

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών :

Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων

Ειδίκευση : **Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και**

Προστασίας Περιβάλλοντος

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



Σχολή Χημικών Μηχανικών

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης
και Τεχνολογίας

Θέμα Διπλωματικής Εργασίας **Αψερίδα Ιωάννη** :

**Ολοκληρωμένος Ενεργειακός Σχεδιασμός Ξενοδοχείων με τη
χρήση Μαθηματικού Προγραμματισμού**



Επιβλέπων Καθηγητής: Μαυρωτάς Γεώργιος, Επ. Καθ. Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2008-2009.

Νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Καθηγήτρια της Σχολής κ. Δανάη Διακουλάκη για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, την καθοδήγηση της και την άριστη συνεργασία που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της εργασίας μου είχα την τιμή να βρεθώ υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή της Σχολής και παράλληλα θρύλου του ελληνικού αθλητισμού Γιώργου Μαυρωτά. Η πολύτιμη βοήθεια του προκειμένου να προσαρμοστώ στις απαιτήσεις της εργασίας, η υποστήριξη που μου προσέφερε μαζί με την άριστη συνεργασία που δημιουργήσαμε αποτέλεσαν σημαντικούς παράγοντες για την πραγματοποίηση και ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Επομένως, δεν θα μπορούσα να μην τον ευχαριστήσω, κάνοντας του ξεχωριστή μνεία για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπόλοιπους καθηγητές μου για το φιλικό και άριστο κλίμα συνεργασίας που διατηρήσαμε στα δύο χρόνια συμμετοχής μας στο μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών. Παράλληλα, εύχομαι στους συμφοιτητές μου, την πετυχημένη ολοκλήρωση της διπλωματικής τους εργασίας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και στη συνέχεια καλή σταδιοδρομία.

Ολοκληρώνοντας τον πρόλογο μου, θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτερες ευχαριστίες προς τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράσταση, τη συνεχή εμπύχωση και συγκινητική αφοσίωση τους προς το πρόσωπο μου κατά τη διάρκεια όλου του κύκλου σπουδών μου. Ιδιαίτερη μνεία θα ήθελα να κάνω προς την αδερφή μου, Μαριλένα, η οποία σε όλα αυτά τα χρόνια με συμβουλεύει μεταδίδοντας μου τις γνώσεις και την εμπειρία της στον τομέα των επιστημών.

Με εκτίμηση
Αψερίδης Γιάννης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ο Ενεργειακός Σχεδιασμός Ελληνικών Ξενοδοχειακών Μονάδων υπό το φως των νέων ενεργειακών τεχνολογιών. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η πιθανή εγκατάσταση συστήματος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας καθώς και Μονάδων Απορρόφησης και Συμπίεσης για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων. Η ζήτηση σε ότι αφορά τα τρία φορτία (ηλεκτρικό, θερμικό, ψυκτικό) εκτιμάται με τη μορφή 24ώρων προφίλ μιας τυπικής ημέρας κάθε μήνα, δηλαδή, το ετήσιο φορτίο προσεγγίζεται με πολύ καλή ακρίβεια από πίνακα 12×24 ωριαίων τιμών, οι οποίες θεωρείται ότι επαναλαμβάνονται στις υπόλοιπες ημέρες ενός μήνα.

Αφού κατασκευαστεί η Υπερδομή του συστήματος, αναπτύσσεται ένα Μοντέλο Μικτού Ακέραιου Μαθηματικού Προγραμματισμού (σε περιβάλλον Γενικού Αλγεβρικού Συστήματος Μοντέλου - GAMS) για το βέλτιστο σχεδιασμό του, το οποίο πραγματοποιεί Δομική, Διαστατική και Λειτουργική αριστοποίηση, στα πρότυπα του σχεδιασμού διεργασιών. Μεταβλητές απόφασης του προβλήματος είναι η εγκατάσταση ή όχι των συγκεκριμένων τεχνολογιών, οι βέλτιστες διαστάσεις τους και ο τρόπος λειτουργίας του σε κάθε χρονική στιγμή με χρονοδιάγραμμα ενός έτους. Το πλεονέκτημα της μοντελοποίησης του προβλήματος με Μαθηματικό Προγραμματισμό είναι ότι μπορεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη αντιμετώπιση, συνδυάζοντας πρακτικά άπειρους δυνατούς συνδυασμούς εναλλακτικών λύσεων και επιλέγοντας τελικά τη βέλτιστη.

