίτρο καιόμενου καυσίμου το οποίο εκτιμάται βάσει του πίνακα που ακολουθεί:

Μέγεθος	Σύμβολο	Ντήζελ	Βενζίνη	Σχόλια
Πυκνότητα καυσίμου (kg/λίτρο)	ρ	0,84	0,74	από βιβλιογραφία
Σύσταση σε C (% κατά βάρος)	C	86%	85%	από βιβλιογραφία
Εκπομπή CO <sub>2</sub> σε kg/λίτρο καιόμενου καυσίμου	E	2,65	2,3	= ρ · C (44/12)

Δηλαδή βάσει της εξίσωσης  $10.7 \eta \text{EEK}$  (λίτρα/100 km) ευρίσκεται εάν το όριο εκπομπής CO<sub>2</sub> (σε g/km) διαιρεθεί με το 26,5 για το πετρέλαιο Ντήζελ και με το 23 για την βενζίνη. Κατά μέσο όρο και ανεξαρτήτως τύπου πετρελαίου το όριο ΟΕ διαιρείται με το 25 για την εύρεση της μέσης ειδικής κατανάλωσης ενέργειας (L/100 km).

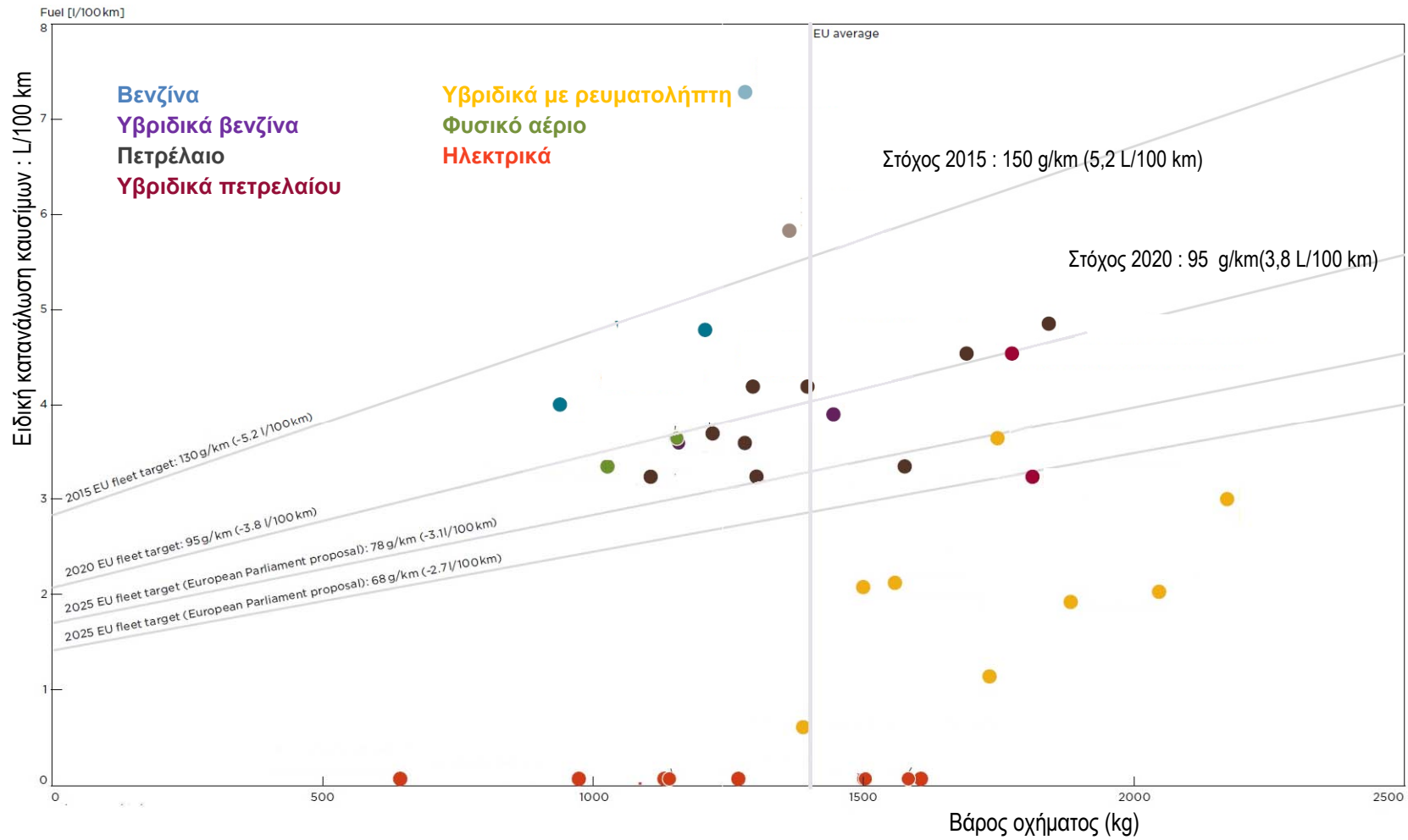
Τα όρια αυτά και οι ειδικές καταναλώσεις διαφόρων τύπων οχημάτων δίδονται στο Σχήμα

Από το 2020 μέχρι το 2021 οι μέσες εκπομπές του στόλου των νέων ελαφρών οχημάτων θα πρέπει να είναι στα 95 gCO<sub>2</sub> ανά km. Αυτό συνεπάγεται ειδική κατανάλωση περί τα 4,1L/100 km για τα βενζινοκίνητα και 3,6 L/100 km για τους πετρελαιοκίνητους και 3,8 L/100 km κατά μέσο όρο ανεξαρτήτως καυσίμου.

Οι στόχοι για το 2015 και 2012 συνιστούν μειώσεις του 18% και 40% αντιστοίχως σε σχέση με τον μέσο στόχο του στόλου για το 2007 των 58,7 g/km.

Ήδη η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επεξεργάζεται προτάσεις για την παρακολούθηση και των έλεγχου των εκπομπών CO<sub>2</sub> από βαρέως τύπου ή επαγγελματικά οχήματα από το 2021, τα οποία μέχρι στιγμής δεν έχουν περιληφθεί στους περιορισμούς (βλέπε «A European Strategy for Low-Emission Mobility» SWD(2016) 244 final, 2016)

Σχήμα 10.7: Ευρωπαϊκοί στόχοι εκπομπών CO<sub>2</sub> (g/km) και ειδικών καταναλώσεων καυσίμων για επιβατικά αυτοκίνητα (L/100km)



## 11 Μετρήσεις

### 11.1 Τα φορητά όργανα μέτρησης

Στην παράγραφο αυτή δίδεται ενδεικτικό παράδειγμα για την αξιολόγηση των δεδομένων που προσφέρουν στον ενεργειακό ελεγκτή τα φορητά όργανα μέτρησης. Διεξοδική ανάλυση της χρήσης συνδυασμένων μετρήσεων με φορητά όργανα γίνεται και στην Προσθήκη III.

#### 11.1.1 Ηλεκτρική Ενέργεια και Ισχύς - Αναλυτής Ηλεκτρικής ενέργειας

Έστω σε μία βιομηχανία παραγωγής εμφιαλωμένου νερού, ότι διαθέτουμε δεδομένα μόνο από δύο αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στους δύο αντίστοιχους κεντρικούς διακόπτες της χαμηλής τάσης (κάθε ένας από τους δύο αυτούς διακόπτες αφορά τον διακόπτη του δευτερεύοντος των δύο μετασχηματιστών μέσης τάσης που τροφοδοτούν την βιομηχανία). Επίσης διαθέτουμε για την εγκατάσταση τα εξής στοιχεία:

- i) τις καθημερινές καταγραφές των παραγωγικών δεδομένων,
- ii) τα τιμολόγια του Παρόχου,
- iii) το αρχείο δεδομένων που υποχρεούται να κρατάει ο Πάροχος για την καταναλισκόμενη ενέργεια ανά 15min ενεργού και άεργου ισχύος για τους 2 μετασχηματιστές μέσης τάσης,
- iv) ένα αναλυτικό κατάλογο κινητήρων (motor list),
- v) και τα αρχεία τοποθέτησης και έναρξης λειτουργίας (commissioning file) για καθένα από τα διαφορετικά συστήματα αυτοματισμού, που ελέγχουν τις γραμμές παραγωγής.

Από τα ανωτέρω δεδομένα μπορούμε να προσδιορίσουμε άμεσα τις απώλειες των μετασχηματιστών μέσης τάσης (είναι η διαφορά μεταξύ των μετρήσεων του παρόχου και των μετρήσεων των εγκατεστημένων αναλυτών ηλεκτρικής ενέργειας), και να εκτιμήσουμε τον κατάλογο κινητήρων και τα αρχεία έναρξης λειτουργίας τα σημαντικότερα μηχανήματα, τις ενεργειακές χρήσεις, ή τις γραμμές παραγωγής. Ανάλογα λοιπόν με τα παραγωγικά δεδομένα που διαθέτουμε, επιλέγουμε και τους αντίστοιχους επιμέρους διακόπτες που θα πρέπει να μετρήσουμε. Αν για παράδειγμα έχουμε παραγωγικά δεδομένα από μία βιομηχανία παραγωγής εμφιαλωμένου νερού για τρεις διαφορετικούς τύπους φιαλιδίων, μπορούμε να μετρήσουμε ανεξάρτητα τις τρεις γραμμές παραγωγής με τρεις αντίστοιχους αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας, να τοποθετήσουμε δύο αναλυτές για τα δίκτυα αεροσυμπιεστών στάθμης 7,5bar και 40bar αντίστοιχα, και ίσως και έναν έκτο αναλυτή για τις εγκαταστάσεις της άντλησης του νερού από τις πηγές.

Κατά την διαδικασία αυτή είναι πολύ σημαντικό να μετράμε ταυτόχρονα και με τους έξι αναλυτές για το ίδιο χρονικό διάστημα. Αυτό θα προσδώσει στην εκτίμησή μας πολύ μεγαλύτερη αξιοπιστία, από ότι αν μετράμε για το κάθε ένα διακόπτη ξεχωριστά. Επειδή όμως οι φορητοί αναλυτές είναι συνήθως πολύ ακριβοί (>2500,00ευρώ), θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε σταθερούς αναλυτές πάνω σε ένα κοινό τοπικό δίκτυο (ενσύρματο ή ασύρματο εφόσον η εγκατάσταση δεν επιτρέπει ενσύρματες διατάξεις) με μετασχηματιστές εντάσεως ανοικτού τύπου, ώστε μην διακόπτεται η παραγωγική διαδικασία κατά την εγκατάσταση ή την αποξήλωσή τους. Η μέτρηση θα μπορεί να ληφθεί είτε εβδομαδιαία, είτε

24ωρη εφόσον κάποια συγκεκριμένη διεργασία επαναλαμβάνεται πανομοιότυπα (κάτι σπάνιο και για τις 6 ανωτέρω διεργασίες ταυτόχρονα).

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν είναι ηλεκτρικώς απομονωμένες και ανεξάρτητες οι τροφοδοσίες των γραμμών, αλλά μαζί με αυτές τροφοδοτούνται και άλλα φορτία που είναι γενικά ή βοηθητικά (πχ φωτισμός). Ανάλογα με την συμβολή των φορτίων αυτών στην λειτουργία της γραμμής παραγωγής, είτε τα μετράμε με στιγμιαίες μετρήσεις, και εφόσον η κατανάλωσή τους είναι σταθερή, και όχι κυμαινόμενη, εξαιρούμε την ενέργεια που οφείλεται σε αυτά, είτε τα εξαιρούμε απολογιστικά από το κατάλογο κινητήρων.

### 11.1.2 Θερμική Ενέργεια

Τα όργανα εδώ συνήθως περιλαμβάνουν παροχόμετρα υπερήχων σε συνδυασμό με ασύρματα ή φορητά καταγραφικά όπως θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας αέρα, κλπ

Στο ίδιο παράδειγμα θα μπορούσαμε ταυτόχρονα κατά την εβδομάδα μέτρησης την ηλεκτρικών παραμέτρων να μετρήσουμε με φορητά παροχόμετρα υπερήχων π.χ. την απλή παροχή του αντλούμενου νερού, ή του καταναλισκόμενου πετρελαίου, ή την παροχή ζεστού σε συνδυασμό με ασύρματα καταγραφικά θερμοκρασίας, τάσης και άλλων αναλογικών σημάτων (ο συνδυασμός της μέτρησης της παροχής και της θερμοκρασίας  $\Delta\theta$ : προσαγωγής-επιστροφής, μπορεί να υποκαταστήσει την θερμοδομέτρηση σε σημεία, που δεν υπάρχει μόνιμη εγκατάσταση θερμοδομετρητή πχ σε λέβητα ή ατμολέβητα), ενώ με ένα ασύρματο καταγραφικό της τάσης θα μπορούσαμε να χρονομετρήσουμε τα διαστήματα λειτουργίας του καυστήρα (on/off status). Η θερμοκρασία, και η ταχύτητα αέρα είναι ένας παράγοντας αστοχιών, αλλά και υπερκατανάλωσης ενέργειας σε μηχανές παραγωγής πλαστικών φιαλών (χρήση θερμοανεμόμετρου, ή εναλλακτικά λήψη και σύγκριση παραγωγικών δεδομένων από το PLC, που ελέγχει την μηχανή παραγωγής φιαλιδίων).

## 11.2 Τυπικές μετρήσεις και όργανα ηλεκτρικών παραμέτρων

### 11.2.1 Ηλεκτρικές παράμετροι και αποδοτικά συστήματα καταγραφής

Οι σταθεροί μετρητές ηλεκτρικών παραμέτρων (μόνιμης εγκατάστασης) που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα καταγραφής (EMS ή BEMS) είναι συνήθως τριών βασικών κατηγοριών:

1. Απλοί μετρητές ενέργειας (kWh ή/και kvarh), κυρίως με σύνδεση μέσω εξόδου παλμού ή/και μέσω επικοινωνίας data (ιδιόκτητα ή ανοικτά πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως το Modbus, Lonworks, Ethernet, κλπ)
2. Απλοί μετρητές ενέργειας και ισχύος (μόνο για καταγραφή των μεταβλητών kW, kWh, kvar, kvarh, PF, V, A, CF,Hz, με επιπλέον DI ή DO) με σύνδεση μέσω επικοινωνίας data,
3. Αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας για καταγραφή μεταβλητών (όπως πχ  $V_{LL}$ ,  $V_{LN}$ ,  $V_{statistics}$ , A, kW, kVA, kvar, Hz, PF,  $\cos\phi$ , %THD<sub>A</sub>, %THD<sub>VLN</sub>, %HD<sub>AdckW<sub>dmd</sub></sub>, kW<sub>dmdmax</sub>, %V<sub>Unbalance</sub>, %A<sub>Unbalance</sub>, % $\Phi_{(I\&V)unbalance}$ , CF, Kf, INV(DCtoAC) Performance, Dips&Swells, Flickering, Transients, Inrushcurrent, ακόμα και κυματομορφές τάσης και έντασης, με επιπλέον DI, AI, DO ή AO, κλπ) μόνο με σύνδεση μέσω επικοινωνίας data.

Οι ηλεκτρικές παράμετροι δύναται να αναλυθούν εμπειριστατωμένα, μόνο στην περίπτωση που έχουν ληφθεί από αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας ή/και παλμογράφους. Στην πραγματικότητα όμως στο πεδίο τις περισσότερες φορές τα δεδομένα που έχουμε διαθέσιμα, είναι στην καλλίτερη περίπτωση από απλούς μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος, με την ακόλουθη σειρά πιθανής εμφάνισης:

1) Δεδομένα για την συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας & ισχύος (ενεργής και άεργης)

Σε ότι αφορά την ενέργεια και την ισχύ, που είναι οι άμεσα εμπλεκόμενες μεταβλητές, ή αλλιώς οι μεταβλητές που συνδέονται άμεσα με το ενεργειακό κόστος, δεν αρκεί να παρακολουθούμε το προφίλ τους ή την διακύμανσή τους. Χρειάζεται οπωσδήποτε προκειμένου για την παρακολούθηση των ενεργειακών δεικτών να έχουμε μία κατανάλωση αναφοράς, η οποία θα δηλώνει το χαρακτήρα της συγκεκριμένης παραγωγικής διαδικασίας, ή, προκειμένου για κτήριο, την συμπεριφορά του έναντι των μεταβολών ή/και του αριθμού των ατόμων που εξυπηρετεί. Για να γίνεται σε εμάς κατανοητή, αυτή ακριβώς η κατανάλωση αναφοράς, θα πρέπει να συσχετίζουμε μέσα από εξισώσεις την ενέργεια και την ισχύ με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που συμβάλουν στην διακύμανση του προφίλ της ενέργειας και της ισχύος για το σύνολο της κατανάλωσης (προσέγγιση whole building). Ωστόσο η αβεβαιότητα στην ανάλυση των μετρήσεων και στον επιμερισμό των απωλειών στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι αρκετά μεγάλη, ειδικά όταν αυτές οι μετρήσεις προέρχονται από τον πάροχο και παρεμβάλλεται μετασχηματιστής μέσης τάσης.

2)

Δεδομέν

α για το σύνολο των φορτίων μίας γραμμής παραγωγής ή μίας μεμονωμένης ενεργειακής χρήσης

Σε δεύτερο επίπεδο και εφόσον διαθέτουμε στοιχεία για την κατανάλωση των επιμέρους γραμμών βιομηχανικής παραγωγής πχ

- σε μία βιομηχανία που παράγει μπουκάλια νερού μετρώντας ξεχωριστά τις γραμμές παραγωγής με το μπουκάλι των 0,5λιτ, των 0,75λιτ και του ενός λίτρου, ή/και τις ενεργειακές πτυχές υποστηρικτικών δικτύων, όπως πεπιεσμένος αέρας στα 40bar και στα 7,5bar αντίστοιχα, ή το σύστημα άντλησης και μεταφοράς νερού κλπ.
- σε ένα μηχανοστάσιο ξενοδοχείου, όπου μετράμε πχ δύο ηλεκτρικούς ανεξάρτητους διακόπτες που τροφοδοτούν:
  - ένα σύστημα δύο Chiller (master/slave), με τις βοηθητικές αντλίες και τις αντλίες διανομής προς τις FCU και τις KKM, και συγκεκριμένα για την ενεργειακή χρήση που λέγεται «κλιματισμός»
  - δύο κεντρικές κλιματιστικές μονάδες (KKM) με τους ανεμιστήρες τους, τις τρίοδες βάνες, τους βοηθητικούς κυκλοφορητές, τα dampers κλπ, και συγκεκριμένα για την ενεργειακή χρήση που λέγεται «προκλιματιζόμενος αερισμός»

είναι επιθυμητό να εισαγάγουμε επιμέρους δείκτες με τις αντίστοιχες ανεξάρτητες μεταβλητές όπως (αντίστοιχα για τα 2 ανωτέρω παραδείγματα):

- για την βιομηχανία : τον αριθμό των παραγόμενων μπουκαλιών ανά κάθε είδος ξεχωριστά ή/και την ποσότητα του αντλούμενου νερού που χρησιμοποιήσαμε (ξεχωριστά από αυτήν που τελικά συσκευάσαμε στα μπουκάλια)
- για το μηχανοστάσιο του ξενοδοχείου : την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος ή τις βαθμομημέρες ψύξης/θέρμανσης και τις διανυκτερεύσεις

Η αβεβαιότητα στην ανάλυση των μετρήσεων και στον επιμερισμό των απωλειών στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι σαφώς μικρότερη από την προσέγγιση “Whole Building”, δεδομένου ότι δεν γνωρίζουμε σε βάθος τον επιμερισμό της κατανάλωσης (πχ σε επίπεδο κινητήρα), ούτε και άλλες μεταβλητές, όπως αυτές που προσφέρουν οι αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας .

- 3) Δεδομένα ενός μεμονωμένου φορτίου (πχ μίας αντλίας κενού, ή μία αντλία θερμότητας, ή ενός κλάδου φωτισμού ενός ορόφου με τον ίδιο τύπο φωτιστικού)

Εφόσον διαθέτουμε, τόσο στοιχεία από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος, όσο και από άλλα αναλογικά σήματα όπως φαίνονται ακολούθως, μπορούμε να δημιουργήσουμε επιμέρους δείκτες ανά μηχανήμα όπως :

- σε έναν αεροσυμπιεστή την συσχέτιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος με την παροχή αέρα, την διακύμανση της πίεσης του δικτύου στην έξοδο, ακόμα και τις στροφές του κινητήρα εφόσον είναι διαθέσιμες και τον αριθμό των παραγόμενων προϊόντων, ή πχ
- σε μία αντλία θερμότητας για παραγωγή ZNX, την συσχέτιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος με την ποσότητα νερού που καταναλώνεται, την θερμοδομέτρηση του παραγόμενου ZNX, την θερμοκρασία εισόδου του νερού, την θερμοκρασία περιβάλλοντος, ακόμα και τον δείκτη COP εφόσον είναι διαθέσιμος, και τον αριθμό ατόμων που εξυπηρετεί, ή πχ
- στο φωτισμό ενός ορόφου με ίδιο είδος φωτιστικού την συσχέτιση της ηλεκτρικής κατανάλωσης ενέργειας με τις καταγεγραμμένες ώρες λειτουργίας από το BMS και τους λαμπτήρες που χρήζουν αντικατάστασης ανά περίοδο που έχουμε επιλέξει να μετράμε – εβδομάδα, ή μήνα), ή πχ
- σε μία αντλία κενού την συσχέτιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος με την παροχή, την πίεση, την θερμοκρασία της υγρασίας του περιβάλλοντος, τον λόγο της αρχικής πίεσης προς την επιθυμητή υποπίεση, ακόμα και τις στροφές του κινητήρα εφόσον είναι διαθέσιμες, και τον αριθμό παραγόμενων προϊόντων (όπως πχ πλαστικά σκευάσματα για επεξεργασμένα τρόφιμα) , ή πχ
- σε ένα υδρόψυκτο chiller ξενοδοχείου την συσχέτιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος με την παροχή νερού προς τα δωμάτια, την θερμοκρασία προσαγωγής και επιστροφής νερού, την πίεση στην κατάθλιψη και την αναρρόφηση του συμπιεστή, την θερμοκρασία στα 8 σημεία του ψυκτικού κύκλου, ακόμα και τον δείκτη EER εφόσον είναι διαθέσιμος, το μέσο set-point θερμοκρασίας δωματίων, την

εξωτερική θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος, και τον αριθμό ατόμων που εξυπηρετεί.

Η αβεβαιότητα στην ανάλυση των μετρήσεων και τον επιμερισμό των απωλειών στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι αρκετά μικρή, δεδομένου ότι γνωρίζουμε σε βάθος τον επιμερισμό της κατανάλωσης, αλλά δεν έχουμε εικόνα για τις μεταβλητές, όπως αυτές που προσφέρουν οι αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας .

Όλες οι ανωτέρω συσχετίσεις με τις αντίστοιχες μεταβλητές δεν είναι δεσμευτικές, ωστόσο σε επίπεδο παρακολούθησης της ενεργειακής απόδοσης, και εφόσον τα στοιχεία είναι διαθέσιμα μέσα από ένα σύστημα EMS, BMS ή BEMS, πρέπει να προκύψουν δείκτες, που είναι δυνατό να παρακολουθούνται συστηματικά, είτε από όλες τις ανωτέρω ανεξάρτητες μεταβλητές, είτε από μέρος αυτών, ώστε η οποιαδήποτε διακύμανση της κατανάλωσης ενέργειας και ισχύος, ή της ενεργειακής αποδοτικότητας, να είναι δυνατόν να ερμηνεύεται σε μία σταθερή βάση, ώστε να εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την χρήση και την λειτουργία των εξοπλισμών, ή για την όποια τυχόν πρόταση για βελτίωσή τους.

#### 11.2.2 Εκτιμήσεις απωλειών

Ειδικότερα όταν διαθέτουμε και μεταβλητές από αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως την ασυμμετρία φάσεων, την αρμονική παραμόρφωση της τάσης και της έντασης ή την συνολική αρμονική παραμόρφωση της ισχύος, τότε είναι δυνατό να προσδιορίσουμε και τις απώλειες που παράγονται:

- Στο σύνολο των εξοπλισμών, εφόσον ο εγκατεστημένος αναλυτής προσμετρά τον κεντρικό διακόπτη ολόκληρης της ηλεκτρικής εγκατάστασης,
  - A. Επιβάλλεται σε μεγάλες επιχειρήσεις να εγκαθιστούν πάντα αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας στους κεντρικούς διακόπτες, ώστε να λαμβάνουμε συνεχώς συμπεράσματα για τις συνολικές απώλειες της εγκατάστασης. B. Το όφελος σε σχέση με το κόστος στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι πολύ μεγάλο.
  - B. Το όφελος σε σχέση με το κόστος στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι πολύ μεγάλο.
  - Γ. Δεν είναι εύκολος ο επιμερισμός της προέλευσης των απωλειών από μία επιμέρους γραμμή παραγωγής ή μεμονωμένη ενεργειακή χρήση.
  - Δ. Χρειάζονται φορητοί αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας που θα μετρήσουν κατά το ίδιο χρονικό διάστημα με τον αναλυτή του κεντρικού διακόπτη, ώστε να γίνει εντοπισμός της προέλευσης του προβλήματος ή των απωλειών.
  - E. Η αβεβαιότητα της ανάλυσης των δεδομένων παραμένει μεγάλη
- Σε ένα τμήμα μιας βιομηχανικής παραγωγής ή μίας μεμονωμένης ενεργειακής χρήσης, εφόσον ο αναλυτής προσμετρά τον αντίστοιχο επιμέρους διακόπτη της ηλεκτρικής εγκατάστασης (που αφορά ως ανωτέρω πχ την γραμμή παραγωγής του μπουκαλιού των 0,75λιτ για την βιομηχανία ή την ενεργειακή χρήση που λέγεται «προκλιματισμένος αερισμός» )
  - A. Προτιμούμε να έχουμε αναλυτές στους κεντρικούς διακόπτες των επιμέρους γραμμών παραγωγής ή σε μεμονωμένες ενεργειακές χρήσεις, ώστε να λαμβάνουμε συνεχώς συμπεράσματα για τις απώλειες της εγκατάστασης ανά τομέα ή ενεργειακή χρήση.

- B. Το όφελος σε σχέση με το κόστος στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ιδανικό, διότι έχουμε και άμεσα αναλυτικά στοιχεία για τα κομμάτια της παραγωγής ή τις μεμονωμένες ενεργειακές χρήσεις.
  - Γ. Είναι άμεσος ο επιμερισμός της προέλευσης των απωλειών από μία επιμέρους γραμμή παραγωγής ή μεμονωμένη ενεργειακή χρήση.
  - Δ. Χρειάζονται φορητοί αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας που θα μετρήσουν κατά το ίδιο χρονικό διάστημα με τον αναλυτή του κεντρικού διακόπτη της επιμέρους παραγωγής, μόνο στην περίπτωση που επιθυμούμε να γίνει εντοπισμός της προέλευσης του προβλήματος ή των απωλειών εντός της συγκεκριμένης γραμμής παραγωγής ή της ενεργειακής χρήσης.
  - E. Η αβεβαιότητα της ανάλυσης των δεδομένων είναι σχετικά μικρή
- Σε ένα μεμονωμένο φορτίο εφόσον ο αναλυτής προσμετρά τον αντίστοιχο επιμέρους διακόπτη ηλεκτρικής τροφοδοσίας του συγκεκριμένου φορτίου.
    - A. Δεν είναι σύνηθες, αλλά είναι επιθυμητό να διαθέτουμε αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας ανά φορτίο.
    - B. Το όφελος σε σχέση με το κόστος στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι πολύ μικρό.
    - Γ. Είναι άμεσος ο επιμερισμός της προέλευσης των απωλειών ανά κινητήρα.
    - Δ. Δεν χρειάζονται φορητοί αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας για περαιτέρω ανάλυση
    - E. Η αβεβαιότητα της ανάλυσης των δεδομένων είναι πλέον εξαιρετικά μικρή

Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις εγκατάστασης αναλυτών θα μπορούσαμε να έχουμε εναλλακτικά εγκατεστημένο ένα υβριδικό δίκτυο, με απλούς μετρητές ενεργού και αέργου ενέργειας και ισχύος σε επιμέρους κρίσιμα φορτία, και με αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας στον κεντρικό διακόπτη της εγκατάστασης και στις επιμέρους γραμμές παραγωγής ή στις ενεργειακές χρήσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις η συγκεκριμένη ανάπτυξη είναι ιδανική ως προς τον λόγο οφέλους προς κόστος.

### 11.2.3 Παράγοντες αλληλεπίδρασης (μηχανικής & ηλεκτρικής) στην λειτουργία και την ενεργειακή απόδοση των μηχανημάτων

Είναι γνωστό ότι μηχανικά προβλήματα μεταβιβάζουν παραμορφώσεις στους ηλεκτρικούς δείκτες, και αντιστρόφως, ηλεκτρικά προβλήματα μεταβιβάζουν στην μηχανική λειτουργία στρεβλώσεις ή παραμορφώσεις ή μειωμένη απόδοση μηχανικού έργου. Για παράδειγμα έχουν διαπιστωθεί τα ακόλουθα 10 πιο σημαντικά προβλήματα:

- 1) Κραδασμοί σε άξονα ενός κινητήρα (που προέρχονται από χαλασμένη φτερωτή, από επιπλέον φορτίο που αντιστέκεται στη κίνηση του ρότορα, από αλλοιωμένο ρουλεμάν, είτε από αζυγοσταθμία), προκαλούν στην ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος αρμονική μόλυνση (ο συντελεστής THDi αυξάνεται πολύ περισσότερο από το 50%).
- 2) Αστοχία επαφής στην σύνδεση ενός κινητήρα που προέρχεται από κακή σύσφιξη στον ηλεκτρονόμο-relay ή ένα ηλεκτρικό τόξο στην σύνδεση μεταξύ καλωδίου και κινητήρα ή μία αλλοίωση της αγωγιμότητας των τυλιγμάτων ενός κινητήρα, μπορεί να επιφέρουν ασυμμετρία φάσεων, ηλεκτρικό τόξο, απώλεια της αντίστασης μόνωσης του

καλωδίου και υπερθέρμανση στην ασφάλεια που προστατεύει το καλώδιο της φάσης, στην οποία έχει διαπιστωθεί η κακή επαφή.

- 3) Ασύμμετρία φάσεων ή ξαφνική παρατεταμένη υπέρταση μπορεί να επιφέρει ασύμμετρη μετάδοση της κίνησης στον ρότορα, ή ακόμα και ροπή ανατροπής, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση ή την διακοπή της μετάδοσης της κίνησης, έως και την απώλεια του κινητήρα.
- 4) Dips&Swells, Αρμονικές της τάσης ( $THD_v > 5\%$ ), Notches (εγκοπές της κυματομορφής της τάσης) ή μεταβατικά φαινόμενα (transients) μπορούν να επιφέρουν απώλεια ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, αντιστροφείς (inverter) σε κινητήρες, τροφοδοτικών, ή ακόμα και μηχανική δυσλειτουργία των motors, εφόσον η εγκατάσταση δεν διαθέτει ορθό σύστημα γείωσης, σταθεροποιητές τάσης, online UPS σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά φορτία, φίλτρα αρμονικών, ή απαγωγούς κρουστικών υπερτάσεων.
- 5) Αλλοίωση φίλτρων ή ηλεκτρονικών διατάξεων εντός ενός driver μιας αντλίας ή ενός μεγάλου UPS μπορεί να επιφέρει αρμονική μόλυνση με αποτέλεσμα την δυσλειτουργία ή την απώλεια άλλων ηλεκτρονικών διατάξεων. Ακόμη στην ένταση η έκχυση αρμονικής DC, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τον εντοπισμό του φαινομένου από ένα απλό relay διαφυγής ως διαρροή, και να επέρχεται ανεπιθύμητη διακοπή του αντίστοιχου κυκλώματος (στην περίπτωση αυτή χρειάζεται ρελέ διαφυγής αντίστοιχου τύπου).
- 6) Χαλάρωση ή αλλοίωση μάντων σε έναν πύργο ψύξης μπορεί να προκαλέσει μέχρι και υπερφόρτιση σε ένα υδρόψυκτο ψύκτη (λειτουργία στα max kW) με αποτέλεσμα μέχρι και την διακοπή του λόγω υπερθέρμανσης του compressor.
- 7) Απώλεια φρέον σε chiller μπορεί να προκαλέσει υπερφόρτιση του compressor (λειτουργία σε ισχύ  $> \max kW$ ) με αποτέλεσμα την διακοπή του λόγω υπερθέρμανσής του, ή ακόμα και την απώλεια του compressor.
- 8) Ελλιπής λίπανση ή υπερλίπανση ενός ρουλεμάν μπορεί να επιφέρει υπερθέρμανση και υπερφόρτιση (λειτουργία στα max kW) ενός κινητήρα μέχρι και την απώλειά του.
- 9) Αλλοίωση της φτερωτής μία αντλίας ή ενός ανεμιστήρα μπορούν να επιφέρουν κραδασμούς και υπερθέρμανση του κινητήρα, καθώς και χαμηλή ενεργειακή απόδοση με λειτουργία σε χαμηλό συντελεστή ισχύος (PF, DPF,  $\cos\phi$ ) σε σχέση με τα ονομαστικά μεγέθη. Επίσης ο χαμηλός συντελεστής ισχύος σε κινητήρες που τροφοδοτούνται από κοινή παροχή, επιφέρει πολλαπλάσιες θερμικές απώλειες στην συγκεκριμένη γραμμή τροφοδοσίας (φαινόμενο του πολλαπλασιασμού). Συνακολούθως το πρόβλημα της φτερωτής συμβάλει στις ηλεκτρικές απώλειες.
- 10) Οι αρμονικές έντασης εκτός από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και τα ηλεκτρονικά ισχύος, μπορούν να προέλθουν και από προβλήματα μηχανικής φύσεως. Έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει άμεση σχέση των κραδασμών σε έναν κινητήρα με την συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος τροφοδοσίας του. Συνεπώς τέτοιου είδους αρμονικά ρεύματα καλό είναι να ελαχιστοποιούνται πρώτα με την ορθή ρύθμιση της πηγής των κραδασμών που τα προκάλεσε, και όχι αποκλειστικά με την χρήση παθητικών ή ενεργητικών φίλτρων. Επειδή υπάρχει και άμεση σχέση των αρμονικών ρεύματος με τον συντελεστή ισχύος, με τον τρόπο αυτό βελτιώνουμε και τον συντελεστή ισχύος του κινητήρα. Αντιστοίχως επειδή οι αρμονικές της έντασης

συμβάλλουν πολλαπλάσια στην υπερθέρμανση του καλωδίου, η μείωση των κραδασμών θα επιφέρει μείωση και στις θερμικές απώλειες του καλωδίου.

