



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ II: Σχεδιασμός, Ανάλυση και Ανάπτυξη Διεργασιών και Συστημάτων

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ ΜΟΣΧΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΓΙΩΡΓΟΣ ΜΑΥΡΩΤΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στόχος της εργασίας είναι η εξέταση των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ενεργειακών φορτίων και η πραγματοποίηση τη ενεργειακής βελτιστοποίησης σε κτίριο με τη χρήση Μαθηματικού Προγραμματισμού.

Συγκεκριμένα, στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται μία βιβλιογραφική επισκόπηση των μοντέλων και προγραμμάτων υπολογισμού ενεργειακών φορτίων και ενεργειακής βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η μεθοδολογία για τον ενεργειακό σχεδιασμό ενός νοσοκομείου στη Zaragoza της Ισπανίας με τη χρήση του Μαθηματικού Προγραμματισμού. Το μαθηματικό μοντέλο του ενεργειακού συστήματος κατασκευάζεται με τη χρήση της γλώσσας μοντελοποίησης GAMS. Το αποτέλεσμα της επίλυσης ενός τέτοιου μοντέλου είναι η δομική, η διαστατική και η λειτουργική βελτιστοποίηση του συστήματος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των σπουδών της συγγραφέως στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η θεματική ενότητα της μελέτης εντάσσεται στον τομέα της Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας.

Θα ήθελα να εκφράσω από καρδιάς τις ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή κ.Γεώργιο Μαυρωτά για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω τον τομέα του ενεργειακού σχεδιασμού, καθώς επίσης και για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εξαιρετικής μας συνεργασίας.

Χάρις Μόσχου

Αθήνα, Μάρτιος 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

Σκοπός και Αντικείμενο	7
------------------------	---

Κεφάλαιο 2^ο : Επισκόπηση μοντέλων υπολογισμού ενεργειακών φορτίων και μοντέλων ενεργειακής βελτιστοποίησης

2.1 Απλουστευμένες Μέθοδοι Ενεργειακής Ανάλυσης 10

2.1.1 Μέθοδος Βαθμοημερών	10
2.1.2 Τροποποιημένη Μέθοδος Βαθμοημερών	12
2.1.3 Μέθοδος Μεταβλητής Αναφοράς Βαθμοημερών	13
2.1.4 Μέθοδος Bin	15
2.1.5 Τροποποιημένη Μέθοδος Bin	17
2.1.6 Λεπτομερειώδης ενέργεια κτιρίων και προσομοίωση συστημάτων	18

2.2 Μοντέλο Μελέτης Συμπαγωγής Retscreen CHP 20

2.2.1 Εισαγωγή	20
2.2.2 Μελέτη Θερμικού Φορτίου & Υπολογισμός Ενέργειας	20
2.2.2.1 Γενικά	20
2.2.2.2 Όρια κλιματολογικών συνθηκών μελέτης	21
2.2.2.3 Ισοδύναμες βαθμοημέρες για τη θέρμανση νερού	22
2.2.2.4 Υπολογισμός μέγιστου φορτίου θέρμανσης	23
2.2.2.5 Θερμική καμπύλη διάρκειας φορτίων	24
2.2.2.6 Μέσο μηνιαίο φορτίο θέρμανσης	27
2.2.2.7 Συνολικές ενεργειακές ανάγκες	28
2.2.2.8 Θερμότητα διεργασιών	29
2.2.2.9 Ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου	30
2.2.3 Μελέτη Ψυκτικού Φορτίου & Υπολογισμός Ενέργειας	31
2.2.3.1 Γενικά	31
2.2.3.2 Όρια κλιματολογικών συνθηκών μελέτης	31
2.2.3.3 Ισοδύναμες βαθμοημέρες για ψυκτικά φορτία	31
2.2.3.4 Υπολογισμός του μέγιστου φορτίου ψύξης	32
2.2.3.5 Ψυκτική καμπύλη διάρκειας φορτίων	32
2.2.3.6 Περίοδος μέγιστου ψυκτικού φορτίου, συνολική ενεργειακή χρήση, κ.λ.π.	33
2.2.3.7 Ψύξη Διεργασιών	33

2.2.4 Μελέτη Ηλεκτρικού Φορτίου & Υπολογισμός Ενέργειας	34
2.2.5 Σύνοψη	34
2.3 ORNL CHP Capacity Optimizer	35
2.3.1 Εισαγωγή	35
2.3.2 Γενικές Πληροφορίες	35
2.3.3 Δεδομένα Εισόδου	38
2.3.4 Στοιχεία Ζήτησης	41
2.3.5 Στοιχεία Ηλεκτρισμού και Καυσίμων	42
2.3.6 Στοιχεία Ποσοστού Κλιμάκωσης	43
2.3.7. Γενικά Στοιχεία	44
2.3.8 Περιοχή Αποτελεσμάτων	45
2.4 EnergyPRO	48
2.4.1 Γενικά Στοιχεία	48
2.4.2 Δομή Δεδομένων Εισόδου	49
2.4.2.1 Χαρακτηριστικά Μελέτης	49
2.4.2.2 Εξωτερικές Συνθήκες	51
2.4.2.3 Περίοδοι «προτεραιότητας»	53
2.4.2.4 Καύσιμες Ύλες	54
2.4.2.5 Ενεργειακή Ζήτηση	54
2.4.2.6 Ενεργειακές Μονάδες	56
2.4.2.7 Τρόπος Λειτουργίας	57
2.4.2.8 Περιβαλλοντικές εκλύσεις	57
2.4.2.9 Οικονομικά Χαρακτηριστικά	57
2.4.3 Δημιουργία Αναφορών	58
2.4.3.1 Τεχνικές Αναφορές	59
2.4.3.2 Οικονομικές αναφορές	61
2.5 EnergyPlus	62
2.5.1 Γενικά Στοιχεία	62
2.5.2 Διαμόρφωση	62
2.5.3 Δομή	63
2.5.4 Υπολογισμός διατήρησης θερμότητας	64
2.5.5 Διαχείριση της προσομοίωσης συστήματος κτιρίου	65
2.5.6 Δεδομένα Εισόδου/ Δεδομένα Εξόδου/ Κλιματολογικά Δεδομένα	66

Κεφάλαιο 3^ο : Ενεργειακή βελτιστοποίηση με Μαθηματικό Προγραμματισμό 67

Κεφάλαιο 4^ο : Μελέτη περίπτωσης 72

4.1 Γενικά Στοιχεία	72
4.2 Ζήτηση Ενέργειας	73
4.3 Υπερδομή Συστήματος	78
4.4 Μηχανολογικός εξοπλισμός	81
4.5 Τιμολόγια φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας	85

Κεφάλαιο 5^ο : Κατασκευή μοντέλου 86

5.1 Σύνολα	87
5.2 Εισαγωγή Δεδομένων	88
5.2.1 Πίνακες	88
5.2.2 Πίνακες Στοιχείου	89
5.3 Μεταβλητές	90
5.3.1 Θετικές	90
5.3.2 Ακέραιες	91
5.3.3 Δυαδικές	91
5.3.4 Ελεύθερη	92
5.4 Εξισώσεις	92
5.4.1 Ισοζύγια ενέργειας	93
5.4.1.1 <i>Ισοζύγια ενέργειας για κάθε τύπο μηχανολογικού εξοπλισμού</i>	93
5.4.1.2 <i>Ισοζύγια Ενέργειας για κάθε ενεργειακό ρεύμα</i>	96
5.4.2 Εγκατεστημένη ισχύς των συσκευών και περιορισμοί για τον αριθμό τους	97
5.4.3 Όρια Δυναμικότητας	98
5.4.4 Περιορισμοί Παραγωγής	99
5.4.5 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους	100
5.5 Επίλυση	102
5.5.1 Δήλωση Μοντέλου	102
5.5.2 Δήλωση Επίλυσης	103
5.5.3 Δήλωση για την Εμφάνιση Αποτελεσμάτων στο αρχείο εξόδου	103
5.5.4 Δήλωση για υπολογισμούς σε βρόγχους	104

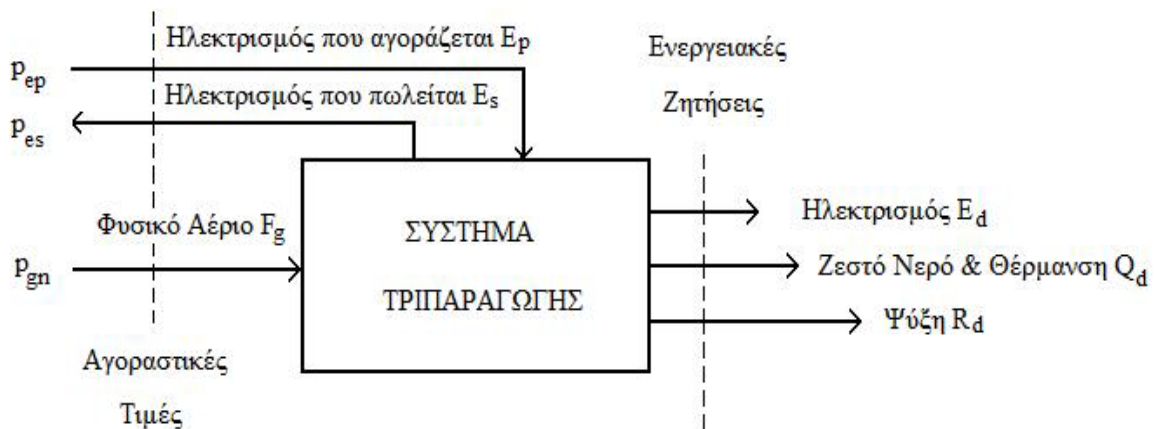
Κεφάλαιο 6^ο : Αποτελέσματα	105
6.1 1 ^η Περίπτωση - Με Συμπαραγωγή	106
6.2 2 ^η Περίπτωση (αναφοράς) - Χωρίς Συμπαραγωγή	109
Κεφάλαιο 7^ο : Συμπεράσματα	112
7.1 Συμπεράσματα για τη μέθοδο	112
7.2 Συμπεράσματα για την εφαρμογή	113
7.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	117
Βιβλιογραφία	116
Παράρτημα	118

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός και Αντικείμενο

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει διπλό σκοπό. Πρώτον, γίνεται μία βιβλιογραφική επισκόπηση για τα μοντέλα και τα προγράμματα υπολογισμού ενεργειακών φορτίων και ενεργειακής βελτιστοποίησης. Ο δεύτερος σκοπός της μελέτης είναι η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε ένα παράδειγμα από τη βιβλιογραφία [1]. Η μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση γίνεται με μαθηματικό προγραμματισμό και συγκεκριμένα με GAMS.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, βασικό ρόλο στη μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων παίζει η πολλά υποσχόμενη τεχνολογία της τριπαραγωγής, δηλαδή της ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικού, θερμικού και ψυκτικού φορτίου. Η βαθμιαία αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών σε κτίρια κάνει έντονη την ανάγκη για τη δημιουργία συστημάτων τριπαραγωγής και τη λειτουργία τους στον τριτογενή τομέα. Η χρήση τέτοιου είδους συστημάτων συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στον περιορισμό περιβαλλοντικών εκπομπών. Ένα σύστημα τριπαραγωγής (σχήμα 1-1) σχεδιάζεται με σκοπό να ικανοποιήσει τις προβλεπόμενες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, υγειονομικό ζεστό νερό, θέρμανση και ψύξη ενός συγκεκριμένου κτιρίου. Αν και ένα σύστημα τριπαραγωγής μπορεί να σχεδιαστεί για να λειτουργήσει αυτόνομα και ανεξάρτητα από το ηλεκτρικό δίκτυο, είναι χρήσιμο να εγκατασταθεί μια σύνδεση με το δίκτυο για την αγορά και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Για την πραγματοποίηση της πώλησης πλεονάσματος ηλεκτρικής ενέργειας, οι εγκαταστάσεις πρέπει απαραίτητως να ικανοποιούν συγκεκριμένες νομικές προϋποθέσεις.



Σχήμα 1-1: Σύστημα τριπαραγωγής ενέργειας

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την τριπαραγωγή βασίζεται στο συνδυασμό της τεχνολογίας συμπαραγωγής με μονάδα απορρόφησης για ψύξη.

Η μονάδα συμπαραγωγής, μαζί με τη μονάδα απορρόφησης, ικανοποιούν τη μέση θερμική ζήτηση για τις διαφορετικές υπηρεσίες (θέρμανση και ψύξη), ενώ οι συμβατικές μονάδες (λέβητας και μονάδα συμπίεσης για ψύξη) χρησιμοποιούνται με έναν βοηθητικό τρόπο για την κάλυψη των μέγιστων ζητήσεων. Οι υπόλοιπες ροές θερμότητας που δεν χρησιμοποιούνται, εκκενώνονται από το περιβάλλον μέσω της χρήσης των πύργων ψύξης ή άλλων μηχανολογικών εξοπλισμών.

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών φορτίων και για τη διεξαγωγή της ενεργειακής βελτιστοποίησης ενός συστήματος συμπαραγωγής ή τριπαραγωγής, χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα, ενεργειακά προγράμματα και υπολογιστικά εργαλεία. Η παρούσα μελέτη αναπτύσσει ένα μοντέλο βελτιστοποίησης χρησιμοποιώντας το Μαθηματικό Προγραμματισμό για την πραγματοποίηση της δομικής, διαστατικής και λειτουργικής αριστοποίησης ενός νοσοκομείου σε ωριαία βάση κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μία επισκόπηση των μοντέλων υπολογισμού ενεργειακών φορτίων και μοντέλων ενεργειακής βελτιστοποίησης. Εκτός από τις μεθόδους απλών ενεργειακών υπολογισμών, περιγράφεται το μοντέλο συμπαραγωγής RETScreen CHP, το λογιστικό φύλλο ORNL CHP Capacity Optimizer, καθώς και τα προγράμματα προσομοίωσης EnergyPRO και EnergyPlus.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 3 σκιαγράφεται η ενεργειακή βελτιστοποίηση με Μαθηματικό Προγραμματισμό και γίνεται η περιγραφή της κεντρικής ιδέας για τη δημιουργία ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων. Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός χρησιμοποιείται για την κατασκευή του μαθηματικού μοντέλου του ενεργειακού συστήματος που μελετάται.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η εφαρμογή του υπολογισμού ενεργειακών φορτίων για τον ενεργειακό σχεδιασμό ενός συγκεκριμένου κτιρίου. Η περίπτωση η οποία μελετάται είναι ένα νοσοκομείο μεσαίου μεγέθους στη Zaragoza της Ισπανίας [1]. Με βάση τα ωριαία φορτία ζήτησης για κάθε μήνα του έτους τόσο για τις εργάσιμες μέρες όσο και για τις μέρες αργίας προκύπτουν τα αντίστοιχα θερμικά, ψυκτικά και ηλεκτρικά φορτία υπό τη μορφή 24ωρων προφίλ. Μέσω της υπερδομής του συστήματος παρουσιάζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί διαμόρφωσης και λειτουργίας των εξοπλισμών, καθώς και οι ανάγκες παροχής στα απαιτούμενα ρεύματα.

Το μαθηματικό μοντέλο του ενεργειακού συστήματος κατασκευάζεται με τη χρήση της γλώσσας μοντελοποίησης GAMS. Η περιγραφή της κατασκευής του μοντέλου πραγματοποιείται στο κεφάλαιο 5. Η μοντελοποίηση του ενεργειακού συστήματος εκφράζεται με περιορισμούς που αφορούν τα ισοζύγια ενέργειας, την εγκατεστημένη ισχύ των συσκευών, τα όρια της δυναμικότητας, καθώς και τους περιορισμούς παραγωγής. Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος αφορά την ελαχιστοποίηση του ετήσιου κόστους.

Το αποτέλεσμα της επίλυσης ενός τέτοιου μοντέλου είναι η δομική (ποιές συσκευές πρέπει να εγκατασταθούν και τι επεμβάσεις πρέπει να γίνουν), η διαστατική (ποιές οι διαστάσεις τους) και η λειτουργική (πώς θα λειτουργούν) βελτιστοποίηση του συστήματος. Έτσι, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής βελτιστοποίησης που πραγματοποιήθηκε για το συγκεκριμένο σύστημα, καθώς και για την περίπτωση που το σύστημα δεν περιέχει συμπαραγωγή.

Τέλος, στο κεφάλαιο 7 αναφέρονται τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την παρούσα εργασία, τόσο για τη μέθοδο όσο και για τη δεδομένη εφαρμογή. Επιπλέον, γίνονται κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα και συνέχιση της παρούσας εργασίας.

2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.1 Απλουστευμένες Μέθοδοι Ενεργειακής Ανάλυσης

Ακόμα και στη σύγχρονη εποχή όπου η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών γίνεται με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια, οι απλουστευμένες μέθοδοι ενεργειακής ανάλυσης, που βασίζονται στις έννοιες των βαθμοημερών και στο σημείο θερμοκρασιακής ισορροπίας, παραμένουν πολύτιμα εργαλεία υπολογισμού. Αν σκοπός της ενεργειακής ανάλυσης ενός κτιρίου είναι η μελέτη των τάσεων των φορτίων ή η σύγκριση συστημάτων, τότε οι απλουστευμένες μέθοδοι ανάλυσης μπορεί να είναι κατάλληλες. Ωστόσο για μία λεπτομερειώδη ενεργειακή ανάλυση ενός κτιρίου και για την οικονομική ανάλυση του κύκλου ζωής της μελέτης απαιτούνται πιο εκτενείς υπολογισμοί.

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά των παρακάτω μεθόδων:

- 1) Μέθοδος Βαθμοημερών
- 2) Τροποποιημένη Μέθοδος Βαθμοημερών
- 3) Μέθοδος Μεταβλητής Αναφοράς Βαθμοημερών
- 4) Μέθοδος Bin
- 5) Τροποποιημένη Μέθοδος Bin
- 6) Λεπτομερειώδης ενέργεια κτιρίων και προσομοίωση συστημάτων

Οι πέντε πρώτες μέθοδοι αφορούν απλουστευμένους ενεργειακούς υπολογισμούς, ενώ η ενότητα 2.1.6 αναφέρεται σε αναλυτικούς ενεργειακούς υπολογισμούς που απαιτούν τη χρήση κάποιου προγράμματος ή λογισμικού [2].

2.1.1 Μέθοδος Βαθμοημερών

Η μέθοδος βαθμοημερών (degree-day method) είναι μία απλή προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού του καταναλισκόμενου θερμικού φορτίου και εφαρμόζεται για μόνιμες συνθήκες στο εσωτερικό μικρών κτιρίων.

Η διαδικασία υπολογισμού είναι βασισμένη στην παραδοχή ότι ένα ποσό ηλιακής και εσωτερικής ενέργειας αντισταθμίζει τις απώλειες θέρμανσης όταν η μέση εξωτερική θερμοκρασία είναι 18,3°C (65°F).

Η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη της διαφοράς μεταξύ της ημερήσιας μέσης θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας των 18,3°C (65°F). Οι βαθμοημέρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το χαρακτηρισμό της δριμύτητας του κλίματος και επιπλέον χρησιμεύουν στην εκτίμηση ενεργειακών υπολογισμών για σύγκριση των θερμικών απαιτήσεων κτιρίων σε διαφορετικές τοποθεσίες. Οι βαθμοημέρες υπολογίζονται ως εξής:

$$DD_{m,h} = \sum_{d=1}^{D_m} (18,3 - \bar{T}_A)^+$$

Η ενέργεια θερμότητας που απαιτείται είναι :

$$E = \frac{24 \cdot HL \cdot DD_h}{\Delta T_{des} \cdot \eta \cdot V}$$

ή

$$E = \frac{24 \cdot UA_0 \cdot DD_h}{\eta \cdot V}$$

Όπου $DD_{m,h}$ είναι οι βαθμοημέρες θέρμανσης για τον μήνα m, D_m είναι ο αριθμός των ημερών ανά μήνα, \bar{T}_A είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος η οποία ισούται με $(T_{max,d} - T_{min,d})/2$, E είναι οι απαιτήσεις καυσίμων για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, HL είναι οι σχεδιασμένες - προβλεπόμενες απώλειες θέρμανσης βασισόμενες στο T_{des} (οι οποίες συμπεριλαμβάνουν και τη διείσδυση αέρος), DD_h είναι οι βαθμοημέρες θέρμανσης με βάση τη θερμοκρασία ισορροπίας 18,3 °C (65°F) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ΔT_{des} είναι η σχεδιαζόμενη διαφορά θερμοκρασίας $(T_R - T_A)$ K, η είναι ο παράγοντας διόρθωσης όπου αποτελεί την αποδοτικότητα του εξοπλισμού (για ολικό φορτίο) και ισούται με $\eta=1$ για αποδοτικότητα 100 %, V είναι το μοναδιαίο κόστος του καυσίμου θέρμανσης, UA_0 είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του κτιρίου γνωστός και ως συντελεστής απώλειας κτιρίου (BLC) σε W/K (ο όρος αυτό περιλαμβάνει και τη διείσδυση αέρος) και τέλος το πρόσημο + υποδηλώνει ότι στους υπολογισμούς περιλαμβάνονται μόνο οι θετικές τιμές.

Αν είναι γνωστό το θερμικό φορτίο σχεδιασμού ή οι απώλειες της απόδοσης, μπορούν να υπολογιστούν με τη μέθοδο αυτή οι ενεργειακές απαιτήσεις με βάση τον αριθμό των βαθμομερών.

2.1.2 Τροποποιημένη Μέθοδος Βαθμομερών

Εξαιτίας της ανακρίβειας της μεθόδου βαθμομερών λόγω της χρήσης των 18,3°C (65°F) ως θερμοκρασία αναφοράς, στην τροποποιημένη μέθοδο χρησιμοποιείται ένας διορθωτικός παράγοντας C_D . Το C_D πρόκειται για έναν εμπειρικό διορθωτικό παράγοντα που αφορά την επίδραση της θέρμανσης στον υπολογισμό των βαθμομερών για τους 18,3°C (65°F). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ισχύει :

$$E = \frac{24 \cdot HL \cdot DD_h}{\Delta T_{des} \cdot \eta \cdot V} C_D$$

ή

$$E = \frac{24 \cdot UA_0 \cdot DD_h}{\eta \cdot V} C_D$$

Ορίζεται $C_D=1$ αν θεωρηθεί η θερμοκρασία των 18,3°C (65°F) ως η θερμοκρασία ισορροπίας του συστήματος.

Ωστόσο, η τροποποιημένη αυτή μέθοδος προσέγγισης των βαθμομερών (modified degree-day method) παρουσιάζει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

1. Είναι αποτελεσματική μόνο για θέρμανση
2. Δεν πραγματοποιεί ακριβή εκτίμηση του ποσού εσωτερικής θέρμανσης. Η εφαρμογή της περιορίζεται σε κατοικίες και παρόμοιες κατασκευές που έχουν φορτία αντίστοιχου μεγέθους. Συγκεκριμένα σε αυτές τις περιπτώσεις, οι κυρίαρχοι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος του φορτίου είναι το περίβλημα του κτιρίου και η διείσδυση αέρος.
3. Πρόκειται για συντηρητική εκτίμηση. Με βελτιωμένα είδη μόνωσης και αυξημένα εσωτερικά φορτία τα αποτελέσματα μπορούν να υπερεκτιμηθούν και να χρησιμοποιηθεί ο παράγοντας C_D .
4. Είναι βασισμένη σε μέσες συνθήκες και δεν λαμβάνει υπόψη τις καθημερινές αλλαγές των καιρικών συνθηκών, καθώς και την επίδραση της θερμοκρασίας στον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό.

2.1.3 Μέθοδος Μεταβλητής Αναφοράς Βαθμοημερών

Η θερμοκρασία των 18,3 °C (65 °F) συνηθίζεται να είναι η θερμοκρασία αναφοράς για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης. Ωστόσο, η πραγματική θερμοκρασία ισορροπίας μίας κατοικίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα το είδος και η ποιότητα της κατασκευής, το είδος της μόνωσης που χρησιμοποιείται, τα ποσά εσωτερικής και ηλιακής θέρμανσης, η ρύθμιση του θερμοστάτη, καθώς επίσης και η συμπεριφορά των κατοίκων. Ο καθένας από τους παραπάνω παράγοντες διαφέρει από χώρα σε χώρα, από περιοχή σε περιοχή, ακόμα και από σπίτι σε σπίτι στην ίδια τοποθεσία. Όλοι αυτοί οι παράγοντες καθιστούν την χρήση της θερμοκρασίας των 18,3°C ως θερμοκρασία αναφοράς ανακριβή και αναξιόπιστη. Κατά συνέπεια, δεν είναι αρκετή μία θερμοκρασία ισορροπίας για τους ενεργειακούς υπολογισμούς σε κτίρια και γίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης μεταβλητών θερμοκρασιών αναφοράς.

Η μέθοδος μεταβλητής αναφοράς βαθμοημερών (variable-base degree-day method) είναι μία γενίκευση της ευρύτερης μεθόδου των βαθμοημερών. Συγκεκριμένα, υπολογίζει τις βαθμοημέρες σύμφωνα με το σημείο ισορροπίας της θερμοκρασίας για ένα κτίριο, δηλαδή την εξωτερική θερμοκρασία για την οποία δεν απαιτείται ούτε θέρμανση ούτε ψύξη. Σε αυτή τη θερμοκρασία το ποσό εσωτερικής και ηλιακής θέρμανσης αντισταθμίζει τις απώλειες από την κατασκευή του κτιρίου. Θέρμανση απαιτείται μόνο όταν $T_A < T_{Bal}$.

Μία στιγμιαία ενεργειακή ισορροπία σε μόνιμες συνθήκες στο κτίριο είναι:

$$0 = UA_0(T_R - T_{Bal}) - g$$

$$T_{Bal} = T_R - \frac{g}{UA_0}$$

Όπου g είναι το ποσό ηλιακής και εσωτερικής θέρμανσης και T_R είναι η επιθυμητή θερμοκρασία δωματίου.

Για χρονικό διάστημα ενός μήνα, χρησιμοποιείται ο μέσος ωριαίος ρυθμός ποσού ηλιακής και εσωτερικής θέρμανσης, \bar{g} , οπότε η μέση μηνιαία θερμοκρασία ισορροπίας είναι:

$$T_{Bal} = T_R - \frac{\bar{g}}{UA_0}$$

Όταν υπάρχουν διαφορετικές θερμοκρασίες ισορροπίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας εξαιτίας των αλλαγών της λειτουργικότητας του κτιρίου ή της ρύθμισης του θερμοστάτη, οι βαθμοημέρες θέρμανσης $DD_{hm,i}$ για τον μήνα m , και για την περίοδο i , μπορούν να υπολογιστούν ως εξής :

$$DD_{hm,i} = \sum_{d=1}^{D_m} (T_{Bal,i} - \bar{T}_{A,d})^+$$

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης είναι:

$$Q_{htg,sys} = 24 \sum_{i=1}^n UA_0 f_i DD_{hm,i}$$

Στη συνέχεια, η χρησιμοποιούμενη ενέργεια θέρμανσης θα είναι:

$$E = Q_{htg,sys} / \eta_h$$

Όπου n είναι ο αριθμός των περιόδων λειτουργίας, f_i είναι χρονικό κλάσμα λειτουργίας που αντιστοιχεί σε κάθε ώρα της ημέρας ($N_i/24$) και η_h είναι η απόδοση του συστήματος θέρμανσης.

Οι βαθμοήμερες ψύξης $DD_{cm,i}$ για το μήνα m και την περίοδο i , μπορούν να υπολογιστούν αντίστοιχα ως εξής:

$$DD_{cm,i} = \sum_{d=1}^{D_m} (\bar{T}_{A,d} - T_{Bal,i})^+$$

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια ψύξης είναι:

$$Q_{clg,sys} = 24 \sum_{i=1}^n UA_0 f_i DD_{cm,i}$$

Αυτός ο υπολογισμός ενέργειας ψύξης χρησιμοποιείται για κτίρια με σταθερό UA_0 , όπου δεν υπάρχει εξαερισμός του κτιρίου και επίσης έχουν θεωρηθεί κλεισμένα τα παράθυρα και τα άλλα ανοίγματα. Η λειτουργία των συστημάτων κλιματισμού απαιτείται μόνο όταν η εξωτερική θερμοκρασία υπερβεί μία συγκεκριμένη μέγιστη θερμοκρασία T_{max} , η οποία αντιστοιχίζεται με ένα συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $UA_{0,max}$ λαμβάνοντας υπόψη ότι τα παράθυρα εξαερισμού του κτιρίου είναι ανοιχτά. Ισχύει:

$$T_{max} = T_R - \frac{\bar{g}}{UA_{0,max}}$$

Κατά συνέπεια, ο αριθμός των βαθμοημερών ψύξης με βάση το T_{max} είναι:

$$DD_{cm,i(T_{max})} = \sum_{i=1}^n \sum_{d=1}^{D_m} (\bar{T}_{A,d} - T_{max,i})^+$$

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια ψύξης είναι:

$$Q_{clg(T_{max})} = 24 UA_0 \left\{ \sum_{i=1}^n [f_i DD_{cm,i(T_{max})}] + [(T_{max} - T_{Bal})N_{d,max}] \right\}$$

Όπου $N_{d,max}$ είναι ο αριθμός των ημερών κατά την περίοδο όπου $\bar{T}_A > T_{max}$.

Η λανθάνουσα θερμότητα ψύξης μπορεί να υπολογιστεί σε μηνιαία βάση, προσθέτοντας τον ακόλουθο όρο στην εξίσωση υπολογισμού ενέργειας ψύξης:

$$Q_{latent} = 3010 \dot{V}(\bar{w}_{o,m} - \bar{w}_{i,m})$$

Όπου Q_{latent} είναι το φορτίο μηνιαίας λανθάνουσας ψύξης σε W, \dot{V} είναι η μηνιαία διείσδυση αέρος σε 1/s, $\bar{w}_{o,m}$ είναι το μηνιαίο μέσο ποσοστό εξωτερικής υγρασίας σε $kg_w / kg_{dry\ air}$ και $\bar{w}_{i,m}$ είναι το μηνιαίο μέσο ποσοστό εσωτερικής υγρασίας σε $kg_w / kg_{dry\ air}$.

Γενικά, οι υπολογισμοί ενέργειας ψύξης που βασίζονται στις βαθμομέρες είναι πιο δύσκολοι σε σύγκριση με αυτούς της θέρμανσης, καθώς σε αυτή την περίπτωση λαμβάνεται υπόψη η ενέργεια που παράγεται από τη λειτουργία των συστημάτων εξαερισμού, κλιματιστικών και ανεμιστήρων.

2.1.4 Μέθοδος Bin

Η προσέγγιση με τη μέθοδο των βαθμομερών δεν είναι ικανοποιητική για κτίρια όπου στο εσωτερικό τους παράγονται φορτία ή για κτίρια όπου τα ψυκτικά φορτία δεν είναι γραμμική συνάρτηση της εσωτερικής/εξωτερικής θερμοκρασιακής διαφοράς. Αυτό συμβαίνει κυρίως στην περίπτωση των μεγάλων εμπορικών κτιρίων. Οι επιδράσεις της μάζας, η ενέργεια ψύξης, ο βαθμός της υγρασίας, οι ηλιακές επιδράσεις, καθώς και η αποδοτικότητα του εξοπλισμού και των φορτίων είναι παράγοντες που δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη με τη μέθοδο των βαθμομερών.

Η μέθοδος bin ή συχνότητας θερμοκρασίας (bin method) βασίζεται στην πραγματοποίηση στιγμιαίων θερμικών και ψυκτικών ενεργειακών υπολογισμών σε πολλές διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες (bin) και τον πολλαπλασιασμό των αποτελεσμάτων με τον αριθμό των ωρών διάρκειας της καθεμίας συνθήκης (bin).

Η μέθοδος bin διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Είναι αποτελεσματική για ενεργειακούς υπολογισμούς θέρμανσης και ψύξης
2. Οι συνθήκες bin είναι θερμοκρασίες, (περίπου 2,8°C ή 5°F) που αντιστοιχούν συνήθως σε τρεις οκτάωρες θερμοκρασιακές μεταβολές κατά τη διάρκεια της ημέρας.
3. Η μέση θερμοκρασία για κάθε συνθήκη bin χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό εξαερισμού και διείσδυσης αέρος λανθανόντων φορτίων.
4. Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη της, τις επικρατούσες και μη συνθήκες και πραγματοποιεί υπολογισμούς για εσωτερικά φορτία σε συνθήκες σημείου θερμοκρασιακής ισορροπίας
5. Είναι χρήσιμη για την ανάλυση μεμονωμένων συστημάτων, εξοπλισμών, κ.τ.λ.
6. Υπολογίζει τα μερικά φορτία για εξοπλισμό HVAC (δηλαδή για συστήματα εξαερισμού, θέρμανσης και κλιματισμού)
7. Είναι περισσότερο ακριβής σε σχέση με τη μέθοδο των βαθμομερών, καθώς βασίζεται σε ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα και όχι τόσο σε μέσες ημερήσιες τιμές.

Λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των ωρών που αντιστοιχούν σε κάθε θερμοκρασιακή συνθήκη bin, υπολογίζεται η συνολική απαιτούμενη ενέργεια ως εξής:

$$Q_{htg} = UA_0 \sum_{j=1}^n N_{bin,j} (T_{Bal,j} - T_{A,j})^+$$

Η χρησιμοποιούμενη ενέργεια θέρμανσης θα είναι:

$$E = Q_{htg} / \eta_h$$

Όπου n είναι ο αριθμός των συνθηκών bin, $N_{bin,j}$ είναι ο αριθμός των ωρών που αντιστοιχεί στη j συνθήκη bin, και $T_{A,j}$ η εξωτερική μέση θερμοκρασία της j συνθήκης bin.

2.1.5 Τροποποιημένη Μέθοδος Bin

Η τροποποιημένη μέθοδος bin (modified bin method) διαφέρει από την προηγούμενη καθώς αποτελεί μία νέα προσέγγιση που βασίζεται σε φορτία τα οποία δεν είναι τα μέγιστα δυνατά και για συνθήκες μη σχεδιαζόμενες.

Αντίθετα, η μέθοδος bin χρησιμοποιεί μόνο τα μέγιστα φορτία για να δημιουργήσει ένα ενεργειακό προφίλ φορτίων ως συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Γενικά, το προφίλ των ενεργειακών φορτίων εξαρτάται από το μέσο προφίλ των ποσών ηλιακής ακτινοβολίας, το μέσο εσωτερικό προφίλ (κάτοικοι, φωτισμός, εξοπλισμός) και τις τιμές των θερμοκρασιακών διαφορών. Η ανάπτυξη καθενός παράγοντα ως γραμμική συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας, δίνει τη δυνατότητα του συνδυασμού όλων των παραγόντων και τη δημιουργία ενός συνολικού ενιαίου προφίλ φορτίων το οποίο αντιπροσωπεύει όλες τις συνθήκες του έτους (ανεξάρτητα εποχής).

Στις περισσότερες περιπτώσεις η λειτουργικότητα των κτιρίων έχει τουλάχιστον δύο θερμοκρασιακά διαστήματα μεταβολής τα οποία αντιπροσωπεύουν τις ώρες κατοίκησης και μη. Επίσης, κάποια κτίρια απαιτούν θέρμανση σε κάποια τμήματα και ψύξη σε κάποια άλλα.

Η τροποποιημένη μέθοδος bin αντιμετωπίζει τα περισσότερα από τα μειονεκτήματα των υπόλοιπων απλούστερων μεθόδων υπολογισμού. Με τη μέθοδο αυτή προκύπτουν βάσιμες και λογικές μηνιαίες/ετήσιες εκτιμήσεις ενέργειας κτιρίων με έναν απλούστερο τρόπο σε σχέση με τα λεπτομερειακά προγράμματα ωριαίας προσομοίωσης. Η μέθοδος είναι κατάλληλη κυρίως για εφαρμογή σε κτίρια έκτασης 500-2500 m².

Οι υπολογισμοί της τροποποιημένης μεθόδου bin μπορούν να γίνουν με το χέρι, ωστόσο για αυτό το σκοπό διατίθενται και υπολογιστικά προγράμματα. Για παράδειγμα, το πρόγραμμα ASEAM χρησιμοποιεί την τροποποιημένη μέθοδο bin για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης σε κατοικίες και απλά εμπορικά κτίρια. Το πρόγραμμα αυτό απαιτεί πληροφορίες για τις διαστάσεις του κτιρίου και χρησιμοποιεί συγκεκριμένους αλγόριθμους για τον καθορισμό των περιοχών-ζωνών και τον υπολογισμό των μέγιστων φορτίων που απαιτούνται. Επιπλέον, σχεδιάζει αυτόματα το μέγεθος των εξοπλισμών με βάση τα υπολογιζόμενα φορτία. Τέλος, γίνεται οικονομική ανάλυση του κύκλου ζωής της μελέτης, καθώς επίσης προκύπτουν και διάφορα είδη οικονομικών αναφορών.

2.1.6 Λεπτομερειώδης ενέργεια κτιρίων και προσομοίωση συστημάτων

Τα μοντέλα προσομοίωσης είναι ευέλικτα εργαλεία σχεδιασμού τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση συμπεριφοράς συστημάτων. Ένα μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός συνόλου τιμών από επιλεγμένες μετρήσεις οι οποίες αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά ενός προσομοιωμένου συστήματος. Η σχέση μεταξύ δεδομένων εισόδου και εξόδου εκφράζονται μέσω μοντέλων υποσυστημάτων που συνδέονται λογικά το ένα με το άλλο.

Στην περίπτωση προσομοίωσης σχεδιασμού κτιρίων, τα μοντέλα προσομοίωσης δίνουν πληροφορίες για τη συμπεριφορά ενός κτιριακού συστήματος υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Βασίζονται σε δύο είδη στρατηγικών προσομοίωσης:

- Προσέγγιση αλληλουχίας

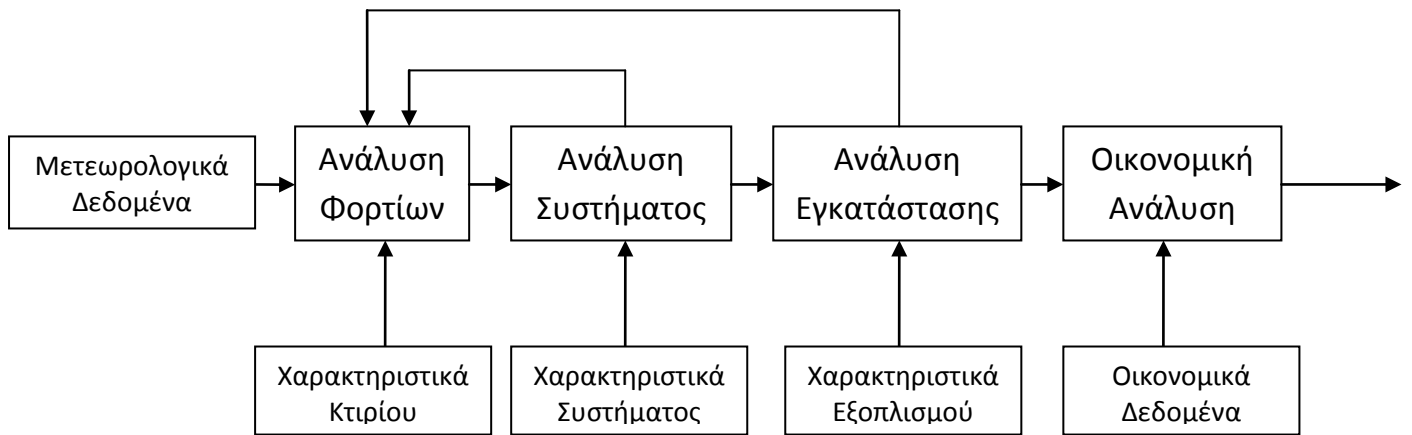
Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός μέγιστων θερμικών και ψυκτικών φορτίων κάθε χώρου για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, αφού έχουν εισαχθεί μετεωρολογικά στοιχεία και χαρακτηριστικά του κτιρίου. Ακολουθεί η συμπληρωματική προσομοίωση συστήματος με βάση τα χαρακτηριστικά του. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν τα ωριαία ενεργειακά φορτία του συστήματος. Στη συνέχεια, η κεντρική εγκατάσταση προσομοιώνεται για τον καθορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων. Για αυτό το βήμα είναι απαραίτητη η γνώση των χαρακτηριστικών του εξοπλισμού της εγκατάστασης. Το επόμενο βήμα είναι οι οικονομικοί υπολογισμοί κόστους ενέργειας ή η ανάλυση δαπανών κύκλου ζωής. Τα αποτελέσματα εξόδου κάθε βήματος χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου για το επόμενο. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται κανονικά για ωριαία βάση.

Η προσέγγιση αυτή εξοικονομεί χρόνο και μνήμη στον υπολογιστή. Από την άλλη πλευρά δεν έχει τη δυνατότητα να συνδέει τα χαρακτηριστικά των φορτίων, του συστήματος και της εγκατάστασης. Έτσι, δε μπορεί να αντιμετωπιστεί για παράδειγμα η περίπτωση που ο εξοπλισμός δεν έχει τη δυνατότητα να καλύψει τις απαιτούμενες ανάγκες σε φορτία.

- Επίλυση ταυτόχρονης προσέγγισης

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη διασύνδεση μεταξύ φορτίων, συστήματος και εγκατάστασης. Παρουσιάζει μεν πλεονεκτήματα στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων, αλλά απαιτεί περισσότερο χρόνο και μνήμη από τον υπολογιστή σε σχέση με την προσέγγιση αλληλουχίας που προαναφέρθηκε. Επιπλέον, αποτελεί μία ενδιάμεση μέθοδο μεταξύ των απλών μεθόδων που αγνοούν την ύπαρξη ή μη μόνιμων συνθηκών και άλλων πολυπλοκότερων μεθόδων με αναλυτικούς υπολογισμούς. Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται σχηματικά ο τρόπος λειτουργίας της επίλυσης ταυτόχρονης προσέγγισης. Το αντίστοιχο σχεδιάγραμμα για την προσέγγιση

αλληλουχίας είναι το ίδιο ακριβώς, χωρίς τη διασύνδεση ανάλυσης εγκατάστασης-ανάλυσης φορτίων και ανάλυσης συστήματος-ανάλυσης φορτίων.