#### 11.2.4 Συστήματα καταγραφής και τοποθέτηση μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας

Πρέπει να επισημάνουμε ότι σε κάθε περίπτωση η μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος από απλούς μετρητές και αναλυτές δεν μπορεί αν δώσει από μόνη της συμπεράσματα για την ενεργειακή απόδοση, όταν δεν συνοδεύεται από καταγραφές αναλογικών σημάτων (θερμοκρασίας, πίεσης, υγρασίας, φωτεινότητας, κλπ) , σημάτων κατάστασης (start&stop ή alarms), ωρομετρήσεις, θερμοδομετρήσεις, μετρήσεις παροχής, στροφών, και άλλα μηχανικά ή λειτουργικά δεδομένα, που έχουν οριστεί ή προγραμματιστεί να καταγράφονται σε συστήματα BMS ή BEMS. Συνεπώς οι επιμέρους δείκτες παρακολούθησης των μηχανημάτων, ή των γραμμών παραγωγής, ή των μεμονωμένων ενεργειακών χρήσεων, θα πρέπει να προκύπτουν, από την αντίστοιχη γραμμική απλή ή πολλαπλή παλινδρόμηση μεταξύ της ενέργειας και της ισχύος και των μηχανικών ή λειτουργικών σημάτων.

Επίσης πολύ σημαντική στην διαχείριση των δεδομένων είναι η ενιαία διαχείριση από πληροφοριακές πλατφόρμες τοπικά (σε ιδιόκτητους Server) ή απομακρυσμένα (σε ιδιόκτητους ή κοινόχρηστους servers – μέσω clouding ), ή ακόμα και σε εξειδικευμένες πλατφόρμες ενοποίησης συστημάτων, ή συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης και αυτόματης λήψης αποφάσεων. Στις περισσότερες των περιπτώσεων βέβαια σε ότι αφορά τους μεγάλους καταναλωτές, η συνήθης πρακτική είναι πολλά και διαφορετικά μεταξύ τους συστήματα BMS, EMS & BEMS.



Οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος, καθώς και οι αναλυτές τοποθετούνται κατά κανόνα με την χρήση εξωτερικών μετασχηματιστών εντάσεως ή αλλιώς αμπεροτσιμπίδες (που περικλείουν τα καλώδια των τριών φάσεων και σπανιότερα τον ουδέτερο), σε ότι αφορά την ένταση, και με απλή επαφή των καλωδίων, για τους σταθερούς μετρητές ή αναλυτές (στις βίδες

των διακοπών ή μέσω ειδικών ασφαλειών στις τρεις φάσεις και τον ουδέτερο) ή με κροκοδειλάκια αντίστοιχα για τους φορητούς αναλυτές, σε ότι αφορά την τάση. Κατά την διαδικασία της εγκατάστασης μετρητών μία συνηθισμένη δυσκολία που αντιμετωπίζουμε, είναι τις περισσότερες φορές η ανάμειξη των φορτίων διαφορετικών χρήσεων που τροφοδοτούνται από έναν ή περισσότερους διακόπτες. Σε τέτοιες περιπτώσεις εφόσον το κόστος είναι χαμηλό σε σχέση με το όφελος, θα πρέπει να προηγείται μία αναδιάταξη των πινάκων (μέχρι και τοποθέτηση νέων παροχών), ώστε να είναι ομοειδείς και ανεξάρτητες οι ενεργειακές χρήσεις, και άρα η ασφαλής τοποθέτηση του αναλυτών ή μετρητών, ευνοώντας την δημιουργία ενός ορθού διαγράμματος ενεργειακής ροής ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή η χρήση των φορητών οργάνων είναι ακριβή, και επιπλέον γίνεται μόνο αποσπασματικά και για μία πολύ συγκεκριμένη χρονική περίοδο, προτείνεται οι επιχειρήσεις να εγκαθιστούν σταθερούς μετρητές προκειμένου να έχουν στη διάθεσή τους αδιάλειπτες καταγραφές δεδομένων στον κεντρικό διακόπτη και στις σημαντικότερες χρήσεις ή φορτία. Αυτό θα βοηθούσε πολύ και το έργο των ενεργειακών ελεγκτών, και θα μείωνε το κόστος του ελέγχου.

### 11.2.5 Λοιπά ηλεκτρικά στοιχεία μετρήσεων ενεργειακού ενδιαφέροντος

Λιγότερο σημαντικά κεφάλαια από πλευράς ενεργειακού ενδιαφέροντος, αλλά πολύ σπουδαία στο χώρο της ηλεκτρικής ασφάλειας (τα οποία οφείλουμε να αναφέρουμε, επειδή πολλές φορές αποτελούν αιτία για ενεργειακές απώλειες) είναι κατά σειρά σπουδαιότητας οι ηλεκτρικές μετρήσεις:

Των Μετασχηματιστών Μέσης Τάσης (θερμογραφία, διαγνωστική υπερήχων, αεριοχρωματογραφία, ανάλυση ποιότητας λαδιού, περιεκτικότητα σε υγρασία, αντίσταση μόνωσης, ωμικής αντίστασης τυλιγμάτων σε Συνεχές Ρεύμα, λόγου μετασχηματιστή, ρεύματος διέγερσης του πυρήνα, εφδ της μόνωσης, χωρητικότητας των τυλιγμάτων, αντίστασης σκέδασης, ανάλυση απόκρισης συχνότητας 100kHz-100MHz)

Των σταθερών εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων με βάση τον HD384 (με ειδικά όργανα μέτρησης Αντίστασης μόνωσης, Ρεύματος βραχυκυκλώσεως, Εμπέδησης βρόγχου, Αντίστασης γείωσης, Πολικότητας φάσεων, Συνέχειας καλωδίων, αλληλουχίας φάσεων, Στάθμη της ενεργού τιμής της τάσης, Συχνότητα, Χρόνου και Πλάτους απόκρισης ρεύματος διαρροής κλπ)

Των φορητών συσκευών (πχ κατά το γερμανικό BGVA3 με ειδικά όργανα PAT-TESTER)

Των σταθερών μηχανημάτων μία παραγωγής (πχ κατά EN60401 αντίστοιχα όργανα PAT-TESTER με τριφασικές παροχές)

Των διαρροών μεταξύ φάσεων και ουδετέρου (ή 3Φ&N ή 3Φ – με ειδικές αμπεροτσιμπίδες ή καταγραφικά ευαισθησίας ~1mA)

Άλλα συνήθη φορητά όργανα μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών είναι: Βολτόμετρα AC&DC, Αμπερόμετρα AC&DC, Πολύμετρα peaktopeakAC&DC (V, mF, mH), Μονοφασικοί αναλυτές (με δυνατότητα μέτρησης της % έκχυσης ρεύματος DC από τυχόν inverter ή άλλα ηλεκτρονικά), Μονοφασικοί ή Τριφασικοί Παλμογράφοι (κυματομορφές AC& στάθμη DC), Αναλυτές μπαταριών, κλπ

### 11.3 Μέτρηση θερμοκρασίας

Η μέτρηση θερμοκρασίας είναι μία από τις πιο δημοφιλείς, αλλά και κρίσιμες μετρήσεις. Το ζήτημα για τον ενεργειακό ελεγκτή είναι να οργανώσει και να καταστρώσει:

- 1) Τις πιο σημαντικές θερμοκρασίες που επηρεάζουν την κατανάλωση (εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος, θερμοκρασίες εσωτερικών χώρων σε ένα κτήριο, κρίσιμες θερμοκρασίες μίας παραγωγικής διαδικασίας που επηρεάζουν την κατανάλωση κλπ) – κυρίως με χρήση καταγραφικών θερμοκρασίας .
- 2) Τις πιο κρίσιμες θερμοκρασίες που καταμαρτυρούν απώλειες στην παραγωγική διαδικασία ή στα δίκτυα των Η/Μ εξοπλισμών ενός κτηρίου (πχ εισαγωγή και προσαγωγή αέρα σε ΚΚΜ, σωλήνες προσαγωγής & επιστροφής δικτύου ψυχομένου νερού ή φρέον ενός chiller, σωλήνες προσαγωγής & επιστροφής δικτύου θερμαινόμενου νερού ενός λέβητα, μίας αντλίας θερμότητας, ενός συστήματος ανάκτησης θερμότητας για παραγωγή ZNX, ή ενός συστήματος θερμικών ηλιακών συστημάτων) – κυρίως με χρήση καταγραφικών θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την χρήση θερμοκάμερας.
- 3) Τις θερμογέφυρες σε ένα κέλυφος που προκαλούνται στις ενώσεις δομικών στοιχείων διαφορετικής μεταξύ τους θερμικής αντίστασης (σε ανοίγματα, σε παράθυρα ή πόρτες,

στις παράπλευρες επιφάνειες του κελύφους ή του δώματος) – κυρίως με χρήση θερμοκάμερας σε συνδυασμό με ασύρματα καταγραφικά.

- 4) Τις απώλειες ψύξης σε δίκτυα H/M (μονώσεις σε σωλήνες δικτύων ψύξης), σε ψυκτικούς θαλάμους (πόρτες και κέλυφος), στα επιμέρους στοιχεία όλου του κύκλου ψύξης (συμπιεστής, συμπυκνωτής, εκτονωτική, εξατμιστής) και σε τυχόν ενδιάμεσους εναλλάκτες – κυρίως με χρήση καταγραφικών θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την χρήση θερμοκάμερας.
- 5) Τις απώλειες θερμότητας σε H/M δίκτυα θέρμανσης, ZNX και ατμού (μονώσεις σε σωλήνες δικτύων θερμότητας), σε ατμολέβητες και ατμογεννήτριες, σε ατμοπαγίδες και σε ενδιάμεσους εναλλάκτες θερμότητας των εν λόγω δικτύων – κυρίως με χρήση θερμοκάμερας, και ταυτόχρονα με την χρήση καταγραφικών θερμοκρασίας
- 6) Τις απώλειες σε ηλεκτρικούς πίνακες (υπερθέρμανσης καλωδίων ή ασφαλιστικών και λειτουργικών διατάξεων, απώλειες επαφών, αντίστασης μόνωσης και ηλεκτρικών τόξων) – κυρίως με χρήση θερμοκάμερας.
- 7) Τις θερμοκρασίες που επιβάλλονται ειδικά (πχ από τον ΕΦΕΤ ή από ένα σύστημα HACCP) σε ψυκτικούς θαλάμους (σε άμεση συσχέτιση με την λειτουργία Defrost), ή θαλάμους συντήρησης τροφίμων, ή ακόμα και σε ενδιάμεσα σημεία του παραγωγικού κύκλου – κυρίως με χρήση καταγραφικών θερμοκρασίας και σε συμπληρωματικά με την χρήση θερμοκάμερας
- 8) Σε ειδικές περιπτώσεις τις θερμοκρασίες λειτουργίας κινητήρων, αξόνων, ρουλεμάν, καμινάδων, που δηλώνουν δυσλειτουργία ή απώλεια ενέργειας – κυρίως με χρήση θερμοκάμερας και την χρήση καταγραφικών θερμοκρασίας
- 9) Σε ειδικές βιομηχανικές κατεργασίες όπως πυθμένες χυτηρίων που ενδεχόμενα κινδυνεύουν από διάτρηση, ή άλλες χημικές και οικοδομικές διεργασίες – κυρίως με χρήση καταγραφικών θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την χρήση θερμοκάμερας.
- 10) Σε ειδικές περιπτώσεις με απόρριψη μεγάλων ποσών θερμότητας (καμινάδες τσιμεντάδικου, ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη, ή καύσης μαζούτ κλπ) επιβάλλεται και ο εξεργειακός ισολογισμός, ώστε να υπολογίζονται τα ποσά θερμότητας που είναι ανακτήσιμα, ή είναι δυνατόν να συμπαράγουν ηλεκτρισμό – κυρίως με χρήση καταγραφικών θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με την χρήση θερμοκάμερας.

Πολλές φορές η θερμοκρασία συνδυάζεται ταυτόχρονα και με την μέτρηση της σχετικής υγρασίας ή της παροχής αέρα ή νερού, ειδικά σε περιπτώσεις καταγραφής της θερμικής άνεσης, ή σε συστήματα προκλιματισμένου αέρα και παραγωγής ZNX. Σε αρκετές δε περιπτώσεις διατίθεται από την επιχείρηση σχετικό αρχείο καταγραφών από το BMS. Ωστόσο μία οποιαδήποτε δυσλειτουργία ή απώλεια γίνεται εύκολα αντιληπτή, όταν τεθούν όλες οι ανωτέρω μετρήσεις μαζί για το ίδιο προς μελέτη χρονικό διάστημα (στο φάσμα πάντα του χρόνου), συμπεριλαμβανομένων και τυχόν άλλων καταγραφών, όπως πχ η αφή/σβέση του καυστήρα ή το προφίλ ηλεκτρικής ισχύος ενός chiller.

Στα πλαίσια μίας στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων αυτών, θα ήταν πολύ χρήσιμη η συσχέτιση της αφής/σβέσης του καυστήρα ή του προφίλ ηλεκτρικής ισχύος ενός chiller με τις ανωτέρω θερμοκρασίες, παρακολουθώντας μέσα από ένα διάγραμμα διασποράς την γραμμή τάσης των δεδομένων αυτών, ή θέτοντας ακόμη και σε ορισμένες περιπτώσεις μία

επιμέρους γραμμή αναφοράς (μέσω σχετικής παλινδρόμησης –π.χ. βλέπε παρακάτω το σχήμα 11.2) για τα συγκεκριμένα δεδομένα.

Επίσης η θερμοκρασία στις περισσότερες περιπτώσεις συνδέεται άμεσα με μεγέθη όπως η αγωγιμότητα του χαλκού, η αντίσταση μόνωσης των ηλεκτρικών καλωδίων, η παροχή σε ένα δίκτυο υπό πίεση, η απόδοση ενός κινητήρα, το  $\Delta T$  σε μία θερμοδομέτρηση, κλπ, με αποτέλεσμα να αποτελεί την κρισιμότερη παράμετρο παρακολούθησης και καταγραφών στα συστήματα BMS.

Η θερμοκή άνεση στα κτήρια είναι πάντα το ζητούμενο για κάθε μελετητή ή συντηρητή. Η θερμοκρασίες σχεδιασμού λοιπόν σύμφωνα με τις TOTEΕ από το 2010 και μετά είναι: 18°C για το χειμώνα και 26°C για το καλοκαίρι. Συνεπώς η διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας για θερμοκρασίες κάτω των 18°C για το χειμώνα, και αντίστοιχα πάνω από τους 26°C για το καλοκαίρι στο φάσμα του χρόνου προσδιορίζουν τις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης. Συνεπώς οι βαθμοημέρες δηλώνουν έμμεσα την βοήθεια που χρειάζονται τα κτήρια από Η/Μ εξοπλισμούς, προκειμένου για την επίτευξη των συγκεκριμένων θερμοκρασιών σχεδιασμού. Επειδή το ημερήσιο προφίλ της θερμοκρασίας μεταβάλλεται από μέρα σε μέρα, είναι σκόπιμο στην επιλογή κατά την αναζήτηση της γραμμής αναφοράς μέσω παλινδρόμησης να μην μεταβάλλονται οι θερμοκρασίες σχεδιασμού. Ωστόσο στην πράξη η πραγματική θερμοκρασία set-point στα κτήρια καθορίζεται και από άλλους παράγοντες όπως : Απώλειες αερισμού, εσωτερικά θερμικά κέρδη από συσκευές ή άλλες θερμικές απώλειες, επικρατούσα σχετική υγρασία, πλήθος, ηλικία και φύλο των ενοίκων, ταχύτητα και μορφή ροής του αέρα στους εσωτερικούς χώρους, επίπεδα νωπού αέρα στον χώρο, ηλιακή ακτινοβολία, απόδοση του συστήματος Η/Μ (λέβητα ή κλιματιστικής μονάδας), κλπ.

Συνήθη αισθητήρια θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται είναι :



μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος χώρου, θερμοστοιχεία τύπου T,E,J,K,S,B, και θερμικές αντιστάσεις τύπου PTC, τύπου PT100, ή PT1000, τα οποία συναντώνται ως επίτοια, εμβαπτιζόμενα σε κυάθια (θηλυκές μήτρες εντός σωλήνων ή δεξαμενών αποθήκευσης), για χρήση επαφής με δεματικό πρόσδεσης ή κοχλίες σύσφιξης στην μετρούμενη επιφάνεια, εμβαπτιζόμενοι ράβδοι σε αεραγωγούς, με σπείρωμα προσαγωγέα, τύπου reversepolarity (με αντλία αέρα για

χρήση μέτρησης καυσαερίων σε καμινάδες), σε μορφή κορδονιού κλπ. Σε κάθε όμως περίπτωση σε ότι αφορά τα συστήματα BMS, συνηθίζεται να συνδέονται σε αναλογικές εισόδους τύπου 0-10V ή 0-20mA, ή 4-20mA, ή -5Vέως+5V, κλπ, είτε άμεσα, είτε μέσω κατάλληλου μεταδότη σήματος. Οι συγκεκριμένες κλίμακες χρησιμοποιούνται, ώστε με κατάλληλη παραμετροποίηση από τους προγραμματιστές των συστημάτων BMS, να μεταφράζουν τα όρια των αισθητηρίων σε Volt ή mA αντίστοιχα, όποτε η καταγραφή να γίνεται πλέον ψηφιακά.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας με τη χρήση της θερμοκάμερας γίνεται στις περιπτώσεις που είναι πρωτεύουσας σημασίας η επιφανειακή θερμοκρασία. Ανάλογο με το ηλεκτροθερμικό φαινόμενο, όπου η θερμοκρασία μετατρέπεται σε τάση, χρησιμοποιούν και οι θερμοκάμερες, αποκωδικοποιώντας με ηλεκτρονικό τρόπο την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπουν τα προς εξέταση αντικείμενα, στο ορατό φάσμα των χρωμάτων, και αποδίδοντας έτσι στον ελεγκτή με σχετικά καλή ακρίβεια την πραγματική επιφανειακή τους θερμοκρασία (σε δισδιάστατη ή τρισδιάστατη απεικόνιση). Οι παράγοντες που συμβάλουν σημαντικά στην ακρίβεια της υπέρυθρης διαγνωστικής είναι: 1) Η ανάλυση της θερμοκάμερας (σε πόσα pixel μπορεί να χωριστεί ηλεκτρονικά το θερμογράφημα), 2) Η ακρίβεια και η ευκρίνεια του φακού της , 3) Η απόσταση του αντικειμένου από την θερμοκάμερα, και 4) Η εκπεμπτικότητα της επιφανείας του αντικειμένου (δηλ. η εντιμότητά του να δείχνει την πραγματική του επιφανειακή θερμοκρασία – πχ ο καθρέπτης έχει εκπεμπτικότητα : 0, ενώ αντίστοιχα το μέλαν σώμα: 1 ). Κατά την ανάλυση των θερμογραφημάτων τα αντίστοιχα λογισμικά δίνουν την δυνατότητα της επεξεργασίας των δεδομένων σε επίπεδο pixel (πχ hotspot, ή περιοχή απωλειών κλπ), ενώ σύγχρονες θερμοκάμερες διαθέτουν ταυτόχρονα, εκτός από την επεξεργασία του θερμογραφήματος, και την δυνατότητα επεξεργασίας απλής φωτογραφίας του αντικειμένου, ή ακόμα και υπέρυθρης βιντεοσκόπησης του (κυρίως για δομοστατικές εφαρμογές μεγάλων έργων ή χημικές και ειδικές βιομηχανικές κατεργασίες) .

Η χρήση θερμιδομετρητών είναι απαραίτητη σε δίκτυα που μεταφέρουν θερμότητα ή απορροφούν θερμότητα (μεταφέρουν ψύχος). Για την λειτουργία των θερμιδομετρητών επιβάλλεται η παρεμβολή παροχόμετρων και ο υπολογισμός της διαφοράς θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) μεταξύ του σωλήνα προσαγωγής και του σωλήνα επιστροφής του θερμού ή ψυχρού μέσου. Θερμιδομετρητές που εγκαθίστανται σε σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου έως και 1,5''-2'', διαθέτουν συνήθως ενσωματωμένο παροχόμετρο με το ηλεκτρονικό κύκλωμα υπολογισμού των θερμίδων, ενώ σε μεγαλύτερες διατομές τα παροχόμετρα είναι αποκομμένα από το ηλεκτρονικό κύκλωμα του θερμιδομετρητή.

Μία σημαντική παράμετρος για την ορθή ένδειξη ή την ακρίβεια της μέτρησης των αισθητηρίων θερμοκρασίας ή μίας θερμοκάμερας είναι η διακρίβωσή τους σε κατάλληλα εργαστήρια διακρίβωσης ανά ένα έτος, ή ανά 2 έτη, δεδομένου ότι ανάλογα με το εύρος που καλούνται να μετρούν αστοχούν και συχνότερα.

#### **11.4 Μέτρηση παροχής**

Η μέτρηση της παροχής νερού, αέρα, ατμού ή καυσίμων και άλλων μειγμάτων είναι η πλέον κρίσιμη τόσο για τον ενεργειακό έλεγχο όσο και για την διαχείριση των εξοπλισμών, δεδομένου ότι η ροή υπεισέρχεται στον τύπο υπολογισμού κυρίως της θερμικής ενέργειας (ακόμα και της ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση του πεπιεσμένου αέρα ή κενού, ή της λειτουργίας αντλιών).

Τα παροχόμετρα ή αλλιώς ροόμετρα ρευστών μόνιμης εγκατάστασης (ή σταθερού τύπου) είναι συνήθως μίας μόνο κατεύθυνσης και παρεμβάλλονται στην ροή του ρευστού, είτε με διακοπή του σωλήνα και κατάλληλη εφαρμογή μέσω σπειρωμάτων εκατέρωθεν του παροχόμετρου (συνήθως για σωλήνες διατομής <2''), είτε με τη διακοπή του σωλήνα και κατάλληλη εφαρμογή με φλάτζες εκατέρωθεν του παροχόμετρου (συνήθως για σωλήνες διατομής >2'').

Αντίστοιχα συναντάμε παροχόμετρα:

- i) Ενσωματωμένου τύπου, όπου η ηλεκτρονική διάταξη μετατροπής του σήματος και η οθόνη ένδειξης της παροχής βρίσκονται ενσωματωμένες στο σώμα τους,
- ii) Απομακρυσμένου τύπου, όπου η ηλεκτρονική διάταξη μετατροπής του σήματος και η οθόνη ένδειξης της παροχής βρίσκονται σε απόσταση από το σώμα τους με την χρήση είτε καλωδίου ή είτε ασύρματα.

Τα σταθερού τύπου παροχόμετρα που συναντώνται στην αγορά χωρίζονται τεχνολογικά σε 2 βασικές κατηγορίες:

- 1) τα κλασσικά που βασίζονται κυρίως στις εξής βασικές αρχές λειτουργίας: τα μεταβλητού όγκου (variable area flowmeters VAF), τα τύπου τουρμπίνας (Turbine), τα τύπου θετικής μετατόπισης (positive displacement), τα ανοιχτού καναλιού (open channel), τα θερμικά (thermal), και τέλος τα τύπου διαφορικής πίεσης (orifice pitot).
- 2) τα νέας τεχνολογίας που βασίζονται κυρίως στις εξής βασικές αρχές λειτουργίας: Το φαινόμενο Coriolis, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τον στροβιλισμό (VORTEX), και τέλος την μεταβολή των υπερήχων

Τα φορητά παροχόμετρα αντίθετα λειτουργούν συνήθως με υπερήχους και είναι σχεδιασμένα



να τοποθετούνται εξωτερικά από το σωλήνα μέσω δύο ειδικών τσιμπίδων-μετατροπέων μεταβλητής διατομής, χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία ή ροή του συστήματος, ενώ συνηθίζεται να διατίθενται για χρήση διπλής κατεύθυνσης. Ενδεικτικά η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο ότι όταν υπέρηχος εκπέμπεται μεταξύ των μετατροπέων, η ταχύτητα με την οποία ο υπέρηχος αυτός

ταξιδεύει μέσω του υγρού, επιταχύνεται ελαφρώς από την ταχύτητα του υγρού μέσω του σωλήνα. Όταν υπέρηχος εκπέμπεται προς την αντίθετη κατεύθυνση, η ροή του υγρού προκαλεί τον μεταδιδόμενο υπέρηχο να επιβραδυνθεί. Η επακόλουθη χρονική διαφορά είναι ευθέως ανάλογη με την ταχύτητα ροής του ρευστού στο σωλήνα. Αφού μετρηθεί η ταχύτητα ροής και γνωρίζοντας την διατομή του σωλήνα, η ογκομετρική ροή μπορεί να υπολογιστεί πλέον εύκολα.

Πολλές φορές σε παροχόμετρα που μετρούν κυβικά ή λίτρα καυσίμου επικρατεί η άποψη, ότι μετράμε αυτομάτως και ενέργεια. Η άποψη δεν είναι ορθή, δεδομένου ότι:

- 1) Η ΔΕΠΑ σε ότι αφορά το φυσικό αέριο δίνει κάθε μήνα έναν διαφορετικό συντελεστή υπολογισμού της ισοδύναμης θερμικής ενέργειας. Ωστόσο σε μεγάλες παροχές (πχ με διατομές  $\gg 2''$ ) οι παράγοντες της πίεσης και της θερμοκρασίας στο σημείο της μέτρησης της παροχής είναι καθοριστικοί για την ακρίβεια της μέτρησης.
- 2) Σε εσωτερικά δίκτυα με καύσιμα που διατηρούνται σε ενδιάμεσες δεξαμενές σε υγρή μορφή, οι παράγοντες της πίεσης και της θερμοκρασίας στο σημείο της μέτρησης της παροχής του καυσίμου (που βρίσκεται πλέον σε αέρια μορφή) είναι καθοριστικοί για την ακρίβεια της μέτρησης (βλέπε παραγράφους 3.2.5 & 3.2.6). Ωστόσο στις περιπτώσεις αυτές η βέλτιστη πρακτική για την ασφάλεια της προμήθειας και τον έλεγχο τυχόν απωλειών, θα ήταν παράλληλα με την μέτρηση της παροχής της

θερμοκρασίας και της πίεσης του καυσίμου στην αέρια μορφή του, η μόνιμη και ταυτόχρονη μέτρηση της στάθμης της δεξαμενής αποθήκευσης του υγρού καυσίμου (πχ με αισθητήριο υπερήχων κλπ).

Ειδικότερα για τους θερμιδομετρητές είναι σημαντικό να γίνεται ορθή τοποθέτηση των παροχόμετρων (χωρίς συστολές ή διαστολές των δικτύων), καθώς και των αισθητηρίων θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ), επαληθεύοντας τις μετρήσεις με αντίστοιχα φορητά όργανα, ώστε να αποφεύγονται οι ανακρίβειες της μέτρησης.

Μία σημαντική παράμετρος για την ορθή ένδειξη ή την ακρίβεια των παροχόμετρων είναι η επιτόπια συνήθως διακρίβωσή τους, με κατάλληλα διακριβωμένα φορητά αντίστοιχα παροχόμετρα ανά 3 έτη έως 5 έτη, δεδομένου ότι ανάλογα με την διατομή του σωλήνα που καλούνται να μετρήσουν είναι και ανάλογα κρίσιμη η ακρίβεια της μέτρησής τους (η ακρίβεια είναι συνήθως αντιστρόφως ανάλογη της διατομής).

Άλλα φορητά παροχόμετρα που συνηθίζουμε να χρησιμοποιούμε στις μετρήσεις κλιματιστικών συστημάτων είναι: Διαφορικά μικρομανόμετρα (για έμμεσο υπολογισμό της παροχής της ταχύτητας αέρα σε αεραγωγούς), Μετρητές ποιότητας αέρα (με ειδικό προσαρμογέα σε κανάλια αεραγωγών για θερμοκρασία, ταχύτητα αέρα, υγρασία, CO<sub>2</sub> και CO), Θερμοανεμόμετρα (με φτερωτή για χρήση σε στόμια δικτύων προκλιματισμένου αέρα) κλπ. Επίσης η ρύθμιση της παροχής είτε σε συστήματα αερισμού, είτε σε ρευστά υπό πίεση πετυχαίνεται με ρυθμιστές στροφών (ανεμιστήρων, συμπιεστών ή αντλιών) και η συνεχής αυτόματη προσαρμογή της στις ανάγκες του κάθε συστήματος είναι καθοριστική στην συνολική ενεργειακή απόδοση των αντίστοιχων συστημάτων (γίνεται μέσω προγραμματισμού των ρυθμιστών στροφών, καθώς και των συστημάτων BMS ή των PLCs).

### **11.5 Μέτρηση υγρασίας αέρα**

Η υγρασία, σε συνδυασμό με την θερμοκρασία μέσα σε ένα χώρο αποτελούν τα πιο κρίσιμα μεγέθη για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Η υγρασία εκφράζεται με τους όρους: «σχετική» και «απόλυτη». Ως ορισμός η απόλυτη υγρασία είναι το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται συχνότατα στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, και εκφράζει το πηλίκο της υγρασίας του αέρα προς την υγρασία του κορεσμένου αέρα. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα του ανθρώπου μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Για το λόγο αυτό στα συστήματα BMS που ελέγχουν συστήματα HVAC, δίδεται ιδιαίτερη έμφαση, μαζί με την θερμοκρασία, στην μέτρηση και την καταγραφή της.

Σύμφωνα με το νόμο του Dalton η υγρασία ακολουθεί πάντα τη ροή θερμότητας (δηλαδή από τον χώρο με την μεγαλύτερη θερμοκρασία προς τον χώρο με την μικρότερη θερμοκρασία). Ως εκ τούτου εφαρμόζοντας σε ένα δομικό σάντουιτς το διάγραμμα πιέσεων υδρατμών του Glaser και χαράσσοντας ταυτόχρονα την γραμμή πίεσης των υδρατμών κορεσμένου αέρα και την γραμμή πίεσης των επιφανειών εκατέρωθεν του δομικού σάντουιτς σύμφωνα με τα μετρημένα ποσοστά σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας, μας γίνεται πλέον κατανοητό το όριο της σχετικής υγρασίας, με βάση το οποίο θα μπορέσουμε να αποφύγουμε την συμπύκνωση των υδρατμών (αν ορισμένες τιμές της πρώτης γραμμής είναι για ένα διάστημα μικρότερες της δεύτερης εντός της συγκεκριμένης διατομής, τότε στο

συγκεκριμένο στρώμα θα προκύψουν συμπυκνώματα). Με άλλα λόγια θα μπορέσουμε να τεκμηριώσουμε την αστοχία του σχεδιασμού του συγκεκριμένου δομικού σάντουιτς, ή να προτείνουμε την βελτίωση της μόνωσής ή της σύνθεσής του.

Συνήθως την σχετική υγρασία την μετράμε σε θαλάμους συντήρησης τροφίμων (επιβάλλεται από τον ΕΦΕΤ), σε συστήματα BMS που ελέγχουν την λειτουργία συστημάτων κεντρικού κλιματισμού, αλλά και σε ειδικές διεργασίες χημικές (πχ κατεργασία λυμάτων), ή βιομηχανικές (πχ παραγωγή αλεύρων ή τσιμέντου και λοιπών κονιαμάτων) με εντατική παρακολούθηση μέσω συστημάτων SCADA.

Εδώ είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η επίδραση της υγρασίας στην λειτουργία των μηχανών ή των κινητήρων και των μετασχηματιστών μέσης τάσης έχει άμεση σχέση με την φθορά και τον χρόνο ζωής τους. Σε περίπτωση που το υγρασιόμετρο είναι ενσωματωμένο στο BMS ή σε ένα σύστημα SCADA η καταγραφή είναι εύκολη και συνεχής. Για την επιθεώρηση στο πεδίο με φορητά όργανα η χρήση ασύρματων καταγραφικών με εσωτερική μνήμη είναι ιδανική, ενώ ιδιαίτερα για χρήση σε επιθεώρηση κλιματιστικών μονάδων χρησιμοποιούνται μετρητές ποιότητας αέρα όπως προαναφέρθηκε στο κεφ. 11.4.

#### **11.6 Μετρήσεις καυσαερίων**

Η απόδοση ενός συστήματος που χρησιμοποιεί καύσιμα για την θέρμανση χώρων ή την δημιουργία ατμού ή ΖΝΧ εξαρτάται από τους εξής παράγοντες : 1)Ποιότητα του καυσίμου (απαλλαγμένο από νοθείες κλπ), 2)Απόδοση της καύσης, 3)Απόδοση του λέβητα (το σώμα του λέβητα είναι το ίδιο ένας εναλλάκτης θερμότητας, συνεπώς η παλαιότητά του, η υπερδιαστασιολόγησή τους και η μόνωσή του είναι σημαντικοί παράγοντες στην απόδοσή του) 4)Απόδοση του δικτύου (πίεσεις, διατομές σωλήνων, διαδρομή του δικτύου, μονώσεις σωλήνων, τερματικά σώματα – εξαέρωσή τους, ατμοπαγίδες κλπ), 5)Απόδοση λειτουργίας του λέβητα (αυτοματισμοί, αισθητήρια, set-point, κυκλοφορητές, αντιστάθμιση, κλπ). Από τα ανωτέρω πρωτεύουσα θέση στην συνολική απόδοση έχει η απόδοση της καύσης. Η επίδραση της παροχής αέρα είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας στην απόδοση της καύσης ενός λέβητα.

Στο σχήμα 11.1 βλέπουμε ότι η απόδοση του λέβητα μεγιστοποιείται όταν η παροχή είναι κανονική και στην μεν περίπτωση της ανεπαρκούς παροχής έχουμε φαινόμενα ατελούς καύσης (άρα και απώλειες του καυσίμου που δεν καίγεται πλήρως και ανιχνεύεται διά της ποσότητας CO και των χαμηλών θερμοκρασιών των καυσαερίων), στην δε περίπτωση της πλεονάζουσας παροχής έχουμε φαινόμενα θερμικών απωλειών (άρα και απώλειες του καυσίμου που καίγεται χωρίς λόγο και ανιχνεύεται διά της ποσότητας NO και των υψηλών θερμοκρασιών των καυσαερίων).

Σχήμα 11.1 : Απόδοση του λέβητα σε σχέση με τη παροχή αέρα



Στο Παράρτημα Γ περιγράφεται η διαδικασία εκτίμησης της απόδοσης των λέβητων, ιδιαίτερα δε στην ΚΥΑ189533/2011 για τους λέβητες & στο ΦΕΚ 2656 Β'/2012 για τους ατμολέβητες. Η ορθή ρύθμιση λοιπόν της καύσης που εξαρτάται από :

- 1) την περίσσεια αέρα διαμέσου της οποίας καταμετράται η πλεονάζουσα ποσότητα  $O_2$  (σε σχέση με αυτήν που θα χρειαζόταν προκειμένου για την τέλεια καύση του καυσίμου),
  - 2) την θερμοκρασία καυσαερίων,
  - 3) την κατ' όγκο περιεκτικότητα σε  $CO$ ,
  - 4) την κατ' όγκο περιεκτικότητα σε  $NO$ ,
  - 5) τον δείκτη αιθάλης ( $max=1$ ) και
  - 6) την κατ' όγκο περιεκτικότητα σε  $SO_x$  (κυρίως για το μαζούτ ή άλλα βαρέα καύσιμα)
- επιβάλλει μία επίπονη διαδικασία ενεργειών που μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες ή και ημέρες πολλές φορές.

Η ορθή ρύθμιση δεν είναι μία απλή μέτρηση ή μία απλή διαπίστωση μεγεθών που μπορεί να θαυμάσει κανείς με την αυτόματη εκτύπωση από τον αναλυτή καυσαερίων ενός τεχνικού καύσης. Χρειάζεται πολλές φορές εκκίνηση και επανεκκίνηση της καύσης, ώστε να επιτευχθεί η ρύθμιση για την πολυπόθητη βέλτιστη απόδοσή της, με ελέγχους όπως : η ορθή επιλογή του μπεκ, η παροχή καυσίμου, η παροχή αέρα στο θάλαμο, η ρύθμιση των αποστάσεων α-β-γ από το στόμιο του μπεκ, το μήκος του λέβητα, τα ηλεκτρόδια σπινθηρισμού, ο μετασχηματιστής σπινθηρισμού, οι επαφές και η κατάσταση της μόνωσης των καλωδίων, η ορθή ανταπόκριση των αισθητηρίων, το set-point της θερμοκρασίας του θαλάμου, η συχνότητα αφής/σβέσης τους καυστήρα, το φίλτρο καυσίμου, το ποσοστό εγκλωβισμένου αέρα στο κύκλωμα νερού, το χρώμα της φλόγας, οι μύκητες στη δεξαμενή πετρελαίου, ο καθαρότητα του θαλάμου του λέβητα, η ρύθμιση του damper καυσαερίων αν υπάρχει, ο ελκυσμός, ο καθαρισμός της καπνοδόχου, η ποιότητα στο κύκλωμα του νερού κλπ.

Οι σημερινοί φορητοί αναλυτές χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και εκτίμηση των απωλειών της καύσης. Για λέβητες πετρελαίου ή μαζούτ και ατμολέβητες επιβάλλεται πριν από την μέτρηση με τον αναλυτή (και για την προστασία του οργάνου), η λήψη δείγματος καυσαερίων με την τρόμπα αιθάλης, ώστε να διαπιστωθεί δια της κλίμακας BACHARACH, ότι η καύση δεν έχει μεγάλο δείκτη αιθάλης (οπότε και ο θάλαμος της καύσης δεν χρήζει πρώτα σχετικού καθαρισμού). Τοποθετείται ειδικό προσαρμοζόμενο ακροφύσιο (σωλήνας αναρρόφησης καυσαερίων περιέχων αισθητήριο θερμοκρασίας) κάθετα εντός της οπής της καπνοδόχου (συνήθως διατομής <1cm) κοντά στην έξοδο των καυσαερίων του λέβητα, ώστε η ακμή του ακροφυσίου να βρίσκεται στο μέσον της διατομής της καπνοδόχου. Το ακροφύσιο συνδέεται μέσω εύκαμπτης σωλήνας (διερχόμενης από κατάλληλη νεροπαγίδα – φίλτρο για την προστασία του οργάνου) και καλωδίου (που αφορά το αισθητήριο θερμοκρασίας) με το σώμα του αναλυτή, ο οποίος φέρει εσωτερικά αντλία αέρα, τον οποίο ανακυκλώνει έως ότου οι μετρούμενες τιμές σταθεροποιηθούν. Κατόπιν ο αναλυτής υπολογίζει σχεδόν αυτόματα με βάση το καύσιμο, την ισχύ του λέβητα και τον δείκτη αιθάλης τις επαγόμενες τιμές και προβαίνει στην εκτύπωση των αποτελεσμάτων.

Ενδεικτικά οι αναλυτές καυσαερίων λεβήτων

Μετρούν : Οξυγόνο(O<sub>2</sub>), Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO), Θερμοκρασία καυσαερίων (T<sub>stack</sub>), Θερμοκρασία αέρα (T<sub>air</sub>), Ελκυσμό (psi or mm), Διαφορική πίεση (ΔP)

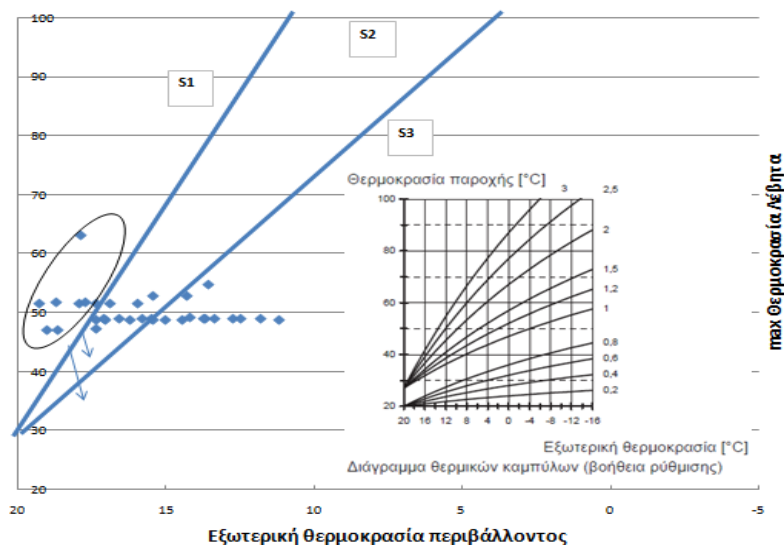
Υπολογίζουν : Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>), Βαθμό απόδοσης καύσης (Eff), Βαθμό απωλειών (q<sub>A</sub>), Περίσσεια αέρα (EA), τα οξειδία του αζώτου NO<sub>x</sub>, τα οξειδία του θείου SO<sub>x</sub>, Λόγο CO/CO<sub>2</sub>, Μονοξείδιο το Άνθρακα σε αναφορά με συγκεκριμένη περιεκτικότητα O<sub>2</sub> (CO-O<sub>2</sub> ref)

Όλοι οι σύγχρονοι αναλυτές διαθέτουν εσωτερική μνήμη και θύρα USB προκειμένου για την λήψη των δεδομένων μέσω H/Y.

Το αισθητήριο που συνήθως χρήζει αλλαγής το πολύ κάθε δύο χρόνια είναι το αισθητήριο O<sub>2</sub> και το φίλτρο-παγίδα νερού. Ωστόσο κάθε χρόνο οι αναλυτές καυσαερίων πρέπει να βαθμονομούνται σε διακριβωμένα εργαστήρια ή εξουσιοδοτημένους αντιπροσώπους που μπορούν να εκτελούν βαθμονομήσεις τέτοιων οργάνων.

Επειδή η συσχέτιση της ποσότητας του καταναλισκόμενου καυσίμου με την διάρκεια της έκχυσης καυσίμου είναι σημαντική, είναι καθοριστικό σε βιομηχανικές αλλά και σε μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις να μετράμε-καταγράφουμε παράλληλα με τη ποσότητα του καταναλισκόμενου καυσίμου και τον χρόνο αφής/σβέσης του καυστήρα. Πολύ χρήσιμη για παράδειγμα θα ήταν η πληροφορία της κατάστασης αφής-σβέσης ενός καυστήρα θέρμανσης σε σχέση με την θερμοκρασία νερού θέρμανσης και την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος, όπου δύναται να μας φανερωθεί η σκοπιμότητα τοποθέτησης εξωτερικής αντιστάθμισης ή όχι. Στο παρακάτω σχήμα 11.2 οι καταστάσεις λειτουργίας που βρίσκονται εντός της ελλείψεως στην περιοχή καταστάσεων S1, αφορούν σπατάλη καυσίμου, που θα μπορούσε να αποτραπεί από μία εξωτερική αντιστάθμιση (αντιπαραβάλλοντας ένα διάγραμμα καμπυλών αποκοπής καταστάσεων που αφορά έναν controller αντιστάθμισης). Αν το κτήριο διέθετε πολύ καλή μόνωση ίσως και οι καταστάσεις που βρίσκονται στην περιοχή S2 (μεταξύ των δύο γραμμών αποκοπής) να αφορούσαν και αυτές σπατάλη καυσίμου.

## ΔΙΑΣΟΠΡΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ



Σχήμα 11.2 : Διασπορά καταστάσεων λειτουργίας καυστήρα

Έτσι, ανάλογα με την χρήση πρέπει να τον συσχετίζουμε με ανεξάρτητες μεταβλητές όπως εξωτερική θερμοκρασία ή βαθμοήμερες θέρμανσης (για θέρμανση χώρων), ποσότητα χρήσης νερού ή πληρότητα ξενοδοχείου (για παραγωγή ZNX), ποσότητα κατανάλωσης νερού ή παραγόμενων προϊόντων (για βιομηχανικές διεργασίες). Σε κάθε όμως περίπτωση η συστηματική ανάλυση των δεδομένων μπορεί να γίνει μόνο εφόσον αυτά είναι διαθέσιμα (ήτοι καταγράφονται μέσω συστημάτων EMS, BMS, ή BEMS). Στις περιπτώσεις πλέον ατμογεννητριών ή ατμολεβήτων η χρήση αυτοματισμών και καταγραφής είναι υποχρεωτική. Στις περιπτώσεις αυτές η μέτρηση και η ρύθμιση της καύσης είναι μία διαδικασία που επιβάλλει συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή, αφού η παραμικρή αστοχία μπορεί να προκαλέσει μεγάλη σπατάλη καυσίμου. Περισσότερες πληροφορίες για την μεθοδολογία υπολογισμού του εποχιακού βαθμού απόδοσης συμβατικών λεβήτων βλέπε στο Παράρτημα Γ.

Οι μετρήσεις καυσαερίων σε μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK), είτε πρόκειται για την ναυτιλία, είτε για αυτοκίνητα και φορτηγά, είτε για ηλεκτρογεννήτριες χρησιμοποιούν ανάλογα αισθητήρια (με τα όρια που έχουν θεσπιστεί από τους αντίστοιχους φορείς, εφόσον πρόκειται για τελείως διαφορετικές διεργασίες και ιπποδυνάμεις) και υπολογίζουν αντίστοιχα τα επαγόμενα μεγέθη. Επτά είναι τα κρισιμότερα μεγέθη ατμοσφαιρικής μόλυνσης από τις MEK :

1. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO),
2. Ο μόλυβδος (Pb),
3. Τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>),
4. Το όζον (O<sub>3</sub>),
5. Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)
6. Τα αιωρούμενα σωματίδια
7. Η θερμοκρασία καυσαερίων

Οι MEK είναι συνήθως πολύ πιο ρυπογόνες από τους λέβητες, και ως εκ τούτου, στην περίπτωση που η ελεγχόμενη επιχείρηση διαθέτει πολλά μεταφορικά μέσα ή μεγάλες

ηλεκτρογεννήτριες, η ανάλυση καυσαερίων είναι εξίσου σημαντική, όχι μόνο για την περιβαλλοντική μόλυνση αλλά και για τον έλεγχο της αποδοτικότητάς τους.

### 11.7 Μέτρηση του χρόνου λειτουργίας

Ο χρόνος λειτουργίας υποστηρικτικών συστημάτων παραγωγής (πεπιεσμένος αέρας, κενό, ατμός, χλωρίωση, κλπ), ή μεμονωμένων φορτίων και μηχανημάτων είναι κρίσιμος, τόσο για την κατανόηση του ενεργειακού ισοζυγίου (κυρίως όπου δεν υπάρχουν αναλυτές ή μετρητές ηλεκτρικής, ή μετρητές θερμικής ενέργειας), όσο και για την συσχέτιση του χρόνου ως ανεξάρτητης μεταβλητής στην κατανάλωση ενέργειας. Επίσης οι μετρήσεις όλων των μεταβλητών ενός συστήματος BMS και των μετρητών ενέργειας, όπως προαναφέρθηκε, πρέπει να παρίστανται κατά το δυνατό στο ίδιο χρονικό παράθυρο, ώστε να μεγιστοποιείται το όφελος από την ορθή εκτίμηση των συμβάντων, σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας.

Όλες λοιπόν οι μεταβλητές καταγράφονται στο φάσμα του χρόνου με διαφορετική κάθε φορά πυκνωση της μέτρησης (per sec, per min, per 5min, per 15min, per, hour, per 8hour, per day, per week, per month, per year) με λήψη της μέσης τιμής ανά αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

Επίσης οι μετρήσεις των μεταβλητών χωρίζονται σε :

- αναλογικές μετρήσεις όπως : τάση, ένταση, συντελεστής ισχύος, ενεργός και άεργος ισχύς, αρμονικές, θερμοκρασία, υγρασία, παροχή (νερού, καυσίμου κλπ), πίεση, κλπ, οι οποίες είναι πάντα άμεσα συνδεδεμένες με το χρόνο.
- σε σωρευτικές (αθροιστές) μετρήσεις : ηλεκτρικής ενέργειας ενεργού και άεργου ισχύος, θερμικής ενέργειας (θερμιδομετρητές) κλπ, οι οποίες είναι πάντα άμεσα συνδεδεμένες με το χρόνο.
- διακριτές μετρήσεις χρόνου: start/stop καυστήρων, αντλιών, μηχανημάτων, ζωνών φωτισμού, απαρίθμηση προϊόντων σε μία ταινία μεταφοράς, αλλαγής status του set-point θερμοκρασίας, αφής/σβέσης καυστήρα, υγρασίας ή πίεσης, αλλαγής status τριόδων βανών, ή ηλεκτροβανών, περσίδων σκίασης, dampers, πτερυγίων ΚΚΜ, ποσοστού φόρτισης ρυθμιστών στροφών, ή compressors ψύξης κλπ

Συνεπώς σε περίπτωση που δεν διαθέτουμε εκτεταμένο δίκτυο μετρητών ή αναλυτών ενέργειας, και διαθέτουμε όμως τέτοιες μετρήσεις, είναι δυνατόν να εξάγουμε συμπληρωματικά συμπεράσματα για την επίδραση ορισμένων φορτίων της παραγωγής (πχ από την ονομαστική τους ισχύ ή την ρύθμιση λειτουργίας τους).

Ειδικά στην ανάλυση των αιχμών ζήτησης ισχύος (ταυτοχρονισμοί φορτίων, μείωση του συντελεστή χρησιμοποίησης κλπ) είναι εύκολο από την ωρομέτρηση λειτουργίας των εξοπλισμών να εφαρμόσουμε μέτρα αποφυγής των αιχμών (πχ με χρονική ολίσθηση των μη κρίσιμων φορτίων, ή την αναζήτηση σκοπιμότητας της χρήσης inverters, soft starters, ή την έξυπνη ρύθμιση της εκκίνησης των καυστήρων, εκμεταλλευόμενοι την αδράνεια της καύσης, κλπ).

Συμπληρωματικά για την ωρομέτρηση πρέπει να αναφέρουμε μετρήσεις που δύναται να γίνουν, είτε από σταθερά συστήματα επιτήρησης και καταγραφής, είτε από φορητά όργανα όπως:

- 1) Καταγραφές κατάστασης on/off (π.χ. αφής/σβέσης ενός καυστήρα, ή της λειτουργίας μίας αντλίας λυμάτων, ή ενός κυκλοφορητή θέρμανσης κλπ) μπορούν να αποθηκεύονται έμμεσα με την καταγραφή της τάσης της παροχής ηλεκτρικής ισχύος του ρελέ, που τροφοδοτεί το συγκεκριμένο φορτίο (σε συνάρτηση με τον χρόνο).
- 2) Καταγραφές που δίδονται με έξοδο παλμού από έξυπνους μετρητές, όπως του ΔΕΔΔΗΕ (μπορούμε σε συμφωνία με τον ΔΕΔΔΗΕ να συνδέσουμε καλωδιακά τον αυτοματισμό μας με τον μετρητή του μέσα από 3 εξόδους παλμού : 1) για τις kWh, 2) για τις kvarh και 3) για τον συγχρονισμό του αυτοματισμού με το ρολόι της μέσης τάσης – οπότε στην περίπτωση αυτή η ρύθμιση της ώρας γίνεται κατά προτεραιότητα από τον μετρητή του ΔΕΔΔΗΕ), ή της ΔΕΠΑ (μπορούμε να συνδέσουμε τον αυτοματισμό μας μέσω κατάλληλου βύσματος στην διαθέσιμη έξοδο παλμού - οπότε στην περίπτωση αυτή είτε συγχρονιζόμαστε με το ρολόι του ΔΕΔΔΗΕ, αν ισχύει η ανωτέρω σύνδεση, είτε εν τέλει με το ρολόι του υπολογιστή όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα του BMS)

Σε κάθε μία από τις ανωτέρω περιπτώσεις θα πρέπει να γίνεται συγχρονισμός της ώρας του BMS, ή των φορητών οργάνων που χρησιμοποιούμε, ώστε η παράσταση όλων των σχετικών δεδομένων να ελαχιστοποιεί την αβεβαιότητα της ανάλυσής τους.

### 11.8 Μετρήσεις υπερήχων

Οι συχνότητες που αντιλαμβάνεται η ανθρώπινη ακοή είναι από 20Hz έως 20kHz. Στο φάσμα των συχνοτήτων όμως μεταξύ των 20-100kHz έχει παρατηρηθεί που εκπέμπονται οι πιο κρίσιμες συχνότητες, κυρίως από τις μηχανές αλλά και τις ηλεκτρονικές διατάξεις. Στο συγκεκριμένο φάσμα των υπερήχων εντοπίζονται λοιπόν φαινόμενα που καταμαρτυρούν απώλειες ενέργειας, δυσλειτουργίες εξοπλισμών, ηλεκτρικές αστοχίες, και ηλεκτρονικοί θόρυβοι, και ενώ είναι αδύνατο να γίνουν αντιληπτά από το ανθρώπινο αυτί (ιδιαίτερα εντός ενός θορυβώδους βιομηχανικού περιβάλλοντος), μπορούν να εντοπιστούν σε μία συγκεκριμένη συχνότητα (ανάλογα με το είδος του προβλήματος) από φορητά όργανα ανάλυσης υπερήχων.

Οι διαγνωστικές υπερήχων λοιπόν που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό ενεργειακών και λειτουργικών απωλειών και βεβαίως για προληπτική συντήρηση είναι:

- 1) **Ανίχνευση Διαρροών** : Αφορά δίκτυα πίεσης ή κενού οποιουδήποτε τύπου αερίου (αέρα, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, Freon, NG, LPG, Propane, Butane, κλπ) και βασίζεται στον εντοπισμό της τυρβώδους ροής που παράγεται καθώς το αέριο κινείται από την θέση υψηλής πίεσης στη θέση χαμηλής πίεσης στην μικροσκοπική οπή της διαρροής. Η μονάδα μέτρησης της διαρροής είναι σε dB και ανάλογα με το είδος του αερίου, την στάθμη της πίεσης του δικτύου και την τιμή του αερίου (αν πρόκειται για καύσιμο αέριο) ή της ηλεκτρικής kWh (αν πρόκειται για πεπιεσμένο αέρα ή τα υπόλοιπα αέρια) δίνεται από κάθε εταιρεία ένα εργαλείο υπολογισμού του κόστους των απωλειών ανά δίκτυο. Με την συγκεκριμένη διαγνωστική δύναται υπό συνθήκες να ολοκληρωθεί και ανίχνευση διαρροής υγρών υπό πίεση, που βασίζεται στην ίδια αρχή λειτουργίας.
- 2) **Έλεγχος ηλεκτρικών εγκαταστάσεων** : Αφορά όλα τα δίκτυα τάσης (Χαμηλή, Μέση και Υψηλή) και ανιχνεύει i) Το Φαινόμενο Corona, ii) Tracking - Δενδροειδής

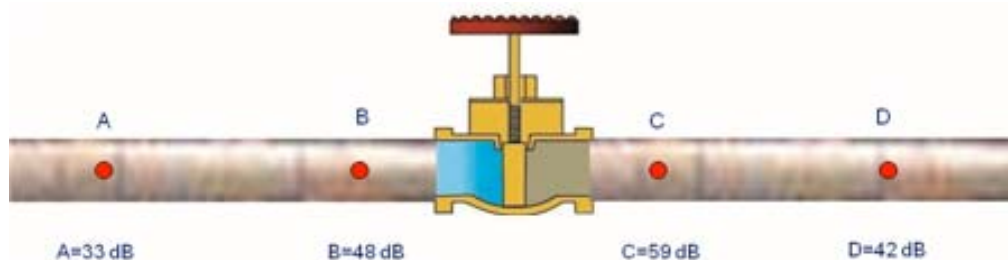
κατάρρευση της αντίστασης μόνωσης, iii) Ηλεκτρικά Τόξα, iv) Μηχανικές συσφίξεις σε μετασχηματιστές. Αναφορικά με τα 3 πρώτα φαινόμενα ο εντοπισμός τους οφείλεται στις εκπομπές στα ~40kHz, που προκαλούνται από τον ιονισμό των μορίων του αέρα. Η συγκεκριμένη εκπομπή μεταφράζεται από το όργανο μέσω ετεροδύνησης στο φάσμα του ήχου (χρησιμοποιώντας σε περίπτωση που είναι αδύνατη η εν λειτουργία προσέγγιση ακόμα και ειδικά παραβολικά μικρόφωνα), ώστε να γίνεται άμεσα αντιληπτή η όποια παθογένεια στον ελεγκτή. Σε ορισμένα μοντέλα φορητών αναλυτών είναι δυνατή καταγραφή σε μνήμη της χρονοσειράς του παραγόμενου υπερηχητικού θορύβου και συνεπώς και η γραφική απεικόνισή του αλλά και η δισδιάστατη και τρισδιάστατη φασματική ανάλυση συχνοτήτων FFT (Fast Fourier Transformer). Οι συγκεκριμένες απώλειες είναι ανάλογες της στάθμης της τάσης του δικτύου που ανιχνεύονται και αποτελούν από πλευράς ασφαλείας πολύ κρίσιμες παραμέτρους, δεδομένου ότι είναι μέχρι στιγμής αδύνατη και χαοτική η ενεργειακή τους ποσοτικοποίηση.

### 3) Έλεγχος ατμοπαγίδων και βαλβίδων :

**A. Ατμοπαγίδες :** Η δυσλειτουργία των ατμοπαγίδων είναι εξαιρετικά δαπανηρή, τόσο ως προς την απώλειά τους, όσο και ως προς την απώλεια ενέργειας. Ο αναλυτής υπερήχων σε συνδυασμό με την μέθοδο της θερμογραφίας μας βοηθούν να εντοπίσουμε στις ατμοπαγίδες: i) Τυχόν εσωτερικές διαρροές (μερική, ανοιχτή ή κλειστή κατάσταση), ii) Ρύθμιση και προσαρμογή στις συνθήκες λειτουργίας διαμορφώνεται ανάλογα με τις προδιαγραφές τους και την αρχή λειτουργίας τους (με βάση τον τύπο τους : συνεχούς ροής, και on-off, που με τη σειρά χωρίζονται σε πλωτήρος, ανεστραμμένου κάδου, θερμοδυναμικές ή θερμοστατικές)

**B. Βαλβίδες ή Βάνες :** Στην συγκεκριμένη διαγνωστική υπάγονται και οι έλεγχοι απωλειών σε δίκτυα υπό πίεση ατμού, αερίου ή υγρού (νερού καυσίμου ή άλλου ρευστού). Η τεχνική που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση είναι η τεχνική των 4 σημείων όπως φαίνεται στο σχήμα 10.3

Σχήμα 11.3 : Μέθοδος υπερήχων τεσσάρων σημείων

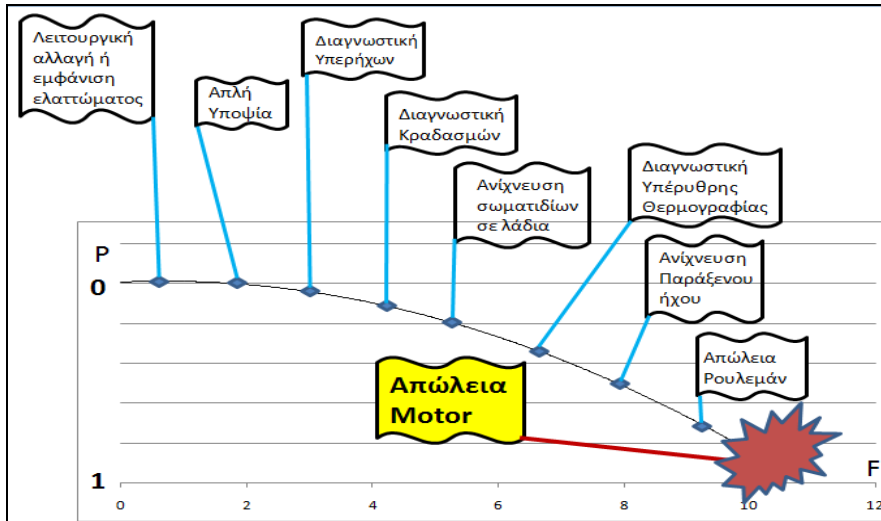


Στο σημείο C παρατηρούμε ότι η τυρβώδης ροή μας καταμαρτυρεί ότι έχουμε διαρροή, που στις περισσότερες περιπτώσεις δηλώνει απώλεια ενέργειας.

### 4) Έλεγχος και Λίπανση Εδράνων με Ρουλεμάν :

Η παρακολούθηση των εδράνων με τη μέθοδο των υπερήχων δίνει στον συντηρητή την δυνατότητα να δράσει έγκαιρα και προληπτικά, είτε ως προς τη λίπανση, είτε ως προς την σύσφιξη, είτε ως προς οποιαδήποτε άλλη αστοχία (αζυγοσταθμία, απώλεια φτερωτής, εκκεντρότητα άξονα

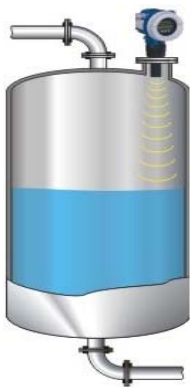
κλπ). Στο παρακάτω σχήμα 11.4 βλέπουμε την καμπύλη πιθανότητας (P) εμφάνισης σφάλματος, από την στιγμή που συμβαίνει μία λειτουργική αλλαγή ή εμφανίζεται κάποιο ελάττωμα, μέχρι την στιγμή της απώλειας του κινητήρα, σε όλο το χρονικό διάστημα (σε μήνες) της λειτουργίας του (F). Με τον τρόπο αυτό οριοθετώντας τις διαγνωστικές μεθόδους, που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, καθ' όλη την διάρκεια εξέλιξης της απώλειας ενός κινητήρα, παρατηρούμε το πόσο σημαντική



Σχήμα 11.4 : Μηνιαία εξέλιξη της αστοχίας από την στιγμή της εμφάνισης ελαττώματος στην παραγωγή σε σχέση με τις αντίστοιχες διαγνωστικές

και πρόωρη είναι η διαγνωστική υπερήχων σε σχέση με τις υπόλοιπες διαγνωστικές μεθόδους. Οι αναλυτές υπερήχων διαθέτουν μέσω κατάλληλων λογισμικών την δυνατότητα καταγραφής των δεδομένων και την ανάλυσή τους και στο φάσμα της συχνότητας που ελήφθησαν, αλλά και σε ανάλυση συχνοτήτων FFT. Επίσης δύναται να καθοριστεί μία σημειακή baseline (σε dB) που θα προσδιορίζει κάθε φορά που μετράμε, της απόκλιση από το σημείο αυτό αναγνωρίζοντας την υπολίπανση, αποτρέποντας ταυτόχρονα με τον τρόπο αυτό την υπερλίπανση, ή τον εντοπισμό άλλης αιτίας της αστοχίας.

Αισθητήρια υπερήχων χρησιμοποιούμε επίσης και σε καταγραφές στάθμης δεξαμενών αποθήκευσης υγρών (καυσίμων, νερού, κλπ), καταχωρώντας τις τιμές της στάθμης στην μνήμη των συστημάτων BMS (Σχήμα 11.5). Τέλος στις μετρήσεις υπερήχων περιλαμβάνονται και οι **μετρήσεις της παροχής** ρευστών (αερίων ή υγρών) με αντίστοιχα φορητά όργανα, όπως αναλύθηκε ανωτέρω στην παράγραφο 11.4. Και οι ανωτέρω αναλυτές υπερήχων πρέπει να υποβάλλονται κατά περιόδους σε βαθμονόμηση, δεδομένου ότι συνθήκες περιβάλλοντος αλλοιώνουν τους πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες που διαθέτουν.



Σχήμα 11.5: Αισθητήριο Υπερήχων

## 11.9 Άλλες συνήθεις μετρήσεις

### 11.9.1 Μετρήσεις φωτισμού

Οι περισσότεροι φορητοί μετρητές φωτός μετρούν την πυκνότητα της φωτεινής ροής (ή αλλιώς φωτεινότητα) που δέχεται σημείο μιας επιφάνειας κάθετα τοποθετημένης στη διεύθυνση διάδοσης του φωτός και ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής ροής ανά μονάδα επιφάνειας ( $\text{lux} = \text{lm}/\text{m}^2$ ). 1 lux ισοδυναμεί με φωτεινή ροή 1 lm, κατανεμημένη ομοιόμορφα σε επιφάνεια εμβαδού 1 m<sup>2</sup>. Συνεπώς το lux χρησιμοποιείται ως μέγεθος για την αξιολόγηση του φωτιστικού αποτελέσματος στην ωφέλιμη επιφάνεια που χρησιμοποιούμε, και η οποία βρίσκεται σε μία απόσταση από την πηγή φωτός. Ωστόσο υπάρχουν πολύ ακριβότεροι φορητοί μετρητές φωτεινής ροής, οι οποίοι μετρούν την φωτεινή ροή (σε  $\text{lm} = \text{lumens}$ ) στην πηγή του φωτός, οπότε αξιολογούν κατά κάποιο τρόπο σε συνδυασμό με άλλα φωτομετρικά δεδομένα την ισχύ της συγκεκριμένης πηγής (1lm=1cd\*sr ένα lumen είναι ίσο με την φωτεινή ισχύ μίας καντέλας ή ενός κηρίου που αντιστοιχεί σε ένα στερεακτίνιο).

Η μείωση του περιττού φωτισμού σε lux έχει ψυχολογικές επιπτώσεις που μπορεί να υπερβαίνουν κατά πολύ οποιαδήποτε άμεση επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας. Για να πείσεις τους ανθρώπους, ότι ο χώρος τους είναι υπερφωτισμένος ή υποφωτισμένος, θα πρέπει να αναφέρεσαι σε καθιερωμένα πρότυπα φωτισμού συγκρίνοντας τις μετρήσεις της υφιστάμενης κατάστασης με τα όρια των προτύπων αυτών (πχ EN12464, όπου λαμβάνονται υπόψη τα μετρούμενα lux για συγκεκριμένα επίπεδα δυσανεξίας λόγω θάμβωσης (UGR-ενιαίος δείκτης θάμβωσης) και χρωματικής απόδοσης (Ra), EN13032, EN15193 κλπ). Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούμε συνήθως έναν **Βιομηχανικό Μετρητή lux**. Αυτό το όργανο είναι συνήθως σχεδιασμένο να μετρά απ' ευθείας το προσπίπτον φως και μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για τη μέτρηση του ανακλώμενου φωτός και του μεταδιδόμενου φωτός. Ένας βιομηχανικός μετρητής lux διαφέρει από έναν φωτογραφικό μετρητή lux σε δύο σημεία: (1) διαβάζει κατευθείαν σε κλίμακες που είναι περίπου γραμμικές και όχι σε λογαριθμικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται από φωτογραφικούς μετρητές φωτός, (2) είναι σχεδιασμένος να λαμβάνει φως υπό ευρείες γωνίες, αντί να εστιάζει σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του οπτικού πεδίου. Ένας τέτοιος μετρητής είναι μικρός, ελαφρύς, φθηνός και αρκετά χρήσιμος, ώστε θα πρέπει να είναι μέρος του εξοπλισμού για κάθε επόπτη συντήρησης.