Σχήμα 2-1: Επίλυση ταυτόχρονης προσέγγισης

2.2 Μοντέλο Μελέτης Συμπαραγωγής RETScreen CHP

2.2.1 Εισαγωγή

Ο πρωταρχικός στόχος του μοντέλου μελέτης συμπαραγωγής RETScreen CHP είναι ο υπολογισμός του ποσού ενέργειας που απελευθερώνεται με διάφορες μορφές από ένα ενεργειακό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, ένα σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για φορτία θέρμανσης, ψύξης και ηλεκτρισμού με τη χρησιμοποίηση ενός συνδυασμού αντίστοιχων εξοπλισμών που χρησιμοποιούν ποικίλα καύσιμα και τα οποία λειτουργούν με διαφορετικούς τρόπους. Επομένως, οι στόχοι του συγκεκριμένου μοντέλου είναι:

- η αξιολόγηση των ενεργειακών αναγκών του συστήματος όσο αφορά τη θέρμανση, την ψύξη και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- η εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο οι ενεργειακές αυτές ανάγκες μπορούν να ικανοποιηθούν από τα διάφορα ενεργειακά συστήματα που επιλέγονται τελικά.

Συνεπώς, το RETScreen CHP χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των φορτίων και της ενέργειας του συστήματος και ταυτόχρονα για την αξιολόγηση του τρόπου κάλυψης των φορτίων αυτών [3]. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από το μοντέλο παρουσιάζεται σχηματικά παρακάτω:



Σχήμα 2-2: Αλγόριθμος μοντέλου συμπαραγωγής RETScreen CHP

2.2.2 Μελέτη Θερμικού Φορτίου & Υπολογισμός Ενέργειας

2.2.2.1 Γενικά

Με το μοντέλο RETScreen CHP εξετάζονται τρία είδη θερμικών φορτίων τα οποία αφορούν αντίστοιχα:

- τη θέρμανση χώρου
- τη θέρμανση ζεστού νερού κατοικίας και
- τη θέρμανση διεργασιών.

Η ετήσια συνολική ενεργειακή χρήση θέρμανσης του συστήματος Q_H , είναι το άθροισμα της ενεργειακής χρήσης για τη θέρμανση χώρου, Q_{SH} , της ενεργειακής χρήσης από τη θέρμανση ζεστού νερού κατοικίας, Q_{DHW} , και της ενεργειακής χρήσης από τη θέρμανση διεργασιών, Q_{PH} . Επομένως ισχύει:

$$Q_H = Q_{SH} + Q_{DHW} + Q_{PH} \quad (1)$$

2.2.2.2 Όρια κλιματολογικών συνθηκών μελέτης

Η περιοχή των συνθηκών που μελετώνται καθορίζεται μέσω δύο εισαγόμενων παραμέτρων:

- της σχεδιαζόμενης θερμοκρασίας θέρμανσης και
- των μηνιαίων βαθμομερών θέρμανσης.

Η σχεδιασμένη θερμοκρασία θέρμανσης αντιστοιχεί στη θερμοκρασία μιας εξαιρετικά κρύας ημέρας για μία συγκεκριμένη περιοχή.

Η δυναμικότητα του εγκατεστημένου εξοπλισμού θέρμανσης ενός κτιρίου εξαρτάται χαρακτηριστικά από τη σχεδιασμένη θερμοκρασία θέρμανσης, δεδομένου ότι ο εξοπλισμός πρέπει να έχει τέτοιες διαστάσεις ούτως ώστε να διατηρεί το κτίριο άνετο ακόμα και υπό τις πιο χαμηλές θερμοκρασίες.

Οι βαθμομέρες θέρμανσης συμβάλλουν στον καθορισμό της ενεργειακής χρήσης θέρμανσης και ορίζονται ως το άθροισμα των ημερήσιων διαφορών μεταξύ μιας καθορισμένης θερμοκρασίας T_{set} (συνήθως 18°C) και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας – χαμηλότερης από την καθορισμένη θερμοκρασία. Από μαθηματικής πλευράς είναι:

$$HDD_i = \sum_{k=1}^{Ni} \max(T_{set} - T_{a,k}, 0) \quad (2)$$

όπου HDD_i είναι οι μηνιαίες βαθμομέρες θέρμανσης για το μήνα i , το N_i είναι ο αριθμός ημερών του μήνα i , και το $T_{a,k}$ είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία για την ημέρα k του μήνα. Οι ετήσιες βαθμομέρες θέρμανσης HDD υπολογίζονται με την πρόσθεση των μηνιαίων βαθμομερών θέρμανσης:

$$HDD = \sum_{i=1}^{12} HDD_i \quad (3)$$

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης των βαθμομερών θέρμανσης είναι ότι σε μια πρώτη προσέγγιση για τη θέρμανση χώρου, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι ανάγκες θέρμανσης ενός κτιρίου είναι ανάλογες προς τον αριθμό των βαθμομερών θέρμανσης.

2.2.2.3 Ισοδύναμες βαθμομέρες για τη θέρμανση νερού

Σύμφωνα με το μοντέλο RETScreen CHP, το ζεστό νερό της κατοικίας αποτελεί τμήμα των ενεργειακών αναγκών που καλύπτονται από το σύστημα θέρμανσης. Η ζήτηση ζεστού νερού κατοικίας θεωρείται σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους και εκφράζεται ως μέρος d της ετήσιας χρήσης θέρμανσης (χωρίς να περιλαμβάνεται η θερμότητα διεργασιών). Κατά συνέπεια, εάν Q_H είναι η ετήσια χρήση θέρμανσης χωρίς τη θερμότητα διεργασιών, Q_{SH} το ποσό της ενεργειακής χρήσης που αντιστοιχεί στη θέρμανση χώρου, και Q_{DHW} το ποσό της ενεργειακής χρήσης που αντιστοιχεί στη θέρμανση ζεστού νερού σε κατοικίες, ισχύει:

$$Q_{DHW} = d \cdot Q_H \quad (4)$$

$$Q_{SH} = (1 - d)Q_H \quad (5)$$

και επομένως:

$$Q_{DHW} = \frac{d}{(1 - d)} Q_{SH} \quad (6)$$

Δεδομένου ότι οι ανάγκες θέρμανσης χώρου είναι κατά προσέγγιση ανάλογες ως προς τον αριθμό βαθμομερών θέρμανσης, το μοντέλο καθορίζει έναν ισοδύναμο αριθμό βαθμομερών θέρμανσης που αντιστοιχεί στη ζήτηση ζεστού νερού κατοικίας. Έτσι, οι ισοδύναμες βαθμομέρες για τη ζήτηση ζεστού νερού κατοικίας, HDD_{DWH} , υπολογίζονται από τη σχέση:

$$HDD_{DWH} = \frac{d}{(1 - d)} HDD \quad (7)$$

Οι ισοδύναμες βαθμοημέρες θέρμανσης εκφράζονται συχνά ως μέση ημερήσια τιμή τους με τη διαίρεση της εξίσωσης (7) με τον αριθμό ημερών ενός έτους. Αυτό οδηγεί σε μια τιμή hdd_{DHW} , η οποία εκφράζει τις βαθμοημέρες θέρμανσης ανά ημέρα:

$$hdd_{DHW} = \frac{1}{365} \frac{d}{(1-d)} HDD \quad (8)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τις ζητήσεις για ζεστό νερό κατοικίας με μία προσεγγιστική μέθοδο, καθώς υποθέτει ότι η ζήτηση θέρμανσης νερού είναι η ίδια καθημερινά κατά τη διάρκεια του έτους.

Αυτό μπορεί να είναι μια λογική προσέγγιση για ένα ενεργειακό σύστημα μίας μεγάλης περιοχής, αλλά για παράδειγμα μπορεί να είναι ακατάλληλο για ένα σχολείο όπου δεν θα υπάρξει κανένα φορτίο ζεστού νερού κατά τη διάρκεια της νύχτας, των Σαββατοκύριακων και των αργιών. Επίσης, το φορτίο ζεστού νερού ποικίλλει κατά τη διάρκεια του έτους, επειδή αφενός το νερό που εισάγεται είναι πιο κρύο κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, αφετέρου η κατανάλωση ζεστού νερού μπορεί να μειωθεί κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Το φορτίο DHW μπορεί να είναι τουλάχιστον 30-50 % περισσότερο το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι. Τέτοιου είδους περιπτώσεις δε μελετώνται με τη χρήση του μοντέλου RETScreen CHP.

2.2.2.4 Υπολογισμός μέγιστου φορτίου θέρμανσης

Το μέγιστο φορτίο για τη θέρμανση χώρου εμφανίζεται συνήθως σε συνθήκες πολύ χαμηλής θερμοκρασίας, αν και εξαρτάται όχι μόνο από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, αέρας, κ.λ.π.) αλλά και από άλλες παραμέτρους, όπως η θερμική μάζα του κτιρίου και ο βαθμός διεύθυνσης αέρος.

Στο μοντέλο προγράμματος RETScreen CHP, το μέγιστο φορτίο θέρμανσης για ένα κτίριο (ή περισσότερα από ένα κτίρια με τις ίδιες θερμικές ιδιότητες) συμβολίζεται με $p_{SH,j}$ και εκφράζεται σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο της θερμαινόμενης περιοχής. Η τιμή αυτή εισάγεται από το χρήστη του μοντέλου και εξαρτάται από τη σχεδιασμένη θερμοκρασία θέρμανσης για μία συγκεκριμένη θέση και από το σχεδιασμό του κτιρίου (μόνωση, εξαερισμός, κ.λ.π.). Το συνολικό μέγιστο φορτίο θερμότητας $P_{SH,j}$ για περισσότερα κτίρια υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{SH,j} = p_{SH,j} \cdot A_j \quad (9)$$

όπου A_j είναι η συνολική θερμαινόμενη περιοχή της συστάδας j των κτιρίων. Το συνολικό μέγιστο φορτίο P_{SH} θέρμανσης του συστήματος θέρμανσης είναι:

$$P_{SH} = \sum_j P_{SH,j} \quad (10)$$

όπου το άθροισμα έχει υπολογιστεί για όλα τα κτίρια. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να μελετηθούν μέχρι 14 διαφορετικά κτίρια.

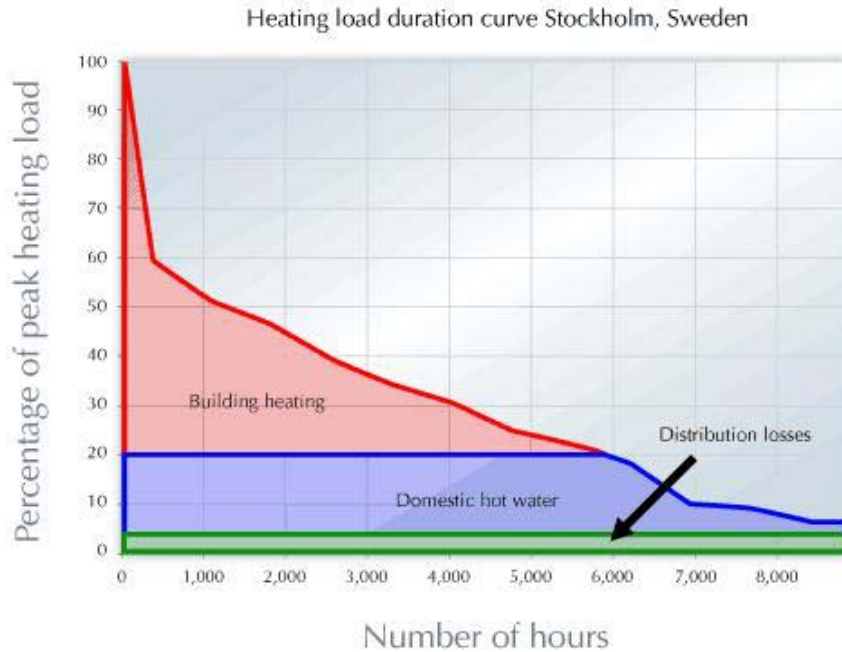
2.2.2.5 Θερμική καμπύλη διάρκειας φορτίων

Το μέγιστο φορτίο θέρμανσης εμφανίζεται μόνο για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του έτους - συνήθως κατά τη διάρκεια σύντομων και έντονων κυμάτων ψύχους. Για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα του έτους, ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες, το φορτίο θέρμανσης του συστήματος αποτελεί μόνο ένα μέρος του μέγιστου φορτίου θέρμανσης.

Η καμπύλη διάρκειας φορτίου θέρμανσης χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο τα φορτία θέρμανσης κυμαίνονται κατά τη διάρκεια του έτους. Στο σχήμα 2-3 παρουσιάζεται μία χαρακτηριστική θερμική καμπύλη από μελέτη που έγινε στη Στοκχόλμη της Σουηδίας.

Γενικά, η καμπύλη διάρκειας φορτίων θέρμανσης παρουσιάζει την αθροιστική διάρκεια για τα διαφορετικά φορτία του συστήματος κατά τη διάρκεια ενός έτους. Το φορτίο για σύστημα θέρμανσης μίας περιοχής αποτελείται κυρίως από τρεις παραμέτρους: τις απώλειες διανομής, το ζεστό νερό κατοικίας και το φορτίο θέρμανσης του κτιρίου.

Οι απώλειες διανομής αντιστοιχούν στην απώλεια θερμότητας από τους σωλήνες προς το περιβάλλον η οποία όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-3, διατηρείται σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους. Το φορτίο ζεστού νερού κατοικίας διατηρείται επίσης σχεδόν σταθερό, με μια μείωση κατά τη διάρκεια της νύχτας και των θερινών μηνών. Τέλος, το φορτίο θέρμανσης κατοικίας είναι το κυρίαρχο φορτίο για το μεγαλύτερο μέρος του έτους και ακολουθεί τις εποχιακές αλλαγές του κλίματος.



Σχήμα 2-3: Παράδειγμα θερμικής καμπύλης διάρκειας φορτίων στη Στοκχόλμη της Σουηδίας.

Σε γενικές γραμμές η καμπύλη διάρκειας φορτίων θέρμανσης πρέπει να προκύψει από τα ωριαία φορτία για να παρουσιάσει όλες τις πιθανές μεταβολές στο σύστημα. Εντούτοις, αυτές οι πληροφορίες είναι σπάνια διαθέσιμες για ένα σύστημα. Για αυτό το λόγο, έχει αναπτυχθεί μία μέθοδος προκειμένου να δημιουργηθεί η καμπύλη διάρκειας φορτίων από τις μηνιαίες βαθμομέρες. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει μηνιαίους εμπειρικούς παράγοντες που αντιπροσωπεύουν την επίδραση των ηλιακών ποσών, του αέρα, και των συνηθειών των κατοίκων σε σχέση με τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Τα βήματα της μεθόδου είναι τα παρακάτω:

1. Αρχικά υπολογίζονται οι μηνιαίες βαθμομέρες θέρμανσης ανά ημέρα, hdd_i (προκειμένου να εξαιρεθεί η επίδραση των μηνών που έχουν διαφορετικό αριθμό ημερών), συμπεριλαμβανόμενης της ποσότητας ισοδύναμων βαθμομερών για τη θέρμανση ζεστού νερού κατοικίας, hdd_{DHW} :

$$hdd_i = \frac{HDD_i}{N_i} + hdd_{DHW} \quad (11)$$

όπου HDD_i είναι ο αριθμός βαθμομερών για το μήνα i και N_i ο αριθμός ημερών του μήνα.

2. Οι μηνιαίες βαθμομέρες ανά ημέρα ταξινομούνται με αύξουσα σειρά. Έστω ότι hdd'_i με $i = (1, \dots, 12)$ είναι η ταξινομημένη σειρά μηνιαίων βαθμομερών ανά ημέρα N'_i και ο αριθμός ημερών ανά μήνα είναι ταξινομημένος με την ίδια σειρά.

3. Οι δεκατέσσερις συσσωρευτικές διάρκειες C_0, C_1, \dots, C_{13} ορίζονται ως:

$$C_0 = 8760 \text{ hours} \quad (12 - 0)$$

$$C_1 = C_0 - N'_1 \frac{24}{2} \quad (12 - 1)$$

$$C_2 = C_1 - (N'_1 + N'_2) \frac{24}{2} \quad (12 - 2)$$

$$C_3 = C_2 - (N'_2 + N'_3) \frac{24}{2} \quad (12 - 3)$$

...

$$C_{12} = C_{11} - (N'_{11} + N'_{12}) \frac{24}{2} \quad (12 - 12)$$

$$C_{13} = C_{12} - N'_{12} \frac{24}{2} = 0 \quad (12 - 13)$$

Το C_0 αντιστοιχεί σε ολόκληρο το έτος, τα C_1 και C_{12} αντιστοιχούν στα μέσα των ταξινομημένων μηνών (σχήμα 2-4).

4. Τμήματα του μέγιστου φορτίου D_0, D_1, \dots, D_{13} αντίστοιχα με τις συσσωρευτικές διάρκειες C_0, C_1, \dots, C_{13} υπολογίζονται ως εξής:

$$D_0 = \frac{hdd'_1}{\Delta T_{des}} F_1 \cdot 100 = D_1 \quad (13 - 0)$$

$$D_1 = \frac{hdd'_1}{\Delta T_{des}} F_1 \cdot 100 \quad (13 - 1)$$

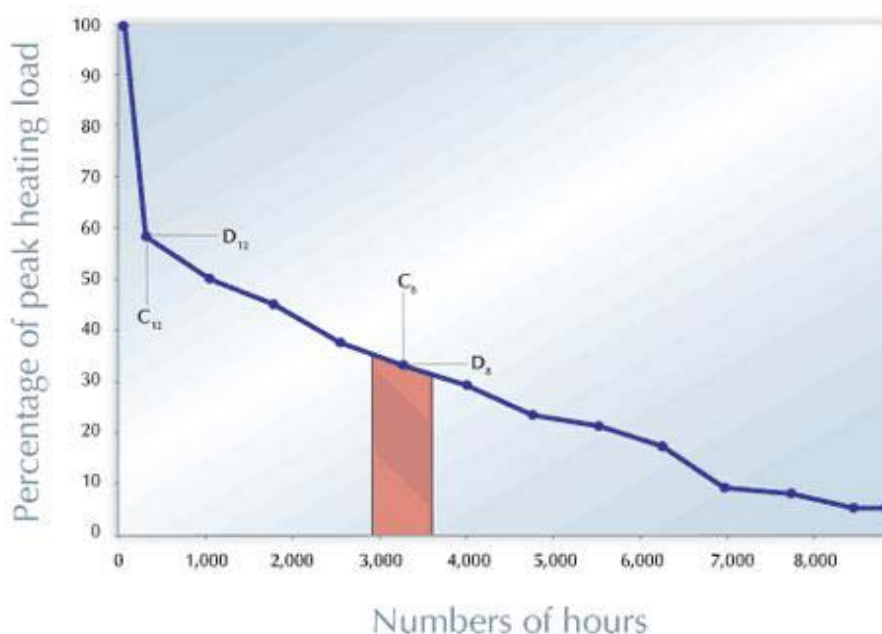
$$D_2 = \frac{hdd'_2}{\Delta T_{des}} F_2 \cdot 100 \quad (13 - 2)$$

...

$$D_{12} = \frac{hdd'_{12}}{\Delta T_{des}} F_{12} \cdot 100 \quad (13 - 12)$$

$$D_{13} = 100 \% \quad (13 - 13)$$

όπου hdd'_i (με $i = 1, \dots, 12$) είναι η ταξινομημένη σειρά μηνιαίων βαθμοημερών ανά ημέρα συμπεριλαμβανομένου και του ζεστού νερού κατοικίας σύμφωνα με την εξίσωση (8), τα F_1, F_2, \dots, F_{12} είναι δώδεκα εμπειρικοί μηνιαίοι παράγοντες, ΔT_{des} είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας καθορισμένου σημείου ($T_{set} = 18^\circ\text{C}$) και της σχεδιασμένης θερμοκρασίας θέρμανσης T_{des} για τη συγκεκριμένη τοποθεσία, δηλαδή $\Delta T_{des} = T_{set} - T_{des}$ (14). Τα δεκατέσσερα σημεία (C_i, D_i) καθορίζουν την καμπύλη διάρκειας φορτίων θέρμανσης που εκφράζεται ως ποσοστό του μέγιστου φορτίου θέρμανσης. Έτσι γίνεται ο υπολογισμός του D_i συντελεστών και προκύπτει η καμπύλη διάρκειας φορτίων που παρουσιάζεται στο σχήμα 2-4.



Σχήμα 2-4: Παράδειγμα για τον υπολογισμό μηνιαίας ενεργειακής χρήσης θερμικού φορτίου

2.2.2.6 Μέσο μηνιαίο φορτίο θέρμανσης

Η περιοχή κάτω από την καμπύλη στο σχήμα 2-4, όταν πολλαπλασιάζεται με το μέγιστο φορτίο θέρμανσης, αντιπροσωπεύει την ενεργειακή χρήση θέρμανσης του συστήματος κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους. Δεδομένου ότι τα σημεία στην καμπύλη του σχήματος 2-4 αντιπροσωπεύουν τους μεμονωμένους μήνες, ταξινομημένους κατά φθίνουσα σειρά βαθμοημερών ανά ημέρα, είναι δυνατό να υπολογιστεί η μηνιαία χρήση θέρμανσης μέσω αυτής της καμπύλης. Ένας υπολογισμός δειγμάτων παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4 για το σημείο (C_8, D_8), όπου η σκιασμένη περιοχή που πολλαπλασιάζεται με το μέγιστο φορτίο ισούται με την

ενεργειακή χρήση για τον συγκεκριμένο μήνα. Με υπολογισμούς που έχουν προηγηθεί μπορεί να βρεθεί ο μήνας που αντιπροσωπεύει το σημείο (C_8, D_8).

Η ίδια διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί για όλους τους μήνες. Επίσης, στο σχήμα 2-4 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο κανόνας τραπεζίου για τον υπολογισμό της σκιασμένης περιοχής. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, το μέγιστο φορτίο θέρμανσης σχετίζεται με το μήνα που έχει τον υψηλότερο αριθμό βαθμοημερών. Μία προσέγγιση του μηνιαίου μέσου φορτίου θέρμανσης που ισχύει για τους περισσότερους μήνες είναι η παρακάτω:

$$\bar{P}_{SH,i} = D_i \cdot P_{SH} \quad (15)$$

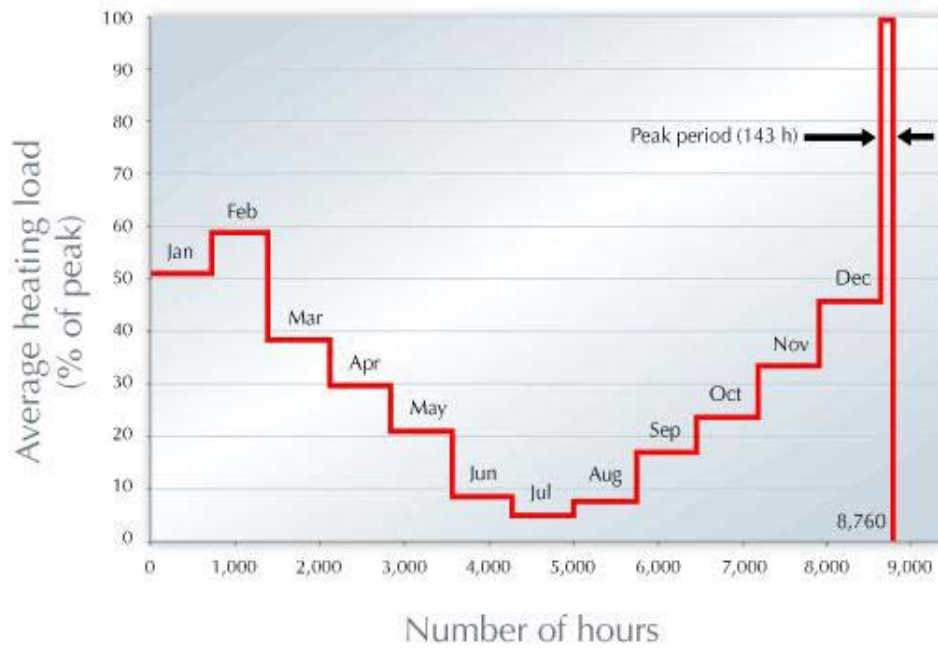
όπου $\bar{P}_{SH,i}$ είναι το μέσο μηνιαίο φορτίο θέρμανσης χώρου (συμπεριλαμβανομένου του ζεστού νερού για το μήνα i), το D_i είναι τμήμα του μέγιστου φορτίου και P_{SH} είναι το μέγιστο φορτίο θέρμανσης χώρου.

2.2.2.7 Συνολικές ενεργειακές ανάγκες

Μετά από τους παραπάνω υπολογισμούς είναι δυνατό να γίνει ο υπολογισμός των συνολικών αναγκών θέρμανσης χώρου Q_{SH} . Πρόκειται για την περιοχή κάτω από την καμπύλη του σχήματος 2-5 και υπολογίζεται ως εξής :

$$Q_{SH} = \sum_i^{12} \bar{P}_{SH,i} \cdot n'_i + P_{SH} \cdot n'_{13} \quad (16)$$

όπου P_{SH} είναι το μέγιστο φορτίο θέρμανσης χώρου, $\bar{P}_{SH,i}$ είναι το καθαρό μηνιαίο μέσο φορτίο θέρμανσης χώρου σύμφωνα με την εξίσωση (15), n'_i είναι ο διορθωμένος αριθμός ωρών ανά μήνα και n'_{13} είναι ο αριθμός ωρών της περιόδου που εμφανίζεται το μέγιστο (για το συγκεκριμένο παράδειγμα το μέγιστο είναι 143-βλέπε σχήμα 2-5).



Σχήμα 2-5: Μέσος όρος μηνιαίων θερμικών φορτίων και περίοδος μέγιστου φορτίου

2.2.2.8 Θερμότητα διεργασιών

Τα φορτία θερμικών διεργασιών καθορίζονται από το χρήστη σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο ή με την αναλυτική. Στην πρότυπη μέθοδο, ο χρήστης εισάγει τις ισοδύναμες ώρες διάρκειας πλήρους φορτίου για τη διεργασία. Στη δεύτερη μέθοδο, ο χρήστης εισάγει για κάθε μήνα το ποσοστό του χρόνου, για τον οποίο το φορτίο διεργασίας βρίσκεται σε λειτουργία. Και στις δύο περιπτώσεις, ο χρήστης καθορίζει και το μέγιστο φορτίο θερμικής διεργασίας.

Το μέγιστο φορτίο θερμικών διεργασιών θεωρείται ότι εμφανίζεται την ίδια χρονική περίοδο με το μέγιστο φορτίο θέρμανσης χώρου. Η υπόθεση αυτή αντιπροσωπεύει το χειρίστο δυνατό σενάριο για το οποίο το σύστημα έχει σχεδιαστεί. Το μέγιστο φορτίο θερμικών διεργασιών προστίθεται στο μέγιστο φορτίο θέρμανσης χώρου που έχει υπολογιστεί μέσω της εξίσωσης (10), οπότε ισχύει:

$$P_H = P_{SH} + P_{PH} \quad (17)$$

όπου το P_H είναι το συνολικό μέγιστο φορτίο θέρμανσης, P_{SH} είναι το μέγιστο φορτίο θέρμανσης για τη θέρμανση χώρου και τη θέρμανση ζεστού νερού από την εξίσωση (10), και P_{PH} είναι το μέγιστο φορτίο θερμικών διεργασιών που εισάγεται από το χρήστη. Στην πρότυπη μέθοδο, το φορτίο θέρμανσης διαδικασίας είναι ίσο με το μέγιστο φορτίο P_{PH} το οποίο με τη σειρά του τίθεται ίσο με μια σταθερή τιμή \bar{P}_{PH} κατά τη διάρκεια όλων των μηνών του έτους. Όταν χρησιμοποιείται η αναλυτική

μέθοδος, ο χρήστης εισάγει το ισοδύναμο χρονικό ποσοστό ανά μήνα για την περίπτωση που το φορτίο διεργασίας είναι πλήρες. Το μηνιαίο μέσο φορτίο $\bar{P}_{PH,i}$ υπολογίζεται ως εξής:

$$\bar{P}_{PH,i} = P_{PH} \cdot e_i \quad (18)$$

όπου e_i είναι το ισοδύναμο χρονικό ποσοστό στο μήνα i .

Το μέγιστο φορτίο P_{PH} θέρμανσης διεργασιών και τα μηνιαία μέσα φορτία \bar{P}_{PH} ή $\bar{P}_{PH,i}$ προστίθενται έπειτα στο φορτίο θέρμανσης χώρου (και θερμαινόμενου νερού) από την εξίσωση (16), προκειμένου να υπολογιστεί τελικά η συνολική ετήσια ενεργειακή χρήση θέρμανσης, Q_H .

2.2.2.9 Ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου E_{flh} μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{flh} = \frac{Q_H}{P_H} \quad (19)$$

όπου Q_H η συνολική ετήσια ενεργειακή χρήση, που δίνεται από την εξίσωση (1), και P_H το συνολικό μέγιστο φορτίο που δίνεται από την εξίσωση (17).

2.2.3 Μελέτη Ψυκτικού Φορτίου & Υπολογισμός Ενέργειας

2.2.3.1 Γενικά

Ο υπολογισμός ψυκτικών φορτίων και ενέργειας αντιμετωπίζεται με παρόμοιο τρόπο σε σχέση με το φορτίο θέρμανσης και την ενεργειακή του χρήση, με μερικές παραλλαγές οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

2.2.3.2 Όρια κλιματολογικών συνθηκών μελέτης

Όπως και στην περίπτωση θέρμανσης, οι κλιματολογικές συνθήκες χρησιμοποιούν τις έννοιες της θερμοκρασίας και των βαθμοημερών - αυτή τη φορά ως θερμοκρασία ψύξης και βαθμοημέρες ψύξης. Η θερμοκρασία ψύξης αντιπροσωπεύει μια εξαιρετικά θερμή ημέρα. Οι βαθμοημέρες ψύξης είναι χρήσιμες για τον καθορισμό των αναγκών ψύξης και ορίζονται ως το ποσό των καθημερινών θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ της μέσης καθημερινής θερμοκρασίας και μιας καθορισμένης θερμοκρασίας T_{set} (10°C στο μοντέλο RETScreen CHP). Από μαθηματικής πλευράς ισχύει:

$$CDD_i = \sum_{k=1}^{N_i} \max(T_{a,k} - T_{set}, 0) \quad (20)$$

όπου CDD_i είναι οι μηνιαίες βαθμοημέρες ψύξης για το μήνα i , N_i είναι ο αριθμός ημερών του μήνα i , και το $T_{a,k}$ είναι η μέση καθημερινή θερμοκρασία για την ημέρα k του μήνα. Οι ετήσιες βαθμοημέρες ψύξης CDD υπολογίζονται με την πρόσθεση των μηνιαίων βαθμοημερών ψύξης:

$$CDD = \sum_{i=1}^{12} CDD_i \quad (21)$$

Και σε αυτή την περίπτωση το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης των βαθμοημερών με αυτή την προσέγγιση είναι το γεγονός ότι οι ανάγκες ψύξης ενός κτιρίου μπορούν να θεωρηθούν ανάλογες ως προς τον αριθμό των βαθμοημερών ψύξης.

2.2.3.3 Ισοδύναμες βαθμοημέρες για ψυκτικά φορτία

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην ενότητα 2.2.2.3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε αυτή την περίπτωση για να καθορίσει τις ισοδύναμες βαθμοημέρες ψύξης για τα

ψυκτικά φορτία. Οι εξισώσεις είναι οι ίδιες, με τη ζήτηση ψύξης να αντικαθιστά την ζήτηση ζεστού νερού κατοικίας και τις βαθμομημέρες ψύξης που αντικαθιστούν τις βαθμομημέρες θέρμανσης. Τελικά προκύπτει:

$$cdd_{CL} = \frac{1}{365} \frac{d}{(1-d)} CDD \quad (22)$$

όπου cdd_{CL} είναι οι ισοδύναμες βαθμομημέρες ψύξης. Το μοντέλο υποθέτει ότι το ψυκτικό φορτίο είναι σταθερό κατά τη διάρκεια του έτους. Σε χαμηλές θερμοκρασίες δεν υφίσταται φορτίο ψύξης, οπότε ο παράγοντας d θεωρείται μηδέν.

2.2.3.4 Υπολογισμός του μέγιστου φορτίου ψύξης

Οι τύποι για το ψυκτικό φορτίο σε αντιστοιχία με τους τύπους (9) και (10) είναι οι εξής:

$$P_{SC,j} = p_{SC,j} \cdot A_j \quad (23)$$

όπου $P_{SC,j}$ είναι το μέγιστο ολικό ψυκτικό φορτίο για τη συστάδα j κτιρίων, $p_{SC,j}$ είναι το μέγιστο μερικό ψυκτικό φορτίο που εισάγεται από το χρήστη. Το μέγιστο ολικό ψυκτικό φορτίο P_{SC} για όλες τις συστάδες των κτιρίων που αποτελούν το σύστημα είναι:

$$P_{SC} = \sum_j P_{SC,j} \quad (24)$$

2.2.3.5 Ψυκτική καμπύλη διάρκειας φορτίων

Μια ψυκτική καμπύλη διάρκειας φορτίων μπορεί να δημιουργηθεί με αντίστοιχο τρόπο, όπως περιγράφεται στην ενότητα 2.2.2.5 για τη θέρμανση. Η μόνη διαφορά είναι ότι σε αυτή την περίπτωση οι εμπειρικοί συντελεστές F_1, F_2, \dots, F_{12} θα είναι διαφορετικοί. Στο μοντέλο συμπαραγωγής RETScreen CHP για ψύξη οι συντελεστές αυτοί θα τεθούν όλοι ίσοι με το ένα, το οποίο συνεπάγεται ότι το θερμικό φορτίο για όλους τους μήνες είναι ανάλογο ως προς τον αριθμό των βαθμομερών ψύξης. Οι υπόλοιποι υπολογισμοί είναι αντίστοιχοι με την περίπτωση της θέρμανσης.

2.2.3.6 Περίοδος μέγιστου ψυκτικού φορτίου, συνολική ενεργειακή χρήση, κ.λ.π.

Όπως έγινε για την ανάλυση φορτίων θέρμανσης στην ενότητα 2.2.2.6, η περίοδος μέγιστου ψυκτικού φορτίου αντιπροσωπεύει την εποχή του χρόνου όπου το σύστημα ψύξης λειτουργεί με τη μέγιστη δυναμικότητα. Οι υπόλοιποι υπολογισμοί για την ψύξη θα είναι παρόμοιοι με αυτούς της θέρμανσης, με τα ψυκτικά φορτία να αντικαθιστούν τα θερμικά φορτία σε όλες τις εξισώσεις.

2.2.3.7 Ψύξη Διεργασιών

Η ψύξη διεργασιών αντιμετωπίζεται ακριβώς τον ίδιο τρόπο, όπως και η θέρμανση διεργασιών. Οι τύποι είναι αντίστοιχοι με τις εξισώσεις (17) και (19) μόνο που αυτή τη φορά αφορούν την ψύξη των διεργασιών και όχι την θέρμανσή τους.

2.2.4 Μελέτη Ηλεκτρικού Φορτίου & Υπολογισμός Ενέργειας

Ο υπολογισμός του ηλεκτρικού φορτίου και της ενέργειας είναι απλούστερος σε σχέση με τα θερμικά και ψυκτικά φορτία, αφού οι δώδεκα τιμές που αντιστοιχούν στα μέσα μηνιαία ηλεκτρικά φορτία $\bar{P}_{P,1}$, $\bar{P}_{P,2}$, ..., $\bar{P}_{P,12}$ εισάγονται άμεσα από το χρήστη του μοντέλου RETScreen CHP. Ο χρήστης καθορίζει επίσης το μέγιστο φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος έτσι ώστε να είναι μεγαλύτερο από μέγιστο μηνιαίο μέσο όρο: $\frac{P_P}{\max(\bar{P}_{P,i})}$ ο οποίος επιτρέπει τον υπολογισμό του μέγιστου φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας P_P .

Η χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_{P,13} = n'_{13} \cdot P_P$$

και η χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια $Q_{P,i}$ για κάθε μήνα i θα είναι:

$$Q_{P,i} = n'_i \cdot \bar{P}_{P,i}$$

όπου το n'_i αντιπροσωπεύει τον τροποποιημένο αριθμό ωρών για κάθε μήνα i . Τελικά η συνολική ετήσια χρήση ηλεκτρικής ενέργειας Q_P είναι:

$$Q_P = \sum_{i=1}^{13} Q_{P,i}$$

2.2.5 Σύνοψη

Το μοντέλο μελέτης συμπαραγωγής RETScreen CHP χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό αλγορίθμων για να προβλέψει την ενέργεια που παραδίδεται σε ετήσια βάση, από ένα σύστημα συνδυασμένης παραγωγής θέρμανσης, ψύξης και ηλεκτρισμού. Τα μέγιστα θερμικά και ψυκτικά φορτία υπολογίζονται και εισάγονται από το χρήστη. Οι καμπύλες διάρκειας φορτίων προέρχονται από τα στοιχεία των μηνιαίων βαθμοημερών. Η καμπύλη διάρκειας φορτίων χρησιμοποιείται έπειτα για τον υπολογισμό της ενεργειακής χρήσης σε μηνιαία βάση. Επιπλέον χρησιμοποιούνται κάποιοι αλγόριθμοι για στροβίλους ατμού, στροβίλους αερίου και άλλους μηχανολογικούς εξοπλισμούς, για τον υπολογισμό των δυναμικοτήτων, της ανακτόμενης θερμότητας και της κατανάλωσης των καυσίμων. Η μηνιαία ενεργειακή χρήση χρησιμοποιείται για να προβλέψει ποιο μέρος των αναγκών ικανοποιείται από τα συστήματα. Παρά την απλότητα του μοντέλου RETScreen CHP, η ακρίβειά του αποδεικνύεται αρκετά ικανοποιητική σε σύγκριση με άλλα εργαλεία λογισμικού ή με δημοσιευμένα δεδομένα (data).

2.3 ORNL CHP Capacity Optimizer

2.3.1 Εισαγωγή

Η αξιολόγηση των εφαρμογών ψύξης, θέρμανσης και ηλεκτρισμού απαιτεί τη μελέτη του συστήματος τριπαραγωγής προκειμένου αυτό να καλύψει τις θερμικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις του. Η έρευνα αυτή υποστηρίζεται από το ενεργειακό πρόγραμμα DOE και έχει το πλεονέκτημα να αναπτύσσει μία μεθοδολογία εύρεσης των βέλτιστων δυναμικοτήτων για τους κινητήρες συμπαραγωγής και των μονάδων απορρόφησης για ψύξη με τη χρήση μη γραμμικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης και της ωριαίας προσομοίωσης λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής.

Η μεθοδολογία αυτή έχει κωδικοποιηθεί σε ένα αυτόνομο εργαλείο υπολογισμών με λογιστικό φύλλο (spreadsheet) του Microsoft Excel, το ORNL CHP Capacity Optimizer, το οποίο εκτελεί βελτιστοποίηση της δυναμικότητας και προσομοίωση μίας λειτουργίας. Η επιλογή της κατάλληλης εγκατεστημένης χωρητικότητας του εξοπλισμού για τα συστήματα ψύξης, θέρμανσης, και ηλεκτρισμού είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την οικονομική βιωσιμότητα των μελετών ενέργειας και συμπαραγωγής. Γενικά, τα συστήματα συμπαραγωγής CHP δεν είναι η μόνη πηγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, καθώς τις περισσότερες φορές αποτελούν μόνο εναλλακτικές λύσεις για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τη λειτουργία ηλεκτρικών ψυγείων ή τη θέρμανση νερού.

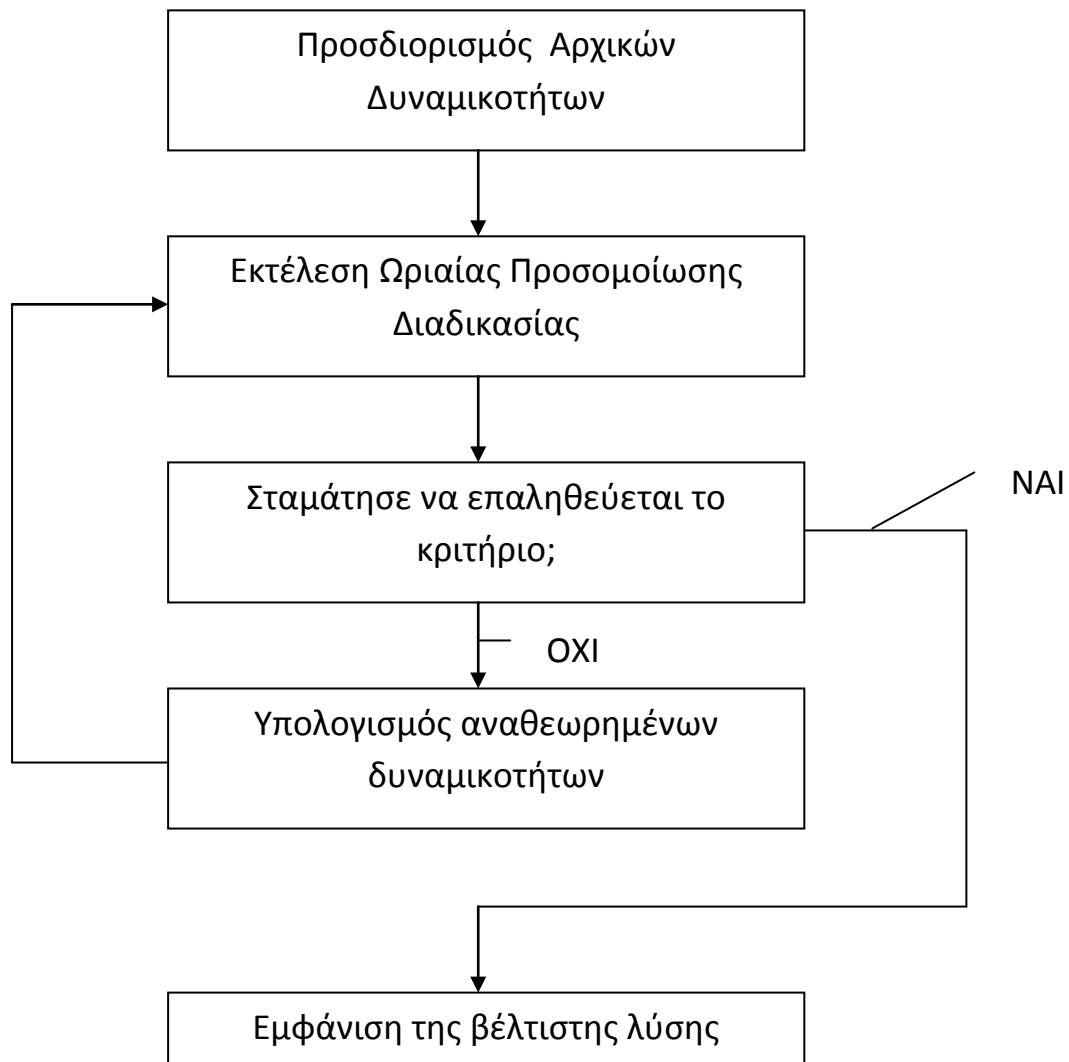
Το ORNL CHP Capacity Optimizer έχει τη δυνατότητα να κάνει προσομοίωση σε ένα σύστημα συμπαραγωγής CHP, αλλά και σε κάποιο κλασσικό πρόβλημα μη συμπαραγωγής (για παράδειγμα όταν η θέρμανση γίνεται από επιτόπιους λέβητες ή αν ο ηλεκτρισμός παράγεται εκτός δικτύου) προκειμένου να διαμορφώσει την οικονομική αποταμίευση ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης ενός συστήματος συμπαραγωγής. Μέσω της χρήσης ενός μη γραμμικού αλγόριθμου βελτιστοποίησης, καθορίζεται η εγκατεστημένη δυναμικότητα του εξοπλισμού που μεγιστοποιεί την οικονομική αποταμίευση [4].