Για μετρήσεις που αφορούν την αξιολόγηση της βελτίωσης της προηγούμενης κατάστασης από την υφιστάμενη κατάσταση σε περίπτωση αντικατάστασης φωτιστικών ή λαμπτήρων οδοφωτισμού, λαμβάνονται υπόψη τα όρια του προτύπου EN13201, όπου και οι μετρήσεις των lumens είναι πλέον υποχρεωτικές.

### 11.9.2 Μετρήσεις πίεσης

Εάν ο εξοπλισμός δεν είναι λειτουργικός στην κατάλληλη κλίμακα πίεσης, μπορεί να καταστραφεί. Ειδικά, όταν η μετρούμενη πίεση προέρχεται από το πετρέλαιο (συμπιεστές ή ανυψωτικά οχήματα), από ατμό (λέβητες) ή από άλλες πηγές. Γενικά ο εξοπλισμός που



πρόκειται να μετρηθεί απαιτείται να διαθέτει ένα εξάρτημα προσαρμογής ειδικά σχεδιασμένο για τον εξοπλισμό ανίχνευσης της πίεσης. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί προκειμένου για την μέτρηση ένας σωλήνας “Bourdon”, ή ένας μετρητής διαφράγματος, ή ένας σύγχρονος πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης. Όταν οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται αρκετά συχνά, θα ήταν επιθυμητό να εγκατασταθεί μόνιμα ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης με έναν ηλεκτρονικό προσαρμογέα-μεταδότη, ως αισθητήριο που θα ανήκει σε ένα σύστημα BMS, ώστε να τηρείται και το αντίστοιχο αρχείο καταγραφών. Ειδικά για την περίπτωση των συστημάτων BMS απαιτούνται βιομηχανικοί μεταδότες πίεσης που μετατρέπουν σε την μετρούμενη πίεση σε αναλογικά σήματα κλίμακας από 0–10V, 0–5V, 0...20mA, και 4...20mA. Συνήθη σπειρώματα για την προσαρμογή τέτοιων αισθητήρων είναι 1/4" ή 1/2" . Σε περίπτωση που διαθέτουμε φορητό ψηφιακό πιεσόμετρο, θα μπορούσαμε να το χρησιμοποιήσουμε είτε με adaptor είτε αν η διατομή του είναι ίδια με τον υποδοχέα του υφιστάμενου σωλήνα της εγκατάστασης. Η παρακολούθηση της πίεσης και της θερμοκρασίας στους κυλίνδρους των MEK (Μηχανών Εσωτερικής Καύσης) σε σχέση με την ροπή της του άξονα και την κατάσταση των κυλίνδρων είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσής τους (βλέπε παρακάτω στο σχήμα 11.7).

### 11.9.3 Μετρήσεις αποστάσεων

Οι μετρήσεις αποστάσεων (m) από πλευράς ενεργειακού ελεγκτή γίνονται συνήθως με φορητούς μετρητές laser, και ενδείκνυνται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν σχέδια as-build ή είναι κρίσιμο να διαστασιολογηθεί ένα προτεινόμενο σχέδιο δράσης πχ ένας αεραγωγός, μία εγκατάσταση θερμικών ηλιακών συστημάτων, μία αντλία θερμότητας κλπ, δεδομένου ότι η χρήση μετροταινίας δεν είναι πάντα εύκολη.

### 11.9.4 Μετρήσεις κραδασμών

Οι κραδασμοί είναι ένα φαινόμενο που συναντάται κυρίως σε κινητήρες ή MEK μεγάλης ισχύος. Η επίδρασή τους στις ηλεκτρογεννήτριες ή στους μεγάλους ηλεκτροκινητήρες γίνεται με την εμφάνιση αρμονικών ρευμάτων μηχανικής προέλευσης. Ιδιαίτερα σε MEK που αφορούν μεγάλες γεννήτριες ηλεκτροπαραγωγής ή κύριες μηχανές σε πλοία, οι κραδασμοί αποτελούν αιτία για απώλειες και δυσλειτουργίες στην κίνηση και είναι δυνατό να δημιουργήσουν φαινόμενα συντονισμού μέχρι και την συντριβή του άξονα. Υπάρχουν δε για την μέτρησή τους:

- 1) Ασύρματα καταγραφικά μινιατούρες με τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα (που προσμετρούν  $g_x, g_y, g_z$  σε g-επιτάχυνση βαρύτητας) για τοποθέτηση απευθείας σε πάνω σε περιστρεφόμενο άξονα, ή/και σε έδρανο ρουλεμάν, με δυνατότητα εκ των υστέρων ανάλυσης των δεδομένων.
- 2) Φορητοί μετρητές μόνο με απλή LCD ένδειξη  $g_x, g_y, g_z$  για χρήση με απλή επαφή, με δυνατότητα άμεσης εκτίμησης του μεγέθους των κραδασμών.
- 3) Φορητοί μετρητές με γραφική απεικόνιση της απόκλισης  $\chi, \psi, z$ , για χρήση με επαφή μέσω κατάλληλου προσαρμογέα του αισθητηρίου τριαξονικού επιταχυνσιόμετρου, το οποίο φέρει μαγνήτη, και με δυνατότητα χρωματικής διαβάθμισης της τυχόν ρύθμισης που οφείλεται στην αζυγοσταθμία. Συνήθως διαθέτουν laser μέτρησης στροφών της φτερωτής του κινητήρα.

- 4) Αναλυτές κραδασμών με όλα τα ανωτέρω και ανάλυση FFT, που απομονώνει την κάθε ανεξάρτητη πηγή κραδασμών (ρουλεμάν, φτερωτή, μίαντας, εκκεντρότητες, αζυγοσταθμίες, κλπ) από την συχνότητα που εκπέμπει, και τεκμηριώνει την επαλληλία που συνθέτει το σύνολο των ταλαντώσεων. Οι συγκεκριμένοι αναλυτές διαθέτουν και σύστημα laser για την ευθυγράμμιση αξόνων σε έναν ενδιάμεσο μεταδότη κίνησης. Διαθέτουν επίσης laser μέτρησης στροφών της φτερωτής του κινητήρα και επιπλέον κανάλια για τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα.

Τα πρότυπα που αφορούν ιδιαίτερα τις μετρήσεις κραδασμών είναι τα ISO7919, ISO13373, ISO10816, ISO18436, καθώς και το πρόσφατο ISO29821 για χρήση με τη διαγνωστική μέθοδο των υπερήχων.

#### **11.9.5 Μετρήσεις ευστάθειας και αζυγοσταθμίας**

Για την ευθυγράμμιση μιάτων, ή δίσκων που μεταδίδουν κίνηση, ή ακόμα και την ευθυγράμμιση εδράνων, χρησιμοποιείται ειδικό όργανο laser με δυνατότητα εκπομπής δέσμης laser, το οποίο φέρει προσαρμοσμένο αλφάδι. Μία αζυγοσταθμία είναι δυνατό να επιφέρει αντίσταση στην μετάδοση της κίνησης και άρα ενεργειακές απώλειες που είναι ανάλογες με την ισχύ του κινητήρα. Αντίστοιχα υπάρχουν και αναλυτές ζυγοστάθμισης με laser για την ευθυγράμμιση αξόνων σε έναν ενδιάμεσο μεταδότη κίνησης, οι οποίοι έχουν την επιπλέον δυνατότητα της ανάλυσης κραδασμών.

#### **11.9.6 Μετρήσεις στροφών**

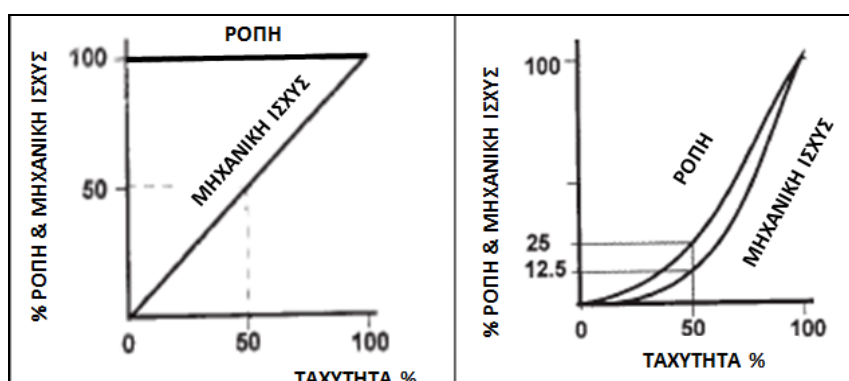
Οι συγκεκριμένες μετρήσεις γίνονται είτε με φορητό στροβοσκόπιο (η αρχή λειτουργίας του οποίου βασίζεται στην ανάκλαση ενός φωτεινού σήματος που μεταδίδεται με flashing), είτε με την μέτρηση που λαμβάνεται από έναν αισθητήρα προσέγγισης ή έναν φωτοηλεκτρικό αισθητήρα σε ένα καταγραφικό σύστημα (φορητό ή σταθερό), είτε ακόμα και με την μετάδοση της κίνησης μέσω ενός δίσκου, που τοποθετείται σε επαφή με την ταινία μεταφοράς. Οι μετρήσεις στροφών σε μεγάλους κινητήρες ή άξονες MEK είναι εξαιρετικά κρίσιμες, ιδιαίτερα όταν υπάρχει ρυθμιστής στροφών, ή αυτόματο σύστημα ρύθμισης της κίνησης μίας ηλεκτρογεννήτριας παραγωγής ρεύματος ή της πλοήγησης ενός πλοίου. Επίσης είναι σημαντικό να ελέγχονται σε τακτά χρονικά διαστήματα οι στροφές σε σχέση με την ροπή και την απόδοση του κινητήρα ή της MEK, επειδή πολλές φορές προκύπτουν προβλήματα απωλειών και σχεδόν ποτέ οι στροφές δεν είναι κάτι το δεδομένο (σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του κατασκευαστή).

#### **11.9.7 Μετρήσεις ροπής**

Η μέτρηση της ροπής σε έναν άξονα είναι ένα σύνθετη και συνήθως ακριβή. Πέραν από τις στροφές του άξονα, χρειάζεται να γνωρίζουμε την ροπή αδρανείας του άξονα με όλα τα παρελκόμενά του, καθώς και γωνιακή επιτάχυνση του άξονα. Η μέτρηση της ροπής συνηθίζεται σε μεγάλες MEK που αφορούν είτε ηλεκτροπαραγωγή είτε μεταφορικό έργο, δεδομένου ότι η ροπή είναι ανάλογη της μηχανικής ισχύος της μηχανής. Στο παρακάτω σχήμα 11.6.2 μπορούμε να διακρίνουμε την σχέση μεταξύ της του ποσοστού της ταχύτητας (στροφές δρομέα σε ποσοστό % στον οριζόντιο άξονα) ενός κινητήρα με ρυθμιζόμενες στροφές (με χαρακτηριστικά χαμηλών ροπών σε χαμηλές ροπές) και του ποσοστού (%) της

μηχανικής ισχύος και ροπής αντίστοιχα στον κάθετο άξονα. Τέτοιες εφαρμογές είναι οι αντλίες και οι ανεμιστήρες (πχ είναι γνωστό ότι στους ανεμιστήρες ο λόγος της μηχανικής ισχύος ισούται με το λόγο των κύβων των αντίστοιχων στροφών).

Αντίθετα σε τόνους, φρέζες, δράπανα ή ταινίες μεταφοράς η συμπεριφορά της ροπής και της μηχανικής ισχύος (κάθετος άξονας) σε σχέση με τις στροφές (οριζόντιος άξονας) παριστάνεται στο σχήμα 11.6.1 , όπου η ροπή παραμένει σταθερή σε σχέση με τις στροφές και η μηχανικής ισχύς αυξάνεται γραμμικά με συντελεστή 1 ( $P_{μηχ}\% = \Sigma\sigmaφές\%$ ). Ακόμη όμως και με τοποθέτηση ρυθμιστών στροφών σε ταινίες μεταφοράς θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας στην καμπύλη ρύθμισης των στροφών τους, ότι επιβάλλεται τουλάχιστον μία 30% πρόσθετη αρχική ώθηση για να λειτουργήσει η ταινία ομαλά (λόγω της κατασκευαστικής τάσης της που εκφράζεται στο σχήμα 11.6.2)



Σχήμα 11.6.1

Σχήμα 11.6.2

### 11.9.8 Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας

Σε κάθε χρήση του το αισθητήριο που αφορά την ηλιακή ακτινοβολία το αποκαλούμε και πυρανόμετρο. Οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας γίνονται είτε από κοινά αισθητήρια που προσμετρούν την ολική ηλιακή ακτινοβολία σε  $W/m^2$  και ανήκουν σε συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής (BMS), είτε από φορητά όργανα μέτρησης της απόδοσης φωτοβολταϊκών συστοιχιών (μετρώντας την χαρακτηριστική καμπύλη V-I), είτε από εξειδικευμένους μετεωρολογικούς σταθμούς. Η μέτρησή της χρειάζεται για την αξιολόγηση της απόδοσης συστημάτων ΑΠΕ, ή/και την ρύθμιση ορισμένων παραμέτρων σε συστήματα BEMS, που λαμβάνουν υπόψη την συγκεκριμένη παράμετρο (πχ έλεγχο του καυστήρα ενός λέβητα, ή την ρύθμιση αυτόματων εξωτερικών περσίδων ή σκιάστρων κλπ). Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας πρέπει να συσχετίζεται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα φωτοβολταϊκά ή της θερμικής ενέργειας στα θερμικά ηλιακά, ώστε να εκτιμάται η απόδοση των συστημάτων.

### 11.9.9 Μετρήσεις ποιότητας αέρα

Οι βασικές μετρήσεις για τη αξιολόγηση της άνεσης που προσφέρουν συστήματα HVAC μέσα στα κτήρια είναι: Θερμοκρασία( $^{\circ}C$ ), Σχετική υγρασία (%),  $CO_2$  (ppm),  $CO$  (ppm), διαφορική πίεση σε αεραγωγούς (Pa), φρέσκος αέρας (%), Παροχή αέρα στα στόμια ( $m^3/h$ ). Από εκεί και πέρα άλλες μετρήσεις πιο εξειδικευμένες μετρήσεις είναι, ταχύτητα

ανακύκλωσης αέρα (m/s), Επίπεδα σκόνης ( $\mu\text{m}$ ), Συγκέντρωση πτητικών οργανικών ουσιών VOC ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), οξειδία του αζώτου  $\text{NO}_x$  (ppm) κλπ. Οι μετρήσεις ποιότητας αέρα είναι ουσιαστικά λειτουργικές και θεωρούνται δεδομένες για την ομαλή λειτουργία των συστημάτων HVAC. Αν για παράδειγμα, δεν έχουμε πετύχει θερμική άνεση, δεν μπορούμε να πούμε, ότι έχουμε εξοικονομήσει ενέργεια.

#### 11.9.10 Συνδυασμός μετρήσεων

Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται στην συντήρηση μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τον τύπο τους, την χρήση που εξυπηρετούν ή τις παραμέτρους που είναι κρίσιμες για την ορθή λειτουργία τους. Μία ταξινόμηση των οργάνων σε αυτές τις κατηγορίες παρουσιάζεται ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα 11.1, ακολουθούμενη από περιγραφές του κάθε οργάνου ανά σύστημα:

*Πίνακας 11.1 : Ενδεικτικά όργανα μέτρησης ανά Σύστημα και Συνδυασμός Μετρούμενων Παραμέτρων*

Σύστημα	Όργανο	Φορητό	Μόνιμα Εγκατεστημένο	Μετρούμενη Παράμετρος
Κέλυφος Κτηρίου	Υπέρυθρη Φωτογραφία* <sup>1</sup>	×		Απώλειες Θερμότητας ή Ηλεκτρικές Αστοχίες
	Καταγραφικά θερμοκρασίας - υγρασίας	×	×	Εκτίμηση της συνολικής θερμικής αντίστασης του κτηρίου
Λέβητες	Αναλυτής καυσαερίων	×	×* <sup>2</sup>	$\text{O}_2$ , $\text{CO}$ , $T_{\text{stack}}$ , $T_{\text{air}}$ , Ελκυσμός (psi or mm), $\Delta P$
	Ωρομετρητές ή μετρήσεις μέσω BMS	×	×	Κατάσταση on/off του καυστήρα στο χρόνο
	Θερμοκάμερα	×		Απώλειες μόνωσης
Παγίδες ατμού	Θερμόμετρο ή Θερμοκάμερα	×		Θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου-εξόδου, απώλειες μόνωσης, θερμ. μέσα στην ατμοπαγίδα
	Στηθοσκόπιο αναλυτή υπερήχων	×		Άνοιγμα-κλείσιμο & διαρροές
Ζεστό νερό	Θερμόμετρο	×	×	Θερμοκρασία
	Μανόμετρα		×	Πίεση νερού
	Ωρομέτρηση & κατάσταση λειτουργίας κυκλοφορητών & τριόδων (και μέσω BMS)	×	×	Status στο χρόνο
	Θερμιδόμετρο		x	(lit/sec, $\Delta T$ ) kcal

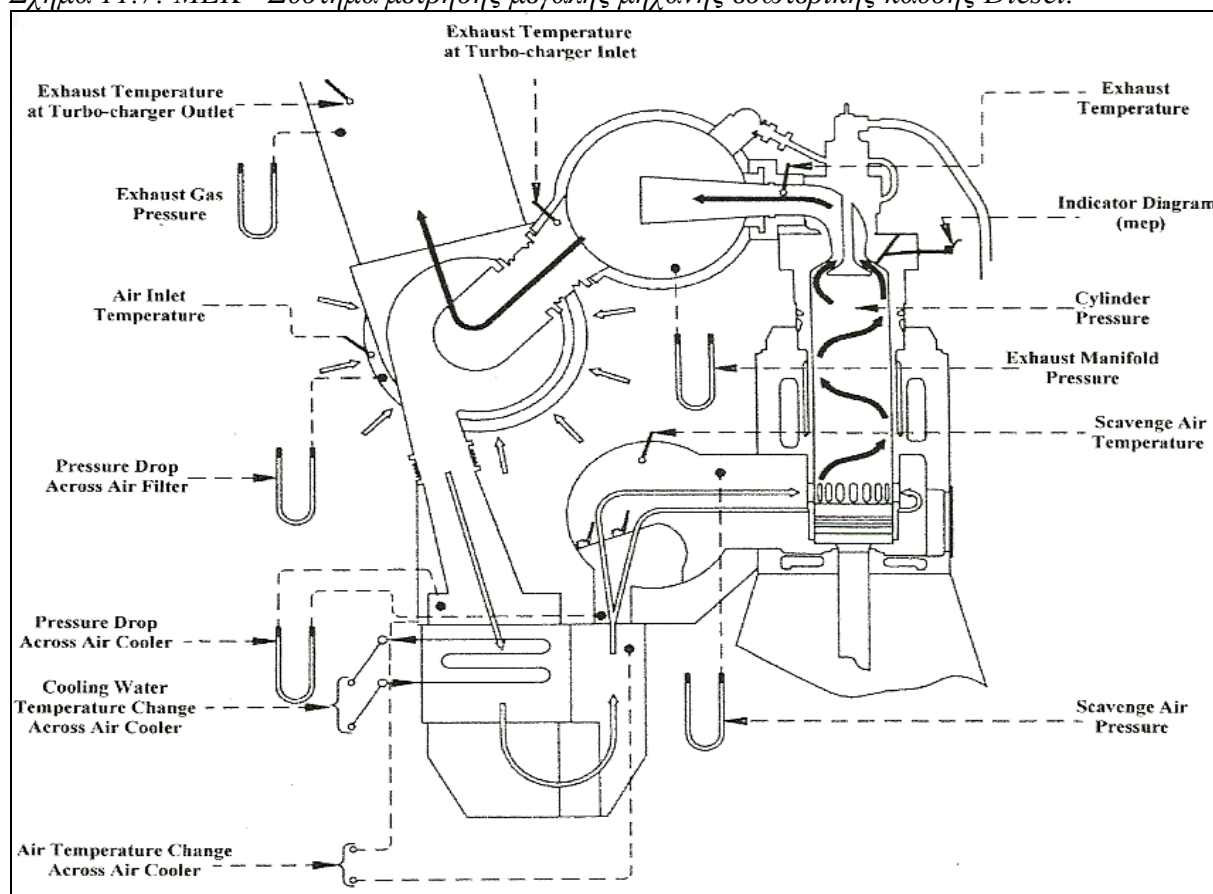
Θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός	Θερμοανεμόμετρο	×		Ταχύτητα ροής αέρα & θερμοκρασία στομίων
	Σωλήνας “Pitot”	×		Ταχύτητα ροής αέρα
	Κεκλιμένο Μανόμετρο σωλήνα		×	Διαφορά πίεσης μεταξύ δύο σημείων
	Σωλήνας “Bourdon”	×	×	Πίεση
	Θερμόμετρο τσέπης	×		Θερμοκρασία δωματίων, σωλήνων, εξωτερικού περιβάλλοντος
	Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας	×	×	Profile ηλεκτρικής ισχύος & συντελεστής ισχύος
	Θερμοκάμερα	×		Απώλειες μόνωσης
	Θερμόμετρα αεραγωγών με προέκταση		×	Θερμοκρασία αέρα
	Θερμόμετρα PT100 ή PT1000 για χρήση σε BMS		×	Θερμοκρασία νερού ή freon ή αεροσυμπιεστή
	Μανόμετρα		×	Πίεση νερού
	Παροχόμετρα	×	×	Ροή νερού
	Ωρομέτρηση & κατάσταση λειτουργίας καυστήρα, κυκλοφορητών & τριόδων (και μέσω BMS)	×	×	Κατάσταση on/off στο χρόνο
	Υγρασιόμετρο	×	×	Υγρασία
Φωτισμός	Βιομηχανικός μετρητής φωτός	×		Lux
Ηλεκτρικά	Αμπερόμετρο καταγραφής		×	Χρήση ηλεκτρισμού, αιχμές
	Πολύμετρο “clip-on” με ανιχνευτές	×		Τάση, ρεύμα, αντίσταση
	Βαττόμετρο καταγραφικό		×	Ηλεκτρική ισχύς
	Μετρητής συντελεστού ισχύος	×	×	Συντελεστής Ισχύος
	Αναλυτής ηλεκτρικής ενέργειας	×		Όλα τα ανωτέρω και επιπλέον Αρμονικές Τάσης και έντασης, Flickering, Ασυμμετρίες, Κρουστικές Υπερτάσεις, Βυθίσεις & απλές

				Υπερτάσεις
Αεροσυμπιεστές	Μανόμετρα		×	Πίεση αέρα
	Στηθοσκόπιο & Ανιχνευτή Αερομεταφερόμενων θορύβων αναλυτή υπερήχων	×		Φθορά σε κινητήρες & ρουλεμάν. Απώλειες δικτύου (dB)
	Πολύμετρα & Αναλυτές Ηλεκτρικής Ενέργειας	x	x	Ισορροπία τάσης τριφασικών κινητήρων, προφίλ ισχύος, cosφ και λοιπά ηλεκτρικά
	Αναλυτής Κραδασμών-Επιταχυνσιόμετρο	×		Κραδασμοί κινητήρα
	Στροβοσκόπιο	×		Στροφές κινητήρα
	Υπέρυθρο φιλμ και κάμερα	×		Φθορά ρουλεμάν, Συμπιεστή, & Αστοχίες ηλεκτρικών συνδέσεων

*\*<sup>1</sup> Στην Αμερική θεωρούνται πολύ σημαντικές οι απώλειες από τα πορτοπαράθυρα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται συστηματικά η μέθοδος της διαγνωστικής απωλειών αέρα από τα πορτοπαράθυρα. Εφαρμόζοντας με ανεμιστήρα στην κεντρική θύρα του κτηρίου εξαναγκασμένη ροή προς έξω, μετράμε με κατάλληλο αναλυτή ταυτόχρονα την πίεση και τον ρυθμό ανακυκλοφορίας (παροχής) του αέρα ανά λεπτό με κλειστά τα υπόλοιπα πορτοπαράθυρα. Αντίστοιχο Ευρωπαϊκό πρότυπο είναι το EN12207.*

*\*<sup>2</sup> Σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων περισσότερων λεβήτων, ατμογεννητριών ή ατμολεβήτων στο ίδιο σύστημα επιβάλλεται η συνεχής παρακολούθηση και καταγραφή των παραμέτρων της καύσης με μόνιμα καταγραφικά συστήματα.*

Σχήμα 11.7: MEK - Σύστημα μέτρησης μεγάλης μηχανής εσωτερικής καύσης Diesel.



Τα μετρούμενα μεγέθη που φαίνονται στο σχήμα 11.7 αφορούν τα παρακάτω μεγέθη:

- Θερμοκρασία αέρα στην είσοδο του συμπιεστή – Air Inlet Temperature
- Πτώση θερμοκρασίας αέρα στο ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης – Air Temperature Change Across Air Cooler
- Μεταβολή θερμοκρασίας νερού ψύξης στο ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης – Cooling Water Temperature Change Across Air Cooler
- Θερμοκρασία αέρα σάρωσης – Scavenge Air Temperature
- Θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον κύλινδρο – Exhaust Temperature
- Θερμοκρασία καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου - Exhaust Temperature at Turbo-charger Inlet
- Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου - Exhaust Temperature at Turbo-charger Outlet
- Πτώση πίεσης στο φίλτρο εισόδου στο συμπιεστή – Pressure Drop Across Air Filter
- Πτώση πίεσης αέρα στο ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης – Pressure Drop Across Air Cooler
- Πίεση αέρα σάρωσης – Scavenge Air Pressure
- Πίεση καυσαερίων στο δοχείο σταθερής πίεσης πριν το στρόβιλο – Exhaust Manifold Pressure
- Πίεση εξόδου καυσαερίων από το στρόβιλο – Exhaust Gas Pressure

Στο συγκεκριμένο σχήμα αναδεικνύεται η σπουδαιότητα των συνδυασμένων μετρήσεων και καταγραφών που επιβάλλεται να γίνονται σε MEK, είτε αφορούν την ηλεκτροπαραγωγή, είτε τα πλοία. Και στις δύο περιπτώσεις όλα τα αναγραφόμενα μεγέθη επηρεάζουν την απόδοση της μηχανής, και ως εκ τούτου είναι πολύ σημαντικό να τηρείται αρχείο δεδομένων (ενδεικτικά μέσα σε ένα πλοίο αυτό βρίσκεται διαθέσιμο στο engine log book), ώστε να αξιολογείται η απόδοσή τους στο φάσμα του χρόνου. Ακολούθως παρατίθενται επιπλέον σημαντικά μεγέθη που συνηθίζεται να καταγράφονται σε πλοία:

- Πίεση Θερμοκρασία και υγρασία αέρα περιβάλλοντος
- Ταχύτητα και φορά ανέμων

- Ύψος και φορά κυματισμού
- Δείκτης Κυβερνησιμότητας (: ο λόγος της ισχύος σε κατάσταση off/την ισχύ εισόδου του άξονα της κύριας μηχανής)
- Μέση Ενδεικνυόμενη Πίεση κυλίνδρου
- Max πίεση καύσης στον κύλινδρο
- Πίεση συμπίεσης αέρα στον κύλινδρο
- Συγχρονισμός κυλίνδρων
- Ταχύτητα της μηχανής εν κινήσει
- Στροφές του άξονα
- Ροπή του άξονα
- Ταχύτητα του πλοίου

## 11.10 Μετρήσεις ΑΠΕ

### 11.10.1 Μετρήσεις Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων

Οι διακριβωμένοι φορητοί εξοπλισμοί και ολοκληρωμένα συστήματα BMS με διακριβωμένα αισθητήρια και αναλυτές ενέργειας (MID) δεν μπορούν να υποκατασταθούν από web-interfaces, που απλώς διαβάζουν μέσα από ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας τις πληροφορίες ενός φωτοβολταϊκού Φ/Β αντιστροφέα, ακριβώς γιατί οι αντιστροφείς δεν είναι διακριβωμένοι να εκτελούν τέτοιες μετρήσεις.

Ένα μεγάλο στοίχημα από τις πρώτες κιόλας εγκαταστάσεις Φ/Β πάρκων ήταν η τηλε-παρακολούθηση της παραγωγής, η τηλε-επιτήρηση τυχόν βλαβών και η δυσλειτουργία των επιμέρους συστημάτων, δεδομένου ότι ένα πάρκο είναι εκτεθειμένο στα απρόβλεπτα καιρικά φαινόμενα ή ακόμα και σε κακόβουλους βανδαλισμούς. Σοβαροί επενδυτές με εγκαταστάσεις άνω των 300kW έχουν συμβόλαια συνεχούς παρακολούθησης με μεγάλα κέντρα λήψεων ενεργειακών σημάτων. Ωστόσο ο επιτόπιος γενικός ενεργειακός έλεγχος κάθε 3 έτη με φορητά όργανα μέτρησης είναι αναντικατάστατος.

Ένας πρώτος οδηγός για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις έγινε από το ΚΑΠΕ, και αποτελεί μέχρι σήμερα μία πρώτη προσέγγιση ([http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos\\_pv\\_systimaton.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf)) σε ότι αφορά τα πρότυπα και τις μετρήσεις που απαιτούνται για την λειτουργική παραλαβή ενός Φ/Β συστήματος. Ένας πλήρης ενεργειακός έλεγχος σε μία εγκατάσταση πεδίου ή κτηρίου γίνεται με βασικό κορμό το πρότυπο EN62446, εμπλουτισμένος με μετρήσεις απόδοσης και ποιότητας ρεύματος, και ενδεικτικά περιλαμβάνει:

- 1) **Έλεγχος της μελέτης ή του φακέλου** λειτουργικής παραλαβής της εγκατάστασης στο γραφείο, όπου αναγνωρίζονται τα χαρακτηριστικά της υποδομής και καταστρώνεται το πλάνο μετρήσεων πεδίου.
- 2) **Οπτικό έλεγχο πεδίου** : Είναι ίσως ο πιο σημαντικός, αφού ανθρώπινη οπτική μπορεί να αντιληφθεί τις απόκλισης της κατασκευής από την μελέτη, τις κατασκευαστικές αστοχίες, τις αστοχίες από φθορά ή σημειακές σκιάσεις, και σε ποια τυχόν σημεία θα πρέπει να εστιαστούν οι μετρήσεις.
- 3) **Μηχανικούς ελέγχους** : Περιλαμβάνουν δειγματοληπτικές μετρήσεις συσφίξεων (σε Nm) και αποκλίσεων από τις κατασκευαστικές στάθμες, καθιζήσεις υποστυλωμάτων,

μετατοπίσεις δοκίδων, ή άλλες τυχόν στατικές παραμορφώσεις μεταλλικών μερών και θεμελίων. Στους ελέγχους αυτούς εφόσον γίνονται την ώρα της κατασκευής περιλαμβάνονται επίσης οι έλεγχοι pullout με δυναμόμετρο, όπου δοκιμάζονται δειγματοληπτικά πάσσαλοι με δύναμη εξαγωγής από το έδαφος.

- 4) **Θερμογραφικό έλεγχο** : Έλεγχος θερμικών αστοχιών hot-spot με υπέρυθρη κάμερα στα Φ/Β πάνελ στους ηλεκτρικούς πίνακες και στα ηλεκτρονικά της εγκατάστασης
- 5) **Ηλεκτρικούς ελέγχους** : Είναι οι έλεγχοι γειώσεων, αντίστασης μόνωσης, ρεύματος βραχυκυκλώσεως διακοπτικών μέσων, έλεγχος απόκρισης ρελέ διαφυγής έντασης, έλεγχος αντικεραυνικής προστασίας, έλεγχος χρόνου επαναφοράς του αντιστροφέα για αποφυγή φαινομένου νησιδοποίησης, έλεγχος επιμέρους και συνολικών διαρροών της εγκατάστασης και όλοι οι σχετικοί έλεγχοι που αναφέρονται στα πρότυπα IEC 60364-4,5,6 & 7, & HD384.

Στους ελέγχους αυτούς περιλαμβάνονται και οι έλεγχοι απόδοσης όπως :

- **Έλεγχος καμπύλης IV&P** : για κάθε ανεξάρτητη συστοιχία Φ/Β πάνελ - με ειδικό αναλυτή καμπύλης IV&P για την εκτίμηση της απόδοσης της κάθε συστοιχίας.
  - **Καταγραφή τάσης και έντασης DC** : καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας - με καταγραφικό τάσης και έντασης DC.
  - **Έλεγχος κατά EN50160** καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας για την ποιότητα της τάσης εμπλουτισμένος με μετρήσεις και για την ένταση και την ισχύ AC (Παραμορφώσεις της τάσης και της έντασης AC, αρμονικές τάσης & έντασης AC, έκχυση αρμονικών ρεύματος DC (<0,5%), συντελεστής ισχύος (> 0,85), Ασυμμετρίες, Συχνότητα, κλπ) – με αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας.
  - **Διακύμανση του συνολικού Βαθμού απόδοσης των Φ/Β πάνελ :**  
{ηλιακή ακτινοβολία W/m<sup>2</sup>} \* {συνολική επιφάνεια του πάρκου} / {την τελικά παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ DC} - Με συνδυασμό δεδομένων από πυρανόμετρο και καταγραφικό τάσης και έντασης DC.
  - **Διακύμανση του συνολικού Βαθμού απόδοσης του αντιστροφέα :**  
{ την τελικά παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ AC} / {τελικά παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ DC} - Με συνδυασμό δεδομένων αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας AC και καταγραφικό τάσης και έντασης DC, είτε απευθείας με σύγχρονους αναλυτές απόδοσης αντιστροφών.
  - **Διακύμανση του συνολικού Βαθμού απόδοσης Φ/Β εγκατάστασης :**  
{ηλιακή ακτινοβολία W/m<sup>2</sup>} \* {την συνολική επιφάνεια του πάρκου} / {την τελικά παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ AC} - Με συνδυασμό δεδομένων από πυρανόμετρο και αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας AC.
  - **Ποσοστό απόκλισης δεδομένων μέτρησης** με τα φορητά διακριβωμένα όργανα σε σχέση με τις μετρήσεις του INVERTER ή άλλων καταγραφικών.
- 6) **Σύνοψη - αναφορά** που θα περιλαμβάνει όλα τα συμπεράσματα από τις ανωτέρω μετρήσεις, με προτάσεις για βελτίωση, ή αντικατάσταση, ή διόρθωση, ή συντήρηση, και θα αναλύει την απόκλιση από τον στόχο που είχε θέσει η μελέτη αντιπαραβάλλοντας σε γραφικές παραστάσεις :

- Τα υπόλοιπα μεταξύ της Μετρούμενης και της Αναμενόμενης παραγωγής με βάση την μελέτη
- Το ποσοστό απόκλισης της Μετρούμενης παραγωγής από την Αναμενόμενη παραγωγή
- Συντελεστή ενεργειακής επίδοσης ΣΕΕ (Μετρούμενη παραγωγή προς την Αναμενόμενη)
- Βαθμολογία του πάρκου για κάθε επιμέρους παράγοντα που επηρεάζει την απόδοσή του.

Από όλα τα ανωτέρω γίνεται αντιληπτό ότι ο συνολικός βαθμός ευστάθειας ενός Φ/Β συστήματος εξαρτάται από πολλούς επιμέρους παράγοντες, οι οποίοι φθείρονται με τον καιρό είτε από το περιβάλλον, είτε από αστοχίες υλικών, είτε από αρχικές κατασκευαστικές αστοχίες. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται σε παραγωγούς που σέβονται την επένδυσή τους πρώτα απ' όλα, να καταφεύγουν σε ολιστικούς ελέγχους κάθε 3 έτη, ή σε συχνότερους επιμέρους τακτικούς ελέγχους.

Νεότερες μη καταστροφικές μέθοδοι διαγνωστικής αστοχιών σε Φ/Β πάνελ πέραν της κλασσικής υπέρυθρης θερμογραφίας είναι (κατά αύξουσα σειρά του συντελεστή κόστους/οφέλους):

- η Ηλεκτροφωταύγεια (μέτρηση με υπέρυθρη θερμοκάμερα σε πάνελ που τους έχει εφαρμοστεί εξωτερική ηλεκτρεγερτική δύναμη) - EL (Electroluminescence)
- η Διαγνωστική υπερήχων με χρήση αναλυτών υπερήχων για τον εντοπισμό τόξων ή αλλοίωσης της μόνωσης καλωδίων - Airborne
- η Διαγνωστική υπερήχων με χρήση τεχνικών ενδιάμεσης μετάδοσης ή χαμηλής ακουστικής συχνότητας για τον εντοπισμό αστοχιών συναρμογής μεταξύ των υλικών - UT (Ultrasound)
- η Ραδιογραφία με τη χρήση ακτινών x για δισδιάστατες λήψεις – Παρόμοιες με τις νοσοκομειακές εφαρμογές : x-ray
- η ακόμα και Αξονική τομογραφία με αναλυτική χρήση ακτινών x – CATScan ή CT (Computed Tomography)

#### 11.10.2 Μετρήσεις θερμικών ηλιακών συστημάτων

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν την σημαντικότερη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας στο Ελλαδικό χώρο. Κυρίαρχη χρήση των θερμικών ηλιακών στην Ελλάδα είναι η παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης ΖΝΧ και δευτερευόντως για θέρμανση χώρων, ενώ η τεχνολογία ηλιακής ψύξης χώρων απαριθμεί ελάχιστες εφαρμογές. Πρότυπα που περιγράφουν τις απαιτήσεις των κατασκευαστών αλλά και των τελικών συστημάτων είναι τα EN12975, EN12976, και EN12977, ενώ αναφορικά με την συνολική ενεργειακή τους απόδοση οι τρόποι υπολογισμού αναλύονται στο EN15316-4-3. Επειδή τα θερμικά ηλιακά συστήματα συνήθως εγκαθίστανται σε συνεργασία με άλλα συστήματα (υβριδικές εφαρμογές – εξαιτίας του ότι συνήθως δεν εξασφαλίζουν την κάλυψη του 100% του ζητούμενο φορτίου), υπάρχει αντίστοιχα και μια τεράστια ποικιλία και πολυπλοκότητα στους υπολογισμούς της απόδοσής τους. Για παράδειγμα εκτός από την ηλιακή ακτινοβολία που δύναται να μετράται καθ' όλη την διάρκεια του έτους, οι υπόλοιποι συντελεστές, όπως συντελεστής θερμικής απολαβής συλλέκτη, συντελεστής θερμικών απωλειών συλλέκτη, και

συντελεστής διαπερατότητας & απορροφητικότητας συλλέκτη, είναι διαφορετικοί από κατηγορία σε κατηγορία πάνελ, από κατασκευαστή σε κατασκευαστή και από χώρα σε χώρα. Ενδεικτικά σύμφωνα με το πρότυπο EN12975, ο συντελεστής απόδοσης των θερμικών ηλιακών έπειτα από προσομοιώσεις και παλινδρομήσεις δίδεται από την σχέση :

$$n = n_0 - a_1 \cdot (T_m - T_a) / G - a_2 \cdot (T_m - T_a)^2 / G, \text{ όπου}$$

$n_0$  : μηδενικού βαθμού συντελεστής θερμικών απωλειών

$a_1$  : ο πρώτου βαθμού συντελεστής θερμικών απωλειών

$a_2$ : ο δευτέρου βαθμού συντελεστής θερμικών απωλειών, ο οποίος για την Ελλάδα τείνει στο μηδέν

$T_a$ : θερμοκρασία περιβάλλοντος

$T_m$ : μέση θερμοκρασία συλλέκτη

$G$ : ηλιακή ακτινοβολία σε  $W/m^2$

Συνακόλουθα η Ωφέλιμη Θερμική Ισχύς :  $P = A \cdot (n_0 \cdot G - a_1 \cdot (T_m - T_a))$  , όπου

$A_c$  : επιφάνεια συλλέκτη ( $m^2$ )

$n_0 = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$ : μηδενικού βαθμού συντελεστής θερμικών απωλειών - δίδεται ύστερα από μετρήσεις σε διακριβωμένα εργαστήρια από τους κατασκευαστές

$F_R$  : συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

$\tau$  : διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος του συλλέκτη στην ηλιακή ακτινοβολία

$\alpha$ : απορροφητικότητα του απορροφητήρα στην ηλιακή ακτινοβολία

$a_1 = F_R \cdot UL$ : ο πρώτου βαθμού συντελεστής θερμικών απωλειών - δίδεται ύστερα από μετρήσεις σε διακριβωμένα εργαστήρια από τους κατασκευαστές

$F_R$  : συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

$UL$  : συνολικός ισοδύναμος συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη ( $W/m^2/^\circ C$ )

και ανάλογα με την συνδεσμολογία του κάθε κυκλώματος (υβριδική εφαρμογή) οι τύποι αυτοί με βάση το EN15316-4-3 μεταβάλλονται πολύ διαφορετικά από σύστημα σε σύστημα.

Με βάση λοιπόν τα ανωτέρω και την μέθοδο καμπυλών  $f$  για παραγωγή ZNX που δίδεται αναλυτικά στην TOTEE με θεματική ενότητα ΔΕ4 «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ» στα θερμικά ηλιακά συστήματα οι κυρίαρχες μετρήσεις επιγραμματικά είναι:

- οι μετρήσεις θερμοκρασίας (στα δίκτυα σωληνώσεων, στα θερμικά ηλιακά πάνελ, στους εναλλάκτες θερμότητας και στις δεξαμενές αποθήκευσης),
- οι μετρήσεις παροχής νερού (σε επιλεγμένες διατομές του δικτύου σωληνώσεων),
- οι μετρήσεις της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας ( $kWh/(m^2 \cdot day)$  ή  $W/m^2$  - πυρανόμετρο) ,

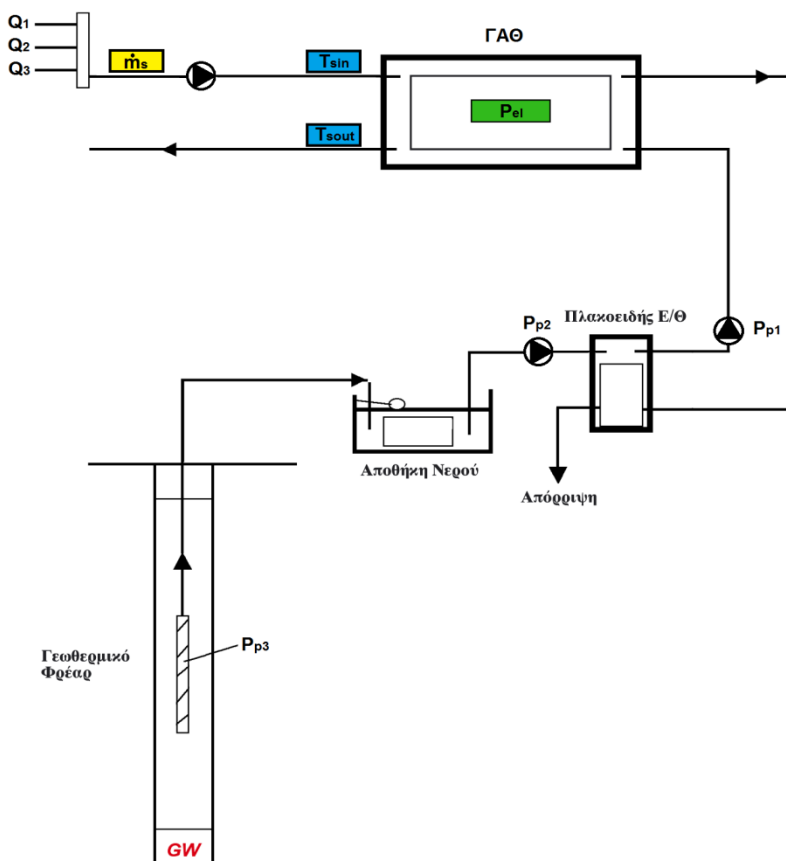
- οι ωρομετρήσεις των καταστάσεων ενεργητικών στοιχείων (κυκλοφορητές, τριόδες βάνες, ηλεκτρικές αντιστάσεις, κλπ) και
- σε υβριδικές περιπτώσεις που είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση, όπου το σύστημα ενισχύεται και από άλλα συστήματα ανάκτησης θερμότητας ή υδρόψυκτα chiller για παραγωγή ZNX, ή ηλεκτρικές αντιστάσεις, ή ακόμα και αντλίες θερμότητας (κοινές υψηλής απόδοσης, γεωθερμικές ή απορρόφησης), επιβάλλεται και η μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος, καθώς και η αντίστοιχη μέτρηση της ροής, και της θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του κάθε επιμέρους υποσυστήματος που συνεισφέρει στην συγκεκριμένη εγκατάσταση. Σε περίπτωση που το υποσύστημα λειτουργεί με ψυκτικό κύκλο, επιβάλλεται επιπλέον και η παρακολούθηση της διακύμανσης του εποχικού συντελεστή απόδοσης θερμού SCOP και ψυχρού SEER νερού αντίστοιχα.

Τέλος επισημαίνεται, πως σε μεγάλα συστήματα θερμικών ηλιακών για βιομηχανικές ή άλλες κτηριακές εφαρμογές η χρήση αυτοματισμών με controllers ή PLCs είναι αναπόφευκτη, επειδή οι μεταβλητές που πρέπει να διαχειρίζεται το κάθε σύστημα είναι πολλές, με σύνθετες λογικές πράξεις. Ως εκ τούτου στα συστήματα αυτά συνήθίζεται να γίνεται καταγραφή των δεδομένων σε αρχεία txt ή csv, με αποτέλεσμα ο ενεργειακός ελεγκτής να μπορεί με ταυτόχρονη γραφική απεικόνιση της διακύμανσης των μεταβλητών αυτών να συνθέσει τα συμπεράσματά του για τυχόν απώλειες ή αναζήτηση δυναμικού ΕΞΕ μέσα από ρυθμίσεις ή έργα ΕΞΕ.

### 11.10.3 Μετρήσεις Γεωθερμικών συστημάτων

Η συνδεσμολογία στα γεωθερμικά συστήματα συγκαταλέγει συνήθως τέσσερα κύρια μέρη:

- Γεωθερμικό Φρέαρ
- Αποθήκη Νερού
- Εναλλάκτης Θερμότητας (Ε/Θ)



- Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (ΓΑΘ)

Τα μέρη συνδέονται μεταξύ τους μέσω σωληνώσεων όπως φαίνεται και στο Σχήμα 11.8.

*Σχήμα 11.8: Τυπική συνδεσμολογία γεωθερμικού συστήματος*

Η υποβρύχια αντλία του φρέατος (Pp3) τροφοδοτεί με γεωθερμικό ρευστό μία ενδιάμεση δεξαμενή αποθήκευσης. Στη συνέχεια, η αντλία (Pp2) αναρροφά ρευστό από την

ενδιάμεση δεξαμενή και το προωθεί σε έναν πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας (E/Θ). Στον εναλλάκτη συνδέονται το κλειστό κύκλωμα νερού καθώς και το ρεύμα γεωθερμικού ρευστού της ενδιάμεσης δεξαμενής. Η αντλία (Pp1) κυκλοφορεί προς την αντλία θερμότητας (ΓΑΘ), σε κλειστό κύκλωμα, ένα νέο ρευστό (άλμη), μέσω του πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας. Προς την πλευρά του εξατμιστή η ΓΑΘ συνδέεται με ένα δεύτερο κλειστό κύκλωμα νερού που εξυπηρετεί τα θερμικά/ψυκτικά φορτία π.χ. Q1, Q2, Q3 του κτιρίου. Η εγκατάσταση της ΓΑΘ έτσι συμπεριλαμβάνει 4 βρόγχους, 2 κλειστούς και 2 ανοικτούς. Η εξυπηρέτηση των φορτίων γίνεται χρησιμοποιώντας θερμική ενέργεια από το κλειστό κύκλωμα άλμης καθώς και ηλεκτρική ισχύ (Pel) από το δίκτυο.

#### Προετοιμασία, σημεία και εξοπλισμός μετρήσεων

Η προετοιμασία των μετρήσεων στο γεωθερμικό σύστημα βασίζεται στα παρακάτω προαπαιτήσεις:

- επιλογή εύλογης διάρκειας μετρήσεων, προτείνεται τουλάχιστον μια εβδομάδα
- μόνιμη κατάσταση των προφίλ των θερμοκρασιών, πράγμα που εξασφαλίζεται από μια αναμονή εύλογου χρόνου (π.χ. 3 ωρών) για τη σταθεροποίηση των προφίλ, συνήθως η κατάσταση αυτή εντοπίζεται να διαρκεί 2-3 ώρες μετά και ξεκινώντας από την ώρα εμφάνισης της ημερήσιας αιχμής φορτίου.
- μέτρηση σε κατάσταση πλήρους φορτίου των ΓΑΘ, πράγμα που εξασφαλίζεται από την επιλογή της ψυχρότερης/θερμότερης εβδομάδας του έτους (ή, σε ξενοδοχείο, την πολυπληρέστερη εβδομάδα του έτους) και τη θέση σε λειτουργία όλων των φορτίων σχεδιασμού του δικτύου. Σε περίπτωση αδυναμίας επίτευξης του πλήρους φορτίου, αδρανοποιείται ένα ποσοστό συμπίεστων, οπότε η μέτρηση χαρακτηρίζεται ως μερικού φορτίου, γεγονός που θα σκοπεύσει σε συγκριτική αξιολόγηση μέσω προσομοίωσης των αποδόσεων EUROVENT
- απλοποίηση της μέτρησης π.χ. με την ακύρωση της ανάκτησης θερμότητας που ενδέχεται να προσφέρει η μονάδα. Η ανάκτηση θερμότητας (ή άλλες εξυπηρετήσεις) που ενδέχεται να προσφέρει η μονάδα ενεργοποιείται για την υλοποίηση διακριτής μέτρησης της εγκατάστασης, οπότε η μέτρηση χαρακτηρίζεται ανάλογα, απλής θέρμανσης ή/και ανάκτησης κλπ

Τα σημεία μετρήσεων απόδοσης των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.2 , ενώ οι θέσεις τους στο Σχήμα 11.8.

Τα σημεία μετρήσεων που παρουσιάζουν σταθερές τιμές και καταγράφονται μία φορά τη μέρα:

- Ομάδα Α (παροχή μάζας νερού): ms

Οι υπόλοιπες μεταβλητές (ομάδες Β και Γ) καταγράφονται σε συνεχή βάση, δηλ κάθε 0,5 λεπτό:

- Ομάδα Β (θερμοκρασίες): Tsin, Tsout
- Ομάδα Γ (κατανάλωση ισχύος): Pel, Pp1, Pp2, Pp3

Πίνακας 11.2: Σημεία μέτρησης στους 4 βρόγχους της ΓΑΘ

Μεταβλητή	Περιγραφή
ms	Ροή μάζας νερού, πλευρά φορτίων
Tsin	Θερμοκρασία εισόδου στην ΓΑΘ , πλευρά φορτίων
Tsout	Θερμοκρασία εξόδου από ΓΑΘ, πλευρά φορτίων
Pe1	Απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια από την ΓΑΘ
Pp1	Απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια από την 1η βοηθ. αντλία
Pp2	Απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια από την 2η βοηθ. αντλία
Pp3	Απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια από την 3η βοηθ. Αντλία

Η τεχνολογία των αισθητήρων που συνήθως εφαρμόζεται για τη μέτρηση των πιο πάνω παραμέτρων αναλύεται στον Πίνακα 11.3.

Πίνακας 11.3: Τεχνολογία εξοπλισμού για τις μετρήσεις

Ομάδα	Τεχνολογία αισθητήρων	Παρατηρήσεις
Ομάδα Α	Ηλεκτρομαγνητικός μετρητής ροής	Έλεγχοι από το Δρ αντλιών
Ομάδα Β	Αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου Pt100	Μέσω BEMS
Ομάδα Γ	Αθροιστής ενέργειας 3Ph	Μέσω BEMS

Η ενεργειακή αποδοτικότητα της εγκατάστασης εκφράζεται από τις παρακάτω τέσσερις εξισώσεις από τις οποίες οι πρώτες δύο (COP & COPg) αφορούν στη λειτουργία θέρμανσης και οι άλλες δύο (EER & EERg) στη λειτουργία ψύξης (g=gross, i= 1, 2, 3):

$$COP = \frac{ms \cdot Cp \cdot (T_{sin} - T_{sout})}{Pe1}$$

$$EER = \frac{ms \cdot Cp \cdot (T_{sout} - T_{sin})}{Pe1}$$

$$COPg = \frac{ms \cdot Cp \cdot (T_{sin} - T_{sout})}{Pe1 + \sum_i P_{pi}}$$

$$EERg = \frac{ms \cdot Cp \cdot (T_{sout} - T_{sin})}{Pe1 + \sum_i P_{pi}}$$

Οι εξισώσεις του COP και του EER σκοπεύουν στον υπολογισμό των συντελεστών με στόχο την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των μηχανών ΓΑΘ κατά EUROVENT, ενώ αυτές του COPg και του EERg σκοπεύουν στον υπολογισμό των συντελεστών με στόχο την αξιολόγηση της μείζονος εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών καταναλώσεων κυκλοφορίας των γεωθερμικών ρευστών.

#### 11.11 Αξιολόγηση συστημάτων BMS, EMS, BEMS & SCADA

Έχει παρατηρηθεί ότι εξοπλισμοί με την καλλίτερη ενεργειακή απόδοση στην αγορά, δύναται να λειτουργούν με πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης, λόγω της συνήθειας να χρησιμοποιούνται κοινές πρακτικές στο BMS, όπως μας παραδόθηκε από το έτος κατασκευής του κτηρίου, του Ξενοδοχείου ή της Βιομηχανίας. Αντιθέτως η λειτουργία των αυτοματισμών δεν πρέπει να είναι ποτέ δεδομένη, και η αναζήτηση του βέλτιστου σημείου λειτουργίας είναι μία συνεχής αναζήτηση για τους χειριστές και υπευθύνους μηχανικούς της

οποιασδήποτε παραγωγικής διαδικασίας. Επίσης έχει διαπιστωθεί σε πολλές περιπτώσεις, ότι μία λάθος ένδειξη σε ένα αισθητήριο, μπορεί να αποδειχθεί μοιραία για την λειτουργία την σπατάλη ενέργειας και την ασφάλεια των εξοπλισμών και των υπαλλήλων ενός κτηρίου ή μιας επιχείρησης. Για το λόγο αυτό συνηθίζεται σε μεγάλους οργανισμούς να γίνεται κάθε 3-5 χρόνια η διαδικασία του RC (Re-Commissioning : Επαναπροσδιορισμός της λειτουργικής παραλαβής) από μία ανεξάρτητη εταιρεία (third party). Οι βασικότεροι λόγοι για να προχωρήσει μία εταιρεία σε RC σύμφωνα με τα συμπεράσματα του αντίστοιχου ευρωπαϊκού προγράμματος Re-Co ( <http://www.re-co.eu/> ) είναι επειδή:

1. Καθιστά δυνατή τη μείωση της κατανάλωσης και του ενεργειακού κόστους μέσω της άμεσης εφαρμογής μέτρων χαμηλού ή μηδενικού κόστους. Διεθνείς εφαρμογές δείχνουν ότι είναι ρεαλιστικό να αναμένουμε άμεσα εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% (Στην πράξη όμως, σε δημόσια και ιδιωτικά κτήρια του τριτογενούς τομέα η εξοικονόμηση σε συνδυασμό με εφαρμογές όπως, free cooling, night cooling, mixed mode ventilation, matching to occupancies μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση έως και 40%).
2. Έχει πολύ μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από απλώς έναν ενεργειακό έλεγχο, γιατί τα μέτρα χαμηλού ή μηδενικού κόστους δεν ανιχνεύονται απλώς, αλλά επιπλέον εφαρμόζονται και επιτόπου. Επίσης στα πλαίσια ενός ενεργειακού ελέγχου σύμφωνα με το EN16247, σίγουρα ο ελεγκτής δεν έχει τις περισσότερες φορές την αρμοδιότητα να ελέγξει ή να εξακριβώσει σε βάθος τέτοιου είδους αποκλίσεις.
3. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου Συμβάσεις Ενεργειακής Απόδοσης (ΣΕΑ) για διάφορους λόγους δεν είναι εφαρμόσιμες από τρίτους ανεξάρτητους φορείς.
4. Είναι το κατάλληλο εργαλείο για σύνθετα κτήρια, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με υψηλές απαιτήσεις για ασφάλεια λειτουργίας (π.χ. νοσοκομεία, datacenters, διαχείριση αποβλήτων, αεροδρόμια κλπ), ακριβώς γιατί διεξάγεται εύκολα, χωρίς να απαιτείται η διακοπή της λειτουργίας της επιχείρησης.
5. Είναι ένας τρόπος για να ξεκινήσει η επιχείρηση άμεσα δράσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης μέσα από την βελτιστοποίηση και τη ρύθμιση του BMS. Δεν είναι λίγες περιπτώσεις που σε εγκαταστάσεις με ηλικία μεγαλύτερη των πέντε ετών, η κακή εφαρμογή ενός αισθητηρίου ή εντός μετρητή ή ακόμα και η έλλειψη βαθμονόμησής τους γίνεται αιτία για σοβαρή σπατάλη ενέργειας.

Για την αξιολόγηση λοιπόν των συστημάτων αυτών χρειάζεται από την πλευρά των ενεργειακών ελεγκτών μία σχετική εξοικείωση με την λειτουργία των ίδιων των Η/Μ εξοπλισμών, αλλά και με την χρήση τέτοιων συστημάτων.

Συνακολούθως σε κάθε περίπτωση ο ενεργειακός ελεγκτής οφείλει (σε ότι αφορά το BMS) να ζητήσει από τον ενεργειακό υπεύθυνο της επιχείρησης:

1. Το αρχικό commissioning file ή/και το Re-commissioning file εφόσον υπάρχει
2. Το motor list της συγκεκριμένης εγκατάστασης
3. Το block διάγραμμα των αυτοματισμών
4. Την ανάπτυξη των αυτοματισμών στην κάτοψη ή σε Η/Μ σχέδιο

5. Τον κατάλογο με τους αυτοματισμούς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους
6. Εγχειρίδιο χειρισμού και λειτουργίας των αυτοματισμών (set-points, χρονοπρογράμματα, κλπ)

ώστε να αξιολογήσει τους αυτοματισμούς με βάση τα πρότυπα EN15232 ή ISO16484 και να προτείνει μέτρα για την βελτίωση του συστήματος. Είναι πράγματι σπουδαία η διαδικασία αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης χρησιμοποιώντας τους καταλόγους των ανωτέρω προτύπων και ως προς την κατανόηση του ελεγκτή, αλλά και ως προς την επιλογή της εναλλακτικής λύσης για ΕΞΕ, που μετουσιώνεται στα αντίστοιχα προτεινόμενα μέτρα. Αν για παράδειγμα ο υφιστάμενος αυτοματισμός αξιολογείται στην κατηγορία C, θα πρέπει να γνωρίζει ο ελεγχόμενος καταναλωτής ότι με το σχέδιο δράσης 1, θα αναβαθμιστεί στην κατηγορία B και θα πληρώσει το ποσό X με απόσβεση σε 1 χρόνο, ενώ με το σχέδιο δράσης 2, θα αναβαθμιστεί στην κατηγορία A και θα πληρώσει το ποσό Ψ με απόσβεση στα 3 χρόνια. Ακόμα όμως και η ίδια η τεκμηρίωση του χρόνου απόσβεσης από πλευράς ενεργειακού ελεγκτή απαιτεί αναλυτικά στοιχεία της υφιστάμενης καταναλωτικής συμπεριφοράς.

Επίσης αξιολογώντας ένα σύστημα EMS ή ένα σύστημα BEMS θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας και το ενεργειακό ισοζύγιο της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που προκύπτει έμμεσα από τον κατάλογο κινητήρων, και το εγχειρίδιο χειρισμού και λειτουργίας των αυτοματισμών, αλλά και από το διάγραμμα ροής των αυτοματισμών. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαμε ξεχωρίζοντας τις χρήσεις (πχ φωτισμός, γραμμή παραγωγής 1, γραμμή παραγωγής i, ZNX, ατμός, πεπιεσμένος αέρας, κλιματισμός, βιομηχανική ψύξη, θέρμανση κλπ) να εντοπίσουμε που χρειάζεται ενδεχομένως επιπλέον μετρητής ενέργειας, ή επέκταση των καταγραφών αναλογικών σημάτων ή απαριθμητών (θερμοκρασία, πίεση, κατάσταση καυστήρα, κλπ). Η επιλογή λοιπόν της προτεινόμενης επέκτασης πρέπει να γίνεται με γνώμονα την αξιοποίηση των δεδομένων, που αφορούν τις ανεξάρτητες μεταβλητές σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας ή/και την ζήτηση ισχύος (όταν αυτό έχει οικονομικό αντίκρισμα στο τιμολόγιο ενέργειας), ή αλλιώς την οργάνωση της παρακολούθησης μέσω ενός επιμέρους δείκτη, ή μιας νέας επιμέρους baseline, με προοπτική την μείωση της αβεβαιότητας κατά την σύνταξη του ενεργειακού ισοζυγίου.

#### Διάκριση μεταξύ BMS-EMS-BEMS

Στις επιχειρήσεις λόγω της διάχυσης της διαφήμισης ή της στρέβλωσης στην αγορά, και λόγω των διαφορετικών πολιτικών που ακολουθούνται από επιχείρηση σε επιχείρηση (είτε από ιδιαίτερες νομικές απαιτήσεις, είτε από υποχρεώσεις συστημάτων ISO, είτε από ανάγκη για τεκμηρίωση της λειτουργικότητας και του κόστους παραγωγής, είτε για καθαρά οικονομικούς λόγους κόστους των συστημάτων), μπορεί αν συναντήσει κανείς τα εξής συστήματα: 1) BMS, 2) EMS και 3) BEMS (Building Energy Management System). Το βέλτιστο βέβαια είναι το σύστημα BEMS. Ωστόσο, για παράδειγμα, αυτό που συνήθως συναντάται είναι:

α) Το υφιστάμενο σύστημα διαχείρισης BMS χρειάζεται επιμέρους μετρητές ενέργειας, προκειμένου να τεκμηριώνεται το ποσοστό συμμετοχής των χρήσεων ή των επιμέρους γραμμών παραγωγής αντίστοιχα, οπότε προτείνεται να αναβαθμίζεται το BMS σε BEMS.

β) Τα συστήματα EMS και BMS ανήκουν σε διαφορετικούς κατασκευαστές, οπότε πρέπει να αξιολογείται η περίπτωση της ενοποίησής τους (στο βαθμό πάντα που είναι οικονομικά συμφέρον) σε ένα ενιαίο σύστημα BEMS, ώστε να προκύπτει αβίαστα από ένα σύστημα η παρακολούθηση των ενεργειακών δεικτών, με την προοπτική της πρόβλεψης στην αμέσως επόμενη ώρα.

γ) Σε πολύ μεγάλες επιχειρήσεις υπάρχουν περισσότερα του ενός συστήματα BMS και EMS, γεγονός που καθιστά σχεδόν αδύνατη από οικονομικής απόψεως την ενοποίησή τους. Στην περίπτωση αυτή αναζητούνται κοινές ανοικτές πλατφόρμες συλλογής δεδομένων όπως Niagara, IoT (Internet of Things), ή Optimus (Smart Cities), ή ακόμα και υλοποίηση ιδιόκτητων εφαρμογών συλλογής δεδομένων, όπου δύναται να αποστέλλονται τα δεδομένα με σκοπό την συγκέντρωσή τους και την διευκόλυνση της παρακολούθησης των ενεργειακών δεικτών.

Ειδικότερα τα συστήματα BMS απαρτίζονται από τα παρακάτω συνήθη χαρακτηριστικά:

ΑΚΕ (Αποκεντρωμένα Κέντρα Ελέγχου - Επιμέρους κεντρικές μονάδες που συλλέγουν και διαχειρίζονται πεπερασμένο αριθμό σημάτων και δύναται να συνδεθούν μεταξύ τους μέσω ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας RS485, Ethernet, ή κοινά πρωτόκολλα κατασκευαστών όπως Modbus, Profibus, Lonworks, Canbus, Bacnet, κλπ)

Μονάδες I/O : **DI-Digital Input** (τάσης, transistors PNP/NPN, ξηρής επαφής, επαφής Solid State, Counter- Απαριθμητών, Παροχής, Θερμίδων ή Ηλεκτρικής ενέργειας, Ωρομετρητές, κλπ), **AI-Analog Input** (-5V...+5V, 0...10V, 4...20mA, 0...20mA κλπ), **DO-Digital Output** (relay, transistor PNP/NPN, ξηρής επαφής, Solid State relay, Counter κλπ), **AI-Analog Output** (-5V...+5V, 0...10V, 4...20mA, 0...20mA, Solid State Analog κλπ)

Αισθητήρια (θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης, CO<sub>2</sub>, CO, στάθμης δεξαμενών κλπ)

Μετρητές ή Αναλυτές Ενέργειας και Ισχύος (Ηλεκτρικής ή Θερμικής)

Ενεργοποιητές (relay, Solid State Relay, Ηλεκτροβάνες, Τρίοδες βάνες, Ρυθμιστές στροφών, Ρυθμιστές περσίδων ΚΚΜ κλπ)

Επικοινωνία & Μετάδοση δεδομένων (είτε μεταξύ ΑΚΕ με τα πρωτόκολλα που προαναφέρθηκαν, είτε με converters που μεταφράζουν τα πρωτόκολλα με άλλα που είναι ήδη διαθέσιμα, ή αναγνώσιμα, ή αντίστοιχα συμβατά, είτε μέσω μιας ανώτερης στάθμης δεδομένων στο επίπεδο του Ethernet (θύρα RJ45), προκειμένου για ανάγνωση τοπικά (δίκτυο LAN), είτε απομακρυσμένα (WEB interface), είτε μέσω ειδικών θυρών 9-pin, USB, οπτική θύρα, είτε μέσω ασύρματης ζεύξης 2 ή περισσότερων σημείων, είτε μέσω Zigbee, είτε μέσω σύνδεσης IoT εφόσον στο σύστημα υπάρχουν έξυπνες συσκευές κλπ)

Μνήμη καταχώρησης δεδομένων (σε MB ή GB προκειμένου και για την καταγραφή σε εσωτερική μνήμη του συστήματος, είτε σε αποσπώμενη μνήμη τύπου Stick-USB, ή Smart-card, αλλά ταυτόχρονα και με δυνατότητα καταγραφής των δεδομένων σε τοπικό δίσκο H/Y που είναι μόνιμα συνδεδεμένος με τον κεντρικό ελεγκτή μεταξύ των υπολοίπων ΑΚΕ - μέσω converter, ή απευθείας μέσω Ethernet ή USB, ή θύρας 9-pin για παλαιότερα συστήματα – και φέρει το πρόγραμμα οπτικοποίησης και καταγραφής των δεδομένων του συστήματος SCADA).

Όλες οι ανωτέρω προδιαγραφές πρέπει να συνθέτουν μία λειτουργική λύση προσαρμοσμένη στις ιδιαίτερες ανάγκες του καταναλωτή, που θα εξυπηρετεί τον χρήστη ή τον ενεργειακό διαχειριστή, και δεν θα είναι δέσμια του marketing ή του ανταγωνισμού μεταξύ των εταιριών με ιδιόκτητα πρωτόκολλα, που ενίοτε είναι είτε δύσκολα επεκτάσιμα, είτε ασύμβατα με τα πιο κοινά προϊόντα (θερμιδομετρητές, αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας, τρίοδες βάνες, inverters, κλπ), είτε ακριβά στην διαδικασία της ενοποίησής τους με άλλα (ακριβώς επειδή δεν είναι ανοικτά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας τους).