2.3.2 Γενικές Πληροφορίες

Η γενική δομή του ORNL CHP Capacity Optimizer αποτελείται από δύο τμήματα: τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης (εξωτερικό τμήμα) και μια ρουτίνα προσομοίωσης λειτουργίας (εσωτερικό τμήμα).

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης έχει σαν στόχο τη μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) σε ένα σύστημα συμπαραγωγής CHP συγκριτικά με ένα σενάριο μη-συμπαραγωγής. Η γενική δομή του αλγορίθμου βελτιστοποίησης

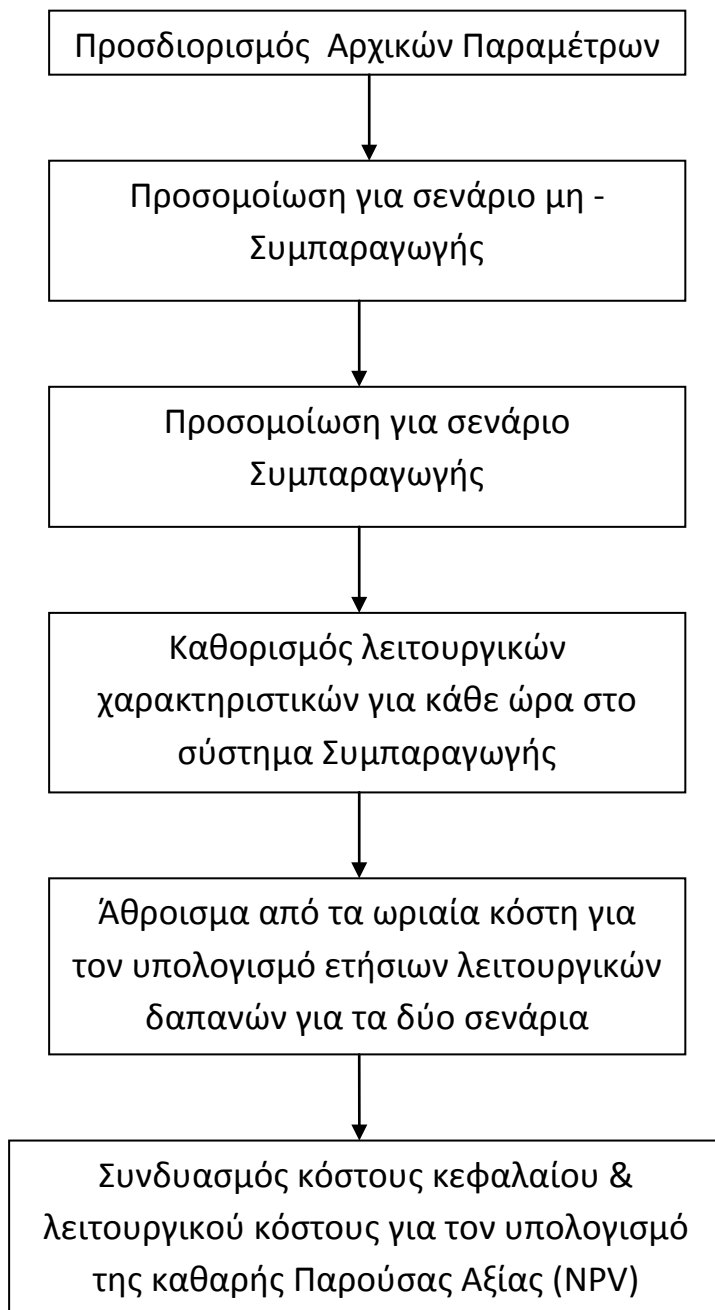
παρουσιάζεται στο σχήμα 2-6. Αρχικά γίνεται μία υπόθεση για τις δυναμικότητες της εγκατεστημένης ηλεκτρικής γεννήτριας και της μονάδας απορρόφησης για ψύξη, προκειμένου να γίνει μια ωριαία προσομοίωση λειτουργίας που στη συνέχεια θα υπολογίσει το NPV για τη λειτουργία των συγκεκριμένων μονάδων. Μέσα στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης εισάγεται ένα κριτήριο που χρησιμοποιείται για να κάνει τη συνεχή ενημέρωση της επαναλαμβανόμενης βελτιστοποίησης και της επιστροφής σε επόμενη προσομοίωση με ένα σύνολο νέων δεδομένων.



Σχήμα 2-6: Διάγραμμα ροής του μοντέλου βελτιστοποίησης

Το τμήμα της προσομοίωσης λειτουργίας παρουσιάζεται στο σχήμα 2-7. Αρχικά εισάγονται τα θερμικά και ηλεκτρικά φορτία, καθώς και οι παράμετροι εξοπλισμού/οικονομικές παράμετροι για κάθε επανάληψη της ρουτίνας βελτιστοποίησης. Πραγματοποιούνται δύο διαφορετικές προσομοιώσεις: η

προσομοίωση σεναρίου μη συμπαραγωγής και σεναρίου συμπαραγωγής. Στην πρώτη, υπολογίζονται τα ωριαία κόστη για την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων. Στη δεύτερη, υπολογίζονται τα ωριαία κόστη για το σύστημα της συμπαραγωγής.



Σχήμα 2-7: Διάγραμμα ροής της προσομοίωσης της διαδικασίας

Έπειτα καθορίζονται δύο σύνολα ετήσιων λειτουργικών δαπανών με το άθροισμα των σχετικών ωριαίων δαπανών για την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών ζητήσεων

για τα δύο σενάρια. Η διαφορά του λειτουργικού κόστους για τα δύο διαφορετικά σενάρια βασίζεται στη διαφορά του ετήσιου κόστους τους. Η καθαρή παρούσα αξία καθορίζεται υπολογίζοντας την παρούσα αξία της καθαρής ετήσιας αποταμίευσης για τη διάρκεια χρόνου ζωής για συγκεκριμένο επιτόκιο προεξόφλησης και συντελεστή φορολογίας.

2.3.3 Δεδομένα Εισόδου

Τα στοιχεία (data) που εισάγονται είναι ωριαία και με αυτό τον τρόπο εμφανίζονται οι διακυμάνσεις των διάφορων τιμών ανάλογα την ημέρα ή και την εποχή. Σε πολλές περιπτώσεις, τα πραγματικά ωριαία στοιχεία ζήτησης για ένα ολόκληρο έτος μπορεί να μην είναι διαθέσιμα. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιούνται προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων όπου ανάλογα με το μέγεθος, την τοποθεσία και το σχεδιασμό του κτιρίου υπολογίζουν τα ωριαία θερμικά, ψυκτικά και ηλεκτρικά φορτία.

Ως χρησιμοποιούμενο καύσιμο θεωρείται το φυσικό αέριο του οποίου η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται στο ενεργειακό περιεχόμενο που μπορεί να εκφραστεί με βάση την ανώτερη θερμογόνο δύναμη (HHV) ή την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LHV). Η διαφορά στις δύο τιμές αφορά το νερό που διαμορφώνεται ως προϊόν της καύσης. Η ανώτερη θερμογόνο δύναμη περιλαμβάνει τη λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης του υδρατμού. Η κατώτερη θερμογόνο δύναμη αποκλείει τη θερμότητα που θα απελευθερωνόταν εάν ο υδρατμός στα προϊόντα καύσης ήταν συμπυκνωμένο υγρό. Δεδομένου ότι τα συστήματα κινητήρων συμπαραγωγής προσπαθούν να περιορίσουν τη συμπύκνωση ατμού εξάτμισης, το φυσικό αέριο εκφράζεται με βάση την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LHV). Οι παράμετροι που πρέπει να εισαχθούν από το χρήστη του λογισμικού είναι:

Απαιτούμενα φορτία

- Ωριαία ζήτηση ηλεκτρισμού (kW)
- Ωριαία ζήτηση θέρμανσης (Btu/hour)
- Ωριαία ζήτηση ψύξης (Btu/hour)

Κόστη παροχής ηλεκτρισμού

- Τιμή ζήτησης (\$/kW-month)
- Τιμή ενέργειας (\$/kW)
- Λοιπές δαπάνες (\$/kW-month)

Τιμή αγοράς καυσίμου για ανεξάρτητες πηγές

Η τιμή αυτή είναι με βάση την κατώτερη θερμογόνο δύναμη LHV (\$/MMBtu)

Παράμετροι που σχετίζονται με τον εξοπλισμό

- Αποδοτικότητα λέβητα:

η θερμική αποδοτικότητα της ανεξάρτητης πηγής για θέρμανση ζεστού νερού/ατμού (π.χ. λέβητα) για το σενάριο αναφοράς - μη συμπαραγωγής. Εκφράζεται σε σχέση με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LHV) και πρόκειται για ποσοστό.

- Συντελεστής απόδοσης πρότυπου εξοπλισμού ψύξης:

Καθορίζεται με τη διαίρεση της ψυκτικής ποσότητας που εξέρχεται με την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για να παραχθεί η ψύξη από τη μονάδα αυτή.

- Συντελεστής απόδοσης μονάδας απορρόφησης για ψύξη:

Υπολογίζεται με τη διαίρεση της ψυκτικής ποσότητας που εξέρχεται με τη θερμική ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή της ψύξης από τη μονάδα αυτή.

- Δυναμικότητα μονάδας απορρόφησης για ψύξη:

Πρόκειται για μία ανεξάρτητη μεταβλητή στη διαδικασία της βελτιστοποίησης. Μονάδα μέτρησης είναι οι τόνοι ψύξης (RT).

- Μέτρο ελάχιστης παραγωγής για απορρόφηση ψύξης:

Το κατώτατο ποσοστό της παραγωγής επί τοις εκατό (σε σχέση με την πλήρη παραγωγή) στο οποίο η μονάδα λειτουργεί κανονικά.

- Δευτερεύον ηλεκτρικό φορτίο συστήματος απορρόφησης για ψύξη:

Το ηλεκτρικό φορτίο που απαιτείται για να υποστηρίξει τη λειτουργία της μονάδας απορρόφησης για ψύξη. Το φορτίο αυτό περιλαμβάνει τα φορτία για την ψυκτική αντλία, την αντλία ψυχρού νερού, της μονάδας απορρόφησης και οποιαδήποτε ψυκτικό πύργο ή ανεμιστήρα σχετικό με την απορρόφηση ψύξης. Εκφράζεται σε kW/RT.

- Δυναμικότητα ηλεκτρικής γεννήτριας παραγωγής:

Η εγκατεστημένη δυναμικότητα της ηλεκτρικής γεννήτριας η οποία εκφράζεται σε kW. Είναι μια ανεξάρτητη μεταβλητή στη διαδικασία βελτιστοποίησης.

- Ηλεκτρική αποδοτικότητα ηλεκτρικής γεννήτριας για πλήρη παραγωγή:

Αυτή η αποδοτικότητα μπορεί να καθοριστεί με τη διαίρεση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην πλήρη παραγωγή με τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται με βάση την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LHV). Πρόκειται για ποσοστό.

- Μέτρο ελάχιστης παραγωγής στην ηλεκτρική γεννήτρια:

Το κατώτατο ποσοστό της παραγωγής επί τοις εκατό (σε σχέση με την πλήρη παραγωγή) στο οποίο η ηλεκτρική γεννήτρια λειτουργεί κανονικά.

- Λόγος Ισχύος/Θέρμανσης ηλεκτρικής γεννήτριας:

Η αναλογία ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται ως προς τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια θέρμανσης που διατίθεται από τις αντίστοιχες μονάδες.

- Κόστος O& M:

Το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης του συστήματος ψύξης, θέρμανσης και ηλεκτρισμού. Εκφράζεται σε \$/kWh της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται.

- Αριθμός μονάδων ηλεκτρικής γεννήτριας:

Πρόκειται για τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων μονάδων ηλεκτρικής γεννήτριας. Παρόλα αυτά ο υπολογισμός στο ORNL CHP Capacity Optimizer περιορίζεται στη μελέτη μέχρι και δύο μονάδων, με ίδιο μέγεθος και την ίδια απόδοση.

- Κόστος Κεφαλαίου ηλεκτρικής γεννήτριας:

Είναι το πλήρες κόστος εγκατάστασης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, εκφρασμένο σε \$/KW βάσης.

- Κόστος Κεφαλαίου ψυκτικής μονάδας απορρόφησης:

Είναι το πλήρες κόστος εγκατάστασης του συστήματος απορρόφησης ψύξης, εκφρασμένο σε \$/RT βάσης.

- Χρόνος ζωής:

Πρόκειται για τον υποτιθέμενο λειτουργικό χρόνο ζωής του συστήματος συμπαραγωγής. Το ORNL CHP Capacity Optimizer διαθέτει μία προεπιλογή για 16 έτη που είναι και η μέγιστη διάρκεια που μπορεί να ληφθεί στο μοντέλο.

- Επιτόκιο προεξόφλησης:

Το ποσοστό που χρησιμοποιείται στις ταμειακές ροές όσο αφορά την αξία χρήματος στο χρόνο (ποσοστό/έτος).

- Ποσοστό φορολογίας εισοδήματος:

Ο συντελεστής φόρου εισοδήματος που χρησιμοποιείται για τη φορολογία των κερδών.

2.3.4 Στοιχεία Ζήτησης

Με τη βοήθεια της επιλογής “Demand Data” συμπληρώνονται από το χρήστη τα ωριαία θερμικά, ψυκτικά και ηλεκτρικά φορτία για ένα έτος, οπότε προκύπτουν συνολικά 8.760 καταχωρήσεις για κάθε είδος φορτίου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-8, υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων: το πρώτο αναφέρεται στον ηλεκτρισμό που απαιτείται για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων, ενώ το δεύτερο στον ηλεκτρισμό που απαιτείται για οποιαδήποτε κάλυψη εκτός των ψυκτικών φορτίων.

Δεδομένου ότι η ψύξη μπορεί να παραχθεί από μία μονάδα απορρόφησης σε ένα σύστημα συμπαραγωγής CHP, η ηλεκτρική ζήτηση που σχετίζεται με την ψύξη μπορεί να υπολογιστεί με σαφήνεια από το μοντέλο προσομοίωσης. Ο αριθμός DoW (day of week) αναφέρεται στον αριθμό της ημέρας μίας εβδομάδας και καθορίζεται από το χρήστη. Έτσι ορίζεται π.χ. Δευτέρα = 1, Κυριακή = 7, όπως επίσης 7 θεωρείται η ημέρα για τις αργίες.

Return to Main				Input data from raw datafile				
				Annual max:	6991660	4525781	316	634
				Annual min:	378187	0	11	387
				BTU		Rpt. Cooling	Non-cooling	
Month	Day	Hour	DoW	Heating load	Cooling load	Electric kW	Electric load	
1	1	1	7	1867479.5	136125.7	32.1	392.1	
1	1	2	7	2397348.6	126168.3	31.2	392.1	
1	1	3	7	2056502.7	124676.7	31.0	392.1	
1	1	4	7	2627097.7	121184.1	30.7	392.1	
1	1	5	7	2939225.3	110788.4	29.7	392.1	
1	1	6	7	4422894.8	274938.1	45.8	412.6	
1	1	7	7	5195368.7	282405.8	46.6	434.9	
1	1	8	7	4641695.2	300239.9	48.3	528.8	
1	1	9	7	4411973.3	345155.0	51.6	539.8	
1	1	10	7	3246873.0	373695.9	51.6	501.4	
1	1	11	7	3574033.2	485477.4	54.6	501.4	
1	1	12	7	2982991.3	867395.4	72.5	501.4	
1	1	13	7	2809368.9	934564.3	76.0	501.4	
1	1	14	7	2419090.2	993841.7	79.1	501.4	
1	1	15	7	2964515.2	1043938.2	81.7	501.4	
1	1	16	7	3284243.9	1049130.6	82.0	501.4	
1	1	17	7	2950980.5	979270.0	78.3	471.4	
1	1	18	7	2436668.1	978383.4	78.7	471.3	
1	1	19	7	1835157.9	951811.7	77.4	518.3	
1	1	20	7	2021437.6	806352.0	70.1	507.6	
1	1	21	7	1721414.7	569310.9	58.9	486.8	
1	1	22	7	1901758.0	504166.3	55.9	410.4	
1	1	23	7	2111762.9	367518.9	51.6	392.0	
1	1	24	7	1724036.9	319376.9	50.3	392.0	

Σχήμα 2-8: Ενδεικτικός πίνακας στοιχείων ζήτησης

Τα ωριαία στοιχεία φορτίων μπορεί να είναι διαθέσιμα ή να δημιουργούνται από ένα πρόγραμμα προσομοίωσης για κτίρια. Υπάρχουν τρία τουλάχιστον διαθέσιμα εργαλεία προσομοίωσης που μπορούν να αναπτύξουν τα ωριαία φορτία που

απαιτούνται για την εισαγωγή των δεδομένων. Αυτά είναι το EnergyPlus, το BCHP Screening Tool και το Building Energy Analyzer.

2.3.5 Στοιχεία Ηλεκτρισμού και Καυσίμων

Με τη χρήση της επιλογής “Elec & fuel rate data” καθορίζονται οι τιμές του ηλεκτρισμού και των καυσίμων οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα την ημέρα και την εποχή. Το μοντέλο μπορεί να μελετήσει ταυτόχρονα και διαφορετικές περιπτώσεις (βλέπε στα σχήματα 2-9 και 2-10 τα pattern 1 και pattern 2). Υπάρχουν δύο είδη για τα κόστη: τα κόστη που αφορούν την ενέργεια (με μονάδες μέτρησης \$/kWh) και αυτά που αφορούν τη ζήτηση (αντίστοιχα σε \$/kW-mo). Επιπλέον, οι δαπάνες ζήτησης μπορούν να διαιρεθούν χρονικά σε τρία είδη ανάλογα με το αν αντιστοιχούν σε ώρες αιχμής, σε τυπικές μέσες ώρες, και σε ώρες όπου δεν υπάρχει αιχμή. Γίνεται η παραδοχή ότι τα Σαββατοκύριακα και οι αργίες είναι χρονικά διαστήματα εκτός ωρών αιχμής. Στους πίνακες εισάγονται οι τιμές καυσίμων για το σενάριο συμπαραγωγής και μη-συμπαραγωγής.

Non-CHP Demand		Pattern 1 Demand				Pattern 2 Demand			
month	pattern #	hour	peak	shoulder	off-peak	hour	peak	shoulder	off-peak
1	1	1				1			
2	1	2				2			
3	1	3				3			
4	1	4				4			
5	2	5				5			
6	2	6				6			
7	2	7				7			
8	2	8		6.58		8		3.64	
9	2	9		6.58		9		3.64	
10	2	10		6.58		10		3.64	
11	1	11		6.58		11		3.64	
12	1	12		6.58		12	16.12		
		13		6.58		13	16.12		
		14		6.58		14	16.12		
		15		6.58		15	16.12		
		16		6.58		16	16.12		
		17		6.58		17	16.12		
		18		6.58		18		3.64	
		19		6.58		19		3.64	
		20		6.58		20		3.64	
		21				21			
		22				22			
		23				23			
		24				24			

Σχήμα 2-9: Ενδεικτικός πίνακας στοιχείων ζήτησης (σενάριο μη-συμπαραγωγής)

Το ίδιο ισχύει και για τις τιμές ενέργειας. Για το φυσικό αέριο η μετατροπή μεταξύ της ανώτερης θερμογόνου δύναμης (HHV) και της κατώτερης θερμογόνου δύναμης (LHV) γίνεται ως εξής: θερμότητα HHV = θερμότητα LHV × 1.11. Τέλος, όλες οι παραπάνω τιμές αναφέρονται στο πρώτο έτος λειτουργίας του συστήματος.

Electric rates		Pattern 1		Pattern 2	
Non-CHP Energy		Energy	\$/kWh	Energy	\$/kWh
month	pattern #	hour	rate	hour	rate
1	1	1	0.07781	1	0.078
2	1	2	0.07781	2	0.078
3	1	3	0.07781	3	0.078
4	1	4	0.07781	4	0.078
5	2	5	0.07781	5	0.078
6	2	6	0.07781	6	0.078
7	2	7	0.07781	7	0.078
8	2	8	0.09653	8	0.09114
9	2	9	0.09653	9	0.09114
10	2	10	0.09653	10	0.09114
11	1	11	0.09653	11	0.09114
12	1	12	0.09653	12	0.14913
		13	0.09653	13	0.14913
		14	0.09653	14	0.14913
		15	0.09653	15	0.14913
		16	0.09653	16	0.14913
		17	0.09653	17	0.14913
		18	0.09653	18	0.09114
		19	0.09653	19	0.09114
		20	0.09653	20	0.09114
		21	0.07781	21	0.078
		22	0.07781	22	0.078
		23	0.07781	23	0.078
		24	0.07781	24	0.078

Σχήμα 2-10: Ενδεικτικός πίνακας στοιχείων ενέργειας (σενάριο μη-συμπαγωγής)

2.3.6 Στοιχεία Ποσοστού Κλιμάκωσης

Οι τιμές για τον ηλεκτρισμό, τα καύσιμα, και το κόστος O&M μπορούν να κλιμακωθούν κατά τη διάρκεια του χρόνου. Το ίδιο ισχύει και για τα θερμικά, ψυκτικά και ηλεκτρικά φορτία. Η εισαγωγή των τιμών αυτών γίνεται με την επιλογή “Escalation rate data”. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-11, το ποσοστό κλιμάκωσης μπορεί να μεταβάλλεται από έτος σε έτος. Οι τιμές κλιμάκωσης μπορεί να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές.

Year	Fuel price	Elec price	O&M cost	Heat load	Cool load	Elec load
2	-0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
3	0.0%	1.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
4	0.0%	1.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
5	0.0%	1.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
6	0.0%	1.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
7	0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
8	0.5%	0.5%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
9	0.5%	0.5%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
10	0.5%	0.5%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
11	0.5%	0.5%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
12	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
13	1.0%	1.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
14	1.0%	1.0%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%
15	1.0%	1.0%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%
16	1.0%	1.0%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Σχήμα 2-11: Ενδεικτικός πίνακας εισαγόμενων ποσοστών κλιμάκωσης

2.3.7. Γενικά Στοιχεία

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2-12, τα υπόλοιπα δεδομένα (general data) που απαιτούνται, καθώς και επιλογές που πρέπει να γίνουν για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης, εισάγονται στο κύριο μέρος του ORNL CHP Capacity Optimizer. Επιπλέον, υπάρχουν τρία τμήματα επιλογών (CHP operations) στα οποία ο χρήστης μπορεί να καθορίσει πότε το σύστημα συμπαραγωγής λειτουργεί, εάν πρέπει να περιλάβει μονάδα απορρόφησης για ψύξη και εάν επιλέγεται η δημιουργία γραφικού περιγράμματος της λύσης.

General data		CHP Operations	
On-site boiler efficiency	80.0%	<input checked="" type="checkbox"/> Operation based on hourly cost	
Conventional chiller COP	4.00	<input type="checkbox"/> User defined operations	
DG electric efficiency (full output)	30.0%		
DG unit minimum output	40%		
Absorption chiller COP	0.70	<input checked="" type="checkbox"/> Include absorption chiller	
Absorption chiller min. output	25%	<input type="checkbox"/> Exclude absorption chiller	
Abs chiller sys elec req (kW/RT)	0.20		
CHP O&M cost (\$/kWh)	0.011		
DG power/heat ratio	0.65		
Number of DG units	1		
Type of prime mover	Recip		
Discount rate	8.0%		
Effective income tax rate	38.0%	<input checked="" type="checkbox"/> Produce output contour plot	
DG capital cost (\$/net kW installed)	1500		
AC capital cost (\$/RT installed)	1000		
Planning horizon (years)	16		

Σχήμα 2-12: Γενικά στοιχεία και ρυθμίσεις προσομοίωσης

Στις περισσότερες αναλύσεις χρησιμοποιείται ένα καθορισμένο ωριαίο κόστος για την προσομοίωση του συστήματος συμπαραγωγής CHP. Αν ο χρήστης επιθυμεί να καθορίσει τις ώρες λειτουργίας του συστήματος, τότε μέσω της επιλογής “user defined operations” και στη συνέχεια της επιλογής “define op schedule” συμπληρώνεται ένας ωριαίος πίνακας. Οι ώρες για τις οποίες το σύστημα συμπαραγωγής πρέπει να προσομοιωθεί ανεξάρτητα από το κόστος δηλώνονται με 1, ενώ οι υπόλοιπες με 0 (δυαδική μεταβλητή).

Ο χρήστης μπορεί επίσης να αποκλείσει την εκτίμηση μίας μονάδας απορρόφησης για ψύξη, παραδείγματος χάριν στην περίπτωση που η λειτουργία της μονάδας αυτής επιφέρει ελάχιστη οικονομική επιβάρυνση.

Τέλος, η δημιουργία του γραφικού περιγράμματος της λύσης χρησιμοποιεί σχεδόν περισσότερο από το μισό του χρόνου της βελτιστοποίησης και για αυτό το λόγο πολλές φορές επιλέγεται ο αποκλεισμός της εμφάνισής του.

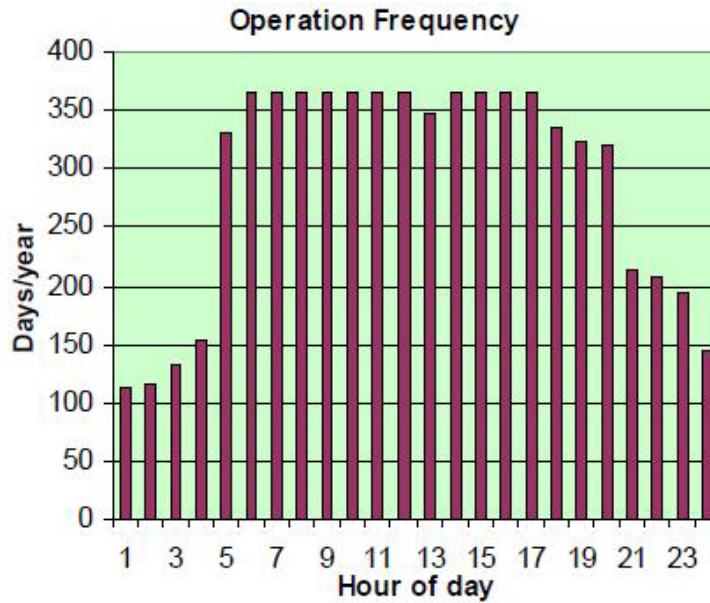
2.3.8 Περιοχή Αποτελεσμάτων

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2-13, αυτή η περιοχή (results area) επαναδιατυπώνει τα θερμικά, ψυκτικά και ηλεκτρικά φορτία, προσδιορίζει τις βέλτιστες εγκατεστημένες δυναμικότητες, συνοψίζει τη λειτουργία συστημάτων συμπαραγωγής και παρέχει τα στοιχεία δαπανών σχετικά με συστήματα συμπαραγωγής και μη συμπαραγωγής.

Results				
	Demands	Electricity	Heating	Cooling
	Annual	5,466,118 kWh	16,919 MMBtu	1,250,204 RT-hr
	Maximum	958 kW	7.0 MMBtu/hr	377 RT
	Minimum	387 kW	0.38 MMBtu/hr	0 RT
		Installed DG capacity:	413.4 kW (net)	Manual DG Capacity Input
		Installed AC capacity:	37.7 RT	
		Hours of DG operation	6,951 hours/year	Manual AC Capacity Input
		DG generated electricity	2,871,510 kWh/year	
		DG supplied heating	13,630 MMBtu/year	
		AC supplied cooling	114,451 RT-hr/year	
	Annual costs (before tax)	With CHP	No CHP	
		CHP system	\$354,301	\$0
		Utility elec	\$322,945	\$676,192
		Non-CHP gas	\$40,493	\$208,294
		Total	\$717,739	\$884,486
		Annual operating savings (after tax):		\$103,383
		NPV savings:		\$416,943
		Optimum DG capacity:	413.4 kW	
		Optimum AC capacity:	37.7 RT	
		NPV savings:		\$416,943

Σχήμα 2-13: Περιοχή σύνοψης των αποτελεσμάτων του μοντέλου

Επιπλέον παρουσιάζονται δύο γραφικές παραστάσεις. Η πρώτη (σχήμα 2-14) παρουσιάζει τον αριθμό των ημερών ανά έτος για τις οποίες το σύστημα συμπαραγωγής λειτουργεί για την εκάστοτε ώρα της ημέρας.

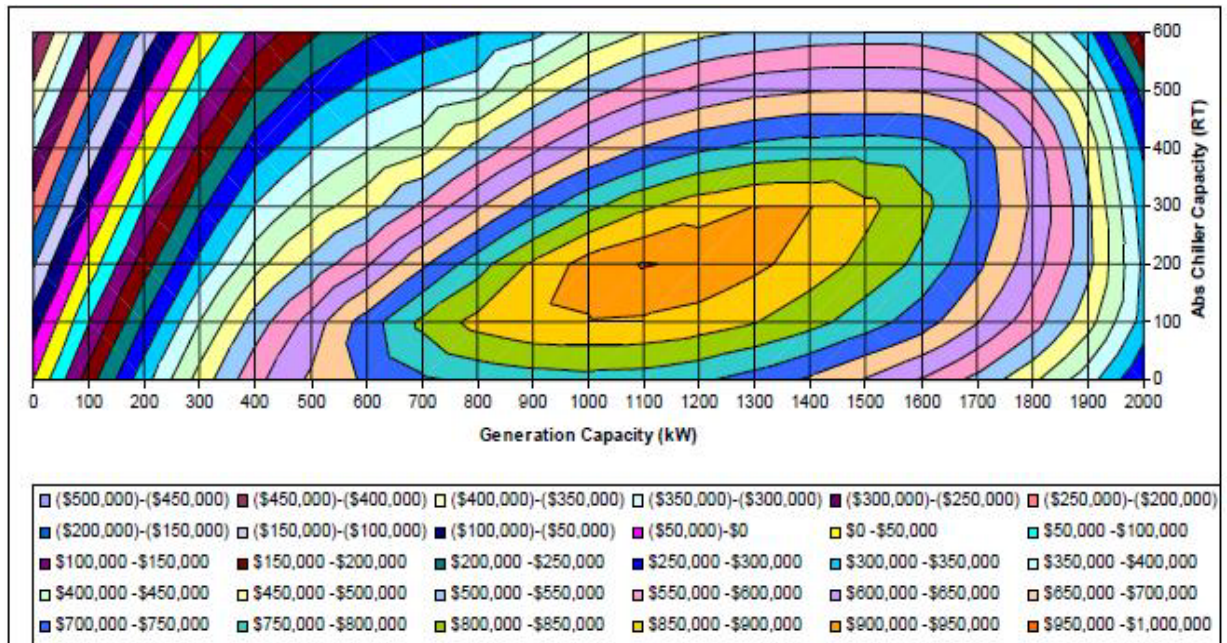


Σχήμα 2-14: Συχνότητα ωριαίας λειτουργίας

Η δεύτερη γραφική παράσταση (σχήμα 2-15) , αποτελεί το περίγραμμα του συνολικού διαστήματος λύσης και δίνει στο χρήστη μία γενική εικόνα για τις οικονομικές επιπτώσεις που θα είχε η επιλογή διαφορετικών δυναμικοτήτων (απόφαση λιγότερο βέλτιστη).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2-15, η συγκεκριμένη γραφική παράσταση παρέχει μία «τοπογραφική» παρουσίαση της αποταμίευσης της καθαρής παρούσας αξίας NPV του συστήματος συμπαραγωγής για διαφορετικούς συνδυασμούς δυναμικοτήτων των κινητήρων και των μονάδων απορρόφησης για ψύξη.

Με τη χρήση συγκεκριμένων δεδομένων που εισάγονται, το μοντέλο μπορεί να ολοκληρώσει τη διαδικασία βελτιστοποίησης βρίσκοντας ένα «τοπικό» βέλτιστο που δεν αποτελεί το γενικό συνολικό βέλτιστο. Από την επιλογή “optimization settings” μπορεί να γίνει μία νέα βελτιστοποίηση με ένα διαφορετικό σημείο έναρξης αυτή τη φορά.



Σχήμα 2-15: Περίγραμμα λύσης της αντικειμενικής συνάρτησης

Τέλος, με τη χρήση της επιλογής “View detailed calcs” εμφανίζονται τα λεπτομερή, ωριαία αποτελέσματα όπου παρουσιάζεται μια σειρά υπολογισμών για κάθε ώρα του έτους.

2.4 EnergyPRO

2.4.1 Γενικά Στοιχεία

Το energyPRO είναι ένα πρόγραμμα με το οποίο γίνεται η διαμόρφωση εξαιρετικά περίπλοκων ενεργειακών συστημάτων, που αποτελούνται από μεγάλο αριθμό ενεργειακών ζητήσεων και μηχανολογικών εξοπλισμών.

Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου ενεργειακού συστήματος και η επιλογή του τρόπου λειτουργίας του καθορίζει την παραγωγή και κατανάλωση ενεργειακών ρευμάτων από τους μηχανολογικούς εξοπλισμούς. Το πρόγραμμα energyPRO βελτιστοποιεί τέτοια συστήματα, καθώς με άμεσους τρόπους αλλάζει το σχεδιασμό και τον τρόπο λειτουργίας μίας εγκατάστασης. Επιπλέον, μέσω του energyPRO, πραγματοποιούνται εύκολα αναλύσεις ευαισθησίας.

Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι σε τέτοιου είδους συστήματα η ενεργειακή βελτιστοποίηση της εγκατάστασης είναι εξαιρετικά σύνθετη. Κανονικά, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυξημένη το πρωί και το απόγευμα, λιγότερο αυξημένη κατά τη διάρκεια του υπολοίπου της ημέρας και χαμηλότερη κατά τη διάρκεια της νύχτας και των Σαββατοκύριακων. Συνεπώς, οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να ποικίλουν σημαντικά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Από την άλλη πλευρά, η ζήτηση για θέρμανση είναι κανονικά χαμηλή κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών και υψηλότερη κατά τη διάρκεια τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα.

Η αποθήκευση ενέργειας είναι απαραίτητη στις περιπτώσεις ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Επιπλέον, η δυνατότητα εκκένωσης θερμότητας μπορεί να επιτρέψει στις μονάδες παραγωγής ενέργειας να είναι πιο ευέλικτες. Ένα άλλο πρόβλημα είναι το γεγονός ότι κάποια καύσιμα, όπως π.χ. το βιοαέριο, μπορούν αποθηκευθούν σε περιορισμένες ποσότητες. Με τη συμπαραγωγή θερμότητας και ενέργειας μπορούν να συνδυαστούν δύο τύποι καυσίμων, π.χ. βιοαέριο και φυσικό αέριο όπου το βιοαέριο αποθηκεύεται σε περιορισμένη ποσότητα και η θερμότητα αποθηκεύεται σε αντίστοιχο χώρο αποθήκευσης. Επιπρόσθετα, πολλές φορές είναι περιορισμένη η παραγωγή ηλεκτρισμού λόγω των αυξημένων ζητήσεων ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. σε μια μεγάλη πόλη. Το energyPRO πραγματοποιεί τη βελτιστοποίηση τέτοιων συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τους προαναφερθέντες παράγοντες [5, 6].

Το energyPRO αποτελείται από τρεις κύριες περιοχές, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Δομή δεδομένων εισόδου (input data structure)
2. Περιοχή επεξεργασίας (editing window)
3. Δημιουργία αναφορών (report structure)

2.4.2 Δομή Δεδομένων Εισόδου

Αρχικά γίνεται μία σύντομη και σαφής περιγραφή των χαρακτηριστικών της μελέτης. Στη συνέχεια, ακολουθεί μία αναφορά των προϋποθέσεων και παραδοχών της συγκεκριμένης μελέτης (τα οποία παρουσιάζονται τελικά και στην αναφορά των τεχνικών χαρακτηριστικών).

Η δομή δεδομένων εισόδου (input data structure) αποτελείται από εννέα κατηγορίες δεδομένων τα οποία εισάγονται στο λογισμικό κατά την έναρξη της προσομοίωσης. Οι κατηγορίες δεδομένων είναι:

1. Χαρακτηριστικά Μελέτης (project identification)
2. Εξωτερικές Συνθήκες (external conditions)
3. Περίοδοι «προτεραιότητας» (periods of priority)
4. Καύσιμες Ύλες (fuels)
5. Ζητήσεις (demands)
6. Ενεργειακές Μονάδες (energy units)
7. Τρόπος Λειτουργίας (operation strategy)
8. Περιβαλλοντικές εκλύσεις (environment)
9. Οικονομικά Χαρακτηριστικά (economy)

2.4.2.1 Χαρακτηριστικά Μελέτης

Πρόκειται για τον προσδιορισμό της μελέτης και τον καθορισμό του τύπου στον οποίο ανήκει (project identification). Αναλόγως τον τύπο της μελέτης, μεταβάλλεται ο αριθμός και το είδος των αναφορών που προκύπτουν.

A. Μελέτες:

- σχεδιασμού (A_1)
- χρηματοδότησης/οικονομικών επενδύσεων (A_2)
- πιστωτικών λογαριασμών (A_3)

ή

B. Βελτιστοποίηση λειτουργίας

Πιο αναλυτικά:

Τύπος A_1 : Μελέτη σχεδιασμού

Υπολογίζει ενεργειακές μετατροπές και λειτουργικά κόστη για ένα χρόνο εφαρμογής της μελέτης.

Τύπος A₂: Μελέτη χρηματοδότησης / οικονομικών επενδύσεων

Αφορά την ανάλυση επενδύσεων και οικονομικών υπολογισμών για περισσότερα από ένα χρόνια εφαρμογής της μελέτης. Περιλαμβάνει και τους υπολογισμούς του τύπου A₁.

Τύπος A₃: Μελέτη πιστωτικών λογαριασμών

Περιέχει τους ισολογισμούς της επένδυσης. Λαμβάνει υπόψη της τις αποσβέσεις και τα φορολογικά χαρακτηριστικά της κάθε επένδυσης. Περιλαμβάνει και τους υπολογισμούς του τύπου A₂.

Τύπος B: Βελτιστοποίηση λειτουργίας

Χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση λειτουργίας για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Το περιεχόμενο αυτού του τύπου παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με τον τύπο A, αλλά υπάρχουν αρκετές διαφορές στις ρυθμίσεις του λογισμικού.

Επιπλέον υπάρχει και μία συμπληρωματική ενότητα η οποία επιλέγεται στην περίπτωση που γίνεται κατανομή της παραγόμενης ενέργειας σε περισσότερες από μία γεωγραφικές περιοχές.

Τέλος, υπάρχει και μία επιπλέον επιλογή “advanced”, η οποία χρησιμοποιείται σε δύο συγκεκριμένες περιπτώσεις:

- ✓ Μετάδοση της θερμότητας από τις εγκαταστάσεις μέσω σωλήνων υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών
- ✓ Οι μονάδες έναρξης της παραγωγής είναι αργές και υψηλού κόστους

Η πρώτη επιλογή χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν δύο ξεχωριστά συστήματα σωλήνων θερμότητας. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί σε καταστάσεις όπου πραγματοποιείται μία διεργασία η οποία απαιτεί πολύ υψηλές θερμοκρασίες ή υπάρχει ζήτηση για θέρμανση νερού χαμηλής θερμοκρασίας σε κατοικία. Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης του λογισμικού καλείται να προσθέσει δεδομένα που αφορούν τη ζήτηση ενέργειας και τη διαμόρφωση των ενεργειακών μονάδων τόσο για τις διεργασίες θέρμανσης όσο και για τη θέρμανση νερού κατοικίας.

Η δεύτερη επιλογή αφορά περιπτώσεις όπου ο χρόνος έναρξης λειτουργίας μίας μονάδας παραγωγής είναι μεγάλος με αποτέλεσμα το υψηλό κόστος. Αυτό παρατηρείται κυρίως σε μελέτες που εξετάζουν τη βιομάζα και τα απόβλητα. Αν ο χρήστης του λογισμικού επιλέξει αυτή την περίπτωση, τότε καλείται να δηλώσει το χρόνο έναρξης λειτουργίας των παραγωγικών μονάδων.

2.4.2.2 Εξωτερικές Συνθήκες

Πρόκειται για την περιοχή του λογισμικού στην οποία γίνεται ο προσδιορισμός του χρονικού διαστήματος πραγματοποίησης της μελέτης.

Αν η μελέτη είναι τύπου A_1 (Μελέτη σχεδιασμού) τότε το χρονικό διάστημα είναι ένα έτος. Η μόνη πληροφορία που απαιτείται είναι ο μήνας και το έτος πραγματοποίησης της μελέτης. Αν η μελέτη είναι τύπου A_2 (Μελέτη χρηματοδότησης / οικονομικών επενδύσεων) ή A_3 (Μελέτη πιστωτικών λογαριασμών), τότε ο χρήστης επιλέγει τα έτη για τα οποία πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί.

Συχνά οι τιμές του ηλεκτρισμού είναι χαμηλότερες κατά για τις ημέρες που αντιστοιχούν σε αργίες, οπότε είναι απαραίτητος ο ορισμός των ημερομηνιών αυτών. Επιπλέον, στο στάδιο των εξωτερικών συνθηκών γίνεται ο προσδιορισμός των χρονικών αλληλουχιών, των συναρτήσεων και των δεικτών.

- Χρονικές αλληλουχίες μελέτης

Οι χρονικές αλληλουχίες (time series) είναι βασικές και θεμελιώδεις πληροφορίες για το πρόγραμμα energyPRO. Μία χρονική αλληλουχία αποτελείται από ένα σύνολο τιμών μίας μεταβλητής. Αυτό το σύνολο τιμών συνδέεται με μία καθορισμένη ημερομηνία του έτους.

Με τη χρήση μίας χρονικής αλληλουχίας, το συνολικό χρονικό διάστημα μελέτης διαιρείται σε μικρές περιόδους υπολογισμών, οι οποίες είναι σταθερές μεταξύ τους. Μερικά παραδείγματα παραμέτρων που οι τιμές τους εισάγονται με τη μορφή αλληλουχιών είναι: η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ηλιακή ακτινοβολία, οι περίοδοι προτεραιότητας, η ζήτηση θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας, ψύξης, καυσίμων κ.λ.π.

Οι χρονικές αλληλουχίες διευκρινίζονται με τρεις πληροφορίες: την ημερομηνία, τη διάρκεια και την τιμή της εκάστοτε παραμέτρου. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται για τις καμπύλες φορτίων για κάθε μονάδα παραγωγής ενέργειας.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατανομή της ζήτησης θερμότητας μέσω της χρήσης των χρονικών αλληλουχιών θερμοκρασιών περιβάλλοντος. Ένα δεύτερο παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ο υπολογισμός της παραγωγής ενός ηλιακού συστήματος με τη χρήση χρονικών αλληλουχιών για την ηλιακή ακτινοβολία.

Στο πρόγραμμα energyPRO υπάρχει και η δυνατότητα δημιουργίας θερμοκρασιών περιβάλλοντος. Η επιλογή αυτή είναι απαραίτητη μόνο στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμες οι χρονικές αλληλουχίες των περιβαλλοντικών συνθηκών. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης ορίζει τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες. Οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται για την κατανομή της ετήσιας ζήτησης θερμότητας

ανά ημέρα του έτους. Κατά την πραγματοποίηση μίας μελέτης χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο μετεωρολογικά δεδομένα για ένα αντιπροσωπευτικό έτος.

- **Συναρτήσεις**

Η εισαγωγή των συναρτήσεων (functions) μπορεί να γίνει όχι μόνο στο τμήμα των εξωτερικών συνθηκών, αλλά και σε άλλα τμήματα όπως στην Ενεργειακή Ζήτηση, στις Ενεργειακές Μονάδες και στα Οικονομικά Χαρακτηριστικά. Οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται είναι:

- ✓ Συναρτήσεις που αφορούν τα όρια του συστήματος

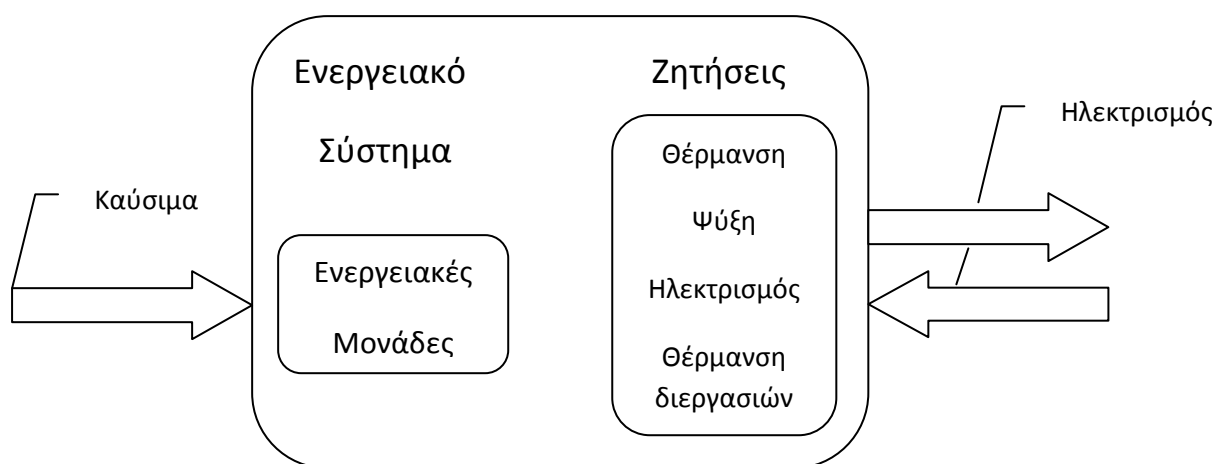
Πρόκειται για συναρτήσεις που εξετάζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ του ενεργειακού συστήματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, μία τέτοια συνάρτηση θα μπορούσε να περιγράφει την ποσότητα φυσικού αερίου που εισάγεται στο σύστημα. Οι συναρτήσεις αυτές εξετάζουν μόνο τα ρεύματα που εισέρχονται ή εξέρχονται από το σύστημα (black box effect). Δηλαδή, αφορούν τα καύσιμα και τον ηλεκτρισμό (βλέπε σχήμα 2-16).

- ✓ Συναρτήσεις που σχετίζονται με μονάδες παραγωγής και ενεργειακές ζητήσεις που περιγράφονται μέσα στο σύστημα

Για παράδειγμα, τέτοιου είδους συναρτήσεις αφορούν έναν συγκεκριμένο λέβητα, μία μονάδα συμπαραγωγής ή τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

- ✓ Άλλες συναρτήσεις

Αφορούν κυρίως οικονομικά χαρακτηριστικά (φορολογία, λειτουργικές δαπάνες, κ.τ.λ.) που μεταβάλλονται σε μηνιαία βάση.



Σχήμα 2-16: Το ενεργειακό σύστημα

- Διάρθρωση Τιμών - Δείκτες

Οι δείκτες (indexes) χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη μεταβολή των ενεργειακών ζητήσεων και άλλων μεγεθών για το χρονικό διάστημα που πραγματοποιείται η μελέτη. Γενικά οι δείκτες διευκρινίζουν τον τρόπο μεταβολής μίας παραμέτρου.

Υπάρχει τρεις τρόποι μεταβολής ενός δείκτη στο πρόγραμμα energyPRO:

- ✓ Σταθερή ετήσια αύξηση

Η παράμετρος μεταβάλλεται χρονικά κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό το οποίο καθορίζεται από το χρήστη του προγράμματος.

- ✓ Μη σταθερή ετήσια αύξηση

Η μη σταθερή ετήσια αύξηση χρησιμοποιείται εάν ο δείκτης πρέπει να απεικονίσει μία μεταβολή στο ποσοστό αλλαγής.

- ✓ Δείκτες για κάθε μήνα μελέτης

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται διαφορετικοί δείκτες όπου καθορίζονται από το χρήστη για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Επιπλέον ισχύουν τα εξής:

- Όλες οι χρονικές αλληλουχίες, οι συναρτήσεις και οι δείκτες που χρησιμοποιούνται έχουν διαφορετικά σύμβολα.
- Οι μονάδες έχουν χαρακτήρα δήλωσης, δηλαδή δε μπορούν να πραγματοποιηθούν αυτόματες μετατροπές σε μονάδες.

2.4.2.3 Περίοδοι «προτεραιότητας»

Οι περίοδοι «προτεραιότητας» (periods of priority) είναι θεμελιώδεις πληροφορίες για τους υπολογισμούς της βελτιστοποίησης με τη χρήση του προγράμματος energyPRO. Το στάδιο αυτό παρουσιάζει ομοιότητες με το στάδιο Τρόπος Λειτουργίας - 2.4.2.7. Στις περιόδους «προτεραιότητας» γίνεται η ομαδοποίηση των ωρών που παρουσιάζουν κάποιο προβάδισμα.

Για παράδειγμα στην περίπτωση της συμπαραγωγής, οι ώρες με τις βέλτιστες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας ομαδοποιούνται με τις ώρες στις οποίες αντιστοιχούν, δεδομένου ότι αποτελούν τη μέγιστη προτεραιότητα, ενώ οι χαμηλότερες τιμές έχουν μικρότερη προτεραιότητα. Οι τιμές αυτές ποικίλουν σημαντικά κατά της διάρκεια της ημέρας (μέρα - νύχτα) και κατά τη διάρκεια της εβδομάδας (καθημερινή - Σαββατοκύριακο). Εάν δεν υπάρχει καμία περίοδος προτεραιότητας, οι υπολογισμοί

βασίζονται σε ένα τιμολόγιο πάγιου συντελεστή και όλες οι ώρες έχουν την ίδια προτεραιότητα.

Επιπλέον, σε αυτό το τμήμα του energyPRO καθορίζεται αν οι χρονικές αλληλουχίες να εξαρτώνται από τις εξωτερικές συνθήκες. Πιθανές ομάδες «προτεραιοτήτων» είναι: περίοδοι μέγιστων φορτίων, περίοδοι με χαμηλό δασμολόγιο, δασμολόγιο ημέρας και νύχτας κ.τ.λ.

2.4.2.4 Καύσιμες Ύλες

Το energyPRO διαθέτει πληροφορίες για συγκεκριμένα είδη καυσίμων (fuels), όπως για παράδειγμα το βιοαέριο, το φυσικό αέριο, το καυσιμέλαιο κ.τ.λ. Σε διαφορετική περίπτωση, ο ίδιος ο χρήστης μπορεί να προσθέσει δεδομένα - όπως η θερμογόνος δύναμη - για οποιοδήποτε καύσιμο. Επίσης, καθορίζεται το ανώτατο όριο αποθήκευσης καυσίμων, καθώς και η προσφορά καυσίμου που αντιστοιχεί σε κάθε μήνα. Η ποσότητα καυσίμου που δεν καταναλώνεται, αποθηκεύεται.

2.4.2.5 Ενεργειακή Ζήτηση

Οι ενεργειακές ζητήσεις (demands) που εισάγουμε ως δεδομένα είναι τεσσάρων ειδών:

- i. Ζήτηση θέρμανσης
- ii. Ζήτηση θέρμανσης διεργασιών
- iii. Ζήτηση ηλεκτρισμού
- iv. Ζήτηση ψύξης

Όλες οι ενεργειακές ζητήσεις λαμβάνονται υπόψη για τους ενεργειακούς υπολογισμούς που πραγματοποιούνται. Υπάρχουν συγκεκριμένες επιλογές για την κατανομή των ενεργειακών ζητήσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας, της εβδομάδας, του μήνα ή κατά τη διάρκεια των χρόνων. Παρόλα αυτά το energyPRO δεν έχει τη δυνατότητα υπολογισμού ενεργειακών ζητήσεων για διαφορετικούς τύπους κτιρίων.

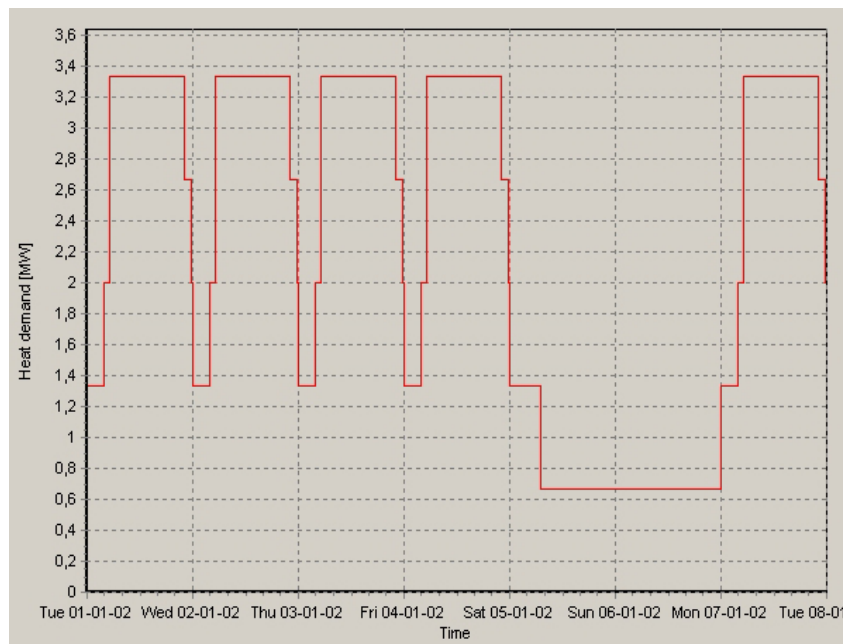
Σε περίπτωση που η ενεργειακή ζήτηση εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες απαιτούνται οι εξής πληροφορίες δεδομένων:

- ✓ Δήλωση ποσοστού ζήτησης που εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ✓ Καθορισμός τύπου μεταβολής: Δηλαδή αν η ζήτηση μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή όχι. Αν υπάρχει γραμμική εξάρτηση, τότε η ενεργειακή ζήτηση υπολογίζεται με βάση την απλή μέθοδο των βαθμομερών (βλέπε ενότητα 2.1.1). Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης

καθορίζει τη θερμοκρασία αναφοράς. Σε αντίθετη περίπτωση (μη γραμμικής εξάρτησης) πρέπει να καθοριστεί ο τύπος της συνάρτησης της ενεργειακής ζήτησης.

- ✓ Προσδιορισμός χρονικού διαστήματος της εκάστοτε ενεργειακής ζήτησης
- ✓ Σταθερή κατανομή ζήτησης: Σε περίπτωση σταθερής ενεργειακής ζήτησης ορίζεται η τιμή της και το αν παραμένει σταθερή σε ημερήσια ή σε εβδομαδιαία βάση.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα γραφικής αναπαράστασης της ενεργειακής ζήτησης κατά τη διάρκεια μίας συγκεκριμένης εβδομάδας.



Σχήμα 2-17: Γραφικό παράδειγμα μεταβολής ενεργειακής ζήτησης

Η δυνατότητα της ενέργειας να μετατρέπεται σε άλλες μορφές, περιγράφεται με μια ή περισσότερες καμπύλες φορτίων. Κάθε καμπύλη φορτίων περιέχει δύο ή περισσότερα φορτία, ανάλογα με τον τύπο της χρησιμοποιούμενης μονάδας. Τα πιθανά φορτία αφορούν:

- Κατανάλωση καύσιμης ύλης
- Παραγωγή θερμότητας
- Κατανάλωση θερμότητας
- Παραγωγή ηλεκτρισμού
- Κατανάλωση ηλεκτρισμού
- Κατανάλωση θερμότητας σε ψύξη με απορρόφηση
- Παραγωγή ψύξης

2.4.2.6 Ενεργειακές Μονάδες

Υπάρχουν τέσσερα είδη ενεργειακών μονάδων (energy units):

- i. Μονάδες παραγωγής
- ii. Μονάδες εκκένωσης θερμότητας
- iii. Μονάδες αποθήκευσης θερμότητας
- iv. Αιολικά πάρκα

- Μονάδες παραγωγής

Οι πιθανές επιλογές είναι:

- ✓ Λέβητας
- ✓ Μονάδα συμπαραγωγής
- ✓ Ηλεκτρική αντλία θέρμανσης
- ✓ Ψύξη με απορρόφηση
- ✓ Ηλεκτρική ψύξη

- Μονάδες εκκένωσης θερμότητας

Οι μονάδες εκκένωσης θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καταστάσεις, όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί την ηλεκτρική παραγωγή από μονάδες συμπαραγωγής. Σε τέτοιου είδους μονάδες προσδιορίζονται τα εξής:

- ✓ Ποσότητα θερμότητας που εκκενώνεται
- ✓ Περιορισμοί στη διάρκεια ζωής

Στον τρόπο λειτουργίας (βλέπε ενότητα 2.4.2.7) δηλώνεται ποιές μονάδες παραγωγής έχουν πρόσβαση στις μονάδες εκκένωσης θερμότητας και σε ποιές περιόδους «προτεραιότητας».

- Μονάδες αποθήκευσης θερμότητας

Μία μονάδα αποθήκευσης θέρμανσης καθορίζεται από τα παρακάτω δεδομένα εισόδου:

- ✓ Χρησιμοποιούμενος όγκος μονάδας αποθήκευσης
- ✓ Διαφορά θερμοκρασίας
- ✓ Ποσοστό όγκου που είναι σε χρήση
- ✓ Μέγιστη χρησιμοποιούμενη δυναμικότητα
- ✓ Περιορισμοί στη διάρκεια ζωής

- Αιολικά πάρκα

Αν υπάρχει αιολικό πάρκο, τότε είναι απαραίτητο ο χρήστης του προγράμματος να καθορίσει την ετήσια παραγωγή, καθώς και το αν η λειτουργία του αιολικού πάρκου είναι περιορισμένη για κάποιο χρονικό διάστημα.

2.4.2.7 Τρόπος Λειτουργίας

Πρόκειται ουσιαστικά για έναν πίνακα αποφάσεων όπου περιγράφεται η προτεραιότητα που δίνει ο χρήστης μεταξύ των διάφορων μονάδων παραγωγής ενέργειας σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ο τρόπος λειτουργίας (operation strategy) είναι σημαντικός για τη δημιουργία οικονομικά αποδοτικών ενεργειακών συστημάτων. Οι πιθανές επιλογές των τρόπων λειτουργίας μεταβάλλονται ανάλογα με το αν η μελέτη περιλαμβάνει:

- ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας
- αποθήκευση θερμότητας
- μονάδα εκκένωσης θερμότητας

Επιπλέον, ο χρήστης επιλέγει τους περιορισμούς των επιλογών που έχουν γίνει. Για παράδειγμα, ποιές ενεργειακές μονάδες παράγουν μερικό φορτίο κ.τ.λ.

2.4.2.8 Περιβαλλοντικές εκλύσεις

Υπάρχουν τρία είδη τύπων εκπομπής που είναι προκαθορισμένες επιλογές του προγράμματος energyPRO. Αυτά είναι το CO₂, το NO_x και το SO₂. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να προσθέσει και επιπλέον είδος περιβαλλοντικής εκπομπής. Απαραίτητη είναι η εισαγωγή της μάζας της εκάστοτε εκπομπής. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται και στις τελικές αναφορές που προκύπτουν.

2.4.2.9 Οικονομικά Χαρακτηριστικά

Τα οικονομικά χαρακτηριστικά στο energyPRO ορίζονται κυρίως σε μηνιαία βάση, και μπορούν να μεταβάλλονται για καθέναν από τους μήνες πραγματοποίησης της μελέτης.

Η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης γίνεται με βάση:

- ✓ Την καθαρή παρούσα αξία NPV ή/και
- ✓ Τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR

Τα οικονομικά χαρακτηριστικά που εισάγονται χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Εξωτερικές συνθήκες (δείκτης πληθωρισμού, νόμισμα, ποσοστό έκπτωσης, δείκτες)
- Εισοδήματα
- Λειτουργικές δαπάνες

(στις δύο προηγούμενες κατηγορίες προσδιορίζεται το μοναδιαίο κόστος είτε εισοδημάτων είτε δαπανών που αντιστοιχούν σε κάθε είδος ενεργειακής ζήτησης)

- Επενδύσεις (για μελέτες τύπου A_2 και A_3) περιλαμβάνουν ποσά επενδύσεων, υποτίμηση, τύπο μεταβολής υποτίμησης κ.ά.
- Χρηματοδότηση (για μελέτες τύπου A_2 και A_3) περιλαμβάνουν τον τύπο χρηματοδότησης, τα δεδομένα για χρεωλύσιο, τις ημερομηνίες και τα ποσά εκταμιεύσεων, τις αμοιβές, το υπόλοιπο αποσβέσεων κ.ά.
- Φορολογία (για μελέτες τύπου A_3) όπως το ποσοστό φορολογίας για κάθε μήνα.

Κατά την οικονομική μελέτη το πρόγραμμα energyPRO εκτελεί τα παρακάτω:

- Υπολογίζει τις ταμειακές ροές (χρηματοροές), οι οποίες μεταβάλλονται σε μηνιαία βάση.
- Υπολογίζει την καθαρή παρούσα αξία NPV. Η τιμή της εκφράζει την αξία (σε χρηματικές μονάδες) που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των καθαρών χρηματοροών που προβλέπονται για ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα λειτουργίας της μονάδας και την άθροισή τους.
- Υπολογίζει τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης εκφράζει το επιτόκιο προεξόφλησης για το οποίο η καθαρή παρούσα αξία μηδενίζεται, δηλαδή η παρούσα αξία των θετικών χρηματοροών εξισώνεται με την παρούσα αξία των αρνητικών χρηματοροών.
- Στο στάδιο αυτό καθορίζονται οι μεταβλητές απόφασης του προβλήματος.
- Υπολογίζει ένα χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης. Αυτός ο χρόνος επιστροφής ορίζεται ως ο μήνας, στον οποίο μπορούν πλέον να ξεπληρωθούν τα δάνεια, δηλαδή είναι ο μήνας όπου τα εισοδήματα ισούται με το υπόλοιπο των χρεών από τα δάνεια.

2.4.3 Δημιουργία Αναφορών

Υπάρχουν δύο είδη αναφορών: οι τεχνικές και οι οικονομικές. Ο αριθμός και το είδος των αναφορών που προκύπτουν, εξαρτώνται από τον τύπο της μελέτης ο οποίος ορίστηκε στο 1^ο στάδιο (βλέπε 2.4.2.1 - Χαρακτηριστικά Μελέτης).

2.4.3.1 Τεχνικές Αναφορές

Τα είδη των τεχνικών αναφορών (technical reports) είναι:

- ✓ Γραφική παράσταση παραγωγής

Οι γραφικές παραστάσεις τέτοιου είδους περιλαμβάνουν τα εξής στοιχεία:

- Δασμολόγια
- Παραγωγή θερμότητας
- Ηλεκτρική παραγωγή
- Παραγωγή ψύξης
- Αποθήκευση καυσίμων
- Αποθήκευση θέρμανσης



Σχήμα 2-18: Παράδειγμα αναφοράς γραφικής παράστασης παραγωγής

- ✓ Ετήσια ενεργειακή μετατροπή

Περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Ζήτηση
- Παραγωγή
- Ώρες λειτουργίας
- Αριθμός των φορών που οι μονάδες τίθενται σε λειτουργία
- Καταναλώσεις καυσίμων

✓ Μηνιαία ενεργειακή μετατροπή

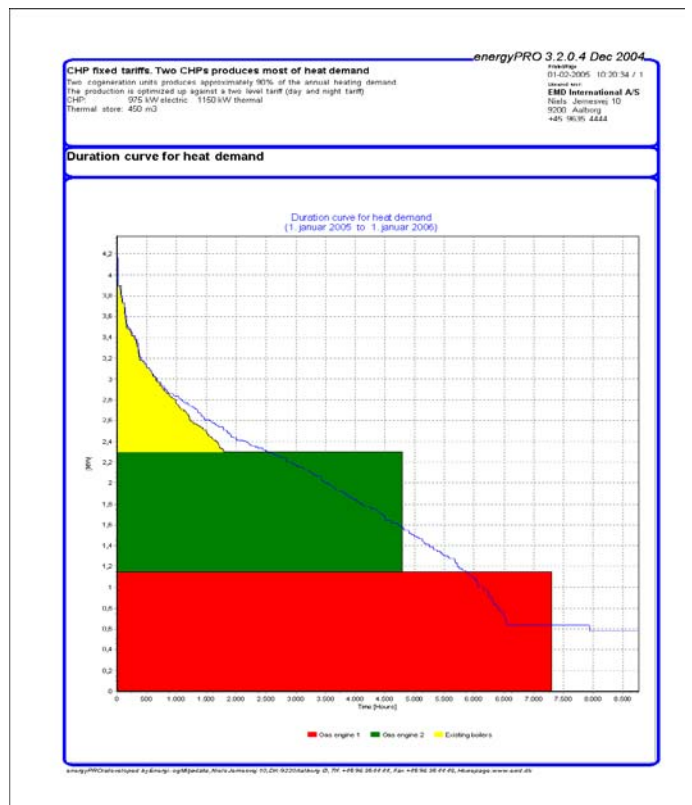
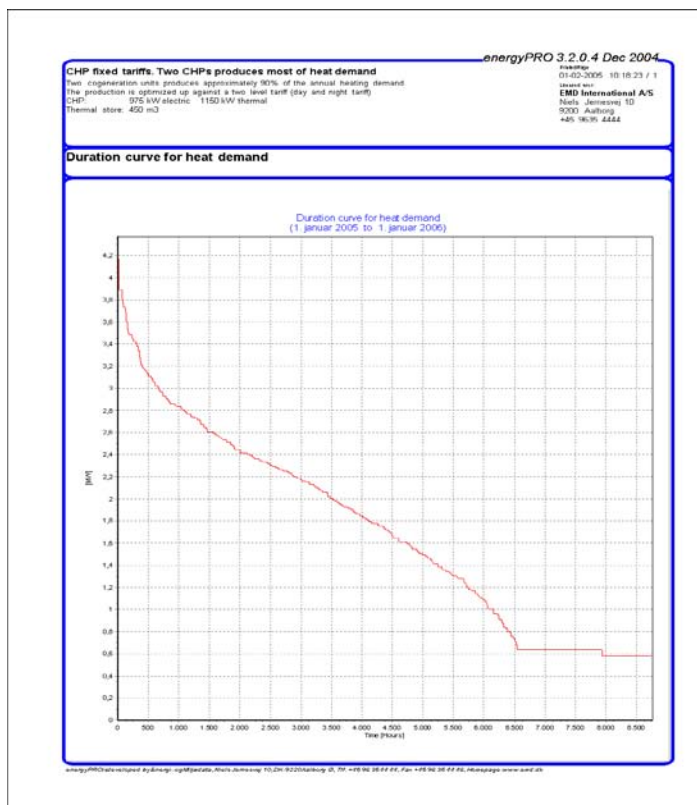
Η αναφορά αυτή περιέχει ουσιαστικά τις ίδιες πληροφορίες με αυτές της ετήσιας ενεργειακής μετατροπής, αν και η δομή είναι λίγο διαφορετική. Επίσης περιέχει τις μηνιαίες τιμές για την ενεργειακή μετατροπή.

✓ Σύνοψη ενεργειακής μετατροπής

Είναι διαθέσιμη για μελέτες τύπου A₂ ή A₃. Αυτή η έκθεση είναι δομημένη ακριβώς όπως η έκθεση μηνιαίας ενεργειακής μετατροπής, με τη μόνη διαφορά ότι οι τιμές δεν είναι μηνιαίες, αλλά ετήσιες.

✓ Καμπύλες διάρκειας για ζήτηση

Υπάρχουν καμπύλες ζήτησης οι οποίες είναι διαθέσιμες για τους τύπους ζήτησεων που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.4.2.5 - Ενεργειακή Ζήτηση. Στα σχήματα 2-19 και 2-20 παρουσιάζονται παραδείγματα δύο τέτοιων καμπυλών ζήτησης. Το σχήμα 2-19 παριστάνει την καμπύλη διάρκειας, ενώ το σχήμα 2-20 τις παραγωγές. Παρατηρείται ότι οι παραγωγές ώρα με την ώρα δεν έχουν αντιστοιχία με τη ζήτηση. Αυτό συμβαίνει διότι η αποθήκευση θέρμανσης μετατοπίζει τις παραγωγές προκειμένου να εκμεταλλευθεί τον χώρο αποθήκευσης αποτελεσματικότερα.



Σχήμα 2-19: Παράδειγμα καμπύλης διάρκειας για την ζήτηση θερμότητας (αριστερά).

Σχήμα 2-20: Παράδειγμα καμπύλης ζήτησης θερμότητας - παραγωγής (δεξιά).

2.3.3.2 Οικονομικές αναφορές

Τα είδη των οικονομικών αναφορών (financial reports) είναι:

- ✓ Λειτουργικό Κόστος: Αυτή η αναφορά είναι διαθέσιμη μόνο για μελέτη τύπου Α₁ και περιλαμβάνει όλες τις λειτουργικές δαπάνες.
- ✓ Μηνιαία Ταμειακή ροή: Περιέχει όλες καταβολές για ένα μήνα λειτουργίας. Οι δαπάνες αυτές περιλαμβάνουν:
 - Λειτουργικές δαπάνες
 - Επενδύσεις
 - Καταβολές πληρωμών
 - Φορολογία
 - Τόκοι από βραχυπρόθεσμο δανεισμό
- ✓ Σύνοψη ταμειακής ροής: αποτελείται από όλες τις πραγματικές πληρωμές που πραγματοποιούνται σε ένα έτος. Εμπεριέχει τα ίδια στοιχεία με τη μηνιαία αναφορά ταμειακής ροής, αλλά σε ετήσια βάση και όχι μηνιαία.
- ✓ Γραφική αναπαράσταση ταμειακής ροής: στηρίζεται στα στοιχεία της προηγούμενης αναφοράς (σύνοψη ταμειακής ροής).
- ✓ Εισοδηματική δήλωση: πρόκειται για το αποτέλεσμα του έτους για την επένδυση μετά από τη φορολογία και τις αποσβέσεις
- ✓ Ισολογισμός: παρουσιάζει το συνολικό ισοζύγιο κεφαλαίων της εγκατάστασης.
- ✓ Κατάλογος των τεχνικών δεδομένων: περιέχει τα περισσότερα τεχνικά στοιχεία από τα δεδομένα εισόδου.
- ✓ Κατάλογος των οικονομικών δεδομένων: περιλαμβάνει τα περισσότερα οικονομικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 2.4.2.9.

2.5 EnergyPlus

2.5.1 Γενικά Στοιχεία

Πολλά προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης που δημιουργήθηκαν στο παρελθόν και δεν εξελίχθηκαν στη συνέχεια, παρουσιάζουν δυσκολίες στη χρήση τους, η οποία πολλές φορές είναι χρονοβόρα. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη των μεθόδων ενεργειακής ανάλυσης με αποτέλεσμα την ευελιξία προγραμμάτων προσομοίωσης συστημάτων κτιρίων. Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας είναι και η δημιουργία του EnergyPlus που αποτελεί ένα συνδυασμό των προγραμμάτων BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) και DOE-2. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιεί σαν γλώσσα προγραμματισμού τη FORTRAN 90.

Το EnergyPlus είναι ένα νέο πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων που συνδυάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των προγραμμάτων BLAST και DOE-2. Στηρίζεται στη διατήρηση της θερμοκρασιακής ισορροπίας ενός χώρου, υπολογίζοντας τα ενεργειακά φορτία με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου υπολογισμού ενεργειακών φορτίων. Ο αλγόριθμος αυτός βρίσκεται στο πρόγραμμα IBLAST (μια ερευνητική έκδοση του προγράμματος BLAST) και αποτελείται από ένα νέο κώδικα γλώσσας FORTRAN 90 που είτε δημιουργήθηκε συγκεκριμένα για το EnergyPlus, είτε προπήρχε από προηγούμενο πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης. Η χρήση της FORTRAN 90 ως γλώσσα προγραμματισμού για τη λειτουργία του EnergyPlus επιτρέπει τη δημιουργία μιας οργανωμένης δομής προγράμματος που διευκολύνει την προσθήκη νέων χαρακτηριστικών καθώς και συνδέσεων με άλλα προγράμματα.

Επιπλέον, το EnergyPlus ως μέθοδος προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ποικίλους τρόπους. Για παράδειγμα, από έναν αρχιτέκτονα για τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια της φάσης σχεδιασμού ενός κτιρίου, από ένα μηχανολόγο μηχανικό για την έρευνα των διάφορων τρόπων κυκλοφορίας αέρα σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αέρα ή και από έναν ιδιοκτήτη σπιτιού για τη μελέτη ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειας και τον υπολογισμό της αποταμίευσης μετά από τη πιθανή εγκατάσταση διπλών παραθύρων και άλλων αντίστοιχων παρεμβάσεων [7].

2.5.2 Διαμόρφωση

Η διαμόρφωση του EnergyPlus στηρίχτηκε αρχικά στην κατασκευή ενός κώδικα με τη χρήση μίας νεότερης έκδοσης του BLAST (το IBLAST) που εμπεριέχει ενσωματωμένα ενεργειακά φορτία και υπολογισμούς συστημάτων HVAC. Στη

συνέχεια, επινοήθηκε μία διαδικασία μέσω της οποίας ένας νέος κώδικας μπορεί να ενσωματωθεί σε έναν προηγούμενο (διαδικασία ER-Evolutionary Reengineering). Ο υπάρχων κώδικας στον οποίο έχουν εισαχθεί δεδομένα, επεκτείνεται για να παράγει τις παραμέτρους που απαιτούνται από τις νέες ενότητες του κώδικα. Με αυτό τον τρόπο, οι νέες ενότητες μπορούν να ελεγχθούν χωρίς να πρέπει να αντικατασταθεί ολόκληρος ο παλιός κώδικας με το νέο πριν αυτός εξεταστεί. Καθώς η διαδικασία προχωρά, οι προηγούμενες ρουτίνες αντικαθίστανται από τις νέες ρουτίνες και από τις δομές δεδομένων. Έτσι γίνονται συνεχείς επαληθεύσεις.

Ένα από τα πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα της διαδικασίας είναι το γεγονός ότι το τμήμα διαχείρισης προσομοίωσης του συστήματος ελέγχει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επαναλαμβανόμενων βρόχων προσομοίωσης με χρονικό βήμα που καθορίζεται από το χρήστη του προγράμματος.

Το τμήμα της διαχείρισης της προσομοίωσης δημιουργήθηκε για να αντιμετωπίσει τις ελλείψεις και τα μειονεκτήματα της δομής των προγραμμάτων DOE-2 και BLAST και διαθέτει τα εξής χαρακτηριστικά:

- μεγάλοι σε μέγεθος βρόχοι προσομοίωσης μπορούν να περιλαμβάνονται σε μια απλή υπορουτίνα
- οι ενότητες των δεδομένων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους
- η πρόσβαση των δεδομένων ελέγχεται
- οι νέες ενότητες δεδομένων προστίθενται εύκολα

2.5.3 Δομή

Ένα από τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα της δομής του EnergyPlus είναι η μία ενσωματωμένη και ταυτόχρονη διαδικασία προσομοίωσης για την ακριβή πρόβλεψη θερμοκρασίας και άνεσης της κατοίκησης.

Μια ενσωματωμένη προσομοίωση γίνεται με τον υπολογισμό ενεργειακών φορτίων σε χρονικό διάστημα (βήμα) που είναι καθορισμένο από το χρήστη (η προεπιλογή είναι 15 λεπτά) και στη συνέχεια ακολουθεί η προσομοίωση συστημάτων κτιρίων.

Η προσομοίωση συστημάτων κτιρίων, με ένα μεταβλητό χρονικό βήμα (με διάρκεια μικρότερη από ένα λεπτό), υπολογίζει τη θέρμανση, την ψύξη και τον ηλεκτρισμό που απαιτείται για τις εγκαταστάσεις του συστήματος.

Με τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης EnergyPlus, αντιμετωπίζεται το μεγαλύτερο μειονέκτημα των προγραμμάτων BLAST και DOE-2 που είναι η ανακρίβεια στην πρόβλεψη της θερμοκρασίας. Η ακριβής πρόβλεψη των θερμοκρασιακών διαφορών είναι κρίσιμη για την ενεργειακή απόδοση του συστήματος, και επίσης το μέγεθος των εγκαταστάσεων όπως και η θερμοκρασιακή άνεση εξαρτώνται από τις θερμοκρασιακές αυτές διαφορές.

Η ενσωματωμένη προσομοίωση επιτρέπει επίσης στο χρήστη την αξιολόγηση ενός αριθμού διεργασιών που δε θα μπορούσαν να προσομοιωθούν από τα προγράμματα BLAST και DOE-2. Με αυτό τον τρόπο μελετώνται:

- η απορρόφηση και εκρόφιση υγρασίας από οικοδομικά στοιχεία
- η ακτινοβολούμενη θερμότητα
- η διαζωνική ροή αέρα

Επιπλέον, η ενσωματωμένη προσομοίωση επιτρέπει τη διαμόρφωση ρεαλιστικών αποτελεσμάτων και την πραγματοποίηση ελέγχων του συστήματος.

Υπάρχουν τρία βασικά μέρη στη δομή του προγράμματος EnergyPlus: το τμήμα διαχείρισης της προσομοίωσης, το μοντέλο προσομοίωσης για τη διατήρηση θερμότητας (το οποίο στηρίζεται στο πρόγραμμα IBLAST), και ένα τελικό μοντέλο προσομοίωσης συστημάτων κτιρίων. Το τμήμα διαχείρισης της προσομοίωσης συστήματος ελέγχει ολόκληρη τη διαδικασία προσομοίωσης.

Η διαχείριση προσομοίωσης συστημάτων κτιρίων καθορίζει την επικοινωνία μεταξύ ενός συστήματος HVAC και των συσκευών του (λέβητες, ψυγεία, αντλίες, ανεμιστήρες, κ.λ.π.) [8]. Με τη χρήση του EnergyPlus υπάρχει μεγάλη ευελιξία στο συνδυασμό της προσομοίωσης που προκύπτει με την πραγματική απεικόνιση και διαμόρφωση του συστήματος. Επιπλέον το τμήμα διαχείρισης της προσομοίωσης του συστήματος κτιρίων συμβάλλει στη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συστημάτων HVAC, δομής δεδομένων εισόδου, και δομής δεδομένων εξόδου [9].

2.5.4 Υπολογισμός διατήρησης θερμότητας

Στο πρόγραμμα EnergyPlus οι ενεργειακοί υπολογισμοί σε μία ζώνη θέρμανσης ενός κτιρίου στηρίζονται σε ένα μοντέλο διατήρησης θερμότητας σε ένα χώρο του οποίου η θερμοκρασία μετά από διάφορες διακυμάνσεις, τελικά σταθεροποιείται. Η δομή του EnergyPlus επιτρέπει τον λεπτομερειακό υπολογισμό μεταφοράς αέρα σε ένα χώρο του κτιρίου χρησιμοποιώντας μεθόδους το διαχωρισμό του κτιρίου σε θερμοκρασιακές ζώνες. Επίσης λαμβάνεται ότι οι επιφάνειες των χώρων (τοίχοι, παράθυρα, οροφές και δάπεδα) έχουν:

- ομοιόμορφες θερμοκρασίες στην επιφάνειά τους
- ομοιόμορφη ακτινοβολία θέρμανσης,
- επιφάνειες διάχυσης της ακτινοβολίας και
- εσωτερική μετάδοση θερμότητας.

Το τμήμα διαχείρισης της προσομοίωσης καθορίζει τους υπολογισμούς ισοζυγίων θερμότητας μεταξύ επιφάνειας και αέρα, και επίσης συνδέει τη διατήρηση θερμότητας με τη διαχείριση προσομοίωσης συστημάτων.

Η ενότητα διατήρησης θερμότητας πραγματοποιεί προσομοίωση των ισοζυγίων θερμότητας της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας ενός κτιρίου λαμβάνοντας υπόψη τις οριακές συνθήκες, την αγωγιμότητα, τη συναγωγή και την ακτινοβολία με τη μεταφορά μάζας (υδρατμός). Η ενότητα διατήρησης ισορροπίας μάζας εξετάζει τα διάφορα ρεύματα, όπως τον αέρα εξαερισμού, τον αέρα εξάτμισης, και τη διείσδυση αέρος. Επίσης εξετάζει τη θερμική μάζα του αέρα της αντίστοιχης ζώνης και υπολογίζει τη μεταφορά θερμότητας από συναγωγή. Η ενότητα αυτή συνδέεται με το μοντέλο COMIS (πολυζωνικό μοντέλο ροής αέρα), το οποίο παρέχει βελτιωμένες τιμές της πολυζωνικής ροής αέρος, της διείσδυσης αέρος και του εξαερισμού.

Εκτός από την κύρια ενότητα διατήρησης της θερμότητας μέσω του προγράμματος IBLAST, υπάρχουν τρεις συμπληρωματικές ενότητες που στηρίζονται στις δυνατότητες του προγράμματος DOE-2. Αυτές οι ενότητες αφορούν:

- Μία προσομοίωση υπολογισμού της ωριαίας της ακτινοβολίας που εισέρχεται μέσω των παραθύρων στο εσωτερικό του κτιρίου και της μείωσης του ηλεκτρικού φωτισμού του κτιρίου για τη διατήρηση της θερμότητας (daylighting simulation).
- Μία ενότητα που αφορά τα παράθυρα ενός κτιρίου και συγκεκριμένα τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται μέσω των υαλοπινάκων. Οι χρήστες εισάγει δεδομένα που περιγράφουν την τοποθέτηση υαλοπινάκων κάθε είδους (διπλοί, τριπλοί υαλοπίνακες κ.τ.λ.).
- Ένα μοντέλο που εξετάζει την μη-ισοτροπική κατανομή της ακτινοβολίας και της φωτεινότητας του ουρανού (βασισμένο στο εμπειρικό πρότυπο από τον Perez), ανάλογα με τη θέση του ήλιου και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες (anisotropic sky). Η μελέτη της ανομοιομορφής κατανομής ακτινοβολιών βελτιώνει τον υπολογισμό της διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολίας στις μη επίπεδες επιφάνειες (κλίση σε τοίχους και σε στέγες) [9].