## 12 Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής – LCCA

### 12.1 Εισαγωγή – Συμπληρωματικοί δείκτες & Βήματα LCCA

Η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCCA-Life Cycle Cost Analysis) είναι μια οικονομική μέθοδος αξιολόγησης έργων, σύμφωνα με την οποία όλες οι δαπάνες που προκύπτουν από την αρχική επένδυση, τη λειτουργία, συντήρηση και τελικά την διάθεση κάθε έργου θεωρούνται δυνητικά σημαντικές για την εν λόγω απόφαση. Συνεπώς αποτελεί για την εκάστοτε διοίκηση ένα σημαντικό εργαλείο που θέτει σε προτεραιότητες στα προτεινόμενα έργα ΕΞΕ, και άρα καθορίζει σημαντικά τα επιχειρηματικά σχέδια και πλάνα μιας διοίκησης, ακριβώς γιατί εστιάζει στην αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης οικονομικής αποτελεσματικότητας κάθε έργου ΕΞΕ, και όχι μόνο ως προς το αρχικό κόστος ή το βραχυπρόθεσμο κόστος λειτουργίας, σε αντίθεση με άλλες εναλλακτικές μεθόδους. Συνάμα παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες στον επενδυτή προκειμένου εκείνος να είναι σε θέση να αξιολογήσει την οικονομική αποδοτικότητα της κάθε προτεινόμενης επένδυσης από τη σκοπιά του, λαμβάνοντας υπόψη το μειωμένο κόστος ενέργειας και τις υπόλοιπες οικονομικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της φυσικής ζωής του έργου ή του χρονικού ορίζοντα που έχει θέσει ο ίδιος ο επενδυτής. Πέραν όμως αυτού, όταν υφίστανται περισσότερες της μίας οικονομικά αποδοτικές εναλλακτικές προτάσεις έργων ΕΞΕ για μια συγκεκριμένη ενεργειακή κατανάλωση, η LCCA εντοπίζει την πλέον οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση.

Πολλές φορές παρουσιάζεται η ανάγκη ιεράρχησης στην κατανομή της χρηματοδότησης για έναν αριθμό ανεξάρτητων επενδυτικών σχεδίων εντός μιας εγκατάστασης ή ενός οργανισμού, κυρίως όταν δεν υφίσταται επαρκής χρηματοδότηση για την ταυτόχρονη εφαρμογή του συνόλου των προτεινόμενων σχεδίων. Για παράδειγμα ο Ενεργειακός Υπεύθυνος (ΕΥ) ή Ενεργειακός Διαχειριστής (ΕΔ) ενός κτηρίου καλείται να κατατάξει τα προτεινόμενα έργα εξοικονόμησης ενέργειας που έχει προτείνει προκειμένου να δύναται η διοίκηση του οργανισμού ή της επιχείρησης να τα υλοποιήσει με κριτήριο την οικονομική τους αποδοτικότητα στα πλαίσια ενός περιορισμένου προϋπολογισμού. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται οι συμπληρωματικοί δείκτες οικονομικής επίδοσης που βασίζονται στην ανάλυση κόστους του κύκλου ζωής.

Υπάρχουν τρεις συμπληρωματικοί δείκτες οικονομικής επίδοσης που είναι συμβατοί με τη μέθοδο αξιολόγησης έργων LCC, οι οποίοι παρουσιάζονται αναλυτικά στην παράγραφο 12.4 Αυτοί είναι :

- Η καθαρή εξοικονόμηση (NS-Net Savings),
- Ο Λόγος Επενδύσεων/εξοικονόμησης (SIR-Savings to Investments Ratio) και
- Ο Σταθμισμένος Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της Επένδυσης (AIRR - Adjusted Internal Rate of Return).

Οι ως άνω δείκτες βασίζονται στην ίδια ροή δαπανών και εξοικονόμησης κατά την ίδια περίοδο μελέτης με τις χρηματοροές του LCC. Η καθαρή εξοικονόμηση (Net Saving) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση του ίδιου του LCC για την εύρεση της πιο οικονομικά αποδοτικής εναλλακτικής λύσης, κατά την αξιολόγηση δύο ή περισσότερων αμοιβαία αποκλειόμενων εναλλακτικών προτάσεων, και είναι αντιστρόφως ανάλογη του LCC, δηλαδή σε κάθε ομάδα αμοιβαία αποκλειόμενων εναλλακτικών, η εναλλακτική λύση με το

χαμηλότερο LCC θα έχει τις υψηλότερες καθαρές εξοικονομήσεις (NS). Ο Λόγος Επενδύσεων / εξοικονόμησης (SIR) και ο Σταθμισμένος Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της Επένδυσης (AIRR ) είναι οικονομικοί δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατάταξη των ανεξάρτητων μεταξύ τους έργων (για παράδειγμα, ένα νέο green data room στο κτήριο A και ένα νέο σύστημα θέρμανσης στο κτήριο B), όταν ο ΕΥ, ή ο ΕΔ ή γενικότερα αυτός που θα λάβει την απόφαση για την επένδυση, καλείται να βρει τη βέλτιστη επιλογή για εφαρμογή των προτεινόμενων σχεδίων ΕΞΕ, υπό τον περιορισμό ενός προϋπολογισμού, ο οποίος δεν επαρκεί για τη χρηματοδότηση όλων των οικονομικά αποδοτικών έργων που προσδιορίζονται για μια συγκεκριμένη εγκατάσταση ή οργανισμό. Ο SIR και ο AIRR δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της πλέον αποδοτικής οικονομικά εναλλακτικής λύσης της ίδιας ενεργειακής πτυχής (για παράδειγμα, το πιο οικονομικό τρόπο μόνωσης). Ωστόσο και στις περιπτώσεις αυτές για λόγους εξοικείωσης δίνεται στο αντίστοιχο παράδειγμα του μορφότυπου του παρόντος οδηγού: “LCCA example” και ο υπολογισμός των δεικτών αυτών, αλλά και ως ένδειξη επιβεβαίωσης της τάσης για ορθή επιλογή μεταξύ δύο αλληλοαποκλειόμενων εναλλακτικών έργων. Ο υπολογισμός και η ορθή χρήση αυτών των συμπληρωματικών οικονομικών δεικτών θα αναλυθεί περαιτέρω στην παράγραφο 12.4.

Η LCCA βρίσκεται σε αντίθεση με τη μέθοδο αποπληρωμής (Payback) καθώς η τελευταία επικεντρώνεται γενικά στο πόσο γρήγορα μπορεί να ανακτηθεί η αρχική επένδυση. Με αυτό τον τρόπο δεν αποτελεί δείκτη μακροπρόθεσμης οικονομικής απόδοσης ή κερδοφορίας, καθώς αγνοεί συνήθως όλες τις δαπάνες και εξοικονομήσεις που λαμβάνουν χώρα μετά τη χρονική στιγμή κατά την οποία επιτυγχάνεται η αποπληρωμή. Επίσης, δεν γίνεται διάκριση μεταξύ εναλλακτικών λύσεων έργων που έχουν διαφορετική διάρκεια και κύκλο ζωής. Επιπλέον, η απλή μέθοδος αποπληρωμής (Simple Payback), που χρησιμοποιείται συνήθως, αγνοεί την χρονική αξία του χρήματος κατά τη σύγκριση των μελλοντικών χρηματοροών έναντι του αρχικού κόστους της επένδυσης. Παρόλα αυτά στον παρόν οδηγό γίνεται αναφορά στη μέθοδο αυτή στην παράγραφο 12.5.

Στον Πίνακα 12.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα Βήματα Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (LCCA).

## **12.2 Ορισμοί – Προαπαιτούμενα – Λήψη & Τεκμηρίωση δεδομένων**

### **12.2.1 Επίπεδο Τεκμηρίωσης**

Οι μελέτες LCCA, ανεξαρτήτως του όγκου τους και του βάθους τους, πρέπει να τεκμηριώνονται προσεκτικά, ώστε να αποτυπώνουν τη διαδικασία αξιολόγησης και να αρχειοθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση σε κάθε υποστηρικτικό στοιχείο ή έγγραφο οποτεδήποτε αναζητηθεί στο μέλλον (π.χ για μελλοντικές μελέτες). Η μορφή των δεδομένων θα πρέπει να είναι απλή και εύκολα κατανοητή σε τρίτους.

Στον Πίνακα 12.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα απαιτούμενα Δεδομένα τεκμηρίωσης μιας ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής.

Πίνακας 12.1. Βήματα Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής (LCCA)

## ΒΗΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

1	Ορισμός του προβλήματος και καθορισμός του στόχου
2	Προσδιορισμός των εφικτών εναλλακτικών λύσεων
3	Καθιέρωση κοινών παραδοχών και παραμέτρων
4	Εκτίμηση του κόστους και οι χρόνοι εμφάνισής του για κάθε εναλλακτική
5	Προεξόφληση κάθε μελλοντικού κόστους στην παρούσα αξία
6	Υπολογισμός και σύγκριση του LCC για κάθε εναλλακτική
7	Υπολογισμός συμπληρωματικών μέτρων, εφόσον απαιτούνται για την ιεράρχηση των έργων
8	Εκτίμηση της αβεβαιότητας των δεδομένων εισόδου
9	Εκτίμηση των επιπτώσεων για τις οποίες δεν μπορεί να εκτιμηθεί το κόστος και τα νομισματικά οφέλη
10	Παροχή συμβουλών σχετικά με την απόφαση

### 12.2.2 Παράμετροι για τον υπολογισμό ενεργειακών εξοικονομήσεων

Παράμετροι κατά τον υπολογισμό της ενέργειας που σχετίζονται με το κόστος σε μια LCCA:

- Μετράται η ποσότητα της ενέργειας που χρησιμοποιείται στο κτήριο ή τον εξοπλισμό, με βάση τον τύπο της ενέργειας (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, πετρέλαιο) σε όρους τελικής χρήσης (end use).
- Χρησιμοποιούνται τα τιμολόγια του προμηθευτή λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους τιμολόγησης. Η χρήση **μέσων τιμών δεν** είναι αποδεκτή μέθοδος σύμφωνα με το Διεθνές Πρωτόκολλο Μέτρησης και Επαλήθευσης των Εξοικονομήσεων (IPMVP). Κατ' εξαίρεση και ειδικά για τις τιμές ενέργειας και ισχύος που αφορούν του πελάτες Υψηλής Τάσης (YT), ακριβώς επειδή οι τιμές αυτές είναι προϊόν διαπραγμάτευσης άκρως εμπιστευτικού χαρακτήρα, θα λαμβάνονται προκαθορισμένες τιμές μόνο για το ανταγωνιστικό τιμολόγιο σε ευρώ/kWh και ευρώ/kW, ύστερα από ειδικές εγκυκλίους της Γενικής Γραμματείας Επιθεωρητών Ενέργειας του Υπουργείου. Το ίδιο ισχύει και για μεγάλους καταναλωτές της μέσης και της χαμηλής τάσης που έχουν συνολική ετήσια κατανάλωση μεγαλύτερη από 50GWh ετησίως.

Πίνακας 12.2: Δεδομένα τεκμηρίωσης μιας ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής

## Δεδομένα τεκμηρίωσης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

1 Περιγραφή Έργου	5 Υπολογισμοί
Γενικές πληροφορίες	Προεξόφληση
Είδη αποφάσεων που πρέπει να ληφθούν	Υπολογισμοί του κόστους κύκλου ζωής
Περιορισμοί	Υπολογισμοί των συμπληρωματικών μέτρων
2 Εναλλακτικές λύσεις	6 Ερμηνεία
Τεχνική Περιγραφή	Αποτελέσματα των συγκρίσεων LCC
Λόγοι για τους οποίους περιλήφθησαν	Εκτίμηση της αβεβαιότητας
Μη νομισματικά ζητήματα	Αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας
3 Κοινές παράμετροι	7 Μη χρηματικές εξοικονομήσεις και κόστη (π.χ ανθρώπινοι πόροι, εκπομπές ρύπων, κλπ)
Διάρκεια της μελέτης	Περιγραφή των άυλων περιουσιακών ή μη περιουσιακών στοιχείων
Ημερομηνία βάσης	8 Άλλα θέματα
Ημερομηνία έναρξης λειτουργίας	Περιγραφή
Προεξοφλητικό επιτόκιο	9 Συστάσεις
Αντιμετώπιση του πληθωρισμού	
Λειτουργικές παράμετροι	
Τιμολόγια ενέργειας και ύδρευσης	
4 Δεδομένα κόστους και σχετικοί παράγοντες	
Επενδυτικές δαπάνες	
Λειτουργικές δαπάνες	
Χρήση ενέργειας ανά είδος	
Χρήση νερού και όγκος αποβλήτων	
Χρονοδιάγραμμα υλοποίησης δαπανών	
Πηγές δεδομένων κόστους	
Εκτίμηση της αβεβαιότητας	

- Τα ποσοστά κλιμάκωσης των τιμών της ενέργειας, εφόσον χρησιμοποιηθούν, θα πρέπει να παρέχονται από επίσημους φορείς (όπως η ΡΑΕ), εκτός εάν υπάρχουν διαθέσιμα προβλεπόμενα ποσοστά κλιμάκωσης από τον προμηθευτή ενέργειας.

### 12.2.3 Προεξόφληση των μελλοντικών ποσών στην παρούσα αξία

Οι δαπάνες που αφορούν ένα έργο ΕΞΕ και λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές πρέπει να προεξοφλούνται στην παρούσα αξία τους κατά την ημερομηνία βάσης πριν ενσωματωθούν σε μια ανάλυση κόστους κύκλου ζωής LCC για το εν λόγω έργο. Το προεξοφλητικό επιτόκιο, που χρησιμοποιείται για την προεξόφληση των μελλοντικών ταμειακών ροών στην παρούσα αξία, βασίζεται στη διαχρονική αξία του χρήματος για τον επενδυτή. Στον ιδιωτικό τομέα, το επιτόκιο προεξόφλησης του επενδυτή γενικά προσδιορίζεται από το ελάχιστο αποδεκτό βαθμό απόδοσης του επενδυτή (Minimum Acceptable Rate of Return ή hurdle rate) για επενδύσεις ισοδύναμου ρίσκου και διάρκειας. Διαφορετικοί επενδυτές έχουν διαφορετικές επενδυτικές ευκαιρίες, συνεπώς το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο μπορεί να διαφέρει σημαντικά από επενδυτή σε επενδυτή.

Ένας επενδυτής προτιμά να εισπράξει νωρίτερα παρά αργότερα χρήματα για δύο βασικούς λόγους: τα νομίσματα γενικά χάνουν την αγοραστική τους δύναμη στο χρόνο λόγω του

πληθωρισμού, και χρηματικά ποσά που λαμβάνονται νωρίτερα μπορούν να επανεπενδυθούν νωρίτερα, κερδίζοντας έτσι πρόσθετες αποδόσεις.

Η παρούσα αξία ενός μελλοντικού ποσού που εισπράχθηκε ή καταβλήθηκε στο τέλος του έτους  $t$ ,  $F_t$ , υπολογίζεται με τον ακόλουθο μαθηματικό τύπο:

$$PV = \frac{F_t}{(1 + d)^t}$$

Όπου :

$PV$  = Παρούσα αξία (Present Value)

$d$  = Προεξοφλητικό επιτόκιο<sup>4</sup>

$F_t$  = Χρηματικό ποσό το έτος  $t$

Για παράδειγμα, με προεξοφλητικό επιτόκιο 5%, η παρούσα αξία του χρηματικού ποσού των 100€ εισπρακτέα στο τέλος των πέντε ετών είναι 78,35€.

Δαπάνες που αφορούν το έργο και λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της περιόδου της μελέτης ενός έργου, δεν μπορούν να ενταχθούν ως έχουν άμεσα στον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής, επειδή οι νομισματικές μονάδες που δαπανώνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές έχουν διαφορετική αξία για τον επενδυτή. Οι δαπάνες αυτές πρέπει πρώτα να προεξοφλούνται στην παρούσα αξία τους. Μόνο τότε μπορεί να συνοπιστούν τα έξοδα προκειμένου να υπολογιστεί το LCC, που μπορεί να συγκριθεί με το LCC άλλων εναλλακτικών λύσεων.

Η προεξόφληση των μελλοντικών ταμειακών ροών στην παρούσα αξία δεν είναι το ίδιο με την προσαρμογή των μελλοντικών δαπανών στο γενικό πληθωρισμό. Ακόμα και όταν οι δαπάνες εκφράζονται σε σταθερές τιμές, θα πρέπει να προεξοφλούνται, ώστε να αντανακλούν την διαχρονική αξία του χρήματος, η οποία είναι συνήθως μεγαλύτερη από το ποσοστό του γενικού πληθωρισμού. Το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται με σταθερές τιμές είναι διαφορετικό από το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται με τρέχουσες τιμές.

#### 12.2.4 Μαθηματικοί τύποι Προεξόφλησης και συντελεστές προεξόφλησης

Ο Πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τις πράξεις προεξόφλησης που χρησιμοποιούνται συχνότερα σε μια ανάλυση LCC. Οι πράξεις αυτές είναι δύο ειδών:

1. **Μέθοδος για την προεξόφληση εφάπαξ ποσών σε παρούσα αξία.** Ο ορισμός των εφάπαξ ποσών περιλαμβάνει τα κόστη που λαμβάνουν χώρα σε ακανόνιστα ή μη-ετήσια διαστήματα. Παραδείγματα εφάπαξ κόστους είναι μια αντικατάσταση του κεφαλαίου (πχ σε ένα σύστημα HVAC, αντικατάσταση ανεμιστήρων στο 12<sup>ο</sup> έτους και αντικατάσταση συμπιεστή στο τέλος του 15<sup>ο</sup> έτους), και η υπολειμματική αξία στο τέλος της περιόδου μελέτης.
2. **Μέθοδος για την προεξόφληση μιας σειράς ετησίως επαναλαμβανόμενων ποσών σε παρούσα αξία.** Αυτά χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες τα ομοίμορφα και τα

---

<sup>4</sup>Το προεξοφλητικό επιτόκιο είναι ένα ιδιαίτερο είδος επιτοκίου που κάνει τον επενδυτή αδιάφορο ανάμεσα σε ποσά μετρητών που λαμβάνονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

ανομοιόμορφα. Παράδειγμα ετησίως επαναλαμβανόμενων δαπανών υποκατηγορίας ομοιόμορφων ποσών είναι οι δαπάνες συντήρησης που λαμβάνουν χώρα κάθε χρόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου της μελέτης και έχουν το ίδιο ύψος. Αντίστοιχα, παράδειγμα ετησίως επαναλαμβανόμενων δαπανών υποκατηγορίας ανομοιόμορφων ποσών είναι το ετήσιο κόστος ενέργειας με βάση το ίδιο επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας από χρόνο σε χρόνο, το οποίο όμως κόστος αυξάνεται από έτος σε έτος, με κάποιο γνωστό ή εκτιμώμενο ποσοστό κλιμάκωσης.

Κάθε ένας από τους μαθηματικούς τύπους προεξόφλησης περιλαμβάνει ένα μελλοντικό ποσό ή ένα ετησίως επαναλαμβανόμενο ποσό, και έναν συντελεστή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει ένα αντίστοιχο συντελεστή προεξόφλησης, με τον οποίο το ποσό πολλαπλασιάζεται για να ληφθεί η τρέχουσα αξία του. Τρεις είναι οι συντελεστές προεξόφλησης που χρησιμοποιούνται συχνότερα στις αναλύσεις LCC, δηλαδή, ο

- **Single Present Value (SPV) factor**- Συντελεστής Ενιαίας Παρούσας Αξίας
- **Uniform Present Value (UPV) factor**- Συντελεστής Ομοιόμορφης Παρούσας Αξίας
- **Uniform Present Value factor modified for price escalation (UPV\*)**- Συντελεστής Ομοιόμορφης Παρούσας αξίας τροποποιημένος για κλιμάκωση τιμών

Πίνακας 12.3 Τύποι υπολογισμού Παρούσας Αξίας

<p><b>Τύπος Present Value (Παρούσας Αξίας) για εφάπαξ ποσά</b>          Ο Συντελεστής ενιαίας παρούσας αξίας (SPV) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό ενός μελλοντικού ποσού που λαμβάνει χώρα στο τέλος του έτους <math>t</math>, <math>F_t</math>, δεδομένου ενός προεξοφλητικού επιτοκίου <math>d</math>.</p> $PV = F_t * \frac{1}{(1+d)^t}$
<p><b>Τύπος Present Value (Παρούσας Αξίας) για επαναλαμβανόμενα ομοιόμορφα ποσά</b>          Ο Συντελεστής Ομοιόμορφης Παρούσας Αξίας (Uniform Present Value factor) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της Παρούσας αξίας σειράς όμοιων ποσών <math>A_0</math> τα οποία λαμβάνουν χώρα ετησίως για περίοδο <math>n</math> ετών δεδομένου του προεξοφλητικού επιτοκίου <math>d</math>.</p> $PV = A_0 * \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+d)^t} = A_0 * \frac{(1+d)^n - 1}{d(1+d)^n}$
<p><b>Τύπος Present Value (Παρούσας Αξίας) για επαναλαμβανόμενα ανομοιόμορφα ποσά</b>          Ο τροποποιημένος Συντελεστής Ομοιόμορφης Παρούσας Αξίας χρησιμοποιείται να τον υπολογισμό της Παρούσας αξίας επαναλαμβανόμενων ετήσιων ποσών που μεταβάλλονται από έτος σε έτος με ένα σταθερό ποσοστό κλιμάκωσης <math>e</math> (δηλαδή <math>A_{t+1}=A_t*(1+e)</math> για <math>n</math> έτη, δεδομένου του <math>d</math>. Το ποσοστό κλιμάκωσης μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό.</p> $PV = A_0 * \sum_{t=1}^n \left( \frac{1+e}{1+d} \right)^t = A_0 * \frac{(1+e)}{(d-e)} \left[ 1 - \left( \frac{1+e}{1+d} \right)^n \right]$

#### 12.2.5 Προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση του πληθωρισμού

Οι ταμειακές ροές στην ανάλυση LCC μπορούν να εμφανίζονται είτε σε σταθερές τιμές είτε σε τρέχουσες τιμές. Ωστόσο, θα πρέπει να ακολουθείται η έκφραση των

χρηματοροών σε σταθερές τιμές, καθώς αποτελεί την κοινώς αποδεκτή μέθοδο. Η έκφραση των χρηματοροών σε σταθερές τιμές έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής της ανάγκης να προβάλλονται οι μελλοντικοί ρυθμοί πληθωρισμού ή αποπληθωρισμού. Η τιμή ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας που αναφέρεται σε σταθερή τιμή δεν επηρεάζεται από το ρυθμό του γενικού πληθωρισμού.

Για να έχει νόημα η σύγκριση μεταξύ του κόστους που λαμβάνει χώρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, τα έξοδα αυτά θα πρέπει να προσαρμοστούν κατάλληλα, ώστε να λαμβάνουν υπόψη τις αλλαγές στην αγοραστική δύναμη του νομίσματος. Το να μετράμε μελλοντικές δαπάνες με πληθωρισμένο ή αποπληθωρισμένο νόμισμα δεν έχει νόημα, όπως ακριβώς δε θα είχε νόημα να μετράμε τις διαστάσεις ενός κτηρίου με μια ελαστική μεζούρα. Η προσαρμογή του κόστους από τρέχουσες σε σταθερές τιμές, δεν είναι το ίδιο με την προεξόφληση μελλοντικού κόστους στην παρούσα αξία του. Η πρώτη ρυθμίζει μόνο τις αλλαγές στην αγοραστική δύναμη του νομίσματος, ενώ η τελευταία προσαρμόζει τη διαχρονική αξία του χρήματος για ένα μεμονωμένο επενδυτή. Το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο που απαιτείται για την προσαρμογή ενός μελλοντικού κόστους στην παρούσα αξία του θα είναι διαφορετικό, ανάλογα με το αν οι μελλοντικές δαπάνες, θα αναφερθούν σε τρέχουσες ή σταθερές τιμές.

#### 12.2.6 Παραγωγή του πραγματικού προεξοφλητικού επιτοκίου

Στις καθημερινές επιχειρηματικές δραστηριότητες, τα προεξοφλητικά επιτόκια βασίζονται συνήθως στα επιτόκια της αγοράς, δηλαδή, τα ονομαστικά επιτόκια τα οποία περιλαμβάνουν την προσδοκία του επενδυτή για τα επίπεδα γενικού πληθωρισμού. Τα Επιτόκια της αγοράς γενικά να χρησιμεύουν ως βάση για την επιλογή του ονομαστικού προεξοφλητικού επιτοκίου, το οποίο χρησιμοποιείται για την προεξόφληση των μελλοντικών δαπανών εκπεφρασμένων σε τρέχουσες τιμές. Αντίθετα, το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο που είναι απαραίτητο για την προεξόφληση ποσών σε σταθερές τιμές αντανακλά μόνο την πραγματική αγοραστική δύναμη του χρήματος και όχι το ποσοστό του γενικού πληθωρισμού. Το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο,  $d$ , μπορεί να προκύψει από το ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο,  $D$ , εφόσον το ποσοστό του πληθωρισμού,  $I$ , είναι γνωστό ως ακολούθως:

$$d = \frac{1 + D}{1 + I} - 1$$

Όπου

$d$ : Το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο

$D$ : Το ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο

$I$ : Το ποσοστό του πληθωρισμού

#### 12.3 Πραγματική κλιμάκωση των τιμών

Εάν το ονομαστικό ποσοστό κλιμάκωσης των τιμών,  $E$ , για ένα συγκεκριμένο αγαθό είναι διαφορετικό από το γενικό ποσοστό του πληθωρισμού, το πραγματικό (διαφορικό) ποσοστό κλιμάκωσης,  $e$ , μπορεί να υπολογιστεί με τον παρακάτω τρόπο:

$$e = \frac{1 + E}{1 + I} - 1$$

Στον πίνακα 12.4 που ακολουθεί συνοψίζονται οι μαθηματικοί τύποι για την προσαρμογή του πληθωρισμού.

Πίνακας 12.4 : Τύποι προσαρμογής πληθωρισμού	
Ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο	$D = (1+d)(1+I)-1$
Πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο	$d = (1+D)/(1+I)-1$
Ονομαστικό ποσοστό κλιμάκωσης τιμών	$E = (1+e)(1+I)-1$
Πραγματικό ποσοστό κλιμάκωσης τιμών	$e = (1+E)/(1+I)-1$

### Προσοχή

- Θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένα πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο,  $d$ , αν οι ταμειακές ροές εκφράζονται σε σταθερές τιμές έτους βάσης, συμπεριλαμβανομένου μόνο του διαφορικού επιτοκίου κλιμάκωσης των τιμών.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένα ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο,  $D$ , αν οι ταμειακές ροές εκφράζονται σε τρέχουσες τιμές, συμπεριλαμβανομένου τόσο του διαφορικού επιτοκίου κλιμάκωσης των τιμών όσο και του γενικού πληθωρισμού.

### 12.4 Υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η βασική μέθοδος ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής είναι η πιο απλή μέθοδος αποτύπωσης των άμεσων και μελλοντικών δαπανών ενός σχεδίου εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Ο σκοπός της μεθόδου για την αξιολόγηση κτηρίων ή συστημάτων, είναι η λήψη απόφασης επένδυσης μεταξύ δύο εναλλακτικών προτάσεων που δυνητικά εξυπηρετούν την ίδια ανάγκη. Προκειμένου να προσδιοριστεί η σχετική οικονομική αποτελεσματικότητα αυτών των αμοιβαίως αποκλειόμενων εναλλακτικών προτάσεων, απαιτείται ο υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής της κάθε εναλλακτικής πρότασης και η σύγκριση του κόστους κύκλου ζωής μεταξύ τους. Είναι αυτονόητο ότι αυτή η σύγκριση του κόστους κύκλου ζωής έχει νόημα, όταν πραγματοποιείται για εναλλακτικές προτάσεις που θα εξυπηρετήσουν τον ίδιο σκοπό. Το κόστος κύκλου ζωής είναι άμεσα συγκρίσιμο, όταν οι οικονομικές παραδοχές είναι κοινές και έχει χρησιμοποιηθεί ίδια περίοδος μελέτης, καθώς και η ίδια αρχική ημερομηνία και ημερομηνία έναρξης λειτουργίας. Ο γενικός τύπος του κόστους κύκλου ζωής είναι:

$$LCC = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t}$$

Όπου:

$LCC$  : Τελικό κόστος κύκλου ζωής μιας εναλλακτικής πρότασης  $E\Xi E$  σε όρους παρούσας αξίας

$C_t$  : Σύνολο όλων των σχετικών με την εναλλακτική πρόταση  $E\Xi E$  δαπανών,

*συμπεριλαμβανομένων και των αρχικών και μελλοντικών δαπανών θετικών χρηματορροών (πχ εξοικονομήσεων) που έλαβαν χώρα το έτος t*

*N*: Αριθμός ετών της περιόδου μελέτης

*d*: Προεξοφλητικό επιτόκιο για την προσαρμογή των χρηματορροών σε παρούσα αξία

Ο ανωτέρω γενικός τύπος LCC προϋποθέτει ότι όλες οι δαπάνες είναι προσδιορισμένες ανά έτος και ανά ποσό. Αυτός ο γενικός τύπος, ενώ είναι απλός από θεωρητική άποψη, μπορεί να απαιτήσει πολύπλοκους υπολογισμούς, ειδικά όταν η περίοδος μελέτης είναι μεγάλη και περιλαμβάνει ετησίως επαναλαμβανόμενα ποσά, των οποίων τα μελλοντικά κόστη θα πρέπει με τη σειρά τους να λαμβάνουν υπόψη τις μεταβολές των τιμών. Μια απλοποιημένη φόρμουλα LCC για τον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής των έργων ενεργειακής εξοικονόμησης σε κτήρια και κτηριακά συστήματα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$LCC = I + Repl - Res + E + W + OM\&R$$

*Όπου*

**LCC**: Τελικό κόστος κύκλου ζωής μιας εναλλακτικής πρότασης ΕΞΕ σε όρους παρούσας αξίας

**I**: Επενδυτικές δαπάνες σε όρους παρούσας αξίας

**Repl**: Δαπάνες αντικατάστασης κεφαλαίου σε όρους παρούσας αξίας

**Res**: Υπολειμματική αξία σε όρους παρούσας αξίας (τιμή μεταπώλησης, πώληση ως *scrap* κλπ) μείον δαπανών διάθεσης (καταστροφής, ανακύκλωσης κλπ)

**E**: Ενεργειακά κόστη σε όρους παρούσας αξίας

**W**: Κόστη νερού σε όρους παρούσας αξίας

**OM&R**: Δαπάνες λειτουργίας εκτός καυσίμων, συντήρησης και δαπάνες επισκευής σε όρους παρούσας αξίας

## 12.5 Καθαρές εξοικονομήσεις (Net Savings - NS) και οικονομικοί δείκτες SIR & AIRR

Ο δείκτης «καθαρές εξοικονομήσεις» (NS) είναι μια παραλλαγή του δείκτη «καθαρά οφέλη» (Net Benefits) για την οικονομική απόδοση ενός έργου (εννοούμε δηλαδή κατά κανόνα τις εξοικονομήσεις χρήματος, και όχι τις εξοικονομήσεις ενέργειας). Η μέθοδος καθαρού οφέλους μετρά την διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των κερδών και της παρούσας αξίας των δαπανών για μια συγκεκριμένη επένδυση στο πλαίσιο της καθορισμένης διάρκειας της μελέτης. Ο δείκτης καθαρού οφέλους εφαρμόζεται γενικώς όταν οι θετικές ταμειακές ροές (π.χ. εξοικονομήσεις ενεργειακού κόστους) έχουν ως στόχο να δικαιολογήσουν την επένδυση σε ένα έργο (π.χ. ένα νέο κτήριο γραφείων). Η μέθοδος καθαρής εξοικονόμησης NS εφαρμόζεται, όταν τα οφέλη εμφανίζονται κυρίως με τη μορφή της μελλοντικής μείωσης του λειτουργικού κόστους και υπολογίζει το καθαρό ποσό, στην παρούσα του αξία χρήματος, το οποίο αναμένεται να εξοικονομήσει ένα εναλλακτικό σχέδιο δράσης ΕΞΕ κατά την περίοδο της μελέτης. Επειδή οι καθαρές εξοικονομήσεις χρήματος εκφράζονται σε όρους παρούσας αξίας, αντιπροσωπεύουν εξοικονομήσεις πέρα και πάνω από το ποσό που θα είχε ληφθεί από την επένδυση των ίδιων κεφαλαίων με το ελάχιστο αποδεκτό ποσοστό απόδοσης (δηλαδή, το προεξοφλητικό επιτόκιο).

Οι καθαρές εξοικονομήσεις χρήματος για ένα εναλλακτικό σχέδιο δράσης ΕΞΕ, σε σχέση με ένα καθορισμένο βασικό σενάριο, μπορούν να υπολογιστούν με απλή αφαίρεση του κόστους κύκλου ζωής του εναλλακτικού σχεδίου από το LCC του βασικού σεναρίου :

$$NS = LCC_{\text{Σεναρίου βάσης}} - LCC_{\text{Εναλλακτικής λύσης}}$$

Εφόσον  $NS > 0$ , το έργο θεωρείται ότι είναι οικονομικά αποδοτικό σε σχέση με το βασικό σενάριο. Αυτό είναι αντίστοιχο με την απαίτηση, ότι το LCC ενός εναλλακτικού σχεδίου δράσης ΕΞΕ πρέπει να είναι χαμηλότερο από το LCC του βασικού σεναρίου. Κατά την αξιολόγηση πολλαπλών, αμοιβαία αποκλειόμενων εναλλακτικών λύσεων για το έργο, η εναλλακτική λύση με τις μεγαλύτερες NS, θα είναι η εναλλακτική λύση που έχει το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής. Έτσι, το κόστος κύκλου ζωής και η μέθοδος NS είναι απολύτως συνεπείς, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά. Το πλεονέκτημα της μεθόδου LCC σε σχέση με τη μέθοδο NS κατά την αξιολόγηση πολλών εναλλακτικών προτάσεων, είναι ότι η πρώτη δεν απαιτεί προσδιορισμό βασικού σεναρίου. Περισσότερα για το βασικό σενάριο βλέπε στο παράδειγμα της Προσθήκης II εντός του σχετικού excel.

Η Καθαρή εξοικονόμηση μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας επιμέρους διαφορές στο κόστος, σύμφωνα με τον ακόλουθο γενικό τύπο:

$$NS_{A:BS} = \sum_{t=0}^N \frac{S_t}{(1+d)^t} - \sum_{t=0}^N \frac{\Delta I_t}{(1+d)^t}$$

Όπου:

$NS_{A:BS}$  = Καθαρές εξοικονομήσεις σε σταθερές τιμές της εναλλακτικής A, σε σχέση με το βασικό σενάριο BS

$S_t$  = Εξοικονομήσεις το έτος t σε λειτουργικό κόστος το οποίο συνδέεται με την εναλλακτική

$\Delta I_t$  = Επιπρόσθετες επενδυτικές δαπάνες το έτος t που συνδέονται με την Εναλλακτική

t = Έτος κατά το οποίο έλαβε χώρα (όπου ως 0 νοείται η ημερομηνία βάσης)

d = προεξοφλητικό επιτόκιο

N = Αριθμός ετών περιόδου μελέτης.

Σημειώστε ότι ενώ ο δείκτης άθροισης (t = 0 έως N) αφορά κόστος λειτουργίας που εξοικονομήθηκε, η εξοικονόμηση αυτή κανονικά δεν πρέπει να υπολογίζεται κατά την ημερομηνία βάσης, αλλά μόνο αφού το έργο έχει τεθεί σε λειτουργία.

#### 12.5.1 Μαθηματικός τύπος καθαρής εξοικονόμησης (NS) για κτηριακά έργα

Ο γενικός τύπος NS μπορεί να απαιτήσει πολύπλοκους υπολογισμούς, ειδικά όταν οι μελλοντικές δαπάνες περιλαμβάνουν τις μεταβολές των τιμών, καθώς και όταν η περίοδος της μελέτης είναι μεγαλύτερη από λίγα έτη. Ένας πιο πρακτικός μαθηματικός τύπος NS για έργα που αφορούν κτήρια, εκμεταλλεύεται τους συντελεστές παρούσας αξίας (SPV, UPV, και UPV\*) για να υπολογιστεί η παρούσα αξία της κάθε κατηγορίας δαπανών, πριν από την ενοποίησή τους σε λειτουργικές ή επενδυτικές:

$$NS_{A:BS} = \Delta E + \Delta W + \Delta OM\&R - \Delta I_0 + \Delta Repl - \Delta Res$$

Όπου

$NS_{A:BS}$  = Καθαρές εξοικονομήσεις χρήματος, δηλαδή εξοικονομήσεις λειτουργίας μείον εκείνες του επιπρόσθετου επενδυτικού κόστους της εναλλακτικής πρότασης A σε σχέση με το βασικό σενάριο.

$\Delta E = (E_{BC} - E_A)$  εξοικονομήσεις ενεργειακού κόστους της εναλλακτικής

$\Delta W = (W_{BC} - W_A)$  εξοικονομήσεις κόστους νερού της εναλλακτικής

$\Delta OM\&R = (OM\&R_{BC} - OM\&R_A)$  διαφορά στις δαπάνες OM&R

$\Delta I_0 = (I_A - I_{BC})$  Επιπρόσθετο αρχικό επενδυτικό κόστος που απαιτείται για την εναλλακτική σε σχέση με το βασικό σενάριο

$\Delta Repl = (Repl_A - Repl_{BC})$  διαφορά στις δαπάνες αντικατάστασης κεφαλαίου

$\Delta Res = (Res_A - Res_{BC})$  διαφορά στην εναπομένονσα αξία ή υπολειμματική αξία

### Συνοπτική παρουσίαση της μεθόδου καθαρής εξοικονόμησης NS

- Ο δείκτης NS είναι ένα χρήσιμο μέτρο οικονομικής επίδοσης για επενδύσεις που μειώνουν το λειτουργικό κόστος.
- Ο δείκτης NS είναι ένας σχετικός δείκτης. Θα πρέπει να υπολογίζεται σε σχέση με ένα καθορισμένο βασικό σενάριο.
- Ο δείκτης NS αποτελεί τη διαφορά στο συνολικό κόστος κύκλου ζωής ή σε επιμέρους κατηγορίες δαπανών.
- Οι εναλλακτικές λύσεις του έργου πρέπει να αξιολογούνται για τις ίδιες χρονικές περιόδους και με το ίδιο προεξοφλητικό επιτόκιο.
- Μία επένδυση είναι οικονομικά αποδοτική, αν ο δείκτης NS είναι θετικός. Ο δείκτης NS είναι θετικός, όταν το LCC της εναλλακτικής είναι χαμηλότερο από το βασικό σενάριο.
- Σημαντικά ζητήματα που δεν είναι μετρήσιμα σε νομισματικούς όρους θα πρέπει να αξιολογούνται με άλλο τρόπο.

#### 12.5.2 Λόγος εξοικονομήσεων προς την επένδυση (SIR- λόγος οφέλους προς κόστος)

Ο SIR είναι ένας Δείκτης οικονομικής επίδοσης για ένα εναλλακτικό σχέδιο, που εκφράζει τη σχέση μεταξύ της εξοικονόμησης και του αυξημένου επενδυτικού κόστους της ίδιας (σε όρους παρούσας αξίας) ως αναλογία. Είναι μια παραλλαγή της σχέσης οφέλους/κόστους που χρησιμοποιείται για οφέλη (εξοικονομήσεις) που παρουσιάζονται, κυρίως, λόγω της μείωσης δαπανών που σχετίζονται με τη λειτουργία του κτηρίου ή του συστήματος. Όπως και ο δείκτης NS, ο δείκτης SIR είναι ένας σχετικός δείκτης επίδοσης. Δηλαδή, μπορεί να υπολογιστεί μόνο σε σχέση με ένα καθορισμένο βασικό σενάριο. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ίδια ημερομηνία βάσης, η ίδια περίοδος μελέτης και το ίδιο προεξοφλητικό επιτόκιο, τόσο για το βασικό σενάριο όσο και για την εναλλακτική λύση.

Ένα εναλλακτικό σχέδιο θεωρείται γενικά οικονομικά αιτιολογημένο σε σχέση με ένα καθορισμένο βασικό σενάριο, όταν ο δείκτης SIR είναι μεγαλύτερος από 1,0. Αυτό ισοδυναμεί με το να θεωρηθεί ότι οι εξοικονομήσεις που θα αποδώσει είναι μεγαλύτερες από

ό, τι οριακό κόστος της επένδυσης, και ότι η καθαρή εξοικονόμησή του είναι μεγαλύτερη από το μηδέν.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι κατά την αξιολόγηση πολλαπλών αλληλοαποκλειόμενων εναλλακτικών λύσεων για ένα έργο, η λύση με το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής είναι η πιο αποδοτική εναλλακτική λύση. Το εναλλακτικό σχέδιο με το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής δεν είναι γενικά η εναλλακτική λύση με τον υψηλότερο δείκτη SIR. Για παράδειγμα, ένα μόνο στρώμα μόνωσης στη οροφή είναι πιθανό μας δίνει έναν υψηλότερο δείκτη SIR, από ένα παχύτερο και πιο ενισχυμένο στρώμα μόνωσης, ενώ το τελευταίο μπορεί να είναι πιο αποδοτικό βάσει LCC. **Ως εκ τούτου δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ο δείκτης SIR για την επιλογή μεταξύ αλληλοαποκλειόμενων εναλλακτικών προτεινόμενων σχεδίων ΕΞΕ. Ο δείκτης SIR πιο είναι χρήσιμος ως μέσο για την κατάταξη του εν λόγω σχεδίου ΕΞΕ ανάμεσα σε ένα ευρύτερο κατάλογο με άλλα ανεξάρτητα μεταξύ τους έργα ΕΞΕ (πχ αντικατάσταση στα πορτοπαράθυρα, ή πλευρική μόνωση, ή αντικατάσταση του chiller με αντλία θερμότητας) και χρησιμοποιείται ως οδηγός για τη βέλτιστη κατανομή περιορισμένων επενδυτικών πόρων.**

Ο γενικός τύπος για τον δείκτη SIR αποτελείται από τους ίδιους όρους που χρησιμοποιούνται στον τύπο διαφορικού κόστους για τον υπολογισμό των NS:

- (1) Οι λειτουργικές εξοικονομήσεις που οφείλονται στο εναλλακτικό σχέδιο, και
- (2) το πρόσθετο επενδυτικό κόστος που αναλογεί στο εναλλακτικό σχέδιο.

Ο γενικός τύπος για το SIR αναδιατάσσει απλά αυτούς τους δύο όρους ως εξής:

$$SIR_{A-BC} = \frac{\sum_{t=0}^N \frac{S_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{\Delta I_t}{(1+d)^t}}$$

Όπου:

**$SIR_{A-BC}$**  = Αναλογία εξοικονομήσεων (PV) προς τα επιπρόσθετα επενδυτικά κόστη (PV) των αλληλοαποκλειόμενων εναλλακτικών σε σχέση με το βασικό σενάριο BC

$S_t$  = Εξοικονομήσεις το έτος  $t$  σε λειτουργικό κόστος το οποίο συνδέεται με την εναλλακτική

$\Delta I_t$  = Επιπρόσθετες επενδυτικές δαπάνες το έτος  $t$  που συνδέονται με την εναλλακτική

$t$  = Έτος κατά το οποίο έλαβε χώρα (όπου ως 0 νοείται η ημερομηνία βάσης)

$d$  = προεξοφλητικό επιτόκιο

$N$  = Αριθμός ετών περιόδου μελέτης.

Μαθηματικός τύπος SIR ειδικά για έργα σε κτήρια

$$SIR_{A:BC} = \frac{\Delta E + \Delta W + \Delta OM\&R}{\Delta I_0 + \Delta Repl - \Delta Res}$$

Όπου

$SIR_{A:BC}$  = Αναλογία των λειτουργικών εξοικονομήσεων προς το πρόσθετο επενδυτικό κόστος, που υπολογίζεται για την εναλλακτική λύση σε σχέση με το βασικό σενάριο

$\Delta E$  =  $(E_{BC} - E_A)$  εξοικονομήσεις ενεργειακού κόστους της εναλλακτικής

$\Delta W$  =  $(W_{BC} - W_A)$  εξοικονομήσεις κόστους νερού της εναλλακτικής

$\Delta OM\&R$  =  $(OM\&R_{BC} - OM\&R_A)$  διαφορά στις δαπάνες OM&R

$\Delta I_0$  =  $(I_A - I_{BC})$  Επιπρόσθετο αρχικό επενδυτικό κόστος που απαιτείται για την εναλλακτική σε σχέση με το βασικό σενάριο

$\Delta Repl$  =  $(Repl_A - Repl_{BC})$  διαφορά στις δαπάνες αντικατάστασης κεφαλαίου

$\Delta Res$  =  $(Res_A - Res_{BC})$  διαφορά στην εναπομένουσα αξία ή υπολειμματική αξία

Όλα τα ανωτέρω ποσά είναι σε παρούσα αξία

### 12.5.3 Προσαρμοσμένος βαθμός εσωτερικής απόδοσης (AIRR)

Ο δείκτης AIRR (Adjusted internal rate of return) αποτελεί το μέτρο της συνολικής ετήσιας πραγματικής απόδοσης ενός επενδυτικού σχεδίου κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Όπως οι δείκτες NS και SIR, έτσι και ο δείκτης AIRR αποτελεί ένα σχετικό μέτρο αποτελεσματικότητας του κόστους. Δηλαδή, θα πρέπει να υπολογιστεί σε σχέση με ένα καθορισμένο βασικό σενάριο. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ίδια ημερομηνία βάσης, η ίδια περίοδος μελέτης, καθώς και το ίδιο προεξοφλητικό επιτόκιο τόσο για τη βασική περίπτωση, όσο και για την εναλλακτική λύση.

Ο AIRR συγκρίνεται με το ελάχιστο αποδεκτό ποσοστό απόδοσης για τον επενδυτή (Minimum acceptable rate of return- MARR), το οποίο είναι συνήθως ίσο με το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται στην ανάλυση LCC. Εάν ο  $AIRR > MARR$ , το έργο είναι οικονομικά αποδοτικό ενώ αν  $AIRR < MARR$ , το έργο είναι οικονομικά μη αποδοτικό. Εάν ο AIRR ισούται με το προεξοφλητικό επιτόκιο, οι εξοικονομήσεις του έργου είναι ακριβώς ίσες με το κόστος του έργου και το έργο είναι οικονομικά ουδέτερο, οπότε θα πρέπει να κριθεί με βάση άλλα οφέλη (εταιρικής κοινωνικής ευθύνης, διοικητικά, ή τεχνικά).

Ο AIRR μπορεί να υπολογίζεται για τις ίδιες εφαρμογές όπως και ο δείκτης SIR. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να ληφθεί απόφαση για την αποδοχή ή την απόρριψη ενός εναλλακτικού σχεδίου (σε σχέση με το βασικό σενάριο) ή να κατανεμηθεί ένας συγκεκριμένος προϋπολογισμός επενδύσεων μεταξύ ενός αριθμού ανεξάρτητων έργων. Όπως και ο SIR, ο AIRR δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιείται για την επιλογή μεταξύ πολλών, αμοιβαία αποκλειόμενων εναλλακτικών ενός έργου. **Η εναλλακτική λύση με τον υψηλότερο AIRR δεν θα είναι απαραίτητα και η εναλλακτική λύση με το χαμηλότερο LCC.**

Ο AIRR, σε αντίθεση με το συμβατικό βαθμό εσωτερικής απόδοσης (IRR), υποθέτει ρητά ότι οι εξοικονομήσεις από ένα έργο μπορούν να επανεπενδυθούν με το προεξοφλητικό επιτόκιο για το υπόλοιπο της περιόδου μελέτης (αν θα ήταν δυνατό να επανεπενδυθούν οι εξοικονομήσεις αυτές, σε ποσοστό υψηλότερο από το προεξοφλητικό επιτόκιο, τότε το προεξοφλητικό επιτόκιο δεν θα αντιπροσώπευε το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου). Ο IRR

υποθέτει έμμεσα ότι τα προσωρινά έσοδα (εξοικονομήσεις) μπορούν να επανεπενδυθούν στον υπολογιζόμενο συντελεστή απόδοσης του όλου έργου, μία υπόθεση η οποία οδηγεί σε υπερεκτίμηση της απόδοσης του έργου, αν η υπολογιζόμενη απόδοση είναι υψηλότερη από το ποσοστό απόδοσης της επανεπένδυσης. Ο AIRR και ο IRR είναι ίδιοι, μόνο αν η επένδυση αποδίδει μια μοναδική, εφάπαξ καταβολή στο τέλος της περιόδου μελέτης, ή στην απίθανη περίπτωση, που το ποσοστό απόδοσης επανεπένδυσης είναι το ίδιο με τον υπολογιζόμενο IRR.

Υπάρχει και ένας άλλος λόγος που συνηγορεί κατά της χρήσης του απλού δείκτη IRR: Περισσότερα από ένα ποσοστά απόδοσης μπορεί να κάνουν την αξία των εξοικονομήσεων και των επενδυτικών χρηματοροών ίση, όπως προδιαγράφεται από τον ορισμό του εσωτερικού βαθμού απόδοσης. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν οι δαπάνες επενδύσεων κεφαλαίου (όπως το κόστος αντικατάστασης) λαμβάνουν χώρα σε μεταγενέστερα έτη, οδηγώντας σε αυξήσεις των αρνητικών χρηματοροών σε μερικά χρόνια.

Για τους λόγους αυτούς, ο δείκτης AIRR θεωρείται γενικά ως πιο ακριβές μέτρο του ρυθμού απόδοσης των επενδυτικών κεφαλαίων και είναι πιο συνεπής με τη γενική μέθοδο LCC. Επιπλέον, μπορεί να υπολογιστεί άμεσα με τη χρήση ενός απλού μαθηματικού τύπου.

#### 12.5.4 Απλουστευμένος μαθηματικός τύπος για τον AIRR

Η πιο απλή μέθοδος υπολογισμού του AIRR απαιτεί να υπολογίζεται πρώτα ο δείκτης SIR για ένα έργο (σε σχέση με το βασικό σενάριο του). Στη συνέχεια, ο AIRR μπορεί να υπολογιστεί εύκολα με τον ακόλουθο τύπο:

$$AIRR = (1 + r) \times SIR^{\frac{1}{N}} - 1$$

όπου

$r$  = το ποσοστό απόδοσης της επανεπένδυσης και

$N$  = ο αριθμός των ετών της περιόδου μελέτης.

#### 12.5.5 Σύνοψη της μεθόδου AIRR

- Ο AIRR μετρά την οικονομική απόδοση ως ετήσιο ποσοστό απόδοσης επί της επένδυσης.
- Ένα εναλλακτικό σχέδιο είναι οικονομικά αποδοτικό σε σχέση με το βασικό σενάριό του, όταν ο AIRR του είναι μεγαλύτερος από το αναλογούν προεξοφλητικό επιτόκιο  $d$ .
- Ο δείκτης AIRR θα πρέπει να υπολογίζεται πάντα σε σχέση με ένα καθορισμένο βασικό σενάριο.
- Κατά τον υπολογισμό του AIRR μιας εναλλακτικής σε σχέση με το βασικό σενάριο του, πρέπει να χρησιμοποιείται ο ίδιος χρονικός ορίζοντας μελέτης και το ίδιο προεξοφλητικό επιτόκιο.
- Ο AIRR, όπως και η SIR, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση ενός εναλλακτικού σχεδίου έναντι του βασικού σεναρίου και για την ταξινόμηση ανεξάρτητων έργων κατά την διαδικασία κατανομής κονδυλίων σε συνθήκες περιορισμένου προϋπολογισμού.
- Σημαντικά ζητήματα που δεν είναι μετρήσιμα σε νομισματικούς όρους θα πρέπει να αξιολογούνται με άλλο τρόπο.

## 12.6 Απλή αποπληρωμή (Simple Payback) και προεξοφλημένη αποπληρωμή (Discounted payback)

Υπάρχουν δύο δείκτες απόσβεσης που χρησιμοποιούνται συχνά για την οικονομική ανάλυση επενδύσεων κεφαλαίου:

- Η Απλή Αποπληρωμή (SPB) και
- Η Προεξοφλημένη αποπληρωμή (DPB)

Τόσο η SPB όσο και η DPB μετρούν το χρόνο που απαιτείται για να ανακτηθεί το αρχικό κόστος επένδυσης. Εκφράζουν τον αριθμό των ετών που μεσολάβησε από την έναρξη της περιόδου λειτουργίας, μέχρι και τον χρόνο κατά τον οποίο η συνολική εξοικονόμηση αποσβέστηκε (καθαρή ΕΞΕ από τυχόν πρόσθετο επενδυτικό κόστος, που προκύπτει μετά την ημερομηνία έναρξης λειτουργίας του έργου), οπότε επαρκούν για να αντισταθμίσουν το οριακό κόστος της αρχικής επένδυσης του έργου.

Η DPB είναι η προτιμώμενη μέθοδος υπολογισμού της περιόδου αποπληρωμής για ένα έργο, διότι προϋποθέτει ότι οι ταμειακές ροές που εμφανίζονται κάθε χρόνο προεξοφλούνται στην παρούσα αξία τους πριν την συμμετοχή τους στο συνολικό αποτέλεσμα εξοικονομήσεων και δαπανών. **Εάν η DPB είναι μικρότερη από τον ορίζοντα της ωφέλιμης ζωής που χρησιμοποιείται στην ανάλυση, το έργο είναι γενικά οικονομικά αποδοτικό.**

Και οι δύο αυτές μέθοδοι αποπληρωμής αγνοούν όλα τα έξοδα (λειτουργίας, συντήρησης κλπ), καθώς και την υπολειμματική αξία, ή τα οφέλη που επέρχονται μετά την ημερομηνία αποπληρωμής. **Η απλή Αποπληρωμή δεν είναι μια έγκυρη μέθοδος για την επιλογή μεταξύ πολλών, αμοιβαία αποκλειόμενων, εναλλακτικών λύσεων του έργου. Μόνο η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (LCCA) και ο δείκτης καθαρές εξοικονομήσεις (NS) πρέπει να χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.** Επίσης δεν είναι κατάλληλη για την κατάταξη ανεξάρτητων μεταξύ τους έργων προκειμένου να ληφθεί απόφαση για την κατανομή της χρηματοδότησης/προϋπολογισμού. Ωστόσο χρησιμοποιείται σε πρώτο επίπεδο: i) Για πρόχειρες συγκρίσεις επενδυτικών σχεδίων ΕΞΕ, ii) Για να δούμε σε πρώτο επίπεδο αν αξίζει να ασχοληθούμε με κάποιο έργο ή όχι, iii) Για έργα ή διαχειριστικές δράσεις που δεν απαιτούν μεγάλο αρχικό κεφάλαιο και είναι οφθαλμοφανές ότι αποσβένουν πολύ γρήγορα.

Σε γενικές γραμμές, η αποπληρωμή ενδείκνυται να χρησιμοποιείται ως μέθοδος ελέγχου μόνο για την ταυτοποίηση εναλλακτικών λύσεων ενός έργου, οι οποίες είναι σαφώς οικονομικότερες, οπότε να μη δικαιολογείται ο χρόνος και το κόστος που απαιτείται για την πραγματοποίηση μιας πλήρους LCCA.

### 12.6.1 Γενικός τύπος Αποπληρωμής

Η περίοδος αποπληρωμής είναι ο ελάχιστος αριθμός των ετών,  $y$ , για την οποία

$$\sum_{t=1}^y \frac{(S_t - \Delta I_t)}{(1+d)^t} \geq \Delta I_0$$

Όπου

$y =$  ελάχιστο χρονικό διάστημα (συνήθως χρόνια) που απαιτείται προκειμένου οι μελλοντικές καθαρές συσσωρευμένες ταμειακές ροές να αντισταθμίσουν το κόστος της αρχικής επένδυσης,

$S_t$  = Εξοικονομήσεις λειτουργικών δαπανών που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη εναλλακτική λύση κατά το έτος  $t$ ,

$\Delta I_t$  = Πρόσθετες επενδυτικές δαπάνες κατά το έτος  $t$ , διαφορετικές από το κόστος της αρχικής επένδυσης, και

$\Delta I_0$  = Αρχικό κόστος επένδυσης που σχετίζεται με το εναλλακτικό σχέδιο,

$d$  = Προεξοφλητικό επιτόκιο

Αν το προεξοφλητικό επιτόκιο είναι μηδενικό, το  $y$  είναι η SPB. Αντίθετα εάν το προεξοφλητικό επιτόκιο είναι μη μηδενικό, το  $y$  αποτελεί την DPB.

**Μαθηματικός τύπος αποπληρωμής για έργα σε κτήρια**

$$\sum_{t=1}^y \frac{[\Delta E_t + \Delta W_t + \Delta OM\&R_t - \Delta Repl_t - \Delta Res_t]}{(1+d)^t} \geq \Delta I_0$$

Όπου

$\Delta E_t$  =  $(E_{BC} - E_A)_t$  εξοικονομήσεις ενεργειακού κόστους το έτος  $t$

$\Delta W_t$  =  $(W_{BC} - W_A)_t$  εξοικονομήσεις κόστους νερού το έτος  $t$

$\Delta OM\&R_t$  =  $(OM\&R_{BC} - OM\&R_A)_t$  διαφορά στις δαπάνες OM&R το έτος  $t$

$\Delta Repl_t$  =  $(Repl_A - Repl_{BC})_t$  διαφορά στις δαπάνες αντικατάστασης κεφαλαίου το έτος  $t$

$\Delta Res_t$  =  $(Res_A - Res_{BC})_t$  διαφορά στην εναπομείνουσα ή υπολειμματική αξία το έτος  $t$

$d$  = Προεξοφλητικό επιτόκιο

$\Delta I_0$  =  $(I_A - I_{BC})_0$  Επιπρόσθετο αρχικό επενδυτικό κόστος της εναλλακτικής έναντι του Βασικού Σεναρίου

## 12.7 Ανάλυση Ευαισθησίας & Εξισορρόπησης ή Νεκρού σημείου

### 12.7.1 Ανάλυση Ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να βοηθήσει με διάφορους τρόπους την αξιολόγηση της αβεβαιότητας μιας LCCA. Είναι μια τεχνική για τον **προσδιορισμό εκείνων των τιμών εισόδου**, οι οποίες εάν ήταν διαφορετικές, θα προκαλούσαν σημαντική διαφορά στο αποτέλεσμα της ανάλυσης. Μπορεί επίσης να υπολογίσει ένα φάσμα αποτελεσμάτων, **προκειμένου να προσδιοριστούν τα κατώτερα και ανώτερα όρια του LCC, ή των NS ενός έργου**, ή οποιουδήποτε άλλου δείκτη οικονομικής αξιολόγησης. Σε ένα ελαφρώς διαφορετικό πλαίσιο, η ίδια τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη **δοκιμή διαφόρων σεναρίων**, είτε με τη χρήση ενός συνόλου πιο απαισιόδοξων τιμών, είτε με τη χρήση πιο αισιόδοξων τιμών από τις αναμενόμενες.

Υπάρχουν αρκετές τυπικές μεθοδολογίες για τη διενέργεια ανάλυσης ευαισθησίας, αλλά για την εφαρμογή της απλούστερης από αυτές αρκεί να:

- Μεταβάλλουμε τις αβέβαιες τιμές εισόδου, ανά μία κάθε φορά,
- Υπολογίσουμε εκ νέου τους δείκτες αξιολόγησης (LCC, NS, SIR, AIRR, DPB),
- Εξετάσουμε την προκύπτουσα μεταβολή προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το βαθμό αβεβαιότητας.

### 12.7.2 Ανάλυση σημείου εξισορρόπησης ή νεκρού σημείου (Breakeven analysis)

Όταν παρατηρούμε μία μεταβλητή απόδοση ή μια παραδοχή είναι κρίσιμης σημασίας για την οικονομική επιτυχία ενός έργου, οι φορείς λήψης αποφάσεων συχνά θέλουν να γνωρίζουν τη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή εισόδου που θα επιτρέψει στο έργο να εξακολουθεί να είναι αποδοτικό. Για παράδειγμα, για μια επένδυση σε ένα σύστημα HVAC που διαθέτει τεχνολογίες εξοικονόμησης αιχμής, είναι κρίσιμο να υπολογιστεί το ελάχιστο ποσό εξοικονόμησης ενέργειας που πρέπει να αποδώσει προκειμένου να καλύψει τις πρόσθετες επενδυτικές δαπάνες για την προμήθεια και εγκατάστασή του. Εξίσου σημαντικός είναι και ο υπολογισμός του μέγιστου ποσού που μπορεί να διατεθεί προκειμένου να παραμένει το έργο οικονομικά αποδοτικό για δαπάνες OM & R.

Η εξίσωση σημείου εξισορρόπησης για ένα τυπικό έργο εξοικονόμησης ενέργειας και νερού θα θέσει τις λειτουργικές εξοικονομήσεις ίσες με τις επενδύσεις που σχετίζονται με το κόστος:

$$S = \Delta C, \quad \text{ή} \quad [\Delta E + \Delta OM\&R + \Delta W] = [\Delta I_0 + \Delta Repl - \Delta Res], \quad \text{όπου:}$$

- S :** Λειτουργικές εξοικονομήσεις της εναλλακτικής σε σχέση με το βασικό σενάριο
- $\Delta C$  :** Επενδυτικές επιπρόσθετες δαπάνες της εναλλακτικής σε σχέση με το βασικό σενάριο
- $\Delta E$  :**  $(E_{BC} - E_A)$  εξοικονομήσεις ενεργειακού κόστους της εναλλακτικής
- $\Delta OM\&R$  :**  $(OM\&R_{BC} - OM\&R_A)$  διαφορά στις δαπάνες OM&R
- $\Delta W$  :**  $(W_{BC} - W_A)$  εξοικονομήσεις κόστους νερού της εναλλακτικής
- $\Delta I_0$  :**  $(I_A - I_{BC})$  Επιπρόσθετο αρχικό επενδυτικό κόστος που απαιτείται για την εναλλακτική σε σχέση με το βασικό σενάριο
- $\Delta Repl$  :**  $(Repl_A - Repl_{BC})$  διαφορά στις δαπάνες αντικατάστασης κεφαλαίου
- $\Delta Res$  :**  $(Res_A - Res_{BC})$  διαφορά στην εναπομένουσα αξία ή υπολειμματική αξία

Όλα τα ποσά θα πρέπει να είναι σε παρούσα αξία

Όλα τα ανωτέρω οικονομικά και ενεργειακά στοιχεία για όλες τις αναλύσεις LCC του κεφαλαίου 12, όπως ο πληθωρισμός, το ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο κλπ, πρέπει να λαμβάνονται από αξιόπιστες πηγές, όπως η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο, την Παγκόσμια Τράπεζα, τη ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας), κλπ, αν και οι αναλύσεις θα πρέπει, ανάλογα με το μέγεθος του έργου, να γίνονται και με διάφορα σενάρια (αισιόδοξα ή απαισιόδοξα) τιμών πληθωρισμού, ονομαστικού προεξοφλητικού επιτοκίου και κλιμάκωσης τιμών ενέργειας. Ωστόσο στο κάθε σενάριο θα πρέπει να εξετάζονται οι διάφορες προτάσεις ΕΞΕ, είτε μεταξύ αλληλοαποκλειόμενων εναλλακτικών λύσεων, είτε μεταξύ διαφορετικών μεταξύ τους έργων ενεργειακών χρήσεων, με τις ίδιες ακριβώς τιμές πληθωρισμού, ονομαστικού προεξοφλητικού επιτοκίου και κλιμάκωσης τιμών ενέργειας.

Επίσης, διευκρινίζεται ότι με τον όρο «βασικό σενάριο», εννοούμε την σύγκριση, της υφιστάμενης κατάστασης (κόστους συντήρησης και λειτουργίας του υπάρχοντος

ενεργοβόρου εξοπλισμού) με οποιοδήποτε προτεινόμενο έργο, είτε πρόκειται για έργο αντικατάστασης με συμβατικό εξοπλισμό, είτε για έργο αντικατάστασης με εξοπλισμό τεχνολογία αιχμής ΕΞΕ, είτε πρόκειται για σύγκριση μεταξύ δύο σεναρίων (οπότε ως «βασικό σενάριο» λαμβάνεται αυτό με τον συμβατικό εξοπλισμό και ως «εναλλακτικό σενάριο» λαμβάνεται αυτό με τον εξοπλισμό τεχνολογίας αιχμής ΕΞΕ). Συνακόλουθα στο δοθέν παράδειγμα ρητώς αναφέρεται η παρούσα κατάσταση με τον όρο «υφιστάμενη κατάσταση».

Αναλυτικό παράδειγμα σε excel (ιδιαίτερα με γραφήματα για την ανάλυση ευαισθησίας ή την ανάλυση νεκρού σημείου) δίδεται με τον παρόντα κανονισμό στην Προσθήκη II, ώστε να γίνει κατανοητή η ανάλυση LCC και να εμπλουτίζεται ή να διαμορφώνεται κάθε φορά, ανάλογα με τα δεδομένα του εκάστοτε προτεινόμενου σχεδίου ΕΞΕ.

## 13 Τυπικές επεμβάσεις εξοικονόμησης

### 13.1 Συνοπτική Ενεργειακή Επιθεώρηση

#### 13.1.1 Σκοπός της Συνοπτικής Ενεργειακής Επιθεώρησης

Η Συνοπτική Ενεργειακή Επιθεώρηση με:

- την συγκέντρωση των στοιχείων κατανάλωσης ενέργειας του βιομηχανικού ή κτιριακού έργου και
- τους επί τόπου ελέγχους, τις μετρήσεις και αναλύσεις

έχει ως σκοπό τον εντοπισμό των πλέον σημαντικών ρυθμίσεων – επεμβάσεων και επενδύσεων που πρέπει να γίνουν, ώστε να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας στον συγκεκριμένο χώρο.

Επίσης μπορούν να καθοριστούν προτεραιότητες με βάση τον χρόνο ανάκτησης κόστους των επεμβάσεων και την δυνατότητα υλοποίησης τους και τέλος να προταθεί ένα βασικό πρόγραμμα δράσης για την Εξοικονόμησης Ενέργειας.

#### 13.1.2 Βιομηχανικός Τομέας

##### *Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας και Φορτίου*

(α) Επιθεωρήσεις –Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων –Αναλύσεις –Διαπιστώσεις

1. Είδος τιμολογίου ΔΕΗ (χαμηλή τάση, ΜΤ, ΥΤ).
2. Τρόπος χρέωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος.
3. Τυπικό Χρονολογικό Διάγραμμα ηλεκτρικού φορτίου και ανάλυση του ( για την περίπτωση μέσης τάσης).
4. Συντελεστής ισχύος και δυνατότητες βελτίωσης.
5. Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (κίνηση, φωτισμός, κλιματισμός, θέρμανση, θερμικές διεργασίες κλπ).
6. Συστήματα διακίνησης ρευστών (αντλίες, ανεμιστήρες).
7. Χρήση, πίεση και δίκτυο διανομής πεπιεσμένου αέρα. Ισχύος, τύποι και συχνότητα εκκίνησης αεροσυμπιεστών.
8. Βιομηχανική ψύξη, για την παραγωγή ή την αποθήκευση προϊόντων.
9. Έιδος και απόδοση λαμπτήρων και φωτιστικών.
10. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας των εγκαταστάσεων.
11. Άλλα

(β) Μετρήσεις

1. Έντασης φωτισμού.
2. Πτώση πίεσης στο δίκτυο πεπιεσμένου αέρα ( από αεροφυλάκιο μέχρι τα σημεία τελικής κατανάλωσης).
3. Θερμοκρασιών στις θερμικές διεργασίες.

4. Απωλειών δικτύου πεπιεσμένου αέρα.

5. Άλλα

(γ) Τυπικές εφαρμογές εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας

1. Βελτιστοποίηση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας και φορτίου.

2. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικών φορτίων.

3. Ανάκτηση θερμότητας.