2.5.5 Διαχείριση της προσομοίωσης συστήματος κτιρίου

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης της διατήρησης θερμότητας του κτιρίου, ακολουθεί η διαχείριση της προσομοίωσης του συστήματος, η οποία ελέγχει την προσομοίωση των συστημάτων HVAC, των ηλεκτρικών συστημάτων, των μηχανολογικών εξοπλισμών και των αναπροσαρμογών των θερμοκρασιακών ζωνών - αέρα περιβάλλοντος [8]. Το EnergyPlus δε χρησιμοποιεί μια διαδοχική μέθοδο προσομοίωσης (π.χ. αρχικός υπολογισμός ενεργειακών φορτίων, κατόπιν μελέτη κατανομής θερμοκρασίας και τέλος εξέταση των εγκαταστάσεων), όπως συμβαίνει στο DOE-2 και στο BLAST, δεδομένου ότι αυτό περιορίζει αρκετά τη δομή του προγράμματος και την ευελιξία της εισαγωγής δεδομένων. Αντίθετα το τμήμα διαχείρισης προσομοίωσης ενός συστήματος κτιρίου διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- εκτελεί ενιαία προσομοίωση των φορτίων, των συστημάτων, και των εγκαταστάσεων
- έχει μεγάλη έκταση

Στο τμήμα της διαχείρισης της προσομοίωσης του συστήματος εφαρμόζονται βρόγχοι που αρχικά αφορούν κυρίως τα συστήματα HVAC. Με τη χρήση των βρόγχων αυτών γίνεται πιο εύκολα η προσομοίωση των σωλήνων και των αγωγών που μετέπειτα θα βρίσκονται σε πραγματικά κτίρια. Επιπλέον, γίνεται η προσομοίωση των θερμικών απωλειών που προκαλούνται.

Ο βρόγχος που αφορά τον αέρα πραγματοποιεί προσομοίωση της μεταφοράς και της κυκλοφορίας του. Αυτό το είδος βρόγχου συνδέει μία θερμοκρασιακή ζώνη με τον εξοπλισμό που βρίσκεται στον αντίστοιχο χώρο του κτιρίου. Σε αυτούς τους μηχανολογικούς εξοπλισμούς περιλαμβάνονται θερμαντικά σώματα, μονάδες κλιματισμού, ανεμιστήρες κ.τ.λ.

Η μέθοδος επίλυσης του βρόγχου είναι επαναλαμβανόμενη σε αντίθεση με τα προγράμματα DOE-2 και BLAST. Σε κάθε βρόγχο αντιστοιχεί ένα είδος εξοπλισμού και κάθε φορά μελετάται μία μεταβλητή που αφορά το συγκεκριμένο εξοπλισμό, για παράδειγμα ο ρυθμός ροής του νερού στο εσωτερικό μίας μονάδας ψύξης ή η θέση ενός φυγόκεντρου ανεμιστήρα. Σε όλα τα τμήματα βρόγχων πραγματοποιείται η προσομοίωση και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Για τις εγκαταστάσεις συστημάτων HVAC υπάρχουν δύο είδη βρόγχων: ο πρώτος βρόγχος αφορά τους εξοπλισμούς παροχής (όπως οι λέβητες, οι ψυκτικές μονάδες, οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, οι αντλίες θερμότητας κ.α.) και ένας δεύτερος βρόγχος για την απόρριψη της θερμότητας (όπως οι πύργοι ψύξης κ.α.). Ο εκάστοτε εξοπλισμός προσδιορίζεται με βάση το είδος του και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του.

2.5.6 Δεδομένα Εισόδου/ Δεδομένα Εξόδου/ Κλιματολογικά Δεδομένα

Κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης, το EnergyPlus αποθηκεύει τα αποτελέσματα κάθε φορά που προχωρά στη δημιουργία ενός δεδομένου εξόδου. Ο επεξεργαστής δεδομένων εξόδου παρουσιάζει τα αποτελέσματα σε μία απλή και ευανάγνωστη δομή που μπορεί εύκολα να επεξεργαστεί από άλλα προγράμματα προσομοίωσης και αντίστοιχα εργαλεία υπολογισμών [8, 10].

Επιπλέον εισάγονται κλιματολογικά δεδομένα. Η δομή της εισαγωγής κλιματολογικών στοιχείων περιλαμβάνει τις εξής πληροφορίες: στοιχεία θέσης (όνομα, κράτος, περιοχή), πηγή δεδομένων, γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, διαφορά ώρας, υψόμετρο, μέγιστη σχεδιαζόμενη θέρμανση και ψύξη, αργίες, τυπικές περίοδοι και περίοδοι ακραίων συνθηκών, καθώς και χρονικό διάστημα που

αντιστοιχεί στα δεδομένα αυτά [8]. Το EnergyPlus δεν απαιτεί στοιχεία για ένα πλήρες έτος, δηλαδή για 8760 ώρες . Στην πραγματικότητα, το EnergyPlus επιτρέπει την εξέταση υποσυνόλων των ετών, ακόμη των υποσυνόλων της ώρας (εξέταση ανά λεπτό).

Με άλλα λόγια, όλα τα αρχεία δεδομένων που συνδέονται με το πρόγραμμα EnergyPlus (δεδομένα εισόδου, δεδομένα εξόδου, κλιματολογικά δεδομένα) διαθέτουν απλές και ανεξάρτητες δομές που μπορούν να μελετηθούν εύκολα και να ερμηνευθούν και από άλλα προγράμματα (λογιστικά φύλλα, βάσεις δεδομένων, άλλα είδη προγραμμάτων).

3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ

Ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα, αλλά και στο σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), αποτελεί τον μεγαλύτερο συλλογικό καταναλωτή ενέργειας, απορροφώντας περίπου το 40% της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης και ταυτόχρονα παρουσιάζοντας πολύ υψηλότερο ρυθμό αύξησης της ενεργειακής ζήτησης σε σχέση με τους υπόλοιπους τομείς. Η θέρμανση των κτιρίων αντιπροσωπεύει περίπου το 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης και καλύπτεται σχεδόν αποκλειστικά από εισαγόμενα καύσιμα, δηλαδή πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Η κατανάλωση ηλεκτρισμού για φωτισμό, ψύξη και διάφορες ηλεκτρικές συσκευές αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο τμήμα από το υπόλοιπο 30%, ενώ απορροφά το 55% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Σημειώνεται ότι η ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα εξαρτάται ακόμη σε πολύ υψηλό βαθμό από συμβατικά και ιδιαίτερα ρυπογόνα καύσιμα.

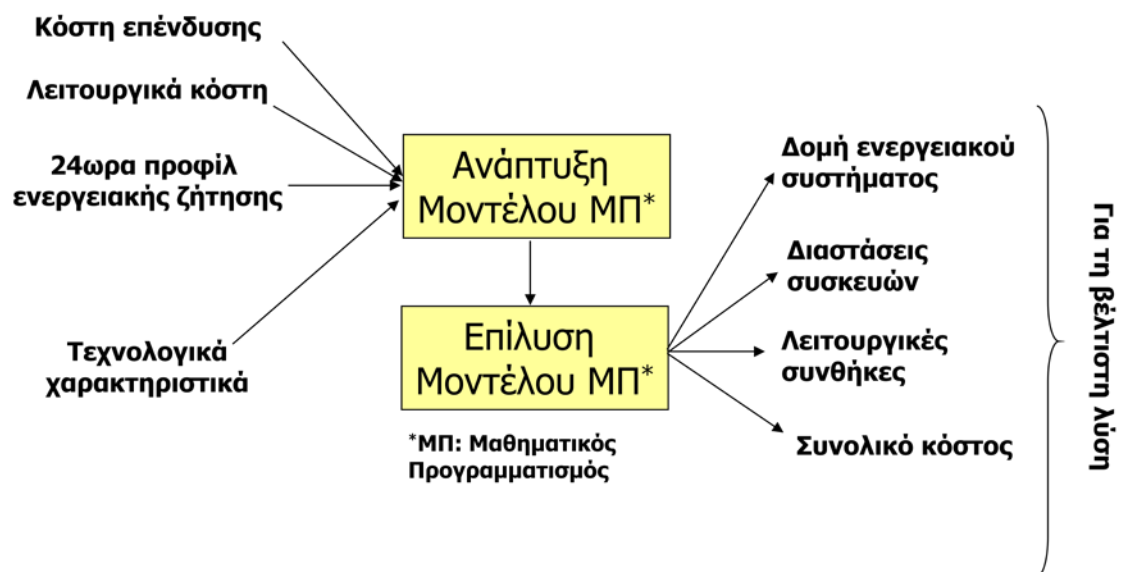
Επομένως, είναι αναμφισβήτητη η ανάγκη για ορθολογική διαχείριση της ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Αυτό σημαίνει προώθηση μέτρων και τεχνολογιών για εξοικονόμηση ενέργειας, και ταυτόχρονα αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η ανάγκη αυτή άλλωστε έχει αναγνωρισθεί ως κεντρικός στόχος της Ευρωπαϊκής Πολιτικής για την Ενέργεια και το Κλίμα (Πακέτο στόχων 20-20-20 το 2020, COM(2008) 30), ενώ αντανάσσεται και σε πολλές Ευρ. Οδηγίες με προεξάρχουσα την Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων.

Εκτός από τις όποιες καθυστερήσεις θεσμικής προσαρμογής της χώρας στο Ευρωπαϊκό πλαίσιο ενεργειακής πολιτικής, σημαντικές αδυναμίες καταγράφονται και στην πλευρά του τεχνικού κόσμου που εμπλέκεται στην κατασκευή και συντήρηση κτιρίων (σύμβουλοι μελετητές, μηχανικοί σχεδιασμού, εργολάβοι και κατασκευαστές κλπ). Συγκεκριμένα, ακόμη και στις περιπτώσεις που υπάρχουν η βούληση και οι τεχνικές γνώσεις για την ένταξη νέων αποδοτικών τεχνολογιών και άλλων ενεργειακών παρεμβάσεων στο κτίριο, οι πρακτικές που ακολουθούνται είναι συνήθως διασθητικές και αποσπασματικές, εστιάζοντας το ενδιαφέρον σε μία ή λίγες από τις πολλαπλές ενεργειακές διαστάσεις του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό δεν διασφαλίζεται η μεγιστοποίηση του φυσικού αποτελέσματος (εξοικονόμηση ενέργειας) σε σχέση με τους καταναλισκόμενους οικονομικούς πόρους.

Η κεντρική ιδέα του προτεινόμενου έργου στηρίζεται στις παραπάνω διαπιστώσεις και στην ανάγκη για μια ολιστική αντιμετώπιση του κτιρίου ως ενεργειακού καταναλωτή που θα οδηγεί και σε μία ολοκληρωμένη διαδικασία ενεργειακής αριστοποίησης, έτσι ώστε:

- Να καλύπτεται το σύνολο των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, ηλεκτρικών, θερμικών και ψυκτικών.
- Να εξετάζεται το σύνολο των διαθέσιμων ενεργειακών τεχνολογιών, λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές συνέργειες στην κάλυψη των ενεργειακών φορτίων, αλλά και τις σχέσεις αλληλοαποκλεισμού μεταξύ τους.
- Να αξιολογούνται οι εναλλακτικές τεχνολογίες και να προσδιορίζεται το συνολικό χαρτοφυλάκιο παρεμβάσεων με βάση οικονομικά κριτήρια.

Η κεντρική αυτή ιδέα μπορεί να υλοποιηθεί με ένα Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στο οποίο ενσωματώνονται τα μοντέλα ενεργειακού σχεδιασμού που θα αναπτυχθούν για το σκοπό αυτό αξιοποιώντας τα μεθοδολογικά εργαλεία του Μαθηματικού Προγραμματισμού. Ειδικότερα το προτεινόμενο μοντέλο θα πραγματοποιεί δομική, διαστατική και λειτουργική αριστοποίηση (structural, design and operational optimization) νέων και υφισταμένων κτιρίων, αξιοποιώντας και επεκτείνοντας τις αρχές της μηχανικής διεργασιών (process engineering) στο πεδίο του ενεργειακού σχεδιασμού.



Σχήμα 3-1: Σχηματική παράσταση του υπολογιστικού συστήματος BUENO

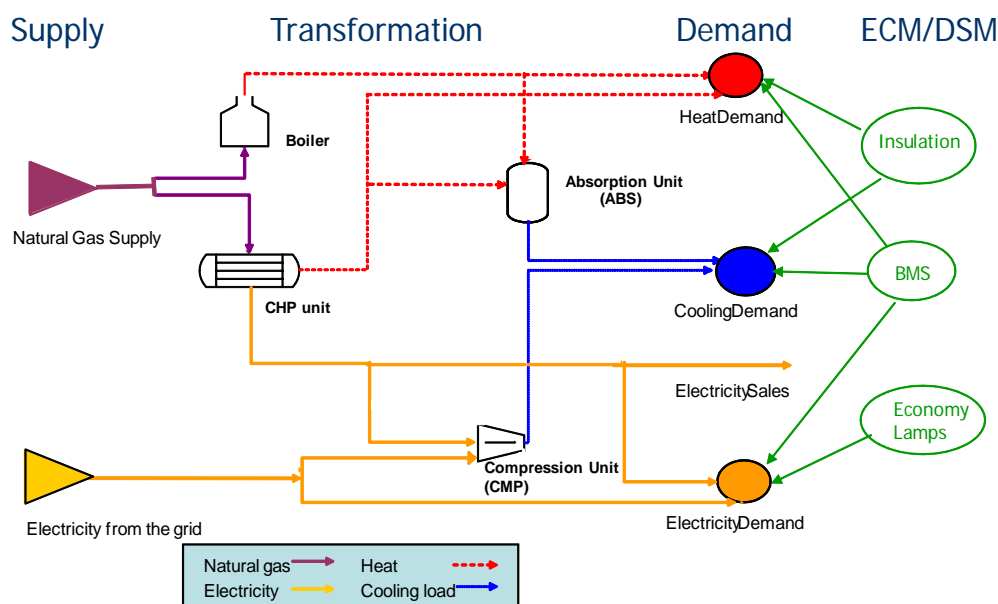
Η καθιερωμένη αντιμετώπιση σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού κτιρίων είναι να γίνεται μια μεμονωμένη εξέταση ήδη καθιερωμένων τεχνολογιών και με κριτήριο τη βελτιστοποίηση της οικονομικής αποδοτικότητας να επιλέγεται η βέλτιστη λύση [11, 12]. Η δυνατότητα κάλυψης καθενός από τα τρία ενεργειακά φορτία εξετάζεται συνήθως μεμονωμένα και οι επεμβάσεις εισάγονται με ιεραρχικό τρόπο και πολλές φορές ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Στο παρελθόν που οι εναλλακτικές επιλογές ήταν λίγες και τα κριτήρια απόφασης σχεδόν αποκλειστικά

το οικονομικό η πρακτική αυτή ήταν επαρκής. Τα τελευταία χρόνια, η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και οι νέες ενεργειακές τεχνολογίες έδωσαν νέες δυνατότητες στα κτίρια του τριτογενούς ακόμα και του οικιακού τομέα [13, 14] ώστε να σχεδιάσουν (ή και να επανασχεδιάσουν) τον τρόπο κάλυψης των ενεργειακών τους αναγκών έχοντας να διαλέξουν από μεγάλο αριθμό εναλλακτικών επιλογών. Σήμερα λοιπόν η πληθώρα των εναλλακτικών επιλογών και η αυξανόμενη σημασία που δίνεται στην περιβαλλοντική διάσταση δημιουργεί την ανάγκη νέων εργαλείων λήψης απόφασης.

Στην παρούσα εργασία γίνεται συστημική θεώρηση του προβλήματος ενεργειακού σχεδιασμού του κτιρίου και χρησιμοποιούνται βασικές αρχές και πρακτικές από τη σύνθεση διεργασιών (process synthesis) για τη συνολική βελτιστοποίηση του συστήματος.

Με βάση τη συστημική θεώρηση δεν εξετάζονται ιεραρχικά και μεμονωμένα οι διάφορες ενεργειακές επεμβάσεις και εναλλακτικές ενεργειακές επιλογές αλλά ενσωματώνονται όλες σε μία υπερδομή (superstructure) η οποία εκφράζεται με ένα γενικό μοντέλο βελτιστοποίησης από την λύση του οποίου μπορεί να προκύψει ποιες επεμβάσεις πρέπει να υλοποιηθούν, ποιες οι διαστάσεις τους και ποιος ο τρόπος λειτουργίας τους προκειμένου να καλύψουν τα ενεργειακά φορτία με βέλτιστο τρόπο [15].

Συγκεκριμένα κατασκευάζεται το μαθηματικό μοντέλο του ενεργειακού συστήματος υπό τη μορφή μοντέλου Μαθηματικού Προγραμματισμού. Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός με τις διάφορες παραλλαγές του (κυρίως Γραμμικός Προγραμματισμός και Μικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός) χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία 40 χρόνια για τον ενεργειακό σχεδιασμό σε επίπεδο χωρών ή περιφερειών [16]. Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να εφαρμόζεται και σε μικρότερα συστήματα όπως κτίρια του τριτογενούς και οικιακού τομέα ενώ σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται ήδη από την δεκαετία του 70. Στη συγκεκριμένη εργασία προτείνεται η αντιμετώπιση του προβλήματος ενεργειακού σχεδιασμού κτιρίων ως πρόβλημα Μαθηματικού Προγραμματισμού το οποίο πραγματοποιεί δομική, διαστατική και λειτουργική αριστοποίηση (structural, design and operational optimization) με βάση τις αρχές της μηχανικής διεργασιών στα βιομηχανικά συστήματα [17, 18, 19]. Καταρχήν δημιουργείται η υπερδομή του συστήματος όπου όλες οι τεχνολογίες και τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας αποτυπώνονται σε ένα διάγραμμα ροής που ξεκινά από την προσφορά ενέργειας, περιλαμβάνει τις διάφορες μετατροπές και καταλήγει στην κάλυψη της τελικής ζήτησης (βλ. Σχήμα 3-2).



Σχήμα 3-2: Υπερδομή ενεργειακού συστήματος

Η μοντελοποίηση του ενεργειακού συστήματος γίνεται εκφράζοντας τα ισοζύγια ενέργειας, και τους περιορισμούς δυναμικότητας, τεχνικών ελαχίστων κλπ που αντιστοιχούν στην υπερδομή του συστήματος σε ένα μοντέλο Μαθηματικού Προγραμματισμού. Για την ρεαλιστική απεικόνιση του ενεργειακού συστήματος η χρονική ανάλυση του μοντέλου είναι σε επίπεδο ωρας (δηλ. τα ισοζύγια ενέργειας εκφράζονται για κάθε ώρα) και η περίοδος βελτιστοποίησης είναι ετήσια. Δεν χρησιμοποιούνται δηλαδή μέσες ετήσιες τιμές κατανάλωσης που αποτελεί μια απλουστευμένη προσέγγιση, αλλά θεωρείται μια τυπική μέρα για κάθε μήνα με τα αντίστοιχα θερμικά, ψυκτικά και ηλεκτρικά φορτία υπό τη μορφή 24ωρων προφίλ. Μία ρεαλιστική ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού συνήθως καταλήγει σε μοντέλα Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού (Mixed Integer Linear Programming) μεγάλου μεγέθους, καθότι πρόκειται για πολύπλοκα συστήματα με πληθώρα συνδυασμών εφικτών τεχνικά λύσεων.

Η κατηγορία προβλημάτων Μαθηματικού Προγραμματισμού που αναφέρονται ως προβλήματα Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού περιλαμβάνουν συνεχείς και ακέραιες μεταβλητές απόφασης (οι άγνωστοι του προβλήματος) και εκφράζουν κυρίως τις ενεργειακές ροές, ενώ οι ακέραιες μεταβλητές απόφασης είναι συνήθως δυαδικές (παίρνουν τιμή 0 ή 1) και εκφράζουν κυρίως την εγκατάσταση ή όχι συσκευών, την εφαρμογή ή όχι επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας και τη λειτουργία ή όχι συσκευών μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας. Το αποτέλεσμα της επίλυσης ενός τέτοιου μοντέλου είναι η δομική (ποιές συσκευές πρέπει να εγκατασταθούν και τι επεμβάσεις πρέπει να γίνουν) η διαστατική (ποιές οι διαστάσεις τους) και η λειτουργική (πώς θα λειτουργούν) βελτιστοποίηση του συστήματος.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

4.1 Γενικά Στοιχεία

Στα κτίρια του τριτογενούς τομέα, οι ταυτόχρονες απαιτήσεις της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας οδηγούν στην εφαρμογή της συμπαραγωγής. Συγκεκριμένα, στη βόρεια Ευρώπη συνηθίζεται η εφαρμογή συμπαραγωγής θέρμανσης και ηλεκτρισμού για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των εμπορικών κτιρίων και των κατοικιών. Από την άλλη πλευρά, στις μεσογειακές χώρες γίνεται ένας συνδυασμός των μονάδων συμπαραγωγής με μονάδες απορρόφησης για ψύξη, με σκοπό την κάλυψη των απαιτούμενων ψυκτικών φορτίων κατά τους θερινούς μήνες. Έτσι προκύπτουν συστήματα τριπαραγωγής, δηλαδή συνδυασμένα συστήματα θερμότητας, ψύξης και ισχύος (CHCP) και αποτελούν εναλλακτικές λύσεις για την παροχή διαφορετικών ενεργειακών υπηρεσιών στις αστικές περιοχές και στα μεγάλα κτίρια, ιδιαίτερα σε θερμές περιοχές, όπως οι μεσογειακές χώρες.

Με τη χρήση τέτοιου είδους συστημάτων εξασφαλίζονται σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς η θερμότητα συμπαραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο το χειμώνα για τη θέρμανση, όσο και το καλοκαίρι για την ψύξη μέσω της χρήσης μονάδας απορρόφησης για ψύξη.

Πολύ συχνά οι επενδύσεις σε συστήματα τριπαραγωγής ανταγωνίζονται άλλες εφαρμογές (συμπαραγωγής ή συμβατικά συστήματα παροχής ενέργειας) και μπορεί να είναι πιο συμφέρουσες οικονομικά. Το συνολικό ετήσιο κόστος που απαιτείται θα πρέπει να ικανοποιεί τη ζήτηση του συστήματος σε θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό, πράγμα το οποίο αποτελεί οικονομικό κριτήριο για τη μελέτη της περίπτωσης που εξετάζεται. Το κόστος αυτό εξαρτάται από δύο παραμέτρους: το κόστος της επένδυσης (σταθερό) και το λειτουργικό κόστος (μεταβλητό). Το σταθερό κόστος περιλαμβάνει την αγορά, την εγκατάσταση και τη συντήρηση των εξοπλισμών. Το μεταβλητό κόστος περιλαμβάνει την κατανάλωση φυσικού αερίου, καθώς επίσης και την αγορά ηλεκτρισμού. Το κέρδος προκύπτει από την αφαίρεση του ηλεκτρισμού που πωλείται από το μεταβλητό κόστος που προαναφέρθηκε.

Όπως θα δειχθεί και στη συνέχεια, για την πραγματοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούν τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού και τιμές πώλησης των ρευμάτων παροχής.

4.2 Ζήτηση Ενέργειας

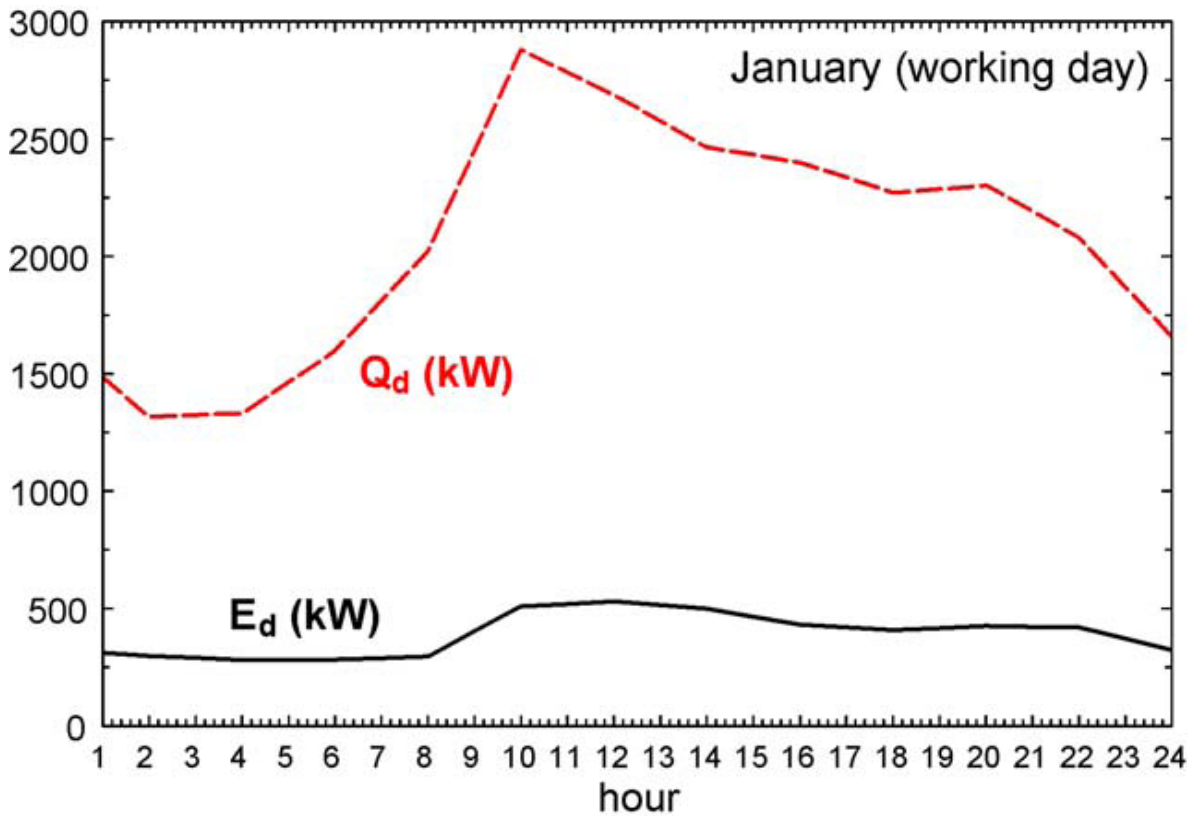
Μία μεθοδική προσέγγιση για την επιλογή ενός κατάλληλου συστήματος παροχής ενέργειας απαιτεί τη λεπτομερειακή γνώση των θερμικών, ψυκτικών και ηλεκτρικών φορτίων. Η διαμόρφωση της ενεργειακής ζήτησης επηρεάζει τα οικονομικά χαρακτηριστικά και την εξοικονόμηση ενέργειας των συστημάτων τριπαραγωγής.

Η ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη εξαρτάται από την εποχή και το κλίμα, οπότε ποικίλλει χρονικά. Όταν οι ανάγκες για θερμικό φορτίο μειώνονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, δημιουργείται μία νέα ενεργειακή ζήτηση - αυτή τη φορά για ψυκτικό φορτίο - με τέτοιο τρόπο που η συνολική ενεργειακή ζήτηση είναι σχεδόν ομοιόμορφη κατά τη διάρκεια του έτους και εξασφαλίζεται η αποδοτική λειτουργία του συστήματος τριπαραγωγής κατά τη διάρκεια μιας μεγαλύτερης χρονικής περιόδου.

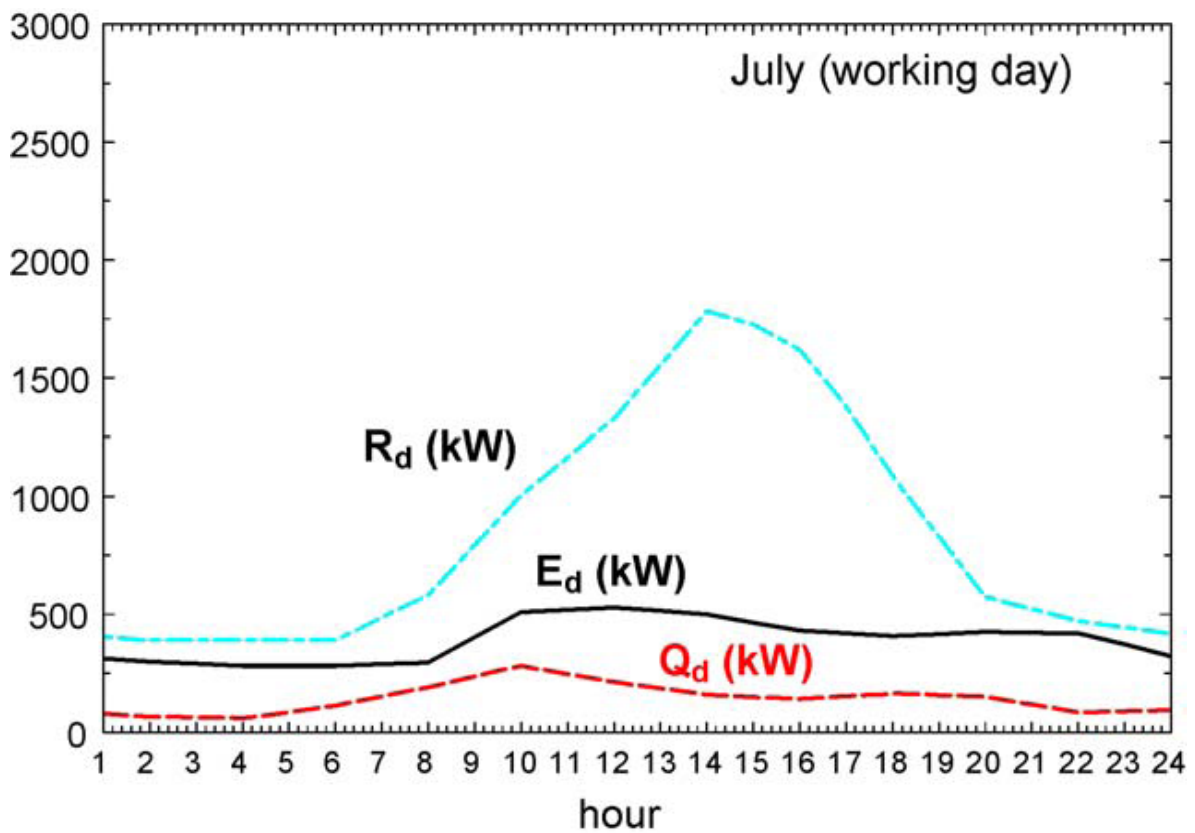
Η συγκεκριμένη μελέτη εξετάζει το σχεδιασμό ενός συστήματος τριπαραγωγής που παρέχει ηλεκτρισμό, υγειονομικό ζεστό νερό, θέρμανση και ψύξη σε νοσοκομείο το οποίο βρίσκεται στην πόλη Zaragoza της Ισπανίας. Το νοσοκομείο που μελετάται περιλαμβάνει 500 κλίνες και θεωρείται μεσαίου μεγέθους. Η ζήτηση σε ενέργεια αφορά την ανάγκη για θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό.

Το θερμικό φορτίο πρόκειται να καλύψει ανάγκες για παροχή (υγειονομικού) ζεστού νερού και θέρμανσης. Η μελέτη πραγματοποιείται για ένα χρόνο λειτουργίας. Χρησιμοποιούνται 24 αντιπροσωπευτικές μέρες (μία εργάσιμη μέρα λειτουργίας W και μία μέρα που αφορά αργίες F για κάθε μήνα του έτους).

Απο τη μελέτη του Lozano για το ίδιο νοσοκομείο [1], υπάρχει σαν δεδομένο η καμπύλη ζήτησης των φορτίων θέρμανσης, ψύξης και ηλεκτρισμού για μια τυπική ημέρα του Ιανουαρίου (σχήμα 4-1) και Ιουλίου (σχήμα 4-2). Σε κάθε σχήμα εμφανίζεται η γραφική αναπαράσταση του φορτίου θέρμανσης Q_d , του φορτίου ψύξης R_d και του φορτίου ηλεκτρισμού E_d .



Σχήμα 4-1: Ωριαία ενεργειακή ζήτηση για μία αντιπροσωπευτική εργάσιμη μέρα λειτουργίας για το μήνα Ιανουάριο



Σχήμα 4-2: Ωριαία ενεργειακή ζήτηση για μία αντιπροσωπευτική εργάσιμη μέρα λειτουργίας για το μήνα Ιούλιο

Στις παραπάνω καμπύλες (σχήματα 4-1 και 4-2) παρουσιάζεται η μεταβολή της ζήτησης των φορτίων αυτών κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου για μία εργάσιμη μέρα λειτουργίας του νοσοκομείου για τους δύο αυτούς μήνες. Οι δύο αυτές γραφικές αναπαραστάσεις προέκυψαν μετά από μελέτη του Sanchez (2003), η οποία εκτιμά τα μηνιαία, ημερήσια και ωριαία ενεργειακά προφίλ για διαφορετικές τιμές ενεργειακών ζητήσεων με βάση το μέγεθος του συγκεκριμένου νοσοκομείου και τη γεωγραφική του θέση [20]. Στη μελέτη του Lozano [1] διατίθενται πίνακες που παρουσιάζουν τις ενεργειακές ζητήσεις του νοσοκομείου (για θερμό νερό, ψυχρό νερό και ηλεκτρισμό) για καθεμία από τις 24 διαφορετικές περιπτώσεις - βλέπε πίνακα Π-1 Παραρτήματος.

Με αναλυτική μελέτη των δύο διαγραμμάτων, είναι δυνατός ο υπολογισμός της ζήτησης των τριών ειδών φορτίων για την καθεμία από τις ώρες της εργάσιμης ημέρας, τόσο για το μήνα Ιανουάριο όσο και για το μήνα Ιούλιο. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται γραφικά με την εύρεση των σημείων που αντιστοιχούν στις συγκεκριμένες ωριαίες ζητήσεις. Το άθροισμα των ωριαίων φορτίων για τους δύο αυτούς μήνες, ταυτίζεται με τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις (μετρημένες σε kWh/ημέρα) του πίνακα από τη μελέτη του Lozano.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα ποσοστά της ζήτησης φορτίων που αντιστοιχούν σε κάθε ώρα της ημέρας που μελετάται. Τα ποσοστά αυτά παρουσιάζονται στους πίνακες 4-1 και 4-2 και χρησιμοποιούνται παρακάτω για τον υπολογισμό των ωριαίων φορτίων ζήτησης για κάθε μήνα του έτους, τόσο για τις εργάσιμες ημέρες όσο και για τις ημέρες αργίας.

Για τον υπολογισμό των ωριαίων ενεργειακών ζητήσεων για κάθε μήνα του έτους, γίνεται η παραδοχή ότι οι μήνες: Φεβρουάριος, Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος και Ιούνιος ακολουθούν το ενεργειακό προφίλ του Ιανουαρίου (σχήμα 4-1), ενώ οι μήνες: Αύγουστος, Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος και Δεκέμβριος ακολουθούν το ενεργειακό προφίλ του Ιουλίου (σχήμα 4-2). Με αυτό τον τρόπο, μπορεί πλέον να γίνει ο υπολογισμός των ωριαίων ενεργειακών ζητήσεων για κάθε μήνα του έτους τόσο για τις αντιπροσωπευτικές εργάσιμες ημέρες λειτουργίας όσο και για τις ημέρες αργίας.

Έτσι, κατασκευάζονται τρεις πίνακες διαστάσεων 24*24, οι οποίοι παρουσιάζουν την ωριαία ενεργειακή ζήτηση για το θερμικό, το ψυκτικό και το ηλεκτρικό φορτίο για τις 24 αντιπροσωπευτικές μέρες του έτους (μία εργάσιμη μέρα και μία μέρα αργίας για κάθε μήνα). Οι πίνακες που προκύπτουν παρουσιάζονται στο Παράρτημα και εισάγονται στο μοντέλο που κατασκευάζεται στη συνέχεια (βλέπε Παράρτημα - σελ.122-4).

Πίνακας 4-1: Ωριαίες ενεργειακές ζητήσεις και ωριαία ποσοστά τους για τα τρία είδη φορτίων (Ιανουάριος - εργάσιμη αντιπροσωπευτική μέρα)

<u>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</u>						
ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΝΕΡΟ	%	ΨΥΧΡΟ ΝΕΡΟ	%	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	%
	(kW)		(kW)		(kW)	
1	1500	0,030	0		310	0,033
2	1300	0,026	0		300	0,032
3	1300	0,026	0		290	0,031
4	1300	0,026	0		280	0,030
5	1500	0,030	0		280	0,030
6	1600	0,032	0		280	0,030
7	1800	0,036	0		290	0,031
8	2050	0,041	0		300	0,032
9	2550	0,051	0		400	0,043
10	2900	0,058	0		500	0,053
11	2800	0,056	0		520	0,055
12	2700	0,054	0		550	0,058
13	2550	0,051	0		510	0,054
14	2450	0,049	0		500	0,053
15	2400	0,048	0		480	0,051
16	2350	0,047	0		450	0,048
17	2300	0,046	0		420	0,045
18	2250	0,045	0		400	0,043
19	2250	0,045	0		420	0,045
20	2270	0,045	0		440	0,047
21	2230	0,045	0		410	0,044
22	2100	0,042	0		400	0,043
23	1850	0,037	0		380	0,040
24	1700	0,034	0		300	0,032

Πίνακας 4-2: Ωριαίες ενεργειακές ζητήσεις και ωριαία ποσοστά τους για τα τρία είδη φορτίων (Ιούλιος - εργάσιμη αντιπροσωπευτική μέρα)

ΙΟΥΛΙΟΣ						
ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟ ΝΕΡΟ	%	ΨΥΧΡΟ ΝΕΡΟ	%	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	%
	(kW)		(kW)		(kW)	
1	90	0,026	410	0,020	310	0,033
2	70	0,020	400	0,020	300	0,032
3	60	0,017	400	0,020	280	0,030
4	60	0,017	400	0,020	270	0,029
5	90	0,026	400	0,020	270	0,029
6	100	0,029	400	0,020	275	0,029
7	150	0,044	490	0,024	280	0,030
8	200	0,058	600	0,030	290	0,031
9	250	0,073	780	0,039	410	0,044
10	290	0,085	1000	0,050	505	0,054
11	260	0,076	1170	0,058	515	0,055
12	230	0,067	1295	0,064	525	0,056
13	200	0,058	1570	0,078	515	0,055
14	145	0,042	1790	0,089	505	0,054
15	125	0,036	1735	0,086	460	0,049
16	120	0,035	1620	0,080	445	0,047
17	125	0,036	1370	0,068	435	0,046
18	150	0,044	1070	0,053	425	0,045
19	140	0,041	780	0,039	435	0,046
20	140	0,041	580	0,029	450	0,048
21	105	0,031	550	0,027	440	0,047
22	100	0,029	480	0,024	440	0,047
23	110	0,032	450	0,022	340	0,036
24	120	0,035	430	0,021	290	0,031

4.3 Υπερδομή Συστήματος

Για την επίλυση του θεμελιώδους ζητήματος της διαμόρφωσης εγκαταστάσεων χρησιμοποιείται μία ειδική δομή, η οποία ενσωματώνει όλες τις δυνατές ενεργειακές επεμβάσεις και τις εναλλακτικές ενεργειακές επιλογές.

Συγκεκριμένα, όλες οι τεχνολογίες και τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας αποτυπώνονται σε ένα διάγραμμα ροής που ξεκινά από την προσφορά ενέργειας, περιλαμβάνει τις διάφορες μετατροπές και καταλήγει στην κάλυψη της τελικής ζήτησης.

Αυτή η χρήση της υπερδομής του συστήματος παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

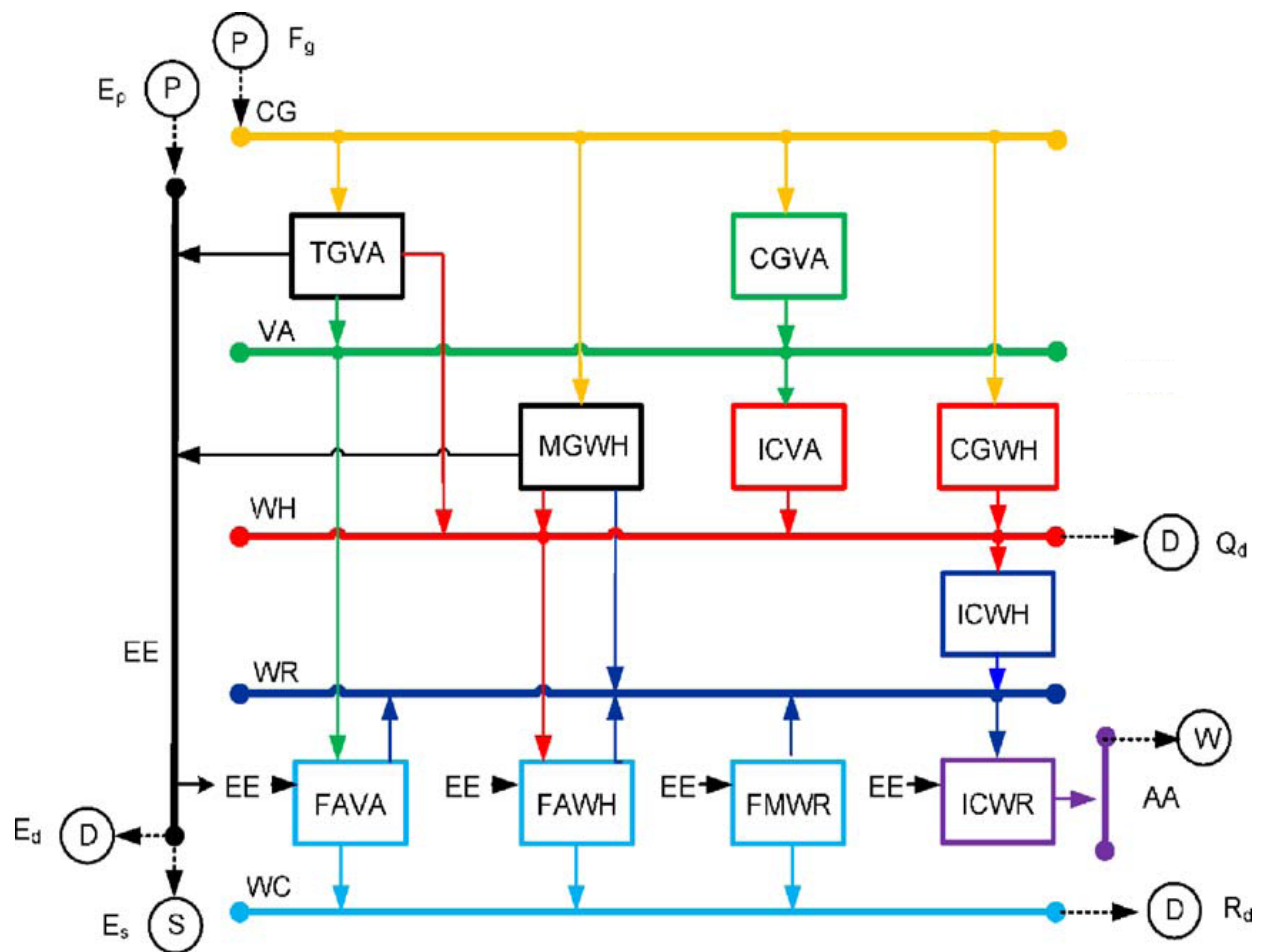
- Δίνει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης μελέτης πολλών διαφορετικών επιλογών
- Μπορούν να αντιμετωπιστούν σύνθετες πολλαπλές μεταβολές στο σχεδιασμό συστημάτων παροχής ενέργειας
- Η διαδικασία του σχεδιασμού μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτόματα, γρήγορα και αποτελεσματικά.