4. Αντικατάσταση εξοπλισμού με άλλον υψηλότερου β.α.

5. Υποκατάσταση ηλεκτρικής με άλλη μορφή ενέργειας.

6. Εγκατάσταση κεντρικών συστημάτων διαχείρισης ενέργειας.

7. Βελτιστοποίηση συντήρησης εξοπλισμού.

8. Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

9. Άλλα

#### **Θερμική Ενέργεια**

(α) Επιθεωρήσεις – Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων –Αναλύσεις –Διαπιστώσεις

1. Έλεγχος καύσης.

2. Θερμοκρασία και πίεση: νερού, υπέρθεμου νερού ή ατμού.

3. Απορριπτόμενα θερμά απόβλητα (είδος, ποσότητες θερμοκρασίες).

4. Συγκέντρωση συμπτωμάτων και στρατώνας.

5. Διαχείριση νερού τροφοδότησης των λεβήτων.

6. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας της εγκατάστασης.

7. Δίκτυα μεταφοράς θερμικής ενέργειας.

8. Θερμομόνωση δικτύων, δεξαμενών και ξηραντηρίων.

9. Συγκέντρωση και επιστροφές συμπτωμάτων.

10. Διαρροές θερμότητας και ατμού.

11. Παραγωγή, αποθήκευση και κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης.

12. Βαφεία, στεγνωτήρια και ξηραντήρια.

13. Άλλα

(β) Μετρήσεις

1. Βαθμού απόδοσης λεβήτων.

2. Θερμοκρασιών στο κέλυφος των δικτύων μεταφοράς θερμότητας.

3. Απορριπτόμενης θερμότητας και ατμού.

4. Απωλειών σε στεγνωτήρια, δεξαμενές συγκέντρωσης ή αποθήκευσης συμπτωμάτων.

5. Απωλειών σε δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων.
6. Θερμοκρασιών στις θερμικές διεργασίες.
7. Έλεγχος ατμοπαγίδων
8. Άλλα

(γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης θερμικής ενέργειας

1. Βελτιστοποίηση βαθμού απόδοσης λεβήτων.
2. Δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας από θερμά απόβλητα.
3. Περιορισμός διαρροών ατμού.
4. Βελτιστοποίηση λειτουργίας συστήματος λεβήτων. Προσαρμογή λεβήτων στα φορτία.
5. Αξιοποίηση συμπυκνωμάτων.
6. Αξιοποίηση στρτσώνας.
7. Βελτίωση θερμομόνωσης δικτύων, δεξαμενών και δοχείων.
8. Αντικατάσταση λεβήτων και πρόγραμμα λειτουργίας των.
9. Χρήση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.
10. Άλλα

**Παραγωγικές Διαδικασίες**

(α) Επιθεωρήσεις –Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων –Αναλύσεις –Διαπιστώσεις

1. Παραγόμενα προϊόντα και όγκος παραγωγής.
2. Πρόγραμμα παραγωγής και χρονολογικά διαγράμματα ηλεκτρικού φορτίου.
3. Χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (σύγχρονη, ενεργοβόρος κλπ).
4. Έλεγχος αυτοματοποίησης της παραγωγής.
5. Έλεγχος συγχρονισμού λειτουργίας κεντρικών ενεργειακών εγκαταστάσεων με την παραγωγή.
6. Μέση ειδική κατανάλωση ενέργειας.
7. Άλλα

(β) Μετρήσεις

1. Κατανάλωση ενέργειας κατά τους νεκρούς χρόνους του βασικού παραγωγικού εξοπλισμού
2. Δυνατότητες και πραγματική παραγωγικότητα βασικού παραγωγικού εξοπλισμού.

(γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης ενέργειας.

1. Τροποποίηση προγράμματος παραγωγής ώστε να λαμβάνεται υπόψη η κατανάλωση ενέργειας και η ορθολογική διαχείριση ηλεκτρικού φορτίου.
2. Αντικατάσταση εξοπλισμού ενεργειοβόρου τεχνολογίας.

3. Αυτοματοποίηση της παραγωγής.
4. Συγχρονισμός λειτουργίας κεντρικών ενεργειακών εγκαταστάσεις με την παραγωγή.
5. Διακοπή λειτουργίας όλων των φορτίων όταν δεν παράγουν προϊόντα.

### 13.1.3 Κτιριακός –Εμπορικός Τομέας

#### **Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας και φορτίου**

#### (α) Επιθεωρήσεις – Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων –Αναλύσεις –Διαπιστώσεις

1. Τυπικό τιμολόγιο ΔΕΗ.
2. Ανάλυση τρόπου χρέωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος.
3. Τυπικό Χρονολογικό Διάγραμμα ηλεκτρικού φορτίου (για τη μέση τάση).
4. Ανάλυση χρονολογικού διαγράμματος και συμπεράσματα για τη διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας και φορτίου.
5. Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (κίνηση, φωτισμός κλιματισμός, θέρμανση)
6. Απλό ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας.
1. Κατάλογος βασικών ηλεκτρικών φορτίων με την ισχύ και το χρόνο λειτουργίας τους.
7. Συντελεστής ισχύος και δυνατότητες βελτίωσης.
8. Μεταφορικά συστήματα (ταινίες, ανελκυστήρες)
9. Φωτισμός, ζώνες φωτισμού, είδος και απόδοση λαμπτήρων (Lum/W).
10. Συστήματα διακίνησης ρευστών ( αντλίες, ανεμιστήρες).
11. Έλεγχος εξαρτημάτων.
12. Συστήματα ψύξης. Παραγωγή, διακίνηση και χρήση ψυκτικού φορτίου.
13. Ζώνες κλιματισμού και λειτουργίας της ψύξης.
14. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας των εγκαταστάσεων.
15. Συστήματα ανάκτησης ενέργειας.
16. Άλλα.

#### (β) Μετρήσεις

1. Ένταση φωτισμού.
2. Θερμοκρασίες κλιματιζόμενων χώρων.
3. Ανανεώσεις αέρα εσωτερικών χώρων.
4. Θερμοκρασίες κρύου νερού ψύξης και ζεστού νερού χρήσης (θερμαινόμενου με ηλεκτρική ενέργεια).
5. Άλλες.

#### (γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας

1. Αξιολόγηση εναλλακτικών τιμολογίων.
2. Βελτιστοποίηση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.

3. Ετεροχρονισμός φορτίων.
4. Βελτιστοποίηση χρήσης ηλεκτρικού φορτίου.
5. Συστήματα επιτήρησης φορτίου.
6. χρονολογικός έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικών φορτίων.
7. Θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικών φορτίων. <sup>2</sup>
8. Βελτιστοποίηση συντελεστού ισχύος. Τοπική και κεντρική αντιστάθμιση.
9. Ανάκτηση ενέργειας από τον κεντρικό κλιματισμό.
10. Χωρισμός κτιρίου σε ζώνες κλιματισμού.
11. Αερισμός, δροσισμός και Freecooling.
12. Υποκατάσταση ηλεκτρικής με άλλη μορφή ενέργειας στη θέρμανση.
13. Αντικατάσταση θερμοσυσσώρευσης
14. Κεντρικά συστήματα διαχείρισης ενέργειας.

#### **Διαχείριση Θερμικής Ενέργειας**

(α) Επιθεωρήσεις – Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων –Αναλύσεις – Διαπιστώσεις

1. Συνθήκες άνεσης χώρων
2. "Ενεργειακή ποιότητα" κελύφους.
3. Συστήματα Θέρμανσης.
4. Συνολική εγκαταστημένη θερμική ισχύς.
5. Τύπος και ισχύς κάθε λέβητα.
6. Είδος καυσίμου ανά λέβητα.
7. Χρήση θερμική ενέργειας.
8. Έλεγχος καύσης (μηχανικός, αυτόματο σύστημα επιτήρησης ή χειροκίνητος).
9. Θερμοκρασία και πίεση: νερού, υπέρθερμου νερού ή ατμού.
10. Απορριπτόμενος ζεστός αέρα από κεντρικό σύστημα κλιματισμού.
11. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας της εγκατάστασης.
12. Είδος και πάχος θερμομόνωσης.
13. Συνθήκες αποθήκευσης καυσίμων.
14. Παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης.
15. Άλλα.

(β) Μετρήσεις

1. Βαθμός απόδοσης λεβήτων.
2. Απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς θερμότητας.
3. Απώλειες σε δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων.

4. Θερμοκρασία θερμαινόμενα χώρων.

5. Άλλες.

(γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης θερμικής ενέργειας.

1. Βελτιστοποίηση βαθμού απόδοσης λεβήτων.

1. 2. Δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας από θερμά απόβλητα.

2. Βελτιστοποίηση λειτουργίας συστήματος λεβήτων. Προσαρμογή λεβήτων στα φορτία.

3. Βελτίωση θερμομόνωσης δικτύων, δεξαμενών και δοχείων.

4. Ζώνες θέρμανσης και θερμοστατικός έλεγχος τους.

5. Ορθολογική διαχείριση νερού.

6. Αντλίες θερμότητας.

7. Χρήση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

8. Άλλα.

### **13.2 Εκτενής Ενεργειακή Επιθεώρηση**

#### **13.2.1 Σκοπός της Εκτενούς Ενεργειακής Επιθεώρησης**

Η Εκτενής Ενεργειακή Επιθεώρηση με:

- Την συγκέντρωση επαρκών στοιχείων για τις καταναλώσεις ενέργειας του βιομηχανικού ή κτιριακού έργου.
- Τους επί τόπου ελέγχους όλων των εγκαταστάσεων και παραγωγικού εξοπλισμού που καταναλώνουν ενέργεια.
- Τις μετρήσεις και
- Τις αναλύσεις

έχει ως σκοπό τον εντοπισμό των ρυθμίσεων- επεμβάσεων και επενδύσεων που πρέπει να γίνουν ώστε να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας στον συγκεκριμένο χώρο.

Μετά την ολοκλήρωση του Εκτεταμένου Ενεργειακού Ελέγχου πρέπει να:

- καθοριστούν προτεραιότητες με βάση τον χρόνο ανάκτησης κόστους των επεμβάσεων και την δυνατότητα υλοποίησης τους και
- να προταθεί ένα βασικό πρόγραμμα δράσης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας.

#### **13.2.2 Βιομηχανικός Τομέας**

**Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας και Φορτίου.**

(α) Επιθεωρήσεις – Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων – Αναλύσεις – Διαπιστώσεις.

1. Είδος τιμολογίου ΔΕΗ (χαμηλή τάση, ΜΤ, ΥΤ).

2. Ανάλυση τρόπου χρέωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος για τα 3 τελευταία χρόνια.

3. Χρονολογικά διαγράμματα (μέσης τάσης ) ηλεκτρικού φορτίου, για κάθε εποχή τους έτους: της τυπικής εργάσιμης ημέρας και μιας αργίας.
4. Συσχετισμός των χρονολογικών διαγραμμάτων με την παραγωγή ή άλλες χρήσεις του έργου.
5. Όρος χρονολογικών διαγραμμάτων και ανάλυση του.
6. Ανάλυση χρονολογικών διαγραμμάτων και συμπεράσματα για τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας.
7. Ανάλυση χρονολογικών διαγραμμάτων και συμπεράσματα για τη διαχείριση του ηλεκτρικού φορτίου.
8. Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (κίνηση, φωτισμός, κλιματισμός, θέρμανση, θερμικές διεργασίες κλπ). Ισοζύγια ηλεκτρικής ενέργειας.
9. Κατάλογος βασικών ηλεκτρικών φορτίων με την ισχύ και το χρόνο λειτουργίας τους.
10. χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος των εγκαταστάσεων.
11. Συντελεστής ισχύος κεντρική και τοπική αντιστάθμιση.
12. Ισχύς, σταθερές απώλειες και χρόνος λειτουργίας των μετασχηματισμών.
13. Έλεγχος προσαρμογής των ηλεκτροκινητήρων στα φορτία τους.
14. Μεταφορικά συστήματα (ταινίες, ανελκυστήρες, γερανοί). Προσαρμογή στα φορτία, έλεγχος λειτουργίας των κλπ.
15. Συστήματα διακίνησης ρευστών (αντλίες, ανεμιστήρες). Έλεγχος πτώσης πίεσης και στραγγαλισμοί κατά τη διακίνηση ρευστών.
16. Ισχύς, τύποι και συχνότητα εκκίνησης αεροσυμπιεστών. Συμμετοχή τους στη διαμόρφωση των χρονολογικών διαγραμμάτων φορτίου.
17. Χρήση, πίεση και δίκτυο διανομής πεπιεσμένου αέρα. Πίεση πεπιεσμένου αέρα, στα σημεία κατανάλωσης.
18. Βιομηχανική ψύξη, για την παραγωγή ή την αποθήκευση προϊόντων.
19. Είδος λαμπτήρων και απόδοση τους σε Lum/Watt. Ζώνες και έλεγχος φωτισμού. Απόδοση φωτιστικών. Έλεγχος καθαρότητας λαμπτήρων, φωτιστικών και καλυμμάτων.
20. Παραγωγή ζεστού νερού.
21. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας των εγκαταστάσεων.
22. Άλλα.

#### (β) Μετρήσεις

1. Έντασης φωτισμού, με λουξόμετρο.
2. Σταθερών απωλειών μετασχηματιστών.
3. Πτώσης τάσης από πίνακες μέχρι τις βασικές καταναλώσεις.
4. Πτώση πίεσης στο δίκτυο πεπιεσμένου αέρα.

5. Θερμοκρασιών στις θερμικές διεργασίες.
6. Ενεργειακών απωλειών δικτύου πεπιεσμένου αέρα.
7. Θερμοκρασίας ζεστού νερού, χρήσης και παραγωγικών διεργασιών.
8. Βαθμοί απόδοσης εξοπλισμού.
9. Άλλες.

(γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.

1. Αξιολόγηση εναλλακτικών τιμολογίων ( βιοτεχνικό, βιομηχανικό Β1, Β2 κλπ.).
2. Βελτιστοποίηση χρήσης ηλεκτρικού φορτίου. Ετεροχρονισμός φορτίων. Εξομάλυνση αιχμών. Συστήματα επιτήρησης φορτίου.
3. Βελτιστοποίηση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Χρονολογικός έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικών φορτίων.
5. Θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικών φορτίων.
6. Βελτιστοποίηση συντελεστή ισχύος. Τοπική και κεντρική αντιστάθμιση.
7. Ανάκτηση θερμότητας.
8. Αξιοποίηση απορριπτόμενης θερμότητας από αεροσυμπιεστές.
9. Αντικατάσταση αεροσυμπιεστών, ρύθμιση πίεσης αέρα στα σημεία κατανάλωσης.
10. Αντικατάσταση ή ρύθμιση υπερδιαστασιοποιημένου εξοπλισμού.
11. Προσαρμογή κινητήρων στα φορτία τους.
12. Αντικατάσταση εξοπλισμού με άλλον υψηλότερου β.α.
13. Υποκατάσταση ηλεκτρικής με άλλη μορφή ενέργειας.
14. Συμπαράγωγή θερμότητας – ηλεκτρισμού.
15. Χρήση κινητήρων μεταβλητών στροφών.
16. Χρήση εξοπλισμού υψηλότερης τάσης.
17. Εγκατάσταση κεντρικών συστημάτων διαχείρισης ενέργειας.
18. Βελτιστοποίηση συντήρησης εξοπλισμού.
19. Αποκέντρωση υποσταθμών.
20. Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
21. Συντήρηση εξοπλισμού.
22. Τοποθέτηση μετρητών και καταγραφικών.
23. Άλλα

#### **Θερμική Ενέργεια**

(α) Επιθεωρήσεις – Συλλογή και Εξεργασία Στοιχείων –Αναλύσεις – Διαπιστώσεις.

1. Συνολική εγκαταστημένη θερμική ισχύς.

2. Είδος καυσίμου ανά λέβητα. Συνθήκες τροφοδότησης λεβήτων με καύσιμο ( θερμοκρασία αποθήκευσης, μόνωση δεξαμενών).
3. Χρήση θερμικής ενέργειας. Ισοζύγια θερμικής ενέργειας.
4. Χρονολογικά διαγράμματα θερμικής ισχύος ( όπου είναι αυτό δυνατόν).
5. Έλεγχος καύσης (μηχανικός, αυτόματο σύστημα επιτήρησης ή χειροκίνητος).
6. Θερμοκρασία και πίεση: νερού, υπέρθερμου νερού ή ατμού.
7. Απορριπτόμενα θερμά απόβλητα. Ποσότητες, θερμοκρασίες και χρονολογικά διαγράμματα απορροής.
8. Συγκέντρωση συμπυκνωμάτων και στρατσώνας.
9. Διαχείριση νερού τροφοδότησης των λεβήτων.
10. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας της εγκατάστασης.
11. Δίκτυα μεταφοράς θερμικής ενέργειας ( θερμοκρασίες, διάμετροι και μήκη σωλήνων).
12. Είδος και πάχος θερμομόνωσης δικτύων, δεξαμενών και ξηραντηρίων.
13. Συνθήκες αποθήκευσης καυσίμων.
14. Συγκέντρωση, επιστροφή και αξιοποίηση συμπυκνωμάτων.
15. Διαρροές θερμότητας και ατμού. Εκτίμηση / υπολογισμός απωλειών.
16. Έλεγχος εναλλακτών θερμότητας και συστημάτων εναλλαγής θερμότητας. Επάρκεια εξοπλισμού, ρύθμιση λειτουργίας κλπ.
17. Κατανάλωση και τρόπος παραγωγής ζεστού νερού για παραγωγή και άλλες χρήσεις.
18. Βαφεία, στεγνωτήρια και ξηραντήρια. Έλεγχος θερμοκρασιών, πληρότητας δεξαμενών και θαλάμων.
19. Θερμοκρασία ζεστού νερού, χρήσης και παραγωγικών διεργασιών.
20. Άλλα.

#### (β) Μετρήσεις

1. Βαθμού απόδοσης κάθε λέβητα (σε δυο, τουλάχιστον, επίπεδα φόρτισης).
2. Στρατσώνας (ποσότητες, θερμοκρασία).
3. Θερμοκρασίας καυσαερίων (ποσότητα, θερμοκρασία).
4. Απωλειών στα δίκτυα μεταφοράς θερμότητας.
5. Απορριπτόμενη θερμότητα και διαρροών ατμού.
6. Απωλειών σε στεγνωτήρια, δεξαμενές συγκέντρωσης ή αποθήκευσης συμπυκνωμάτων.
7. Απωλειών σε δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων.
8. Θερμοκρασία και πίεση ατμού.
9. Θερμοκρασίας ζεστού νερού, χρήσης και παραγωγικών διεργασιών.

10. Θερμοκρασιών στις θερμικές διεργασίες.
  11. Έλεγχος ατμοπαγίδων.
  12. Άλλα.
- (γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης θερμικής ενέργειας.
1. Βελτιστοποίηση βαθμού απόδοσης λεβήτων. Συστήματα επιτήρησης και βελτιστοποίησης καύσης.
  2. Δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας από θερμά απόβλητα, economizers.
  3. Περιορισμός διαρροών ατμού.
  4. Βελτιστοποίηση λειτουργίας συστήματος λεβήτων. Προσαρμογή λεβήτων στα φορτία.
  5. Αξιοποίηση συμπυκνωμάτων.
  6. Αξιοποίηση στρατσώνας.
  7. Αλλαγή καυσίμου.
  8. Βελτίωση θερμομόνωσης εξοπλισμού λεβητοστασίου, δικτύων, δεξαμενών και δοχείων.
  9. Αντικατάσταση λεβήτων και πρόγραμμα λειτουργίας των.
  10. Χρήση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.
  11. Άλλα.

#### **Παραγωγικές Διαδικασίες**

- (α) Επιθεωρήσεις - Συλλογή και Επεξεργασία στοιχείων –Αναλύσεις – Διαπιστώσεις.
1. Παραγόμενα προϊόντα και όγκος παραγωγής.
  2. Συσχετισμός προγράμματος παραγωγής και χρονολογικών διαγραμμάτων ηλεκτρικού φορτίου.
  1. 3.Χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (σύγχρονη, ενεργοβόρος κλπ.).
  3. Εξέταση / Έλεγχος αυτοματοποίησης της παραγωγής.
  4. Έλεγχος συγχρονισμού λειτουργίας κεντρικών ενεργειακών εγκαταστάσεων με την παραγωγή.
  5. Υπολογισμός ειδικής κατανάλωσης ενέργειας βασικού παραγωγικού εξοπλισμού.
  6. Άλλα.
- (β) Μετρήσεις
1. 1.Κατανάλωση ενέργειας κατά τους νεκρούς χρόνους του βασικού παραγωγικού εξοπλισμού.
  2. Δυνατότητες και πραγματική παραγωγικότητα βασικού παραγωγικού εξοπλισμού.
  3. Εξέταση υπερδιαστασιολόγησης εξοπλισμού.

(γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης ενέργειας κατά τις παραγωγικές διαδικασίες.

1. Τροποποίηση προγράμματος παραγωγής ώστε να λαμβάνεται υπόψη η κατανάλωση ενέργειας και η ορθολογική διαχείριση φορτίου.
2. Αντικατάσταση εξοπλισμού ενεργοβόρου τεχνολογίας.
3. Αυτοματοποίηση της παραγωγής
4. Συγχρονισμός λειτουργίας κεντρικών ενεργειακών εγκαταστάσεων με την παραγωγή.
5. Διακοπή λειτουργίας όλων των φορτίων όταν δεν παράγουν προϊόντα.

### 13.2.3 Κτιριακός – εμπορικός τομέας

#### **Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας και Φορτίου.**

(α) Επιθεωρήσεις – Σύλλογή και Επεξεργασία στοιχείων – Αναλύσεις – Διαπιστώσεις

1. Είδος τιμολογίου ΔΕΗ ( χαμηλή τάση, ΜΤ, ΥΤ).
2. Ανάλυση τρόπου χρέωσης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος, κατά τα τελευταία 3 χρόνια.
3. Χρονολογικά διαγράμματα ( για τη μέση τάση) ηλεκτρικού φορτίου, για την τυπική εργάσιμη ημέρα και μια αργία. Τα διαγράμματα αυτά θα γίνουν για όλες τις εποχές τους έτους.
4. Ανάλυση χρονολογικών διαγραμμάτων και συμπεράσματα για τη διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας και φορτίου. Ισοζύγια ηλεκτρικές ενέργειας.
5. Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (κίνηση, φωτισμός, κλιματισμός, θέρμανση)
6. Κατάλογος βασικών ηλεκτρικών φορτίων με την ισχύ και το χρόνο λειτουργίας τους.
7. Συντελεστής ισχύος, κεντρική και τοπική αντιστάθμιση.
8. Ισχύς, σταθερές απώλειες και λειτουργία μετασχηματιστών.
9. Έλεγχος ταυτοχρονισμού βασικών φορτίων.
10. Έλεγχος προσαρμογής των ηλεκτροκινητήρων και λοιπού εξοπλισμού στα φορτία τους.
11. Μεταφορικά συστήματα (ταινίες, ανελκυστήρες).
12. Έλεγχος φωτισμού, ζώνες φωτισμού, είδος και απόδοση λαμπτήρων (Lum/W). Έλεγχος καθαρότητας λαμπτήρων, φωτιστικών και καλυμμάτων.
13. Συστήματα διακίνησης ρευστών (αντλίες, ανεμιστήρες). Έλεγχος υπερβολικής πτώσης πίεσης, στραγγαλισμοί κλπ.
14. Έλεγχος εξαερισμών.
15. Συστήματα ψύξης. Παραγωγή, διακίνηση και χρήση ψυκτικού φορτίου.
16. Ζώνες κλιματισμού και λειτουργίας της ψύξης.
17. Πρόγραμμα συντήρησης εξοπλισμού.
18. Παραγωγή ζεστού νερού, χρήσης και παραγωγικών διεργασιών.

19. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

20. Συστήματα ανάκτησης ενέργειας.

21. Άλλα.

(β) Μετρήσεις

1. Ένταση φωτισμού.

2. Σταθερές απώλειες μετασχηματιστών.

3. Πτώση τάσης από πίνακες μέχρι τις βασικές καταναλώσεις.

4. Θερμοκρασίες κλιματιζόμενων χώρων.

5. Ανανεώσεις αέρα εσωτερικών χώρων.

6. Θερμοκρασίες κρύου νερού ψύξης και ζεστού νερού χρήσης (θερμαινόμενου με ηλεκτρική ενέργεια).

7. Άλλες.

(γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.

1. Αξιολόγηση εναλλακτικών τιμολογίων.

2. Βελτιστοποίηση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.

3. Αποφυγή χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για θερμικούς σκοπούς.

4. Αντικατάσταση θερμοσυσσώρευσης.

5. Βελτιστοποίηση χρήσης ηλεκτρικού φορτίου. Ετεροχρονισμός φορτίων. Εξομάλυνση αιχμών.

6. Συστήματα επιτήρησης φορτίου.

7. Χρονολογικός έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικών φορτίων.

8. Θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρικών φορτίων.

9. Βελτιστοποίησης συντελεστή ισχύος. Τοπική και κεντρική αντιστάθμιση.

10. Ανάκτηση ενέργειας από τον κεντρικό κλιματισμό.

10. Αντικατάσταση / ρύθμιση υπερδιαστασιοποιημένου εξοπλισμού.

11. Χωρισμός κτιρίου σε ζώνες κλιματισμού.

12. Freecooling

13. Αντικατάσταση εξοπλισμού με άλλον υψηλότερου β.α.

14. Συμπαράγωγή θερμότητας – ηλεκτρισμού.

15. Χρήση κινητήρων μεταβλητών στροφών.

16. Κεντρικά συστήματα διαχείρισης ενέργειας.

17. Προσαρμογή εξοπλισμού στα φορτία.

18. Χρήση ήπιων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

19. Τοποθέτηση μετρητών και καταγραφικών.

## 20. Βελτιστοποίηση συντήρησης εξοπλισμού.

### **Διαχείριση Θερμικής Ενέργειας.**

(α) Επιθεωρήσεις – Συλλογή και Επεξεργασία στοιχείων –Αναλύσεις –Διαπιστώσεις.

1. Συνθήκες άνεσης χώρων.
2. "Ενεργειακή ποιότητα" κελύφους (είδος- πάχος- θέση μονωτικών υλικών και υπολογισμός συντελεστού θερμοπερατότητας).
3. Συστήματα Θέρμανσης. Έλεγχος τεχνικών λύσεων, μετατροπή, μεταφορά και χρήση θερμικής ενέργειας.
4. Είδος καυσίμου ανά λέβητα.
5. Χρήση θερμικής ενέργειας. Κατάλογος βασικών φορτίων. Ισοζύγια θερμικής ενέργειας.
6. Χρονολογικά διαγράμματα θερμικής ισχύος.
7. Έλεγχος καύσης (μηχανικός, αυτόματο σύστημα επιτήρησης ή χειροκίνητος).
8. Θερμοκρασία και πίεση: νερού, υπέρθερμου νερού ή ατμού.
9. Απορριπτόμενος ζεστός αέρας από κεντρικό σύστημα κλιματισμού (ποσότητες, θερμοκρασίες και χρονολογικά διαγράμματα απορροής).
10. Χρονολογικός και θερμοστατικός έλεγχος λειτουργίας της εγκατάστασης.
11. Είδος και πάχος θερμομόνωσης, κελύφους και δικτύων.
12. Δίκτυα μεταφοράς θερμικής ενέργειας (θερμοκρασίες, διάμετροι, μήκη).
13. Συνθήκες αποθήκευσης καυσίμων.
14. Έλεγχος εναλλακτών θερμότητας και συστημάτων εναλλαγής θερμότητας.
15. Παραγωγή μεταφορά και κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης.
16. Άλλα.

(β) Μετρήσεις

1. Βαθμός απόδοσης λεβήτων.
2. Απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς θερμότητας.
3. Απώλειες σε δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων.
4. Θερμοκρασίες χώρων.
5. Θερμοκρασία και πίεση ατμού και ζεστού νερού.
6. Άλλες.

(γ) Τυπικές εφαρμογές βελτιστοποίησης χρήσης θερμικής ενέργειας.

1. Βελτιστοποίηση βαθμού απόδοσης λεβήτων. Συστήματα επιτήρησης και βελτιστοποίησης καύσης.
2. Δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας από θερμά απόβλητα.
3. Βελτιστοποίηση λειτουργίας συστήματος λεβήτων. Προσαρμογή λεβήτων στα φορτία.

4. Αλλαγή καυσίμου.
5. Βελτίωση θερμομόνωσης εξοπλισμού λεβητοστασίου, δικτύων, δεξαμενών και δοχείων.
6. Ζώνες θέρμανσης και θερμοστατικός έλεγχος τους.
7. Ορθολογική διαχείριση νερού
8. Αντλίες θερμότητας.
9. Χρήση ενεργητικών και παθητικών ηλιακών συστημάτων.
10. Άλλα.

## 14 Αναφορές

### 14.1 Νόμοι, Κανονισμοί και Πρότυπα

1. Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) Δ6/Β/ΥΚ/11038/8.7.1999 με τίτλο: «Διαδικασίες, απαιτήσεις και κατευθύνσεις για τις ενεργειακές επιθεωρήσεις σε βιομηχανία και κτίρια».
2. [The North American Measurement and Verification Protocol](#), (NAMVP), Version 1 (1966).
3. Οδηγία 2006/32/ΕΕ για την ΕΕ (Energy Saving Directive -ESD)
4. Νόμος 3855/2010 «Μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση, ενεργειακές υπηρεσίες και άλλες διατάξεις»
5. Νόμος 3661/2008, Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις.
6. Νόμος 4122/2013 για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων
7. Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων
8. Η Οδηγία 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση (EED) και ο εναρμονιστικός νόμος 4342/2015
9. IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol (2012)
10. ASHRAE Standard 14- 2002, Measurement of Energy and Demand Savings
11. ΕΛΟΤ EN ISO 50001:2011, Συστήματα διαχείρισης της ενέργειας - Απαιτήσεις και οδηγίες εφαρμογής
12. ISO 50002:2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Απαιτήσεις με οδηγίες χρήσεως
13. ISO 50003:2014, Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – απαιτήσεις για παρόχους ενεργειακών ελέγχων και πιστοποίησης συστημάτων διαχείρισης ενέργειας,
14. ISO 50004:2014, Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – Οδηγίες εφαρμογής, συντήρησης και βελτίωσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας
15. ISO 50006:2014, Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – Μέτρηση ενεργειακής επίδοσης με χρήση γραμμών ενεργειακής βάσης και δείκτες ενεργειακής επίδοσης – Γενικές αρχές και οδηγίες
16. ISO 50015:2014, Συστήματα διαχείρισης ενέργειας – Μέτρηση και επαλήθευση της ενεργειακής επίδοσης Οργανισμών – Γενικές αρχές και οδηγίες
17. EN 16247-1: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι– Μέρος 1 : Γενικές απαιτήσεις
18. EN 16247-2: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Μέρος 2 : Κτίρια
19. EN 16247-3: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Μέρος 3
20. EN 16247-4: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Μέρος 4 : Μεταφορές
21. EN 16247-5: 2014, Ενεργειακοί έλεγχοι – Προσόντα ενεργειακών ελεγκτών
22. ISO 17.741:2016 Γενικοί τεχνικοί κανόνες για μέτρηση, υπολογισμό και επαλήθευση της ΕΕ στα έργα

23. ISO 17.742:2015 Ενεργειακή απόδοση και υπολογισμός εξοικονόμησης για χώρες, περιοχές και πόλεις
24. ISO 17.743:2016 Εξοικονόμηση ενέργειας – Ορισμός μεθοδολογικού πλαισίου υπολογισμού και εκθέσεως της ΕΕ
25. ISO/FDIS 17.747 Προσδιορισμός της εξοικονόμησης ενέργειας σε οργανισμούς
26. ISO 15686-5:2008, Buildings & constructed assets – Service life planning –Part 5: Life cycle costing.

#### 14.2 Δημοσιεύσεις

27. M&V Guidelines: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts, Version 4.0, Prepared for the U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program, November 2015
28. Eurostat, Energy balance sheets Statistical books, 2011-2012  
<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5785109/KS-EN-14-001-EN.PDF>
29. A European Strategy for Low-Emission Mobility» SWD(2016) 244 final, 2016)
30. Committee on the Assessment of Technologies for Improving Light-Duty Vehicle Fuel Economy, Board on Energy and Environmental Systems, Division on Engineering and Physical Sciences, National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, 2011, Washington, D.C. <http://www.nap.edu/read/12924/chapter/1>
31. H.P.J de Wilde, P. Kroon, “Policy Options to reduce passenger cars CO2 after 2020” February 2013, ECN—E-13-005 ,
32. Απ. Ευθυμιάδης, Ρ. Βιρβίλη, ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Πανελλήνιος Σύλλογος Διπλωματούχων Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων (ΠΣΔΜΗ), 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Αθήνα, May 2007, Δελτίο του ΠΣΔΜΗ, Μάρτιος 2008
33. Απ. Ευθυμιάδης, Ρ. Βιρβίλη, ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Πανελλήνιος Σύλλογος Διπλωματούχων Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων (ΠΣΔΜΗ), 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Αθήνα, Μάιος 2005, Δελτίο ΠΣΔΜΗ, Ιούνιος 2006
34. The Coalition for Energy Saving © 2013, “EU Energy Efficiency Directive (2012/27/EU) [Guidebook for Strong Implementation](#)”, Chapter II.5 Energy audits (Article 8)
35. European Commission, “[Recommendations on measurement and verification](#) in the framework of Directive 2006/32 on energy end-use efficiency and energy services.
36. evaluate energy savings, EMEEES Project, “[Measuring and reporting energy savings for the Energy Service Directive](#) – how it can be done”, June 2009
37. [Enhancing the impact of energy audits and energy management](#) in the EU A review of Article 8 of the Energy Efficiency Directive, Prof. Dr. Wolfgang Eichhammer & Dr. Clemens Rohde, Fraunhofer Institute for Systems and Innovations Research ISI, February 2016.