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα:

- Εάν οι μεμονωμένοι εξοπλισμοί παρουσιάζονται με ακρίβεια, το μαθηματικό πρότυπο θα είναι εξαιρετικά μεγάλο και το πρόβλημα βελτιστοποίησης θα είναι δύσκολο στην επίλυσή του
- Το σπουδαιότερο μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι ο μηχανικός παρεμβαίνει μόνο στη δημιουργία του μοντέλου και όχι στη διαδικασία επίλυσης (Black box effect).

Με αυτό τον τρόπο, οι πολυάριθμες ασάφειες στο σχεδιασμό, οι οποίες είναι δύσκολο να συμπεριληφθούν στη μαθηματική διατύπωση του προβλήματος, δε μπορούν να ληφθούν υπόψη σε ικανοποιητικό βαθμό.

Στην υπερδομή του συγκεκριμένου συστήματος (βλέπε σχήμα 4-3) παρουσιάζονται σχηματικά και οι δέκα προτεινόμενοι μηχανολογικοί εξοπλισμοί που μπορούν να επιλεγθούν, τα ενεργειακά ρεύματα που υπάρχουν στο σύστημα και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τεχνολογιών και των ρευμάτων αυτών.



Σχήμα 4-3: Υπερδομή του ενεργειακού συστήματος

Τα ενεργειακά ρεύματα είναι τα εξής:

- CG: φυσικό αέριο
- VA: κορεσμένος ατμός, 180°C
- WH: θερμό νερό, 90 °C
- WR: ψυχρό νερό, $t_0 + 5$ °C
- AA: αέρα περιβάλλοντος, t_0 °C
- WC: νερό ψύξης, 5°C
- EE: ηλεκτρισμός

Τα παραπάνω ρεύματα χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ζητήσεις των αντίστοιχων φορτίων, την ενεργειακή προσφορά (για το φυσικό αέριο που καταναλώνεται και την ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται) και την πώληση του παραγόμενου ηλεκτρισμού.

Ενεργειακές Ζητήσεις

- Q_d : υγειονομικό ζεστό νερό και θέρμανση
- R_d : ψύξη
- E_d : ηλεκτρισμός

Ενεργειακή Προσφορά

- F_g : καταναλισκόμενο φυσικό αέριο
- E_p : ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται

Πωλήσεις Ηλεκτρισμού

- E_s : μέρος του ηλεκτρισμού συμπαραγωγής που πωλείται

Το σχεδιάγραμμα της υπερδομής του ενεργειακού συστήματος περιλαμβάνει τους ακόλουθους μηχανολογικούς εξοπλισμούς:

- TGVA: συσκευή συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο για παραγωγή ατμού, θερμού νερού και ηλεκτρισμού
- MGWH: συσκευή συμπαραγωγής με κινητήρα εσωτερικής καύσης για παραγωγή θερμού νερού και ηλεκτρισμού
- CGVA: λέβητας ατμού
- CGWH: λέβητας θερμού νερού
- ICVA: εναλλάκτης θερμότητας θερμού νερού - ατμού
- ICWH: εναλλάκτης θερμότητας θερμού νερού – κρύου νερού
- FAVA: μονάδα απορρόφησης για ψύξη (διπλής βαθμίδας – με ατμό)
- FAWH: μονάδα απορρόφησης για ψύξη (απλής βαθμίδας – με θερμό νερό)
- FMWR: μονάδα συμπίεσης για ψύξη (ηλεκτρισμός)
- ICWR: πύργος ψύξης για την απόρριψη της θερμότητας από το ψυχρό νερό

Στο σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται μία μόνο μονάδα εξοπλισμού για το κάθε είδος, ενώ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και περισσότερες μονάδες για το καθένα.

4.4 Μηχανολογικός εξοπλισμός

Τα είδη των τεχνολογιών έχουν επιλεγθεί έτσι ώστε να έχουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά. Στον πίνακα 4-3 αναφέρεται το κόστος επένδυσης και η ονομαστική ισχύς για κάθε είδος μηχανολογικού εξοπλισμού.

Πίνακας 4-3: Κόστος επένδυσης και ονομαστική ισχύς για κάθε τύπο μηχανολογικού εξοπλισμού

ΕΙΔΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ <i>i</i>	ΚΟΣΤΟΣ <i>C_i</i> (10³ €)	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ <i>P_{nom}</i> (MW)
TGVA	1530	1.21
MGWH	435	0.58
CGVA	182	0.78
CGWH	30	0.57
ICVA	2.5	0.40
ICWH	6.5	0.40
FAVA	370	1.26
FAWH	200	0.49
FMWR	175	0.49
ICWR	25	1.00

Επιπλέον, στον πίνακα 4-4 παρουσιάζονται οι συντελεστές παραγωγής για την υπερδομή του ενεργειακού συστήματος που εξετάζεται. Οι σειρές αντιστοιχούν στις εγκατεστημένες μονάδες εξοπλισμού και οι στήλες στα ρεύματα παροχής.

Πίνακας 4-4: Συντελεστές παραγωγής των ενεργειακών ρευμάτων για κάθε τύπο μηχανολογικού εξοπλισμού

ΕΙΔΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ <i>i</i>	CG	VA	WH	WR	AA	WC	EE
TGVA	- 4.06	+ 1.83	+ 0.53				+ 1
MGWH	- 2.45		+ 0.96	+ 0.20			+ 1
CGVA	- 1.20	+ 1					
CGWH	- 1.08		+ 1				
ICVA		- 1.00	+ 1				
ICWH			- 1.00	+ 1			
FAVA		- 0.83		+ 1.83		+ 1	- 0.01
FAWH			- 1.50	+ 2.50		+ 1	- 0.01
FMWR				+ 1.23		+ 1	- 0.23
ICWR				- 1.00	+ 1		- 0.01

Ο συντελεστής παραγωγής 1 προσδιορίζει την δυναμικότητα του εκάστοτε μηχανολογικού εξοπλισμού. Οι συντελεστές με θετικό πρόσημο αντιστοιχούν σε παραγόμενα ενεργειακά ρεύματα, ενώ τα ενεργειακά ρεύματα με αρνητικό πρόσημο είναι αυτά που καταναλώνονται. Για παράδειγμα, η τεχνολογία MGWH (βλέπε πίνακας 4-4) έχει ως κύρια παραγωγή τον ηλεκτρισμό, καθώς ο συντελεστής παραγωγής του είναι 1. Για την παραγωγή P MW ηλεκτρισμού (EE), καταναλώνονται 2,45·P MW φυσικού αερίου, ανακτώνται 0,96·P MW θερμού νερού (WH), εκκενώνονται 0,20·P MW θερμότητας στην ψύξη νερού (WR). Με P_{nom} συμβολίζεται η ονομαστική ισχύς των μηχανολογικών εξοπλισμών. Θεωρείται ότι οι συντελεστές παραγωγής είναι σταθεροί και ανεξάρτητοι της παραγωγής και ότι ισχύει $P \leq P_{nom}$ για κάθε χρονική στιγμή λειτουργίας των μονάδων.

Το C_i (investment cost) είναι το κόστος επένδυσης για κάθε μηχανολογικό εξοπλισμό *i*, που λαμβάνεται από τον πίνακα 4-3 και που πολλαπλασιάζεται με έναν παράγοντα που λαμβάνει υπόψη τη μεταφορά, την εγκατάσταση, τη μόνωση, κ.λ.π.

Ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου fcr (capital recovery factor) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$fcr = \frac{iy_r \cdot (1 + iy_r)^{ny_r}}{(1 + iy_r)^n - 1}$$

Θεωρείται ότι ο χρόνος ζωής της επένδυσης είναι 15 έτη, το επιτόκιο προεξόφλησης είναι 0,10 year⁻¹. Έτσι σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα και την παραπάνω μαθηματική

σχέση, ο ετήσιος συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου fcr προκύπτει $0,13 \text{ year}^{-1}$, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4-5. Επιπρόσθετα γίνεται η παραδοχή ότι το επιτόκιο προεξόφλησης i_{yr} και ο χρόνος ζωής n_{yr} είναι ίδια για όλους τους τύπους εξοπλισμού. Το ετησιοποιημένο κόστος κεφαλαίου για κάθε είδος μηχανολογικού εξοπλισμού υπολογίζεται από το γινόμενο του συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου fcr με το κόστος επένδυσης της αντίστοιχης συσκευής.

Οι ετήσιες δαπάνες για τη συντήρηση και λειτουργία της εγκατάστασης λαμβάνονται ίσες με το 7% του συνολικού κόστους εγκατάστασης, δηλαδή ο συντελεστής ετήσιου ισοδύναμου λειτουργίας είναι $fmo = 0,07 \text{ year}^{-1}$. Οι υπολογισμένες δαπάνες O&M παρουσιάζονται στον πίνακα 4-5.

Ο συντελεστής ετήσιου ισοδύναμου επένδυσης και λειτουργίας fam (amortization and maintenance factor) υπολογίζεται από το άθροισμα του συντελεστή ετήσιου ισοδύναμου λειτουργίας fmo και του συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου fcr , δηλαδή ισχύει:

$$fam = fmo + fcr$$

Επιπλέον, τα συνολικά ετήσια κόστη που παρουσιάζονται στον πίνακα 4-5, υπολογίζονται από το άθροισμα του ετησιοποιημένου κόστους κεφαλαίου και του κόστους λειτουργίας και συντήρησης O&M για κάθε είδος.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή επαύξησης κόστους εξοπλισμού λαμβάνονται υπόψη οι έμμεσες δαπάνες, συμπεριλαμβανομένων της αμοιβής μηχανικών και επίβλεψης, των νομικών εξόδων, της αμοιβής του εργολάβου και των απρόβλεπτων εξόδων. Ο συντελεστής επαύξησης κόστους εξοπλισμού λαμβάνεται ίσος με 15% των δαπανών επένδυσης εξοπλισμού ($fic = 0.15$).

Πίνακας 4-5: Οικονομικοί υπολογισμοί για κάθε είδος μηχανολογικού εξοπλισμού

	Κόστος Επένδυσης (CI) x1000 euro	Ετησιοποιημένο Κόστος Κεφαλαίου	Κόστος Ο&Μ ανά έτος	Συνολικό Ετήσιο Κόστος	Συντελεστής Επαύξησης Κόστους Εξοπλισμού (fic)
TGVA	1530	201,15	107,1	308,3	354,5
MGWH	435	57,19	30,45	87,6	100,8
CGVA	182	23,93	12,74	36,7	42,2
CGWH	30	3,94	2,1	6,0	7,0
ICVA	2,5	0,33	0,175	0,5	0,6
ICWH	6,5	0,85	0,455	1,3	1,5
FAVA	370	48,65	25,9	74,5	85,7
FAWH	200	26,29	14	40,3	46,3
FMWR	175	23,01	12,25	35,3	40,5
ICWR	25	3,29	1,75	5,0	5,8
CRF	0,131473777				
iyr	10%				
nyr	15				

4.5 Τιμολόγια φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας

Στην Ισπανία ο καταναλωτής μπορεί να επιλέξει το τιμολόγιο φυσικού αερίου που ταιριάζει περισσότερο στις ανάγκες του, ανάλογα με την ποσότητα φυσικού αερίου που πρόκειται να καταναλωθεί και την πίεση παροχής του. Στην περίπτωση του νοσοκομείου στη Zaragoza, για την αγορά του φυσικού αερίου λαμβάνεται το τιμολόγιο 2.4 το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά στον πίνακα Π-3 του Παραρτήματος. Λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική επιβάρυνση λόγω φορολογίας και το σταθερό κόστος για το σύνολο της ετήσιας κατανάλωσης, το ενεργειακό κόστος p_{gn} του φυσικού αερίου λαμβάνεται ίσο με 0.025 €/kWh.

Για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύει το τιμολόγιο 1.1 που παρουσιάζεται στον πίνακα Π-4 του Παραρτήματος. Όπως και στην αγορά του φυσικού αερίου, έτσι και στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω του επιβαλλόμενου φόρου και του σταθερού κόστους, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται σε σχέση με αυτή του τιμολογίου και λαμβάνεται ίση με 0.095 €/kWh.

Εντούτοις, όπως φαίνεται και στον πίνακα Π-2 του Παραρτήματος, υπάρχει διάκριση στο τιμολόγιο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με την ώρα της χρήσης. Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα, για 4 ώρες της ημέρας υπάρχει αυξημένο τιμολόγιο. Συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται κατά 37%, ενώ κατά τις υπόλοιπες 20 ώρες ισχύει η πρωταρχική τιμή (0.095 €/kWh). Τελικά, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας p_{ec} είναι 0.095 €/kWh για τις ώρες με αυξημένο τιμολόγιο και 0.130 €/kWh για τις υπόλοιπες.

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Αφού η περίπτωση μελέτης του ενεργειακού συστήματος καθορίστηκε στο κεφάλαιο 4 με βάση τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά, τις τιμές των ενεργειακών ρευμάτων και τις ενεργειακές ζητήσεις, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο να επιλέγει την κατάλληλη διαμόρφωση του ενεργειακού συστήματος και τον τρόπο λειτουργίας του. Το πρόβλημα δηλαδή ανάγεται στην επιλογή του συνδυασμού των κατάλληλων μηχανολογικών εξοπλισμών (ανάλογα με τον τύπο και την ονομαστική ισχύ τους), έτσι ώστε να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου (στη συγκεκριμένη περίπτωση του νοσοκομείου) και στην επιλογή του τρόπου λειτουργίας για κάθε τύπο εξοπλισμού, προκειμένου το ετήσιο συνολικό κόστος (για συγκεκριμένο μεταβλητό και σταθερό κόστος λειτουργικό κόστος) να είναι ελάχιστο.

Γενικά, η σύνθεση ενός ενεργειακού συστήματος πραγματοποιείται με τη μελέτη του σχεδιασμού ελαχιστοποίησης / μεγιστοποίησης μίας αντικειμενικής συνάρτησης (κόστους, αποδοτικότητας, κ.τ.λ.). Το μαθηματικό πρότυπο του συστήματος εκφράζεται με περιορισμούς ισότητας και ανισότητας που αφορούν ισοζύγια ενέργειας, ικανοποίηση ζήτησης φορτίων, τεχνικά ελάχιστα, επιτρεπτές δυναμικότητες μονάδων κ.τ.λ.

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η κατασκευή του μαθηματικού μοντέλου, ενώ στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά βήματα που απαιτούνται για δημιουργία του μοντέλου σε γλώσσα GAMS (General Algebraic Modeling System).



Σχήμα 5-1: Βασικά συστατικά ενός συστήματος GAMS

5.1 Σύνολα

Τα σύνολα (Sets) είναι θεμελιώδεις δομικές μονάδες για οποιοδήποτε μοντέλο GAMS και του επιτρέπουν να δηλωθεί και να διαβάζεται εύκολα και λειτουργικά. Ορίζονται τρία είδη συνόλων:

- I: οι 24 ώρες της ημέρας
- J: οι 24 αντιπροσωπευτικές μέρες του έτους (μία εργάσιμη και μία αργία για κάθε μήνα) και
- ONPEAK (I,J): οι ώρες με αυξημένο τιμολόγιο ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, ο πίνακας 5-1 παρουσιάζει τις ώρες για τις οποίες η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυξημένη ανάλογα το μήνα του έτους. Επίσης, στον ίδιο πίνακα αναφέρεται η τιμή του αντίστοιχου κόστους. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται από την αντίστοιχη μελέτη του Lozano [1].

Πίνακας 5-1: Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα για τις δύο περιόδους (χειμώνας-καλοκαίρι). Ενεργειακό Κόστος σε €/kWh.

ΕΤΗΣΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΜΗΝΕΣ	ΑΥΞΗΜΕΝΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ		ΜΗ - ΑΥΞΗΜΕΝΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ	
		Χρόνος	Κόστος	Χρόνος	Κόστος
Καλοκαίρι	4-9	11-14	1.37*0.095	15-24 και 1-10	0.095
Χειμώνας	10-3	10-3	1.37*0.095	14-24 και 1-9	0.095

Πίνακας 5-2: Μέρος του κώδικα που παρουσιάζει τον ορισμό των συνόλων

SETS I hour of the day /1*24/ J day type /1*24/ ONPEAK(I,J) peak hours with increased electricity cost /(10*13).(1*6), (10*13).(19*24), (11*14).(7*18)/ ;
--

Στον πίνακα 5-2, διακρίνεται ο ορισμός των συνόλων κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου μοντέλου. Στα δύο σύνολα (10*13).(1*6) και (10*13).(19*24) αναφέρεται αρχικά το σύνολο των ωρών για τις οποίες η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυξημένη (ώρες 10 π.μ.-1 μ.μ), ενώ στις δεύτερες παρενθέσεις

αναφέρεται ο αριθμός που αντιστοιχεί στις εκάστοτε αντιπροσωπευτικές ημέρες (περιπτώσεις 1-6 και 19-24 που καλύπτουν το χρονικό διάστημα Οκτωβρίου-Μαρτίου).

Ομοίως, το σύνολο $(11*14).(7*18)$ συμβολίζει πως για τις ώρες 11π.μ.-2 μ.μ. υπάρχει αυξημένη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για την έβδομη έως και την δέκατη όγδοη τυπική μέρα, περιπτώσεις που αντιστοιχούν στο χρονικό διάστημα από το μήνα Απρίλιο έως και το μήνα Σεπτέμβριο (τόσο για τις εργάσιμες μέρες όσο και για τις αργίες).

5.2 Εισαγωγή Δεδομένων

Στην εισαγωγή δεδομένων (Data) κατά την κατασκευή του κώδικα GAMS συνηθίζεται να δηλώνονται Πίνακες Στοιχείου, Παράμετροι και Πίνακες δύο ή περισσότερων διαστάσεων. Για καθένα δεδομένο γίνεται αρχικά η δήλωσή του και στη συνέχεια ο καθορισμός της τιμής του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, δηλώνονται πίνακες και πίνακες στοιχείου.

5.2.1 Πίνακες

Αρχικά, ορίζονται οι πίνακες (Tables) του θερμικού (σελ.122), του ψυκτικού (σελ.123) και του ηλεκτρικού φορτίου (σελ.124) για τις 24 ώρες (I) κάθε μίας από τις 24 τυπικές / αντιπροσωπευτικές μέρες (J) του έτους οι οποίοι κατασκευάστηκαν όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.2 της παρούσας μελέτης. Τα ενεργειακά φορτία είναι υπολογισμένα σε kW.

Επιπλέον, κατασκευάζεται και ένας τέταρτος πίνακας (σελ.125) για τον αριθμό των ημερών για κάθε μήνα του έτους. Ο αριθμός των ημερών για καθεμία από τις 24 περιπτώσεις λαμβάνεται από δεδομένα της μελέτης του Lozano [1].

Έτσι προκύπτουν τέσσερις πίνακες, καθένας από τους οποίους έχει διαστάσεις 24*24. (Βλέπε Παράρτημα σελ.122-125).

Πίνακας 5-3: Δήλωση των τεσσάρων πινάκων (αναλυτικά Παράρτημα σελ.122-125)

```
TABLE hwhd(I,J) hot water demand in i-th hour of day in j-th day type (kW)
;
TABLE cwhd(I,J) cold water demand in i-th hour of day in j-th day type (kW)
;
TABLE elhd(I,J) electricity demand in i-th hour of day in j-th day type (kW)
;
TABLE hours(I,J) the hours in i-th hour of day in j-th day type
;
```

5.2.2 Βαθμωτοί παράμετροι

Η δήλωση των βαθμωτών παραμέτρων (Scalar) χρησιμοποιείται για να δηλώσει και να εισάγει τις αρχικές συνθήκες σε μια παράμετρο του GAMS με μηδενική διάσταση (πραγματικοί αριθμοί). Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ακριβώς ένας αριθμός που συνδέεται με την αντίστοιχη παράμετρο. Στην παρούσα μελέτη, ορίστηκαν οι τιμές της ονομαστικής ισχύος σε kW (οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3 - Κεφάλαιο 4) και ο μέγιστος αριθμός για κάθε τύπο εξοπλισμού που θεωρήθηκε ίσος με πέντε για όλα τα είδη.

Πίνακας 5-4: Ορισμός για Πίνακες Στοιχείου (αναλυτικά Παράρτημα σελ. 126)

SCALARS

```
tgvpnom    nominal power of TGVA technology(kW) /1210/
mgwpnom    nominal power of MGWH technology(kW) /580/
cgvpnom    nominal power of CGVA technology(kW) /780/
cgwpnom    nominal power of CGWH technology(kW) /570/
icvpnom    nominal power of ICVA technology(kW) /400/
.....
tgvnin_big maximum limit for the number of pieces of TGVA /5.00/
mgwnin_big maximum limit for the number of pieces of MGWH /5.00/
cgvnin_big maximum limit for the number of pieces of CGVA /5.00/
cgwnin_big maximum limit for the number of pieces of CGWH /5.00/
icvnin_big maximum limit for the number of pieces of ICVA /5.00/
.....
```

5.3 Μεταβλητές

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η δήλωση των μεταβλητών (Variables) η οποία γίνεται σε ομάδες ανάλογα τον τύπο τους.

Ο τύπος των μεταβλητών (Variable type) είναι ο προαιρετικός μεταβλητός τύπος που εξηγείται λεπτομερώς παρακάτω. Το όνομα των μεταβλητών (Variable name) είναι το εσωτερικό όνομα της μεταβλητής (επίσης αποκαλούμενη και αναγνωριστής) στο GAMS.

Υπάρχουν πέντε βασικοί τύποι μεταβλητών:

- Free: Ελεύθερες, δεν έχουν κανένα περιορισμό στην τιμή τους, από $-\infty$ έως $+\infty$
- Positive: Θετικές τιμές δέχονται μόνο, από 0 έως $+\infty$
- Negative: Αρνητικές τιμές δέχονται μόνο, από $-\infty$ έως 0
- Binary: Δυαδικές τιμές δέχονται, 0 ή 1
- Integer: Ακέραιες τιμές δέχονται μόνο, από 0 έως 100

Στην περίπτωση που μελετάται, δηλώνονται θετικές, ακέραιες, δυαδικές μεταβλητές και μία ελεύθερη.

5.3.1 Θετικές

Αρχικά, τα ενεργειακά ρεύματα τα οποία καταναλώνονται ή παράγονται είναι θετικές μεταβλητές που εξαρτώνται από την ώρα της ημέρας (I) και την μέρα του έτους (J).

Έτσι γίνεται η δήλωση του ονόματος της κάθε μεταβλητής και στη συνέχεια αυτή περιγράφεται επιγραμματικά. Οι ποσότητες των ενεργειακών ρευμάτων, που είτε καταναλώνονται είτε παράγονται, εξαρτώνται από τις τιμές των I και J. Ο συμβολισμός των ροών αυτών γίνεται ως εξής:

- Τα δύο πρώτα γράμματα συμβολίζουν το ενεργειακό ρεύμα από το οποίο προέρχεται η αντίστοιχη ροή
- Τα επόμενα γράμματα αντιστοιχούν στη συσκευή από την οποία παράγονται (παραγόμενες ροές) ή στο ρεύμα που καταναλώνεται (καταναλισκόμενες ροές). Για τα ρεύματα χρησιμοποιούνται δύο γράμματα (όπως αυτά αναφέρθηκαν και στο κεφάλαιο 4 - σελ.79), ενώ για τις συσκευές χρησιμοποιούνται τα τρία πρώτα γράμματα του τεχνολογικού εξοπλισμού. Εξαιρέση αποτελούν οι συσκευές ICWH, ICWR που χρησιμοποιήθηκε το 4^ο γράμμα στην θέση του 3^{ου} λόγω ταύτισής τους.

- Τέλος, τα τελευταία γράμματα αφορούν το ρεύμα που παράγεται (παραγόμενες ροές) ή τη συσκευή από την οποία καταναλώνονται (καταναλισκόμενες ροές). Κοινώς, αντιστοιχούν στο ρεύμα ή στη συσκευή στην οποία καταλήγει η εκάστοτε ροή.

Επίσης, η ποσότητα της παραγωγής που προκύπτει από κάθε συσκευή και η εγκατεστημένη ισχύς για κάθε τύπο εξοπλισμού είναι μεγέθη εξ' ορισμού θετικά.

Τέλος, θετικές μεταβλητές είναι η ποσότητα του καταναλισκόμενου φυσικού αερίου, της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται και του ηλεκτρισμού συμπαραγωγής που πωλείται. Οι τρεις αυτές μεταβλητές συμβολίζονται ως εξής:

- EEPUR: ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται
- EESL: μέρος του ηλεκτρισμού συμπαραγωγής που πωλείται
- CGPUR: καταναλισκόμενο φυσικό αέριο

Οι τιμές των προαναφερθέντων μεταβλητών εξαρτώνται από τις τιμές των I και J. Το σταθερό (CFIX) και μεταβλητό κόστος (CVAR) ανήκουν και αυτά στις θετικές μεταβλητές (Βλέπε Παράρτημα σελ. 126-7).

5.3.2 Ακέραιες

Ως ακέραια μεταβλητή, ορίστηκε ο αριθμός των συσκευών για κάθε είδος εγκατεστημένου μηχανολογικού εξοπλισμού.

Επιπλέον, ακέραιος είναι και ο αριθμός των συσκευών που αποτελούν τον εξοπλισμό λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα, ακέραιοι ορίστηκαν οι αριθμοί των συσκευών TGVA και MGWH που βρίσκονται σε λειτουργία (Βλέπε Παράρτημα σελ.127-129).

5.3.3 Δυαδικές

Το YIN για κάθε τύπο μηχανολογικού εξοπλισμού, είναι μία δυαδική μεταβλητή που δηλώνει αν η αντίστοιχη συσκευή είναι σε λειτουργία (οπότε ορίζεται $YIN_{\text{συσκευής}} = 1$) ή όχι ($YIN_{\text{συσκευής}} = 0$).

Έτσι, ορίζονται 10 μεταβλητές YIN, όσα δηλαδή και τα είδη του μηχανολογικού εξοπλισμού (Βλέπε Παράρτημα σελ.128).

5.3.4 Ελεύθερη

Ως ελεύθερη μεταβλητή δηλώνεται το Ετήσιο Κόστος (σε 10^3 euros) που είναι και η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος, όπως αναφέρεται στην επόμενη ενότητα. (Βλέπε Παράρτημα σελ.128)

5.4 Εξισώσεις

Με τον όρο Εξισώσεις (Equations), το GAMS εννοεί τις συμβολικές αλγεβρικές σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν για να παράγουν τους περιορισμούς στο μοντέλο.

Αρχικά, αναφέρεται το όνομα των εξισώσεων (Equation name) που ακολουθείται από το αντίστοιχο επεξηγηματικό κείμενο. Στη συνέχεια, γίνεται ο ορισμός των τύπων των εξισώσεων, αφού πρώτα έχει δηλωθεί το όνομα της κάθε εξίσωσης και κατόπιν ο τύπος της. Μετά το όνομα της εξίσωσης το οποίο αναγράφεται και πάλι, ακολουθούν δύο τελείες “..” πριν την έναρξη της άλγεβρας. Στο αριστερό μέλος της εξίσωσης παρουσιάζεται ο αλγεβρικός τύπος της, ενώ στο δεξιό η τελική τιμή που πρέπει να λάβει ο αλγεβρικός τύπος.

Το είδος της εξίσωσης (Equation Type) αναφέρεται στο σύμβολο μεταξύ των δύο εκφράσεων που διαμορφώνουν την εξίσωση. Στη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιούνται τα παρακάτω είδη εξισώσεων.

- =E= (Equality): το αριστερό μέρος πρέπει να ισούται με το δεξί
- =L= (Greater or Equal): το αριστερό μέρος πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το δεξί

Επιπλέον, χρησιμοποιείται η διαδικασία “sum”, προκειμένου να γίνει ο υπολογισμός του αθροίσματος για μία περιοχή ενός συνόλου.

Οι εξισώσεις που περιγράφονται παρακάτω αναφέρονται σε:

- Ισοζύγια Ενέργειας (για κάθε τύπο μηχανολογικού εξοπλισμού και για κάθε ενεργειακό ρεύμα)
- Εγκατεστημένη ισχύς των συσκευών και περιορισμοί για τον αριθμό τους
- Όρια Δυναμικότητας
- Περιορισμοί Παραγωγής
- Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους

Για την καλύτερη αναγνωσιμότητα των εξισώσεων που παρατίθενται στη συνέχεια, τα ονόματα των μεταβλητών είναι με κεφαλαία γράμματα, ενώ τα ονόματα των παραμέτρων με πεζά.

5.4.1 Ισοζύγια ενέργειας

Τα ισοζύγια που κατασκευάζονται αφορούν:

- ισοζύγια ενέργειας για κάθε τύπο μηχανολογικού εξοπλισμού
- ισοζύγια ενέργειας για κάθε ενεργειακό ρεύμα

5.4.1.1 Ισοζύγια ενέργειας για κάθε τύπο μηχανολογικού εξοπλισμού

Εφαρμόζονται τα ισοζύγια ενέργειας για τα δέκα είδη συσκευών. Για την κατασκευή των ισοζυγίων αυτών, λαμβάνονται υπόψη οι απόλυτες τιμές των συντελεστών παραγωγής που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 4-4 (κεφάλαιο 4).

Οι ροές, οι οποίες έχουν δηλωθεί όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.3, ισούται με την απόλυτη τιμή του συντελεστή παραγωγής επί την παραγωγή της αντίστοιχης τεχνολογίας. Έτσι, για κάθε ροή κατασκευάζεται το αντίστοιχο ισοζύγιο ενέργειας που συμβολίζεται με BAL, στη συνέχεια ακολουθούν τα τρία γράμματα που αντιστοιχούν στη συσκευή και τέλος η αρίθμηση του ισοζυγίου. Οι τιμές των προαναφερθέντων μεταβλητών εξαρτώνται από τις τιμές των I και J (βλέπε Παράρτημα σελ.128).

Για παράδειγμα, στον πρώτο μηχανολογικό εξοπλισμό που εξετάζεται, δηλαδή στη συσκευή συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο για παραγωγή ατμού, θερμού νερού και ηλεκτρισμού (TGVA), υπάρχουν δύο ενεργειακά ρεύματα τα οποία εισέρχονται (καταναλώνονται) και δύο που εξέρχονται (παράγονται). Άρα για την συγκεκριμένη περίπτωση κατασκευάζονται τέσσερα ισοζύγια ενέργειας.

Το EETGVVE πρόκειται για τον ηλεκτρισμό που παράγεται από την τεχνολογία TVGA, ενώ το VATGVVA για τον κορεσμένο ατμό (που παράγεται επίσης).

Το CGTGVVA αντίστοιχα αποτελεί το φυσικό αέριο που καταναλώνεται από την ίδια τεχνολογία και το WHTGVWH το θερμό νερό (που καταναλώνεται επίσης).

Με TGVPOP συμβολίζεται η παραγωγή της τεχνολογίας TGVA. Οι τιμές των παραπάνω μεταβλητών εξαρτώνται από την ώρα της ημέρας και τη μέρα του έτους.

Άρα τα ισοζύγια ενέργειας για την περίπτωση του TGVA μηχανολογικού εξοπλισμού είναι :

TGVA

$$EETGVVEE (d,h) = TGVPOP (d,h)$$

$$CGCGTGV (d,h) = 4,06 \cdot TGVPOP (d,h)$$

$$VATGVVA (d,h) = 1,83 \cdot TGVPOP (d,h)$$

$$WHTGVWH (d,h) = 0,53 \cdot TGVPOP (d,h)$$

Ομοίως για τους υπόλοιπους μηχανολογικούς εξοπλισμούς:

MGWH

$$EEMGWEE (d,h) = MGWPOP (d,h)$$

$$CGCGMGW (d,h) = 2,45 \cdot MGWPOP (d,h)$$

$$WHMGWWH (d,h) = 0,96 \cdot MGWPOP (d,h)$$

$$WRMGWWR (d,h) = 0,20 \cdot MGWPOP (d,h)$$

CGVA

$$VACGVVA (d,h) = CGVPOP (d,h)$$

$$CGCGCGV (d,h) = 1,20 \cdot CGVPOP (d,h)$$

CGWH

$$WHCGWWH (d,h) = CGWPOP (d,h)$$

$$CGCGCGW (d,h) = 1,08 \cdot CGWPOP (d,h)$$

ICVA

$$WHICVWH (d,h) = ICVPOP (d,h)$$

$$VAVAICV (d,h) = ICVPOP (d,h)$$

ICWH

$$\text{WRICHWR (d,h)} = \text{ICHPOP (d,h)}$$

$$\text{WHWHICH (d,h)} = \text{ICHPOP (d,h)}$$

FAVA

$$\text{WCFAVWC (d,h)} = \text{FAVPOP (d,h)}$$

$$\text{VAVAFAV (d,h)} = 0,83 \cdot \text{FAVPOP (d,h)}$$

$$\text{WRFAVWR (d,h)} = 1,83 \cdot \text{FAVPOP (d,h)}$$

$$\text{EEEEFAV (d,h)} = 0,01 \cdot \text{FAVPOP (d,h)}$$

FAWH

$$\text{WCFAWWC (d,h)} = \text{FAWPOP (d,h)}$$

$$\text{WHWHFAW (d,h)} = 1,50 \cdot \text{FAWPOP (d,h)}$$

$$\text{WRFAWWR (d,h)} = 2,50 \cdot \text{FAWPOP (d,h)}$$

$$\text{EEEEFAW (d,h)} = 0,01 \cdot \text{FAWPOP (d,h)}$$

FMWR

$$\text{WCFMWWC (d,h)} = \text{FMWPOP (d,h)}$$

$$\text{WRFMWWR (d,h)} = 1,23 \cdot \text{FMWPOP (d,h)}$$

$$\text{EEEEFMW (d,h)} = 0,23 \cdot \text{FMWPOP (d,h)}$$

ICWR

$$\text{AAICRAA (d,h)} = \text{ICRPOP (d,h)}$$

$$\text{WRWRICR (d,h)} = \text{ICRPOP (d,h)}$$

$$\text{EEEEICR (d,h)} = 0,02 \cdot \text{ICRPOP (d,h)}$$

5.4.1.2 Ισοζύγια Ενέργειας για κάθε ενεργειακό ρεύμα

Από τη μελέτη της υπερδομής του συστήματος (σχήμα 4-3 - Κεφάλαιο 4), παρατηρείται ότι μέρος των ενεργειακών ρευμάτων καταναλώνεται από τους μηχανολογικούς εξοπλισμούς από τους οποίους στη συνέχεια εξέρχονται παραγόμενα ρεύματα τα οποία αποτελούν τα ζητούμενα ενεργειακά φορτία.

Για κάθε ενεργειακό ρεύμα από αυτά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4 (σελ.79), κατασκευάζεται το αντίστοιχο ισοζύγιο ενέργειας.

Για τα ζητούμενα φορτία χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συμβολισμοί:

- EEDM: ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου
- WHDEM: ζήτηση φορτίου για υγειονομικό ζεστό νερό και θέρμανση
- WCDEM: ζήτηση ψυκτικού φορτίου

Οι τιμές των προαναφερθέντων μεταβλητών εξαρτώνται από τις τιμές των I και J. Οι υπόλοιπες μεταβλητές έχουν οριστεί όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 5.3.1.

Έτσι κατασκευάζονται παρακάτω τα ισοζύγια ενέργειας για κάθε ενεργειακό ρεύμα.

Ηλεκτρισμός

$$EEDM (d,h) = EEPUR (d,h) + EETGVVEE (d,h) + EEMGWEE (d,h) - EEESEL (d,h) - EEEFAV (d,h) - EEEFAW (d,h) - EEEFMW (d,h) - EEEICR (d,h)$$

Φυσικό Αέριο

$$CGPUR (d,h) = CGCGTGV (d,h) + CGCGMGW (d,h) + CGCGCGV (d,h) + CGCGCGW (d,h)$$

Κορεσμένος Ατμός

$$VATGVVA (d,h) + VACGVVA (d,h) = VAVAFAV (d,h) + VAVAICV (d,h)$$

Θερμό Νερό

$$WHDEM (d,h) = WHTGVWH (d,h) + WHMGWWH (d,h) + WHICVWH (d,h) + WHCGWWH (d,h) - WHWHFAW (d,h) - WHWHICH (d,h)$$

Ψυχρό Νερό

$$\text{WRMGWWR (d,h)} + \text{WRICHWR (d,h)} + \text{WRFAVWR (d,h)} + \text{WRFAWWR (d,h)} + \text{WRFMWWR (d,h)} = \text{WRWRICR (d,h)}$$

Νερό Ψύξης

$$\text{WCDEM (d,h)} = \text{WCFAVWC (d,h)} + \text{WCFAWWC (d,h)} + \text{WCFMWWC (d,h)}$$

Κατά την κατασκευή του κώδικα GAMS, αυτά τα ισοζύγια συμβολίζονται με το αρχικό EQBAL (εξίσωση ισοζυγίου) και στη συνέχεια με τα τρία γράμματα που δηλώνουν τον αντίστοιχο μηχανολογικό εξοπλισμό (βλέπε Παράρτημα σελ.131).

5.4.2 Εγκατεστημένη ισχύς των συσκευών και περιορισμοί για τον αριθμό τους

Η εγκατεστημένη ισχύς για κάθε τύπο μηχανολογικού εξοπλισμού υπολογίζεται από το γινόμενο του αριθμού των συσκευών και της ονομαστικής ισχύος της αντίστοιχης συσκευής. Έτσι, προκύπτουν οι παρακάτω δέκα ισότητες:

$$\text{TGV PIN} = \text{TGV NIN} \cdot \text{tgv pnom}$$

$$\text{MGW PIN} = \text{MGW NIN} \cdot \text{mgw pnom}$$

$$\text{CGV PIN} = \text{CGV NIN} \cdot \text{cgv pnom}$$

$$\text{CGW PIN} = \text{CGW NIN} \cdot \text{cgw pnom}$$

$$\text{ICV PIN} = \text{ICV NIN} \cdot \text{icv pnom}$$

$$\text{ICH PIN} = \text{ICH NIN} \cdot \text{ich pnom}$$

$$\text{FAV PIN} = \text{FAV NIN} \cdot \text{fav pnom}$$

$$\text{FAW PIN} = \text{FAW NIN} \cdot \text{faw pnom}$$

$$\text{FMW PIN} = \text{FMW NIN} \cdot \text{fmw pnom}$$

$$\text{ICR PIN} = \text{ICR NIN} \cdot \text{icr pnom}$$

Κατά την κατασκευή του κώδικα GAMS, αυτά το ισοζύγια συμβολίζονται με το αρχικό EQCAP (εξίσωση δυναμικότητας) και στη συνέχεια με τα τρία γράμματα που δηλώνουν τον αντίστοιχο μηχανολογικό εξοπλισμό (βλέπε Παράρτημα σελ.131).

Στη συνέχεια ορίζονται οι ανισότητες για τον μέγιστο αριθμό των μονάδων που αντιστοιχούν σε κάθε μηχανολογικό εξοπλισμό. Ο αριθμός αυτός πρέπει να είναι μικρότερος από το γινόμενο του αριθμού YIN για κάθε τύπο συσκευής (βλέπε ενότητα 5.3.3) και του μέγιστου αριθμού για κάθε είδος (βλέπε ενότητα 5.2.2). Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν οι δέκα παρακάτω ανισότητες:

$$TGVNIN \leq TGVYIN \cdot \text{tgvnin_big}$$

$$MGWNIN \leq MGWYIN \cdot \text{mgwnin_big}$$

$$CGVNIN \leq CGVYIN \cdot \text{cgvnin_big}$$

$$CGWNIN \leq CGWYIN \cdot \text{cgwnin_big}$$

$$ICVNIN \leq ICVYIN \cdot \text{icvnin_big}$$

$$ICHNIN \leq ICHYIN \cdot \text{ichnin_big}$$

$$FAVNIN \leq FAVYIN \cdot \text{favnin_big}$$

$$FAWNIN \leq FAWYIN \cdot \text{fawnin_big}$$

$$FMWNIN \leq FMWYIN \cdot \text{fmwnin_big}$$

$$ICRNIN \leq ICRYIN \cdot \text{icrnin_big}$$

Κατά την κατασκευή του κώδικα GAMS, τα όρια για τον αριθμό κάθε είδους συσκευής συμβολίζονται με το αρχικό EQ (εξίσωση), τα τρία γράμματα που δηλώνουν τον αντίστοιχο μηχανολογικό εξοπλισμό, και τέλος το NIN (αριθμός εγκατεστημένου εξοπλισμού) (βλέπε Παράρτημα σελ.132).

5.4.3 Όρια Δυναμικότητας

Κατά την λειτουργία των μονάδων τριπαραγωγής ενέργειας, προκύπτουν κάποια όρια στις δυναμικότητες, καθώς και περιορισμοί στην παραγωγή (ενότητα 5.4.4).

Όσον αφορά τη δυναμικότητα της συσκευής πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση της εγκατεστημένης ισχύος που ορίστηκε στην ενότητα 5.4.2. Οι δέκα ανισότητες οι οποίες προκύπτουν για κάθε είδος συσκευής, παρουσιάζονται παρακάτω:

$$\text{TGVPOP}(d,h) \leq \text{TGVPIN}$$

$$\text{MGWPOP}(d,h) \leq \text{MGWPIN}$$

$$\text{CGVPOP}(d,h) \leq \text{CGVPIN}$$

$$\text{CGWPOP}(d,h) \leq \text{CGWPIN}$$

$$\text{ICVPOP}(d,h) \leq \text{ICVPIN}$$

$$\text{ICHPOP}(d,h) \leq \text{ICHPIN}$$

$$\text{FAVPOP}(d,h) \leq \text{FAVPIN}$$

$$\text{FAWPOP}(d,h) \leq \text{FAWPIN}$$

$$\text{FMWPOP}(d,h) \leq \text{FMWPIN}$$

$$\text{ICRPOP}(d,h) \leq \text{ICRPIN}$$

Οι τιμές των δυναμιכוτήτων εξαρτώνται από τις τιμές των h και d , δηλαδή των I και J στην κατασκευή του μοντέλου. Στον κώδικα GAMS, οι ανισότητες για τα όρια των δυναμιכוτήτων συμβολίζονται με το αρχικό EQ (εξίσωση), τα τρία γράμματα που δηλώνουν τον αντίστοιχο μηχανολογικό εξοπλισμό, και τέλος το POP (παραγωγή της αντίστοιχης τεχνολογίας για την ώρα I και την τυπική μέρα J) (βλέπε Παράρτημα σελ.132).

5.4.4 Περιορισμοί Παραγωγής

Για τους μηχανολογικούς εξοπλισμούς τίθενται περιορισμοί για την παραγωγή και συγκεκριμένα πρέπει αυτή να ισούται με το γινόμενο του αριθμού των συσκευών (για τον ίδιο τύπο εξοπλισμού) επί την ονομαστική ισχύ της συσκευής.

Οι μεταβλητές TGVNOP και MGWNOP πρόκειται για τον αριθμό των συσκευών TGVA και MGWH αντίστοιχα, που βρίσκονται σε λειτουργία και ορίστηκαν ως ακέραιες μεταβλητές στην ενότητα 5.3.2. Οι τιμές των προαναφερθέντων μεταβλητών εξαρτώνται από την ώρα I και την τυπική μέρα J . Επιπρόσθετα, οι τιμές των $tgvrnom$ και $mgwrnom$ έχουν οριστεί στην ενότητα 5.2.2. Έτσι προκύπτουν τα εξής:

$$\text{TGVPOP}(d,h) = \text{TGVNOP}(d,h) \cdot \text{tgvprnom}$$

$$\text{MGWPOP}(d,h) = \text{MGWNOP}(d,h) \cdot \text{mgwprnom}$$

Όπως φαίνεται και στο Παράρτημα (σελ.132), οι αντίστοιχες παραγωγές συμβολίζονται με το αρχικό EQ (εξίσωση), τα τρία πρώτα γράμματα που δηλώνουν το είδος του εξοπλισμού (δηλαδή TGV και MGW), και τέλος το POP2, δηλαδή την παραγωγή της συσκευής που αντιστοιχεί στην ώρα I και στην ημέρα J.

5.4.5 Αντικειμενική Συνάρτηση: Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους

Στη συνέχεια, ορίζεται η αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου, δηλαδή η συνάρτηση του Ετήσιου Κόστους για την εγκατάσταση ή μη και λειτουργία της μονάδας τριπαραγωγής.

Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος στη συγκεκριμένη μελέτη αποτελεί την ελαχιστοποίηση του ετήσιου κόστους (C_{tot}). Ως γνωστόν, το έτησιο κόστος αποτελεί το άθροισμα του ετήσιου μεταβλητού κόστους και του ετήσιου μεταβλητού κόστους. Δηλαδή, η αντικειμενική συνάρτηση είναι η παρακάτω:

$$\text{Min}C_{tot} = C_{fix} + C_{var}$$

Το έτησιο σταθερό κόστος εξαρτάται από το συντελεστή έτησιου ισοδύναμου επένδυσης και λειτουργίας fam, το συντελεστή επαύξησης κόστους εξοπλισμού fic (βλέπε ενότητα 4.4 - σελ.83), το αρχικό κόστος επένδυσης και τον αριθμό των εγκατεστημένων συσκευών για κάθε είδος μηχανολογικού εξοπλισμού. Συγκεκριμένα, το έτησιο σταθερό κόστος υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{fix} = \text{fam}(1 + \text{fic}) \cdot \sum i \text{NIN}(i) \cdot \text{CI}(i)$$

Όπου i είναι το είδος του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Ο αριθμός των εγκατεστημένων συσκευών για κάθε είδος εξοπλισμού έχει περιγραφεί σε παραπάνω στάδια της κατασκευής του μοντέλου, ενώ το γινόμενο $\text{fam}(1 + \text{fic}) \cdot \text{CI}(i)$ έχει υπολογιστεί για κάθε είδος στην ενότητα 4.4 (βλέπε πίνακας 4-5).

Για να πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση του προβλήματος σε ωριαία βάση, έγινε η παραδοχή πως ένα έτος αντιπροσωπεύεται από D τυπικές μέρες και κάθε αντιπροσωπευτική μέρα διαιρείται σε H χρονικά διαστήματα ίδιας διάρκειας $\Delta t = 24/H$.

Αν $nd(d)$ είναι ο αριθμός των d τυπικών ημερών ανά έτος, τότε οι ετήσιες ώρες λειτουργίας για την τυχαία ώρα h της αντιπροσωπευτικής ημέρας d είναι:

$$t(d, h) = nd(d) \cdot \Delta t = nd(d) \cdot \frac{24}{H}$$

Στην παρούσα μελέτη, τα χρονικά διαστήματα που χρησιμοποιούνται είναι οι 24 ώρες της ημέρας, οπότε οι ετήσιες ώρες λειτουργίας για την ώρα h της ημέρας d εξαρτώνται μόνο από τον αριθμό των ημερών για κάθε μήνα του έτους. Είναι προφανές πως το $t(d, h)$ ταυτίζεται με τον πίνακα αριθμού των ημερών για κάθε μήνα του έτους (βλέπε σελ.125 - Παράρτημα).

Το ετήσιο μεταβλητό ενεργειακό κόστος υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{var} = \sum d \sum h \cdot c_e(d, h) \cdot t(d, h)$$

Όπου το $c_e(d, h)$ είναι το ετήσιο ενεργειακό κόστος και υπολογίζεται με την αφαίρεση του ηλεκτρισμού που πωλείται, από το άθροισμα του κόστους της ενεργειακής κατανάλωσης φυσικού αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται, δηλαδή ισχύει:

$$c_e(d, h) = p_{gn} \cdot F_g(d, h) + p_{ep}(d, h)E_p(d, h) - p_{es}E_s(d, h)$$

Οι τιμές των p_{gn} , p_{ep} , p_{es} είναι αυτές που καθορίστηκαν στην ενότητα 4.5. Για το συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται, λαμβάνονται υπόψη τόσο οι ώρες που αντιστοιχούν σε κανονικό τιμολόγιο, όσο και αυτές που αντιστοιχούν σε αυξημένο.

Οι παραπάνω συναρτήσεις που αφορούν τον ορισμό της αντικειμενικής συνάρτησης, διαμορφώνονται κατάλληλα στον κώδικα GAMS, όπως φαίνεται στο Παράρτημα (σελ.132).

5.5 Επίλυση

Αφού ολοκληρωθεί ο ορισμός των συνόλων, των δεδομένων, των μεταβλητών και των εξισώσεων, το επόμενο βήμα στην κατασκευή του μοντέλου είναι η επίλυση του μοντέλου και αυτό πραγματοποιείται με τις παρακάτω διαδικασίες:

- Τη δήλωση του μοντέλου
- Τη δήλωση της επίλυσης
- Τη δήλωση για την εμφάνιση αποτελεσμάτων στο αρχείο εξόδου και
- Τη δήλωση για υπολογισμούς σε βρόγχους

5.5.1 Δήλωση Μοντέλου

Η δήλωση του μοντέλου (Model Statement) γίνεται για να οργανώσει σε ομάδες τις εξισώσεις και να τις ονομάσει έτσι ώστε να λυθούν. Η δήλωση του μοντέλου πραγματοποιείται με την αναφορά του ονόματος του μοντέλου και έπειτα του περιεχομένου του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το μοντέλο ονομάζεται LOZ_HOSP και ο συμβολισμός “all” δηλώνει πως το μοντέλο εφαρμόζεται σε όλες τις εξισώσεις. Με την επιλογή ‘OPTCR’ (max relative MIP optimality gap) εννοείται το μέγιστο σχετικό διάστημα απόκλισης της βέλτιστης λύσης σε σχέση με τη θεωρητικώς εκτιμώμενη τιμή βέλτιστης λύσης, οπότε μόλις ο επιλυτής εντοπίσει την πλησιέστερη λύση στο σημείο αυτό τερματίζεται η επίλυση στο Μικτό Ακέραιο Προγραμματισμό. Η τιμή προεπιλογής είναι το 0.01 (1%), αλλά όσο μικρότερη τιμή λάβει, τόσο ακριβέστερο αποτέλεσμα θα δώσει η επίλυση.

Πίνακας 5-5: Δήλωση μοντέλου

```
model LOZ_HOSP /all/ ;  
OPTION OPTCR = 0.01;
```

5.5.2 Δήλωση Επίλυσης

Μετά τη δήλωση του μοντέλου, ακολουθεί η δήλωση της επίλυσής του (solve statement). Στην παρούσα μελέτη, όπως φαίνεται και παρακάτω, δηλώνεται η επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιώντας Μικτό Ακέραιο Προγραμματισμό για την ελαχιστοποίηση του Ετήσιου Κόστους του συστήματος τριπαραγωγής. Η δήλωση της επίλυσης του μοντέλου παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 5-6: Δήλωση της επίλυσης του μοντέλου

solve LOZ_HOSP using MIP minimizing ANNCOST;
--

5.5.3 Δήλωση για την Εμφάνιση Αποτελεσμάτων στο αρχείο εξόδου

Προκειμένου να γίνει η εμφάνιση όλων των πληροφοριών του κώδικα σε ένα αρχείο κειμένου, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εντολές:

- “File”: δηλώνεται το όνομα του εξωτερικού αρχείου όπου θα αποθηκευθούν τα αποτελέσματα
- “Put”: πρόκειται για την εντολή που ενεργοποιεί το εξωτερικό αρχείο. Με αυτή την εντολή παρέχονται πληροφορίες για τις αριθμητικές τιμές που αφορούν τα αποτελέσματα του αρχείου εξόδου. Συγκεκριμένα, δηλώνεται το όνομα της μεταβλητής εξόδου, ο αριθμός των αριθμητικών χαρακτήρων της, καθώς και ο αριθμός των δεκαδικών ψηφίων. Για παράδειγμα, για το ετήσιο κόστος ορίζεται ANNCOST.L:8:2, δηλαδή η τιμή της μεταβλητής αυτής θα έχει οκτώ χαρακτήρες, εκ των οποίων οι δύο θα είναι δεκαδικά ψηφία. Ενώ, η εγκατεστημένη ισχύς και ο αριθμός συσκευών, π.χ. για τον μηχανολογικό εξοπλισμό TGVA δηλώνεται ως εξής: TGVPIN.L:10:0, TGVNIN.L:4:0 δηλαδή τα αποτελέσματα θα έχουν αντίστοιχα δέκα και τέσσερα ψηφία, χωρίς κανένα δεκαδικό μιας και ορίστηκαν ως ακέραιες μεταβλητές (βλέπε ενότητα 5.3). Στην παρούσα μελέτη δηλώνεται το όνομα του αρχείου εξόδου για το νοσοκομείο που εξετάζεται, η ονομασία και η αριθμητική τιμή των μεταβλητών απόφασης (δηλαδή του ετήσιου κόστους, του σταθερού και του μεταβλητού κόστους, καθώς και της εγκατεστημένης ισχύος και του αριθμού των συσκευών για κάθε μηχανολογικό τύπο). Οι τιμές των μεταβλητών αυτών πραγματοποιούν τη δομική και διαστατική αριστοποίηση των νέων μονάδων που εισάγονται (Βλέπε Παράρτημα σελ.132-3).
- Η εντολή ‘Put close’ χρησιμοποιείται για να ορίσει το κλείσιμο ενός αρχείου και αναφέρεται στο τέλος της εκτέλεσης του προγράμματος GAMS.

Οι παραπάνω εντολές παρουσιάζονται αναλυτικά στην κατασκευή του κώδικα που βρίσκεται στο Παράρτημα (βλέπε σελ.132-3).

5.5.4 Δήλωση για υπολογισμούς σε βρόγχους

Η δήλωση για υπολογισμούς σε βρόγχους γίνεται με τη χρήση της εντολής “Loop” που καθιστά δυνατή την εκτέλεση μίας σειράς υπολογισμών για τα στοιχεία ενός συνόλου.

Η χρήση της εντολής “Loop” φαίνεται αναλυτικά στο παράρτημα (σελ.131). Στην παρούσα μελέτη, δηλώνονται τρεις βρόγχοι επαναλαμβανόμενων υπολογισμών (ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται, ηλεκτρισμός συμπαραγωγής που πωλείται, καταναλισκόμενο φυσικό αέριο). Ενδεικτικά, στον πίνακα 5-7 παρουσιάζεται η δήλωση του βρόγχου για την ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται από το δίκτυο.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο αρχείο εξόδου σε πίνακες 24*24 και εκφράζουν τη λειτουργική βελτιστοποίηση των νέων μονάδων.

Πίνακας 5-7: Δήλωση βρόγχου επαναλαμβανόμενων υπολογισμών για την ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται

```
put 'Electricity purchased from grid (kWe)';  
  LOOP (I,  
    LOOP (J,  
*      elgrid=ELPCDM.L(I,J)+ELPCCM.L(I,J);  
      PUT EEPUR.L(I,J):5:0;  
    );  
    put ' ' /;  
  ) ;  
put /;
```


6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από το αρχείο των αποτελεσμάτων λαμβάνονται τα αποτελέσματα που περιλαμβάνουν:

1. Οικονομικά Χαρακτηριστικά όπως:
 - Το ετήσιο κόστος
 - Το σταθερό κόστος
 - Το μεταβλητό κόστος
2. Δομική και Διαστατική Αριστοποίηση, συγκεκριμένα:
 - Τον αριθμό των μηχανολογικών μονάδων που είναι σε λειτουργία για κάθε είδος
 - Τη δυναμικότητα του αντίστοιχου είδους συσκευής
3. Ωριαίες ενεργειακές ζητήσεις για:
 - Την ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται
 - Τον ηλεκτρισμό συμπαραγωγής που πωλείται
 - Το καταναλισκόμενο φυσικό αέριο

6.1 1^η Περίπτωση - Με Συμπαραγωγή

Το βέλτιστο ενεργειακό σύστημα για το οποίο το ετήσιο συνολικό κόστος είναι ελάχιστο παρουσιάζεται στο σχήμα 6-1. Από την υπερδομή του συστήματος που προκύπτει, παρατηρείται πως υπάρχει η απαίτηση για χρήση:

- ✓ 3 συσκευών συμπαραγωγής με κινητήρα εσωτερικής καύσης για παραγωγή θερμού νερού και ηλεκτρισμού (MGWH)
- ✓ 3 λεβητών θερμού νερού (CGWC)
- ✓ 3 μονάδων απορρόφησης για ψύξη (απλής βαθμίδας – με θερμό νερό) (FAWH)
- ✓ 3 μονάδων συμπίεσης για ψύξη (ηλεκτρισμός) (FMWR)
- ✓ 3 πύργων ψύξης για την απόρριψη της θερμότητας από το ψυχρό νερό (ICWR).

Μελετώντας την υπερδομή του συγκεκριμένου ενεργειακού συστήματος, παρατηρούνται τα εξής:

- ✓ Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από τη λειτουργία συσκευών συμπαραγωγής με κινητήρα εσωτερικής καύσης (MGWH) και από την αγορά μίας ποσότητας από εξωτερική πηγή. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την λειτουργία μονάδων συμπίεσης για ψύξη (FMWR) και άλλων βοηθητικών μηχανολογικών εξοπλισμών του συστήματος.
- ✓ Με τη λειτουργία των συσκευών συμπαραγωγής με κινητήρα εσωτερικής καύσης (MGWH) και των λεβητών θερμού νερού (CGWC) καλύπτονται οι ανάγκες για τη θέρμανση του νοσοκομείου και για το απαιτούμενο υγειονομικό ζεστό νερό (SHW). Επιπλέον, με αυτό τον τρόπο τίθενται σε λειτουργία οι μονάδες απορρόφησης για ψύξη (απλής βαθμίδας – με θερμό νερό) (FAWH).
- ✓ Οι ανάγκες για ψυκτικό φορτίο καλύπτονται με τη λειτουργία των μονάδων απορρόφησης για ψύξη (απλής βαθμίδας – με θερμό νερό) (FAWH) και των μονάδων συμπίεσης για ψύξη (FMWR).

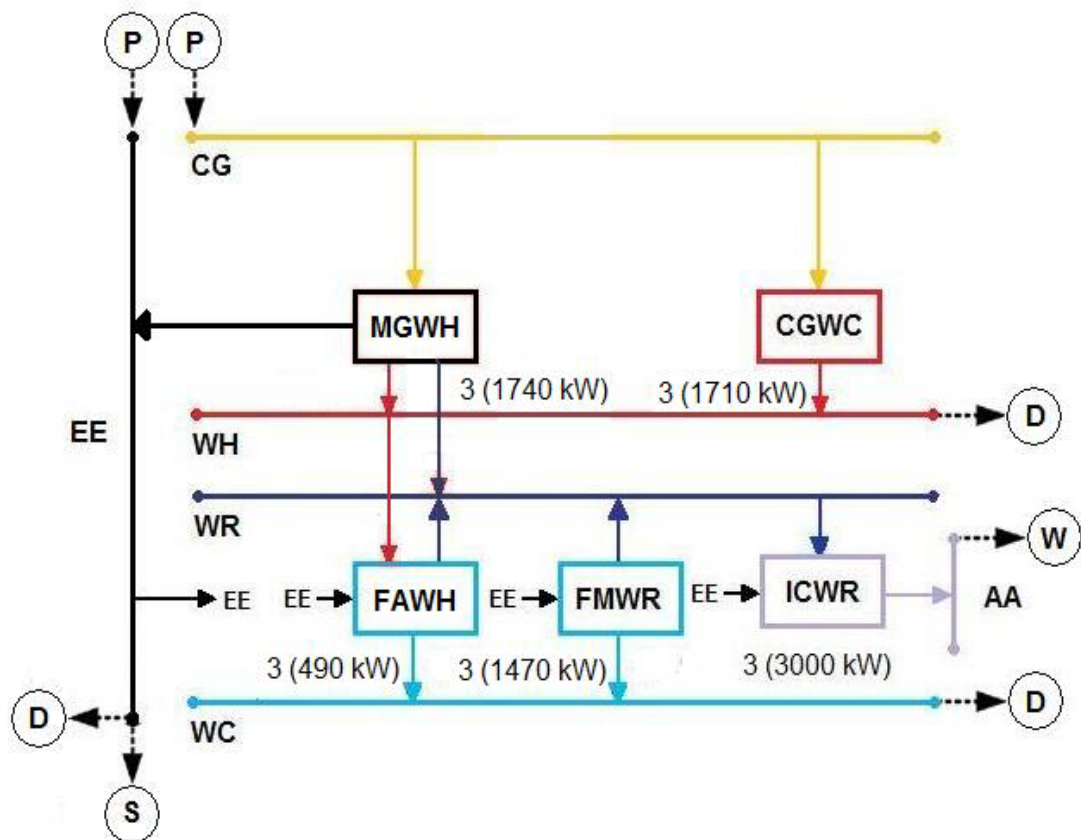
Οι πίνακες 6-1 και 6-2 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον κώδικα για την 1^η αυτή περίπτωση, ενώ οι πίνακες του Παραρτήματος (σελ.136-8) περιέχουν αναλυτικά τις ωριαίες ενεργειακές ζητήσεις για κάθε είδος φορτίου.

Πίνακας 6-1: Αποτελέσματα - Κόστη σε 10³ € για την 1^η περίπτωση

Ετήσιο Κόστος	553.74
Σταθερό Κόστος	508.60
Μεταβλητό Κόστος	45.14

Πίνακας 6-2: Δομικά και Διαστατικά αποτελέσματα για την 1η περίπτωση

ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ (kW)		ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	
TGVPIN	0	TGVNIN	0
MGWPIN	1740	MGWNIN	3
CGVPIN	0	CGVNIN	0
CGWPIN	1710	CGWNIN	3
ICVPIN	0	ICVNIN	0
ICHPIN	0	ICHNIN	0
FAVPIN	0	FAVNIN	0
FAWPIN	490	FAWNIN	3
FMWPIN	1470	FMWNIN	3
ICRPIN	3000	ICRNIN	3



Σχήμα 6-1: Υπερδομή του βέλτιστου συστήματος (Περίπτωση 1 - Με Συμπαραγωγή)

6.2 2^η Περίπτωση (αναφοράς) - Χωρίς Συμπαραγωγή

Μετά την κατασκευή του μοντέλου για την περίπτωση της συμπαραγωγής, πραγματοποιείται η μελέτη μίας δεύτερης περίπτωσης αναφοράς, αυτή τη φορά χωρίς συμπαραγωγή. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει η σύγκριση του ετήσιου κόστους για τις δύο αυτές περιπτώσεις και η εκτίμηση της εξοικονόμησης που επιτυγχάνεται για το συμφέρον σενάριο.

Όσον αφορά την κατασκευή του μοντέλου για τη δεύτερη περίπτωση (περίπτωση αναφοράς), είναι ίδια σε σχέση με την κατασκευή του προηγούμενου μοντέλου που περιγράφηκε προηγουμένως με τις εξής όμως διαφορές:

- Κατά την δήλωση των Πινάκων - Στοιχείων (scalars), ο μέγιστος αριθμός για κάθε τύπο εξοπλισμού ορίστηκε ίσος με οκτώ για όλες τις συσκευές, σε αντίθεση με την πρώτη περίπτωση που είχε θεωρηθεί πέντε (βλέπε Παράρτημα σελ.134-5).
- Λαμβάνεται ότι οι μοναδικοί μηχανολογικοί εξοπλισμοί που βρίσκονται σε λειτουργία είναι οι παρακάτω:
 - i. CGWH: λέβητας θερμού νερού
 - ii. FMWR: μονάδα συμπίεσης για ψύξη (ηλεκτρισμός)
 - iii. ICWR: πύργος ψύξης για την απόρριψη της θερμότητας από το ψυχρό νερό.

Έτσι, ο αριθμός των υπόλοιπων τύπων μηχανολογικού εξοπλισμού τίθεται ίσος με μηδέν για όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις (βλέπε Παράρτημα σελ.134-5).

Οι παραπάνω διαφορές στην κατασκευή του μοντέλου για τη 2^η περίπτωση, διατυπώθηκαν στον κώδικα GAMS όπως φαίνεται αναλυτικά στο Παράρτημα (βλέπε σελ.134-5).

Το σχήμα 6-2 παρουσιάζει τη βέλτιστη υπερδομή του ενεργειακού συστήματος που ικανοποιεί τον όρο του ελάχιστου ετήσιου συνολικού κόστους στην περίπτωση μη - συμπαραγωγής που εξετάζεται. Από τη μελέτη της υπερδομής του συστήματος που προκύπτει, μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- ✓ Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται, αγοράζεται απευθείας από το δίκτυο προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες ηλεκτρικών φορτίων
- ✓ Χρησιμοποιούνται 4 μονάδες συμπίεσης για ψύξη (FMWR) για την κάλυψη του ψυκτικού φορτίου
- ✓ Η θερμότητα παράγεται από 6 λέβητες θερμού νερού (CGWC)
- ✓ Τέλος, χρησιμοποιούνται 3 πύργοι ψύξης για την απόρριψη της θερμότητας από το ψυχρό νερό (ICWR).

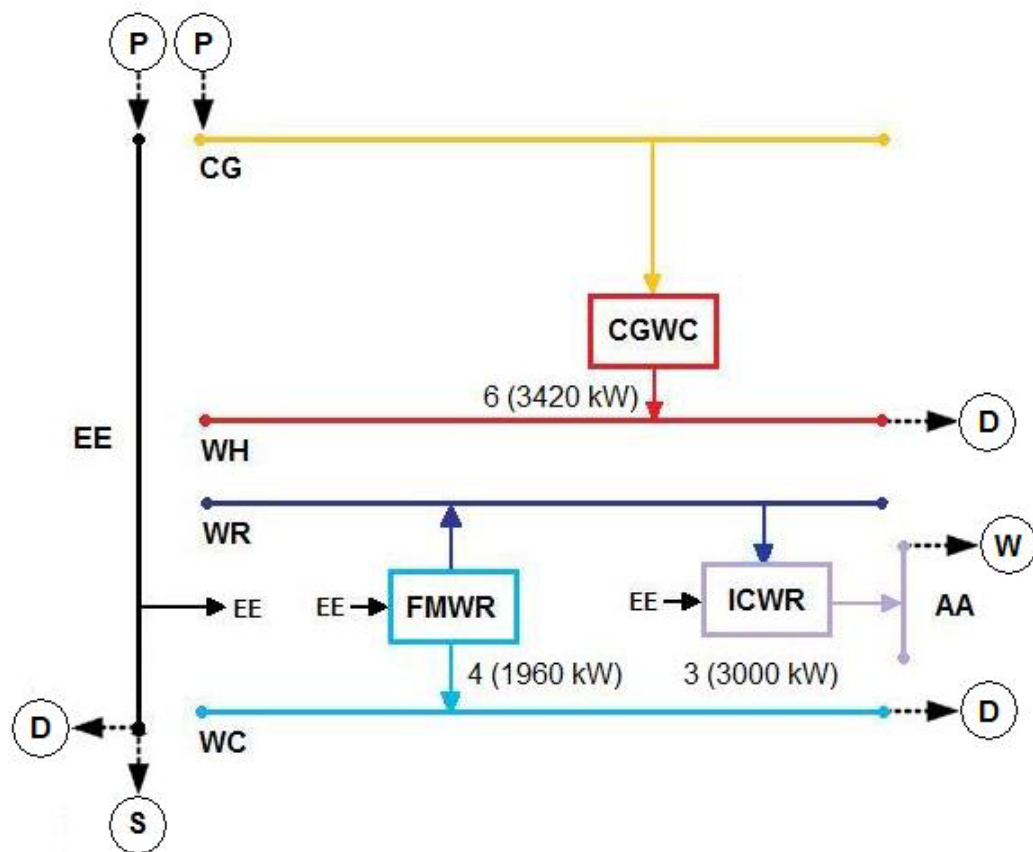
Οι πίνακες 6-3 και 6-4 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον κώδικα για τη 2^η αυτή περίπτωση, ενώ οι πίνακες του Παραρτήματος (σελ.139-141) περιέχουν αναλυτικά τις ωριαίες ενεργειακές ζητήσεις για κάθε είδος φορτίου.

Πίνακας 6-3: Αποτελέσματα - Κόστη σε 10³ € για τη 2^η περίπτωση

Ετήσιο Κόστος	806.63
Σταθερό Κόστος	221.40
Μεταβλητό Κόστος	585.23

Πίνακας 6-4: Δομικά και Διαστατικά αποτελέσματα για τη 2η περίπτωση

ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ (kW)		ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	
TGVPIN	0	TGVNIN	0
MGWPIN	0	MGWNIN	0
CGVPIN	0	CGVNIN	0
CGWPIN	3420	CGWNIN	6
ICVPIN	0	ICVNIN	0
ICHPIN	0	ICHNIN	0
FAVPIN	0	FAVNIN	0
FAWPIN	0	FAWNIN	0
FMWPIN	1960	FMWNIN	4
ICRPIN	3000	ICRNIN	3



Σχήμα 6-2: Υπερδομή του συστήματος αναφοράς (Περίπτωση 2 - Χωρίς Συμπαγωγή)

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την ενεργειακή βελτιστοποίηση του νοσοκομείου με τη χρήση Μαθηματικού Προγραμματισμού διαχωρίζονται σε συμπεράσματα που αφορούν τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο και σε συμπεράσματα που αφορούν τα αποτελέσματα της εφαρμογής.

7.1 Συμπεράσματα για τη μέθοδο

- ✓ Με τη χρήση της υπερδομής και του Μαθηματικού προγραμματισμού, η διαδικασία του σχεδιασμού είναι γρήγορη και αποτελεσματική. Η υπερδομή διευκολύνει τη διαδικασία της βελτιστοποίησης, διότι στο ίδιο διάγραμμα ροής παριστάνονται όλες οι πιθανές τεχνολογίες και όλα τα ενεργειακά ρεύματα. Αφετέρου, με τη χρήση του Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορούν να επιλυθούν με ταχύτητα, μεγάλα και πολυσύνθετα προβλήματα τα οποία έχουν πλέον καταστεί απλά.
- ✓ Το Γενικό Αλγεβρικό Σύστημα Μοντέλου GAMS (General Algebraic Modeling System) είναι εξαιρετικά ευέλικτο, καθώς δίνει τη δυνατότητα μελέτης διαφορετικών περιπτώσεων του ίδιου προβλήματος. Ο χρήστης της γλώσσας του Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορεί να κάνει αλλαγές στο μοντέλο σχεδιασμού με απλότητα και ασφάλεια και με αυτό τον τρόπο να μελετήσει εύκολα κάποιο διαφορετικό σενάριο βελτιστοποίησης του δεδομένου προβλήματος.
- ✓ Ο χρόνος επίλυσης του προβλήματος εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του μοντέλου. Συγκεκριμένα, ο χρόνος επίλυσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον αριθμό των μεταβλητών και των περιορισμών που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή του μοντέλου. Εάν οι εξοπλισμοί περιγράφονται εκτενώς, το μαθηματικό πρότυπο θα έχει μεγάλη έκταση με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για την βελτιστοποίηση σε σύγκριση με πιο απλές περιπτώσεις. Επίσης ο χρόνος επίλυσης του μοντέλου εξαρτάται από το βαθμό λεπτομέρειας ο οποίος καθορίζεται από το χρήστη. Ο βαθμός λεπτομέρειας καθορίζεται από τον αριθμό OPTCR που ορίζει το μέγιστο σχετικό διάστημα απόκλισης της βέλτιστης λύσης σε σχέση με τη θεωρητικώς εκτιμώμενη τιμή της βέλτιστης λύσης.
- ✓ Μετά την κατασκευή του αρχικού μοντέλου, μπορεί πλέον ο χρήστης να προχωρήσει στην εξέταση what if σεναρίων, η οποία πραγματοποιείται εύκολα και αποτελεσματικά. Ο κώδικας GAMS επιτρέπει τη διόρθωση των δηλώσεων και την επιτόπια αλλαγή δεδομένων, οπότε γίνεται με σαφήνεια και

αμεσότητα η δημιουργία ενός νέου μοντέλου που εξετάζει μία υποθετική παραλλαγή του αρχικού σεναρίου.

7.2 Συμπεράσματα για την εφαρμογή

- ✓ Τα αποτελέσματα είναι σχεδόν ταυτόσημα με αυτά του άρθρου των Lozano et al. Οι μικρές διαφορές οφείλονται σε μικροδιαφορές στην μοντελοποίηση και στο γεγονός ότι στο άρθρο χρησιμοποιήθηκαν νομοθετικές ρυθμίσεις και περιοριστικοί κανονισμοί που ισχύουν στην Ισπανία. Συγκεκριμένα ισχύουν περιορισμοί σχετικά με την αποδοτικότητα των συστημάτων συμπαραγωγής

Τα δασμολόγια και τα ασφάλιστρα εξαρτώνται από την κατηγορία στην οποία ανήκουν οι εγκαταστάσεις συμπαραγωγής. Για κατανάλωση φυσικού αερίου, οι αντίστοιχες τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα Π-6 (βλέπε παράρτημα). Επίσης οι πίνακες μπορούν να έχουν δεδομένα για την αποδοτικότητα.

Ορίζεται πως η ισοδύναμη ηλεκτρική αποδοτικότητα (EEE) των εγκαταστάσεων συμπαραγωγής πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από ένα όριο το οποίο καθορίζεται - ανάλογα με την δυναμικότητα του εξοπλισμού και τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα - από αντίστοιχη οδηγία [21]. Η ετήσια ισοδύναμη ηλεκτρική αποδοτικότητα EEE υπολογίζεται από τη μαθηματική σχέση:

$$EEE = \frac{E_C}{F_C - (Q_C - 0.9)}$$

όπου η E_C είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, F_C είναι η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας που μετρείται με βάση την κατώτερη θερμογόνο δύναμη καυσίμων (LHV), και Q_C είναι η χρησιμοποιούμενη θερμότητα συμπαραγωγής.

Σύμφωνα με αντίστοιχη οδηγία [22], τα συστήματα συμπαραγωγής χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τη μέγιστη δυνατή δυναμικότητα όπως: συστήματα μικρο-συμπαραγωγής, συμπαραγωγής μικρής κλίμακας και συμπαραγωγής. Για τις δύο πρώτες κατηγορίες υπάρχουν μειωμένες χρεώσεις για την ελάχιστη τιμή της ισοδύναμης ηλεκτρικής αποδοτικότητας EEE. Με αυτό τον τρόπο γίνεται προώθηση της εφαρμογής τέτοιων τεχνολογιών συμπαραγωγής στις κατοικίες και στον τριτογενή τομέα παραγωγής. Ο ίδιος πίνακας παρουσιάζει τις μειωμένες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, ανάλογα με την τιμή ζήτησης ενέργειας και την ονομαστική ισχύ των μηχανολογικών εξοπλισμών συμπαραγωγής, επιλέγεται η αντίστοιχη τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Για την ακρίβεια, η περίπτωση που μελετάται ανήκει στο διάστημα δυναμικότητας 1000-2000 KW που αντιστοιχεί σε τιμή πώλησης p_{es} 0,077 €/kWh. Οι παραπάνω νομοθετικές ρυθμίσεις δε λαμβάνονται υπόψη στη δική μας μελέτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει μία σχετική διαφορά στην υπερδομή του συστήματος που

προκύπτει στην 1^η περίπτωση (με συμπαραγωγή). Συγκεκριμένα, αν είχαν ληφθεί υπόψη οι παραπάνω ρυθμίσεις θα υπήρχε απαίτηση για μία μονάδα απορρόφησης για ψύξη (απλής βαθμίδας – με θερμό νερό) (FAWH) - αντί των τριών που προέκυψαν - καθώς επίσης και για 4 εναλλάκτες θερμότητας θερμού νερού/κρύου νερού (ICWH). Τα παραπάνω επηρεάζουν και τα οικονομικά αποτελέσματα που παρουσιάζουν μικρές διαφορές με το άρθρο των Lozano et al.[4] Στη 2^η περίπτωση (χωρίς συμπαραγωγή) η υπερδομή του συστήματος που προέκυψε ταυτίζεται απόλυτα με την υπερδομή της αντίστοιχης μελέτης [1]. Τα οικονομικά αποτελέσματα και σε αυτή την περίπτωση συγκλίνουν μεταξύ τους

- ✓ Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά τη μελέτη των δύο περιπτώσεων (βλέπε πίνακες 6-1 και 6-3), παρατηρείται πως η χρήση μονάδων συμπαραγωγής είναι οικονομικά συμφέρουσα. Συγκεκριμένα, η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με τη χρήση συμπαραγωγής σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (2^η περίπτωση) είναι 252.890 € / έτος.
- ✓ Από τη μελέτη τόσο των αποτελεσμάτων όσο και των υπερδομών των συστημάτων για την 1^η και στη 2^η περίπτωση, διαπιστώνεται πως από τις τεχνολογίες συμπαραγωγής (TGVA-MGWH) προτιμάται η μονάδα συμπαραγωγής με κινητήρα εσωτερικής καύσης (MGWH). Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμού και ψυχρού νερού, ενώ στην περίπτωση μονάδων συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο (TGVA) αντί για ψυχρό νερό θα υπήρχε παραγωγή κορεσμένου ατμού.
- ✓ Ομοίως, μεταξύ των τεχνολογιών απορρόφησης (FAWH-FAVA), προτιμάται η απλής βαθμίδας μονάδα απορρόφησης με θερμό νερό (FAWH). Για τη λειτουργία των μονάδων FAWH αξιοποιείται πλεόνασμα θερμού νερού που έχει παραχθεί από τις μονάδες συμπαραγωγής με κινητήρα εσωτερικής καύσης (MGWH).

7.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μελέτη, γίνεται αντιληπτό ότι μπορεί να υπάρξει δυνατότητα για περαιτέρω μελλοντική έρευνα με τους εξής τρόπους:

- ✓ Εξέταση της αβεβαιότητας ως προς αβέβαιες παραμέτρους όπως είναι τα κόστη των καυσίμων και ηζήτηση ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει με τεχνικές όπως:
 - Ανάλυση ευαισθησίας
 - Χρήση ασαφών παραμέτρων (fuzzy parameters, fuzzy programming)
 - Στοχαστικές μέθοδοι (Monte Carlo + Optimization)
- ✓ Εξέταση και μοντελοποίηση πρακτικών αποθήκευσης ενέργειας (heat storage) για την καλύτερη διαχείριση του ετεροχρονισμού των φορτίων.
- ✓ Θα μπορούσαν να θεωρηθούν περισσότερες αντικειμενικές συναρτήσεις (π.χ. κόστος και εκπομπές CO₂) για μια πιο ολοκληρωμένη αντιμετώπιση. Η πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση δίνει περισσότερες από μία λύσεις (κατά Pareto άριστες λύσεις) από τις οποίες μπορεί να επιλέξει ο αποφασίζων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Miguel A. Lozano, Jose´ C. Ramos, Monica Carvalho, Luis M. Serra, Structure optimization of energy supply systems in tertiary sector buildings, *Energy and Buildings* 41 (2009); 1063–1075
- [2] Mohammad Saad Al-Hamoud, Computer-aided building energy analysis techniques, *Building and Environment* 36 (2001); 421-433
- [3] <http://www.retscreen.net/>
- [4] C. Randy Hudson, ORNL CHP Capacity Optimizer User’s Manual, Engineering Science and Technology Division, ORNL/TM-2005/267 (draft)
- [5] EMD International A/S, User's Guide EnergyPRO, Aalborg, 2005
- [6] EMD International A/S, energyPRO version 3.3 - Introductions to automatic calculation of operation strategy, Aalborg, 2007
- [7] Richard K. Strand, Drury B. Crawley, Curtis O. Pedersen, Richard .J. Liesen, Linda K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, Y. J. Huang, Daniel E. Fisher, EnergyPlus: A New-Generation Energy Analysis and Load Calculation Engine for Building Design
- [8] ENERGYPLUS™, Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, 2009
- [9] ENERGYPLUS™, Getting Started with EnergyPlus, Basic Concepts Manual, 2009
- [10] ENERGYPLUS™, Output Details and Examples, 2009
- [11] Beihong, Z., Weiding, L. (2006) An optimal sizing method for cogeneration plans, *Energy and Buildings* 38, 189-195
- [12] Cardona, E., Piacentino, A., Cardona, F. (2006) Energy saving in airports by trigeneration. Part I: Assessing economic and technical potential, *Applied Thermal Engineering* 26, 1427-1436
- [13] Haeseldonckx, D., Peeters, L., Helsen, L. D’haeseleer, W. (2007) The impact of thermal storage on the operational behaviour of residential CHP facilities and the overall CO₂ emissions, *Renewable and Sustainable Energy Review* 11, 1227-1243
- [14] Ren, H., Gao, W., Ruan, Y. (2008) Optimal sizing for residential CHP system, *Applied Thermal Engineering* 28(5-5), 514-523

- [15] Mavrotas, G. Florios, K. Georgiou, P. (2006) Energy planning in buildings under uncertainty in fuel costs: The case of a hospital in Greece, *Computer Aided Chemical Engineering* 21(2), 1735-1740.
- [16] Diakoulaki D., Antunes C.H., Martins A. (2005). MCDA and Energy Planning, in *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (Eds). pp. 859-898. Springer, New York
- [17] Iyer, R.R. and Grossmann, I.E. (1998) Synthesis and operational planning of utility systems for multiperiod operation, *Computers and Chemical Engineering* 22(7-8), 979-993
- [18] Yeomans, H., and Grossmann, I.E. (1999) A systematic modeling framework of superstructure optimization in process synthesis, *Computers and Chemical Engineering* 23, 709-731
- [19] Mavrotas, G. and Diakoulaki, D. (2005) Solving Multiobjective MILP problems in Process Synthesis using the Multi-Criteria Branch & Bound Algorithm, *Chemical Engineering and Technology* 28(12), 1500-1510.
- [20] S. Sanchez, Optimal design of trigeneration systems with alternative internal combustion engines for the residential-commercial sector, Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Zaragoza, 2003
- [21] REAL DECRETO 661/2007 sobre regulacion de la produccion electrica en regimen especial, BOE nu´m 126 (2007) 22846–22886.
- [22] Directive 2004/8/EC on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand, *Official Journal of the EU*, 21.2.2004, L 52, 50–60.

Παράρτημα

Πίνακας Π-1: Ενεργειακές ζητήσεις νοσοκομείου για τις 24 περιπτώσεις

ΤΥΠΟΣ ΗΜΕΡΑΣ <i>d</i>	<i>n_d</i> (μέρες/ έτος)	ΖΗΤΗΣΗ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ		ΖΗΤΗΣΗ ΨΥΧΡΟΥ ΝΕΡΟΥ		ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	
		Συνολική Ζήτηση <i>kWh/ημέρα</i>	Μέση τιμή <i>kW</i>	Συνολική Ζήτηση <i>kWh/ημέρα</i>	Μέση τιμή <i>kW</i>	Συνολική Ζήτηση <i>kWh/ημέρα</i>	Μέση τιμή <i>kW</i>
Ιαν W	20	50007	2084	0	0	9411	392
Ιαν F	11	39547	1648	0	0	7802	325
Φεβρ W	20	42365	1765	0	0	9411	392
Φεβρ F	8	33709	1405	0	0	7802	325
Μαρτ W	18	32814	1367	0	0	9411	392
Μαρτ F	13	26411	1100	0	0	7802	325
Απρ W	21	25149	1048	0	0	9411	392
Απρ F	9	20556	857	0	0	7802	325
Μαι W	22	14224	593	0	0	9411	392
Μαι F	9	12209	509	0	0	7802	325
Ιουν W	21	5319	222	4312	180	9411	392
Ιουν F	9	4873	203	3294	137	7802	325
Ιουλ W	23	3429	143	20170	840	9411	392
Ιουλ F	8	3429	143	15411	642	7802	325
Αυγ W	20	3429	143	18235	760	9411	392
Αυγ F	11	3429	143	13931	580	7802	325
Σεπτ W	22	5658	236	1412	59	9411	392
Σεπτ F	8	5132	214	1079	45	7802	325
Οκτ W	22	17542	731	0	0	9411	392
Οκτ F	9	14723	613	0	0	7802	325
Νοεμ W	20	36253	1511	0	0	9411	392
Νοεμ F	10	29039	1210	0	0	7802	325
Δεκ W	21	47332	1972	0	0	9411	392
Δεκ F	10	37504	1563	0	0	7802	325
<i>Ετησίως</i>	<i>365</i>	<i>8059MWh/yr</i>	<i>920</i>	<i>1265MWh/yr</i>	<i>144</i>	<i>3250MWh/yr</i>	<i>371</i>

Πίνακας Π-2: Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα για τις δύο περιόδους (χειμώνας-καλοκαίρι). Ενεργειακό Κόστος σε €/kWh.

ΕΤΗΣΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΜΗΝΕΣ	ΑΥΞΗΜΕΝΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ		ΜΗ - ΑΥΞΗΜΕΝΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ	
		Χρόνος	Κόστος	Χρόνος	Κόστος
Καλοκαίρι	4-9	11-14	1.37*0.095	15-24 και 1-10	0.095
Χειμώνας	10-3	10-3	1.37*0.095	14-24 και 1-9	0.095

Πίνακας Π-3: Τιμολόγιο φυσικού αερίου

ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ	Πίεση Παροχής (bar)	Μέγιστη Κατανάλωση (MWh/έτος)	Μεταβλητό Κόστος (€/μήνα)/ (kWh/ημέρα)	Σταθερό Κόστος (€/kWh)
2.4	4 < P < 60	30000 < EC < 100000	0.048	0.021

Πίνακας Π-4: Τιμολόγιο ηλεκτρικής ενέργειας

ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ	Τάση Παροχής (kV)	Κόστος Ισχύος ((€/μήνα)/kWh)	Ενεργειακό Κόστος (€/kWh)
1.1	< 36	2.272	0.078

Πίνακας Π-5: Ελάχιστη ισοδύναμη ηλεκτρική αποδοτικότητα ανά κατηγορία

Μέγιστη Δυναμικότητα (kW)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	GE EEE(%)	ICE EEE(%)
0-50	Μικρο-Συμπαραγωγή	53.1 %	49.5 %
50-500	Συμπαραγωγή Μικρής Κλίμακας	53.1 %	49.5 %
500-1000	Συμπαραγωγή Μικρής Κλίμακας	53.1 %	49.5 %
1000-10000	Συμπαραγωγή	59.0 %	55.0 %
10000-25000	Συμπαραγωγή	59.0 %	55.0 %
25000-50000	Συμπαραγωγή	59.0 %	55.0 %

Όπου GE: Αεριοστρόβιλος, ICE: Μηχανή εσωτερικής καύσης

Πίνακας Π-6: Τιμές για δασμολόγια και ασφάλιστρα ανά κατηγορία

Μέγιστη Δυναμικότητα (kW)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΔΑΣΜΟΛΟΓΙΟ (€/kWh)	ΑΣΦΑΛΙΣΤΡΟ (€/kWh)
0-50	Μικρο-Συμπαραγωγή	0.1204	NA
50-500	Συμπαραγωγή Μικρής Κλίμακας	0.1204	NA
500-1000	Συμπαραγωγή Μικρής Κλίμακας	0.0988	NA
1000-10000	Συμπαραγωγή	0.0772	0.027844
10000-25000	Συμπαραγωγή	0.0731	0.022122
25000-50000	Συμπαραγωγή	0.0692	0.019147

Όπου NA: δεν διατίθεται

Μοντέλο σε GAMS

\$ontext

Hospital in Zaragosa (Spain)

\$offtext

SETS

I hour of the day /1*24/

J day type /1*24/

ONPEAK(I,J) peak hours with increased electricity cost /(10*13).(1*6), (10*13).(19*24),
(11*14).(7*18)/

;

	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec								
1	1500	1186	1271	1011	984	792	754	617	427	366	140	128	90	90	526	442	1088	871	1420	1125
2	1300	1028	1101	876	853	687	654	535	370	317	109	99	70	70	456	383	943	755	1231	975
3	1300	1028	1101	876	853	687	654	535	370	317	93	85	60	60	456	383	943	755	1231	975
4	1300	1028	1101	876	853	687	654	535	370	317	93	85	60	60	456	383	943	755	1231	975
5	1500	1186	1271	1011	984	792	754	617	427	366	140	128	90	90	526	442	1088	871	1420	1125
6	1600	1266	1356	1079	1050	845	805	658	455	391	155	142	100	100	561	471	1160	929	1515	1200
7	1800	1424	1525	1214	1181	951	905	740	512	440	233	213	150	150	632	530	1305	1045	1704	1350
8	2050	1621	1737	1382	1345	1083	1031	843	583	501	310	284	200	200	719	604	1486	1191	1941	1538
9	2550	2017	2161	1719	1674	1347	1283	1049	725	623	388	355	250	250	895	751	1849	1481	2414	1913
10	2900	2294	2457	1955	1903	1532	1459	1193	825	708	450	412	290	290	1017	854	2103	1684	2745	2175
11	2800	2215	2372	1888	1838	1479	1408	1152	797	684	403	369	260	260	982	824	2030	1626	2651	2100
12	2700	2136	2288	1820	1772	1426	1358	1111	768	659	357	327	230	230	947	795	1958	1568	2556	2025
13	2550	2017	2161	1719	1674	1347	1283	1049	725	623	310	284	200	200	895	751	1849	1481	2414	1913
14	2450	1938	2076	1652	1608	1294	1232	1008	697	598	225	206	145	145	860	721	1776	1423	2319	1838
15	2400	1898	2034	1618	1575	1268	1207	987	683	586	194	178	125	125	842	707	1740	1394	2272	1800
16	2350	1859	1991	1584	1542	1241	1182	967	669	574	186	170	120	120	824	692	1704	1365	2225	1763
17	2300	1819	1949	1551	1509	1215	1157	946	654	562	194	178	125	125	807	677	1668	1336	2177	1725
18	2250	1780	1906	1517	1477	1188	1132	925	640	549	233	213	150	150	789	663	1631	1307	2130	1688
19	2250	1780	1906	1517	1477	1188	1132	925	640	549	217	199	140	140	789	663	1631	1307	2130	1688
20	2270	1795	1923	1530	1490	1199	1142	934	646	554	217	199	140	140	796	668	1646	1318	2149	1703
21	2230	1764	1889	1503	1464	1178	1122	917	634	545	163	149	105	105	782	657	1617	1295	2111	1673
22	2100	1661	1779	1416	1378	1109	1056	864	597	513	155	142	100	100	737	618	1523	1220	1988	1575
23	1850	1463	1568	1247	1214	977	931	761	526	452	171	156	110	110	649	545	1341	1074	1751	1388
24	1700	1345	1440	1146	1116	898	855	699	484	415	186	170	120	120	596	501	1233	987	1609	1275

<u>HOURS</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
2	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
3	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
4	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
5	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
6	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
7	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
8	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
9	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
10	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
11	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
12	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
13	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
14	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
15	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
16	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
17	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
18	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
19	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
20	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
21	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
22	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
23	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10
24	20	11	20	8	18	13	21	9	22	9	21	9	23	8	20	11	22	8	22	9	20	10	21	10

SCALARS

tgvpnom nomiral power of TGVA technology(kW) /1210/
mgwpnom nomiral power of MGWH technology(kW) /580/
cgvpnom nomiral power of CGVA technology(kW) /780/
cgwpnom nomiral power of CGWH technology(kW) /570/
icvpnom nomiral power of ICVA technology(kW) /400/
ichpnom nomiral power of ICWH technology(kW) /400/
favpnom nomiral power of FAVA technology(kW) /1260/
fawpnom nomiral power of FAWH technology(kW) /490/
fmwpnom nomiral power of FMWR technology(kW) /490/
icrpnom nomiral power of ICWR technology(kW) /1000/
tgvnin_big maximum limit for the number of pieces of TGVA /5.00/
mgwnin_big maximum limit for the number of pieces of MGWH /5.00/
cgvnin_big maximum limit for the number of pieces of CGVA /5.00/
cgwnin_big maximum limit for the number of pieces of CGWH /5.00/
icvnin_big maximum limit for the number of pieces of ICVA /5.00/
ichnin_big maximum limit for the number of pieces of ICWH /5.00/
favnin_big maximum limit for the number of pieces of FAVA /5.00/
fawnin_big maximum limit for the number of pieces of FAWH /5.00/
fmwnin_big maximum limit for the number of pieces of FAWR /5.00/
icrnin_big maximum limit for the number of pieces of ICWR /5.00/

POSITIVE VARIABLES

EETGVVEE(I,J) EE(electricity)produced by TVGA technology
CGCGTGV(I,J) CG(natural gas)consumed by TGVA technology
VATGVVA(I,J) VA(saturated steam)produced by TVGA technology
WHTGVWH(I,J) WH(hot water)produced by TVGA technology

EEMGWEE(I,J) EE(electricity) produced by MGWH technology
CGCGMGW(I,J) CG(natural gas)consumed by MGWH technology
WHMGWWH(I,J) WH(hot water)produced by MGWH technology
WRMGWWR(I,J) WR(cooling water)produced by MGWH technology

VACGVVA(I,J) VA(saturated steam)produced by CGVA technology
CGCGCGV(I,J) CG(natural gas)consumed by CGVA technology

WHCGWWH(I,J) WH(hot water)produced by CGWH technology
CGCGCGW(I,J) CG(natural gas)consumed by CGWH technology

WHICVWH(I,J) WH(hot water)produced by ICVA technology
VAVAICV(I,J) VA(saturated steam)consumed by ICVA technology

WRICHWR(I,J) WR(cooling water)produced by ICWH technology
WHWHICH(I,J) WH(hot water)consumed by ICWH technology

WCFAVWC(I,J) WC(chilled water)produced by FAVA technology
VAVAFV(I,J) VA(saturated steam)consumed by FAVA technology

WRFAVWR(I,J) WR(cooling water)produced by FAVA technology
EEEEFAV(I,J) EE(electricity)consumed by FAVA technology

WCFAWWC(I,J) WC(chilled water) produced by FAWH technology
WHWHFAW(I,J) WH(hot water)consumed by FAWH technology
WRFAWWR(I,J) WR(cooling water)produced by FAWH technology
EEEEFAW(I,J) EE(electricity) consumed by FAWH technology

WCFMWWC(I,J) WC(chilled water) produced by FMWR technology
WRFMWWR(I,J) WR(cooling water)produced by FMWR technology
EEEEFMW(I,J) EE(electricity)consumed by FMWR technology

AAICRAA(I,J) AA(ambient air)produced by ICWR technology
WRWRICR(I,J) WR(cooling water)consumed by ICWR technology
EEEEICR(I,J) EE(electricity)consumed by ICWR technology

TGVPOP(I,J) production of technology TGVA in the hour i and day type j (kW)
MGWPOP(I,J) production of technology MGWH in the hour i and day type j (kW)
CGVPOP(I,J) production of technology CGVA in the hour i and day type j (kW)
CGWPOP(I,J) production of technology CGWH in the hour i and day type j (kW)
ICVPOP(I,J) production of technology ICVA in the hour i and day type j (kW)
ICHPOP(I,J) production of technology ICWH in the hour i and day type j (kW)
FAVPOP(I,J) production of technology FAVA in the hour i and day type j (kW)
FAWPOP(I,J) production of technology FAWH in the hour i and day type j (kW)
FMWPOP(I,J) production of technology FMWR in the hour i and day type j (kW)
ICRPOP(I,J) production of technology ICWR in the hour i and day type j (kW)

TGVPIN installed power for TGVA technology
MGWPIN installed power for MGWH technology
CGVPIN installed power for CGVA technology
CGWPIN installed power for CGWH technology
ICVPIN installed power for ICVA technology
ICHPIN installed power for ICWH technology
FAVPIN installed power for FAVA technology
FAWPIN installed power for FAWH technology
FMWPIN installed power for FMWR technology
ICRPIN installed power for ICWR technology

EELPUR(I,J) purchased electricity
EELSEL(I,J) sold electricity
CGPUR(I,J) consuming natural gas
CFIX fixed annual cost in thousand euros
CVAR variable (fuel)annual cost in thousand euros

INTEGER VARIABLES

TGVNIN number of pieces of installed equipment for TGVA technology
MGWNIN number of pieces of installed equipment for MGWH technology
CGVNIN number of pieces of installed equipment for CGVA technology
CGWNIN number of pieces of installed equipment for CGWH technology

ICVNIN number of pieces of installed equipment for ICVA technology
ICHNIN number of pieces of installed equipment for ICWH technology
FAVNIN number of pieces of installed equipment for FAVA technology
FAWNIN number of pieces of installed equipment for FAWH technology
FMWNIN number of pieces of installed equipment for FMWR technology
ICRNIN number of pieces of installed equipment for ICWR technology

TGVNOP(I,J) number of pieces of operating equipment for TGVA technology
MGWNOP(I,J) number of pieces of operating equipment for MGWH technology

BINARY VARIABLES

TGVYIN binary variable indicating if the technology TGVA is or is not installed
MGWYIN binary variable indicating if the technology MGWH is or is not installed
CGVYIN binary variable indicating if the technology CGVA is or is not installed
CGWYIN binary variable indicating if the technology CGWH is or is not installed
ICVYIN binary variable indicating if the technology ICVA is or is not installed
ICHYIN binary variable indicating if the technology ICWH is or is not installed
FAVYIN binary variable indicating if the technology FAVA is or is not installed
FAWYIN binary variable indicating if the technology FAWH is or is not installed
FMWYIN binary variable indicating if the technology FMWR is or is not installed
ICRYIN binary variable indicating if the technology ICWR is or is not installed

FREE VARIABLES

ANNCOST annual cost (thousand euros)

EQUATIONS

BALMGV1(I,J) Balance for EE(electricity)produced by TVGA technology
BALMGV2(I,J) Balance for CG(natural gas)consumed by TVGA technology
BALMGV3(I,J) Balance for VA(saturated steam)produced by TVGA technology
BALMGV4(I,J) Balance for WH(hot water)produced by TVGA technology

BALMGW1(I,J) Balance for EE(electricity) produced by MGWH technology
BALMGW2(I,J) Balance for CG(natural gas)consumed by MGWH technology
BALMGW3(I,J) Balance for WH(hot water)produced by MGWH technology
BALMGW4(I,J) Balance for WR(cooling water)produced by MGWH technology

BALCGV1(I,J) Balance for VA(saturated steam)produced by CGVA technology
BALCGV2(I,J) Balance for CG(natural gas)consumed by CGVA technology

BALCGW1(I,J) Balance for WH(hot water)produced by CGWH technology
BALCGW2(I,J) Balance for CG(natural gas)consumed by CGWH technology

BALICV1(I,J) Balance for WH(hot water)produced by ICVA technology
BALICV2(I,J) Balance for VA(saturated steam)consumed by ICVA technology

BALICH1(I,J) Balance for WR(cooling water)produced by ICWH technology
BALICH2(I,J) Balance for WH(hot water)consumed by ICWH technology

BALFAV1(I,J) Balance for WC(chilled water)produced by FAVA technology
BALFAV2(I,J) Balance for VA(saturated steam)consumed by FAVA technology
BALFAV3(I,J) Balance for WR(cooling water)produced by FAVA technology
BALFAV4(I,J) Balance for EE(electricity)consumed by FAVA technology

BALFAW1(I,J) Balance for WC(chilled water) produced by FAWH technology
BALFAW2(I,J) Balance for WH(hot water)consumed by FAWH technology
BALFAW3(I,J) Balance for WR(cooling water)produced by FAWH technology
BALFAW4(I,J) Balance for EE(electricity) consumed by FAWH technology

BALFMW1(I,J) Balance for WC(chilled water) produced by FMWR technology
BALFMW2(I,J) Balance for WR(cooling water)produced by FMWR technology
BALFMW3(I,J) Balance for EE(electricity)consumed by FMWR technology

BALICR1(I,J) Balance for AA(ambient air)produced by ICWR technology
BALICR2(I,J) Balance for WR(cooling water)consumed by ICWR technology
BALICR3(I,J) Balance for EE(electricity)consumed by ICWR technology

*EEDM(I,J) Electricity demand
*WHDEM(I,J) SHW and heating demand
*WCDEM(I,J) Cooling demand

EQCAPTGV Equation of capacity of installed power for TGVA technology
EQCAPMGW Equation of capacity of installed power for MGWH technology
EQCAPCGV Equation of capacity of installed power for CGVA technology
EQCAPCGW Equation of capacity of installed power for CGWH technology
EQCAPICV Equation of capacity of installed power for ICVA technology
EQCAPICH Equation of capacity of installed power for ICWH technology
EQCAPFAV Equation of capacity of installed power for FAVA technology
EQCAPFAW Equation of capacity of installed power for FAWH technology
EQCAPFMW Equation of capacity of installed power for FMWR technology
EQCAPICR Equation of capacity of installed power for ICWR technology

EQTGVNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of TGVA equipment

EQMGWNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of MGWH equipment

EQCGVNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of CGVA equipment

EQCGWNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of CGWH equipment

EQICVNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of ICVA equipment

EQICHNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of ICWH equipment

EQFAVNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of FAVA equipment

EQFAWNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of FAWH equipment

EQFMWNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of FMWR

equipment

EQICRNIN Equation for the maximum limit for the number of pieces of ICWR equipment

EQTGVPOP(I,J) Equation of production of TGVA technology
EQMGWPOP(I,J) Equation of production of MGWH technology
EQCGVPOP(I,J) Equation of production of CGVA technology
EQCGWPOP(I,J) Equation of production of CGWH technology
EQICVPOP(I,J) Equation of production of ICVA technology
EQICHPOP(I,J) Equation of production of ICWH technology
EQFAVPOP(I,J) Equation of production of FAVA technology
EQFAWPOP(I,J) Equation of production of FAWH technology
EQFMWPOP(I,J) Equation of production of FMWR technology
EQICRPOP(I,J) Equation of production of ICWR technology

EQBALEE(I,J) Equation of balance for electricity
EQBALCG(I,J) Equation of balance for natural gas
EQBALVA(I,J) Equation of balance for saturated steam
EQBALWH(I,J) Equation of balance for hot water
EQBALWR(I,J) Equation of balance for cooling water
EQBALWC(I,J) Equation of balance for chilled water

EQTGVPOP2(I,J) full load for tgva
EQMGWPOP2(I,J) full load for mgwa

EQ_CFIX Equation for fixed annual cost
EQ_CVAR Equation for variable (fuel) annual cost
EQ_COST Equation for total cost

;

BALTGV1(I,J)..EETGVVEE(I,J)=E=TGVPOP(I,J) ;
BALTGV2(I,J)..CGCGTGV(I,J)=E=4.06*TGVPOP(I,J) ;
BALTGV3(I,J)..VATGVVA(I,J)=E=1.83*TGVPOP(I,J) ;
BALTGV4(I,J)..WHTGVWH(I,J)=E=0.53*TGVPOP(I,J) ;

BALMGW1(I,J)..EEMGWEE(I,J)=E=MGWPOP(I,J) ;
BALMGW2(I,J)..CGCGMGW(I,J)=E=2.45*MGWPOP(I,J) ;
BALMGW3(I,J)..WHMGWWH(I,J)=E=0.96*MGWPOP(I,J) ;
BALMGW4(I,J)..WRMGWWR(I,J)=E=0.20*MGWPOP(I,J) ;

BALCGV1(I,J)..VACGVVA(I,J)=E=CGVPOP(I,J) ;
BALCGV2(I,J)..CGCGCGV(I,J)=E=1.20*CGVPOP(I,J) ;

BALCGW1(I,J)..WHCGWWH(I,J)=E=CGWPOP(I,J) ;
BALCGW2(I,J)..CGCGCGW(I,J)=E=1.08*CGWPOP(I,J) ;

BALICV1(I,J)..WHICVWH(I,J)=E=ICVPOP(I,J) ;
BALICV2(I,J)..VAVAICV(I,J)=E=ICVPOP(I,J) ;

BALICH1(I,J)..WRICHWR(I,J)=E=ICHPOP(I,J) ;

BALICH2(I,J)..WHWHICH(I,J)=E=ICHPOP(I,J) ;
 BALFAV1(I,J)..WCFAVWC(I,J)=E=FAVPOP(I,J) ;
 BALFAV2(I,J)..VAVAFAV(I,J)=E=0.83*FAVPOP(I,J) ;
 BALFAV3(I,J)..WRFAVWR(I,J)=E=1.83*FAVPOP(I,J) ;
 BALFAV4(I,J)..EEEEFAV(I,J)=E=0.01*FAVPOP(I,J) ;
 BALFAW1(I,J)..WCFAWWC(I,J)=E=FAWPOP(I,J) ;
 BALFAW2(I,J)..WHWHFAW(I,J)=E=1.50*FAWPOP(I,J) ;
 BALFAW3(I,J)..WRFAWWR(I,J)=E=2.50*FAWPOP(I,J) ;
 BALFAW4(I,J)..EEEEFAW(I,J)=E=0.01*FAWPOP(I,J) ;
 BALFMW1(I,J)..WCFMWWC(I,J)=E=FMWPOP(I,J) ;
 BALFMW2(I,J)..WRFMWWR(I,J)=E=1.23*FMWPOP(I,J) ;
 BALFMW3(I,J)..EEEEFMW(I,J)=E=0.23*FMWPOP(I,J) ;
 BALICR1(I,J)..AAICRAA(I,J)=E=ICRPOP(I,J) ;
 BALICR2(I,J)..WRWRICR(I,J)=E=ICRPOP(I,J) ;
 BALICR3(I,J)..EEEEICR(I,J)=E=0.02*ICRPOP(I,J) ;
 EQBALEE(I,J).. EEPUR(I,J)+ EETGVVEE(I,J)+EEMGWEE(I,J)-EESEL(I,J)-
 EEEFAV(I,J)-EEEEFAW(I,J)-EEEEFMW(I,J)-EEEEICR(I,J)=G= elhd(I,J);
 EQBALCG(I,J)..
 CGPUR(I,J)=E=CGCGTGV(I,J)+CGCGMGW(I,J)+CGCGCGV(I,J)+CGCGCGW(I,
 J) ;
 EQBALVA(I,J)..
 VATGVVA(I,J)+VACGVVA(I,J)=E=VAVAFAV(I,J)+VAVAICV(I,J) ;
 EQBALWH(I,J)..
 WHTGVWH(I,J)+WHMGWWH(I,J)+WHICVWH(I,J)+WHCGWWH(I,J)-
 WHWHFAW(I,J)-WHWHICH(I,J) =G= hwhd(I,J);
 EQBALWR(I,J)..
 WRMGWWR(I,J)+WRICHWR(I,J)+WRFAVWR(I,J)+WRFAWWR(I,J)+WRFMW
 WR(I,J)=E=WRWRICR(I,J) ;
 EQBALWC(I,J).. WCFAVWC(I,J)+WCFAWWC(I,J)+WCFMWWC(I,J)=G=
 cwhd(I,J) ;
 EQCAPTGV..TGVPIN=E=TGVNIN*tgvpnom ;
 EQCAPMGW..MGWPIN=E=MGWNIN*mgwpnom ;
 EQCAPCGV..CGVPIN=E=CGVNIN*cgvpnom ;
 EQCAPCGW..CGWPIN=E=CGWNIN*cgwpnom ;
 EQCAPICV..ICVPIN=E=ICVNIN*icvpnom ;
 EQCAPICH..ICHPIN=E=ICHNIN*ichpnom ;
 EQCAPFAV..FAVPIN=E=FAVNIN*favpnom ;
 EQCAPFAW..FAWPIN=E=FAWNIN*fawpnom ;
 EQCAPFMW..FMWPIN=E=FMWNIN*fmwpnom ;
 EQCAPICR..ICRPIN=E=ICRNIN*icrpnom ;
 EQTGVNIN.. TGVNIN=L=TGVYIN*tgvnin_big ;

```

EQMGWNIN.. MGWNIN=L=MGWYIN*mgwnin_big ;
EQCGVNIN.. CGVNIN=L=CGVYIN*cgvnin_big ;
EQCGWNIN.. CGWNIN=L=CGWYIN*cgwnin_big ;
EQICVNIN.. ICVNIN=L=ICVYIN*icvnin_big ;
EQICHNIN.. ICHNIN=L=ICHYIN*ichnin_big ;
EQFAVNIN.. FAVNIN=L=FAVYIN*favnin_big ;
EQFAWNIN.. FAWNIN=L=FAWYIN*fawnin_big ;
EQFMWNIN.. FMWNIN=L=FMWYIN*fmwnin_big ;
EQICRNIN.. ICRNIN=L=ICRYIN*icrnin_big ;

EQTGVPOP(I,J)..TGVPOP(I,J)=L=TGVPIN ;
EQMGWPOP(I,J)..MGWPOP(I,J)=L=MGWPIN ;
EQCGVPOP(I,J)..CGVPOP(I,J)=L=CGVPIN ;
EQCGWPOP(I,J)..CGWPOP(I,J)=L=CGWPIN ;
EQICVPOP(I,J)..ICVPOP(I,J)=L=ICVPIN ;
EQICHPOP(I,J)..ICHPOP(I,J)=L=ICHPIN ;
EQFAVPOP(I,J)..FAVPOP(I,J)=L=FAVPIN ;
EQFAWPOP(I,J)..FAWPOP(I,J)=L=FAWPIN ;
EQFMWPOP(I,J)..FMWPOP(I,J)=L=FMWPIN ;
EQICRPOP(I,J)..ICRPOP(I,J)=L=ICRPIN ;

EQTGVPOP2(I,J)..TGVPOP(I,J)=E=TGVNOP(I,J)*tgvpnom ;
EQMGWPOP2(I,J)..MGWPOP(I,J)=E=MGWNOP(I,J)*mgwptom ;

EQ_CFIX.. CFIX =E= 354.5*TGVNIN + 100.8*MGWNIN + 42.2*CGVNIN +
7.0*CGWNIN + 0.6*ICVNIN +
1.5*ICHNIN + 85.7*FAVNIN + 46.3*FAWNIN + 40.5*FMWNIN + 5.8*ICRNIN ;

EQ_CVAR..                                1000*CVAR                                =E=
sum(ONPEAK,EEPUR(ONPEAK)*hours(ONPEAK))*0.130 +
sum((I,J)$ (not ONPEAK(I,J)),EEPUR(I,J)*hours(I,J))*0.095 +
sum((I,J),CGPUR(I,J)*hours(I,J))*0.025 -
sum((I,J),EESEL(I,J)*hours(I,J))*0.077 ;

EQ_COST.. ANNCOST =E= CFIX + CVAR ;

model LOZ_HOSP /all/ ;
OPTION OPTCR = 0.01;
solve LOZ_HOSP using MIP minimizing ANNCOST;

FILE payofile /c:\gams\lozano1.out/;
PUT payofile ;
PUT 'RESULTS' /;
put 'Annual cost: ', ANNCOST.L:8:2 /;
put 'Fixed cost: ', CFIX.L:8:2 /;
put 'Variable cost: ', CVAR.L:8:2 /;

put 'TGVPIN: ',TGVPIN.L:10:0,' TGVNIN: ', TGVNIN.L:4:0 /;
put 'MGWPIN: ',MGWPIN.L:10:0,' MGWNIN: ', MGWNIN.L:4:0 /;

```

```

put 'CGVPIN: ',CGVPIN.L:10:0,' CGVNIN: ', CGVNIN.L:4:0 /;
put 'CGWPIN: ',CGWPIN.L:10:0,' CGWNIN: ', CGWNIN.L:4:0 /;
put 'ICVPIN: ',ICVPIN.L:10:0,' ICVNIN: ', ICVNIN.L:4:0 /;
put 'ICHPIN: ',ICHPIN.L:10:0,' ICHNIN: ', ICHNIN.L:4:0 /;
put 'FAVPIN: ',FAVPIN.L:10:0,' FAVNIN: ',FAVNIN.L:4:0 /;
put 'FAWPIN: ',FAWPIN.L:10:0,' FAWNIN: ', MGWNIN.L:4:0 /;
put 'FMWPIN: ',FMWPIN.L:10:0,' FMWNIN: ', FMWNIN.L:4:0 /;
put 'ICRPIN: ',ICRPIN.L:10:0,' ICRNIN: ', ICRNIN.L:4:0 /;

```

```

put 'Electricity purchased from grid (kWe)'/;
LOOP (I,
  LOOP (J,
    *   elgrid=ELPCDM.L(I,J)+ELPCCM.L(I,J);
        PUT EEPUR.L(I,J):5:0;
    );
    put ' '/;
  ) ;
put /;

```

```

put 'Sold electricity from grid (kWe)'/;
LOOP (I,
  LOOP (J,
    *   elgrid=ELPCDM.L(I,J)+ELPCCM.L(I,J);
        PUT EESEL.L(I,J):5:0;
    );
    put ' '/;
  ) ;
put /;

```

```

put 'Consuming natural gas from grid (kWe)'/;
LOOP (I,
  LOOP (J,
    *   elgrid=ELPCDM.L(I,J)+ELPCCM.L(I,J);
        PUT CGPUR.L(I,J):5:0;
    );
    put ' '/;
  ) ;
put /;

```

```

putclose payofile;

```

2^η Περίπτωση

```
TGVNIN.FX=0;
MGWNIN.FX=0;
CGVNIN.FX=0;
*CGWNIN.FX=0;
ICVNIN.FX=0;
ICHNIN.FX=0;
FAVNIN.FX=0;
FAWNIN.FX=0;
*FMWNIN.FX=0;
*ICRNIN.FX=0;

model LOZ_HOSP /all/ ;
OPTION OPTCR = 0.000;
solve LOZ_HOSP using MIP minimizing ANNCOST;

FILE payofile /c:\gams\lozano_ref.out/;
PUT payofile ;
PUT 'RESULTS' /;
put 'Annual cost: ', ANNCOST.L:8:2 /;
put 'Fixed cost: ', CFIX.L:8:2 /;
put 'Variable cost: ', CVAR.L:8:2 /;

put 'TGVPIN: ',TGVPIN.L:10:0,'   TGVNIN: ', TGVNIN.L:4:0 /;
put 'MGWPIN: ',MGWPIN.L:10:0,'   MGWNIN: ', MGWNIN.L:4:0 /;
put 'CGVPIN: ',CGVPIN.L:10:0,'   CGVNIN: ', CGVNIN.L:4:0 /;
put 'CGWPIN: ',CGWPIN.L:10:0,'   CGWNIN: ', CGWNIN.L:4:0 /;
put 'ICVPIN: ',ICVPIN.L:10:0,'   ICVNIN: ', ICVNIN.L:4:0 /;
put 'ICHPIN: ',ICHPIN.L:10:0,'   ICHNIN: ', ICHNIN.L:4:0 /;
put 'FAVPIN: ',FAVPIN.L:10:0,'   FAVNIN: ', FAVNIN.L:4:0 /;
put 'FAWPIN: ',FAWPIN.L:10:0,'   FAWNIN: ', MGWNIN.L:4:0 /;
put 'FMWPIN: ',FMWPIN.L:10:0,'   FMWNIN: ', FMWNIN.L:4:0 /;
put 'ICRPIN: ',ICRPIN.L:10:0,'   ICRNIN: ', ICRNIN.L:4:0 /;

put 'Electricity purchased from grid (kWe)'/;
  LOOP (I,
    LOOP (J,
      *      elgrid=ELPCDM.L(I,J)+ELPCCM.L(I,J);
      PUT EEPUR.L(I,J):5:0;
    );
    put ' /;
  ) ;
put /;
```

```

put 'Sold electricity to grid (kWe)'/;
  LOOP (I,
    LOOP (J,
      *      elgrid=ELPCDM.L(I,J)+ELPCCM.L(I,J);
      PUT EESEL.L(I,J):5:0;
    );
    put ' '/;
  ) ;
put '/;

put 'Consuming natural gas from grid (kWe)'/;
  LOOP (I,
    LOOP (J,
      *      elgrid=ELPCDM.L(I,J)+ELPCCM.L(I,J);
      PUT CGPUR.L(I,J):5:0;
    );
    put ' '/;
  ) ;
put '/;

putclose payofile;

```

Πίνακες με αποτελέσματα - 1^η Περίπτωση

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Electricity purchased from grid (kWe)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sold electricity from grid (kWe)																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1423	1476	1423	1476	1423	1476	1476	1423	1476	1418	1472	1398	1457	1401	1459	1421	1475	1423	1476	1423	1476	1423	1476
2	1433	1484	1433	1484	1433	1484	1484	1433	1484	1428	1480	1409	1466	1411	1467	1431	1483	1433	1484	1433	1484	1433	1484
3	1443	1493	1443	1493	1443	1493	1493	1443	1493	1448	1497	1429	1483	1431	1484	1451	1500	1443	1493	1443	1493	1443	1493
4	1453	1501	1453	1501	1453	1501	1501	1453	1501	1458	1505	1439	1491	1441	1492	1461	1508	1453	1501	1453	1501	1453	1501
5	1453	1501	1453	1501	1453	1501	1501	1453	1501	1458	1505	1439	1491	1441	1492	1461	1508	1453	1501	1453	1501	1453	1501
6	1453	1501	1453	1501	1453	1501	1501	1453	1501	1453	1501	1434	1487	1436	1488	1456	1504	1453	1501	1453	1501	1453	1501
7	1443	1493	1443	1493	1443	1493	1493	1443	1493	1447	1496	1424	1479	1426	1481	1451	1499	1443	1493	1443	1493	1443	1493
8	1433	1484	1433	1484	1433	1484	1484	1433	1484	1435	1487	1386	1466	1400	1468	1441	1491	1433	1484	1433	1484	1433	1484
9	1333	1401	1333	1401	1333	1401	1401	1333	1401	1313	1385	1220	1337	1239	1351	1320	1391	1333	1401	1333	1401	1333	1401
10	1233	1318	1233	1318	1233	1318	1318	1233	1318	1215	1304	1069	1215	1093	1233	1224	1311	1233	1318	1233	1318	1233	1318
11	1213	1302	1213	1302	1213	1302	1302	1213	1302	1203	1295	1016	1174	1044	1196	1213	1302	1213	1302	1213	1302	1213	1302
12	1183	1277	1183	1277	1183	1277	1277	1183	1277	1191	1285	974	1142	1005	1166	1203	1294	1183	1277	1183	1277	1183	1277
13	1223	1310	1223	1310	1223	1310	1310	1223	1310	1198	1291	914	1096	952	1125	1211	1301	1223	1310	1223	1310	1223	1310
14	1233	1318	1233	1318	1233	1318	1318	1233	1318	1205	1297	281	1061	911	1095	1221	1308	1233	1318	1233	1318	1233	1318
15	1253	1335	1253	1335	1253	1335	1335	1253	1335	1251	1335	911	1110	969	1142	1266	1346	1253	1335	1253	1335	1253	1335
16	1283	1360	1283	1360	1283	1360	1360	1283	1360	1267	1348	971	1144	1010	1174	1281	1359	1283	1360	1283	1360	1283	1360
17	1313	1385	1313	1385	1313	1385	1385	1313	1385	1280	1359	1045	1201	1078	1227	1292	1368	1313	1385	1313	1385	1313	1385
18	1333	1401	1333	1401	1333	1401	1401	1333	1401	1294	1371	1131	1268	1157	1288	1304	1378	1333	1401	1333	1401	1333	1401
19	1313	1385	1313	1385	1313	1385	1385	1313	1385	1288	1364	1195	1316	1214	1330	1295	1370	1313	1385	1313	1385	1313	1385
20	1293	1368	1293	1368	1293	1368	1368	1293	1368	1276	1354	1231	1333	1245	1336	1281	1358	1293	1368	1293	1368	1293	1368
21	1323	1393	1323	1393	1323	1393	1393	1323	1393	1286	1363	1248	1343	1262	1345	1291	1366	1323	1393	1323	1393	1323	1393
22	1333	1401	1333	1401	1333	1401	1401	1333	1401	1287	1363	1264	1346	1267	1348	1291	1366	1333	1401	1333	1401	1333	1401
23	1353	1418	1353	1418	1353	1418	1418	1353	1418	1387	1447	1366	1430	1369	1432	1391	1450	1353	1418	1353	1418	1353	1418
24	1433	1484	1433	1484	1433	1484	1484	1433	1484	1438	1489	1417	1473	1420	1475	1441	1492	1433	1484	1433	1484	1433	1484

Consuming natural gas from grid (kWe)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263
2	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263
3	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263
4	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263
5	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263
6	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263
7	4403	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4299	4263
8	4673	4263	4835	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4555	4263
9	5213	4637	4793	4315	4267	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4456	4263	5066	4525
10	5591	4936	5113	4570	4514	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4730	4278	5424	4808
11	5483	4851	5021	4498	4444	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4651	4263	5322	4727
12	5375	4766	4930	4425	4373	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4574	4263	5219	4646
13	5213	4637	4793	4315	4267	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4456	4263	5066	4525
14	5105	4552	4701	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	2842	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4377	4263	4963	4444
15	5051	4509	4656	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4338	4263	4913	4403
16	4997	4467	4609	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4299	4263	4862	4363
17	4943	4423	4564	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4810	4322
18	4889	4381	4517	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4759	4282
19	4889	4381	4517	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4759	4282
20	4911	4398	4536	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4780	4298
21	4867	4364	4499	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4739	4266
22	4727	4263	4380	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4606	4263
23	4457	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4350	4263
24	4295	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263	4263

Πίνακες με αποτελέσματα - 2^η Περίπτωση

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Electricity purchased from grid (kWe)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sold electricity from grid (kWe)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Consuming natural gas from grid (kWe)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1620	1281	1373	1092	1063	855	814	666	461	395	151	138	97	97	97	97	160	146	568	477	1175	941	1534	1215
2	1404	1110	1189	946	921	742	706	578	400	342	118	107	76	76	76	76	124	113	492	414	1018	815	1329	1053
3	1404	1110	1189	946	921	742	706	578	400	342	100	92	65	65	65	65	107	97	492	414	1018	815	1329	1053
4	1404	1110	1189	946	921	742	706	578	400	342	100	92	65	65	65	65	107	97	492	414	1018	815	1329	1053
5	1620	1281	1373	1092	1063	855	814	666	461	395	151	138	97	97	97	97	160	146	568	477	1175	941	1534	1215
6	1728	1367	1464	1165	1134	913	869	711	491	422	167	153	108	108	108	108	178	162	606	509	1253	1003	1636	1296
7	1944	1538	1647	1311	1275	1027	977	799	553	475	252	230	162	162	162	162	267	242	683	572	1409	1129	1840	1458
8	2214	1751	1876	1493	1453	1170	1113	910	630	541	335	307	216	216	216	216	356	323	777	652	1605	1286	2096	1661
9	2754	2178	2334	1857	1808	1455	1386	1133	783	673	419	383	270	270	270	270	445	404	967	811	1997	1599	2607	2066
10	3132	2478	2654	2111	2055	1655	1576	1288	891	765	486	445	313	313	313	313	516	469	1098	922	2271	1819	2965	2349
11	3024	2392	2562	2039	1985	1597	1521	1244	861	739	435	399	281	281	281	281	463	420	1061	890	2192	1756	2863	2268
12	2916	2307	2471	1966	1914	1540	1467	1200	829	712	386	353	248	248	248	248	409	372	1023	859	2115	1693	2760	2187
13	2754	2178	2334	1857	1808	1455	1386	1133	783	673	335	307	216	216	216	216	356	323	967	811	1997	1599	2607	2066
14	2646	2093	2242	1784	1737	1398	1331	1089	753	646	243	222	157	157	157	157	258	234	929	779	1918	1537	2505	1985
15	2592	2050	2197	1747	1701	1369	1304	1066	738	633	210	192	135	135	135	135	222	202	909	764	1879	1506	2454	1944
16	2538	2008	2150	1711	1665	1340	1277	1044	723	620	201	184	130	130	130	130	214	194	890	747	1840	1474	2403	1904
17	2484	1965	2105	1675	1630	1312	1250	1022	706	607	210	192	135	135	135	135	222	202	872	731	1801	1443	2351	1863
18	2430	1922	2058	1638	1595	1283	1223	999	691	593	252	230	162	162	162	162	267	242	852	716	1761	1412	2300	1823
19	2430	1922	2058	1638	1595	1283	1223	999	691	593	234	215	151	151	151	151	249	226	852	716	1761	1412	2300	1823
20	2452	1939	2077	1652	1609	1295	1233	1009	698	598	234	215	151	151	151	151	249	226	860	721	1778	1423	2321	1839
21	2408	1905	2040	1623	1581	1272	1212	990	685	589	176	161	113	113	113	113	187	170	845	710	1746	1399	2280	1807
22	2268	1794	1921	1529	1488	1198	1140	933	645	554	167	153	108	108	108	108	178	162	796	667	1645	1318	2147	1701
23	1998	1580	1693	1347	1311	1055	1005	822	568	488	185	168	119	119	119	119	195	178	701	589	1448	1160	1891	1499
24	1836	1453	1555	1238	1205	970	923	755	523	448	201	184	130	130	130	130	214	194	644	541	1332	1066	1738	1377