Τα τελικά αποτελέσματα που λαμβάνονται, σχετίζονται με το Ετήσιο Κόστος Επένδυσης και Λειτουργίας των μονάδων Τριπαραγωγής καθώς και με την Ετήσια Εκπομπή Διοξειδίου του Άνθρακα προς την ατμόσφαιρα. Παρόμοια αποτελέσματα λαμβάνονται και στην περίπτωση της Συμβατικής (υπάρχουσας) κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των ξενοδοχείων (δηλαδή, της εξ' ολοκλήρου προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ, και θέρμανσης μόνο από τον υπάρχων λέβητα). Ύστερα από τη σύγκριση των δύο τρόπων κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των ξενοδοχείων καθίσταται δυνατή η αποτίμηση και η αξιολόγηση των προς εγκατάσταση μονάδων Τριπαραγωγής :

Έτσι, από τα συγκριτικά αποτελέσματα εξάγεται πως η **Ετήσια Εξοικονόμηση Κόστους μπορεί να φτάσει το 8%** (χωρίς να ληφθεί υπόψη ενδεχόμενη επιδότηση), ενώ ακόμα ενθαρρυντικότερη είναι η **Ετήσια Μείωση της Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα, η οποία μπορεί να φτάσει έως το 45%** σε σχέση με τη συμβατική λύση.

РАНЕЕЗНАМО ПЕРПАА

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	12
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΤΡΙΤΟΓΕΝΟΥΣ ΤΟΜΕΑ.....	13
1.1.1 Μεθοδολογία Επίλυσης.....	14
1.1.2 Απαιτούμενα Δεδομένα για την Επίλυση.....	15
1.1.3 Αποτελέσματα της Επίλυσης.....	15
1.2 ΧΡΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	16
1.3 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ GAMS.....	17
1.4 ΔΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	18
2 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	19
2.1 ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	19
2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	20
2.3 ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	22
2.3.1 Σύστημα Ηλεκτρισμού της Χώρας.....	22
2.3.2 Βιομηχανικός Τομέας.....	23
2.3.3 Εμπορικός – Κτιριακός Τομέας (τριτογενής τομέας).....	25
2.3.4 Αγροτικός Τομέας.....	26
2.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	27
2.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	29
2.5.1 Συστήματα Ατμοστρόβιλου.....	31
2.5.1.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης.....	32
2.5.1.2 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης.....	33
2.5.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης.....	34
2.5.2 Συστήματα Αεριοστρόβιλου.....	35
2.5.2.1 Συστήματα αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου.....	35
2.5.2.2 Συστήματα αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου.....	37
2.5.3 Συστήματα με Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης.....	38
2.5.4 Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου.....	41
2.5.5 Συστήματα Κύκλου Βάσης Rankine με Οργανικά Ρευστά.....	43
2.5.6 Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαραγωγής ('Πακέτα').....	43
2.5.7 Κυψέλες Καυσίμου.....	45
2.5.8 Μηχανές Stirling.....	46
2.6 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	48
2.7 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	51
2.8 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	52
2.9 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	55
2.10 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	58
2.10.1 Ψύκτες Απορρόφησης.....	58
2.10.2 Ψύξη με Συμπίεση.....	62
3 ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	63
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ.....	63
3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΟΝ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ.....	64
3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	66
3.4 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	71

3.5	ΑΚΕΡΑΙΟΣ ΚΑΙ ΜΙΚΤΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	74
3.6	‘0 / 1’ ΑΚΕΡΑΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	76
3.7	ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	77
3.7.1	Εισαγωγή	77
3.7.2	Χαρακτηριστικά προβλημάτων.....	78
3.7.3	Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος.....	81
3.7.4	Βασικές έννοιες – ορισμοί	82
3.7.4.1	Ικανή λύση	82
3.7.4.2	Τελική ή σχετικά βέλτιστη λύση	83
3.7.4.3	Ικανή ακραία λύση.....	83
3.7.4.4	Διάλυση τιμών των κριτηρίων	84
3.7.4.5	Ιδεώδης λύση.....	84
3.7.4.6	Εναλλακτικές άριστες λύσεις.....	85
3.7.4.7	Πίνακας Πληρωμών ή Κερδών.....	85
3.7.4.8	Συναινετική λύση.....	86
3.7.5	Λεξικογραφική αριστοποίηση.....	88
3.7.6	Μέθοδος Ολικού Κριτηρίου.....	89
3.7.7	Σταθμισμένο άθροισμα αντικειμενικών συναρτήσεων.....	91
3.7.8	Πρόβλημα <i>min-max</i>	91
3.7.9	Μέθοδος των Περιορισμών.....	92
4	ΜΕΘΟΛΟΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	95
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	95
4.2	ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΙΚΤΟΥ ΑΚΕΡΑΙΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	96
4.3	ΥΠΕΡΔΟΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	97
4.3.1	Ισοζύγιο Εισροών.....	98
4.3.1.1	Προμήθεια και χρήσεις Φυσικού Αερίου	98
4.3.1.2	Αγορά Ηλεκτρισμού από το Δίκτυο	98
4.3.2	Ισοζύγιο ενδιάμεσων Ροών υποψήφιων μονάδων Τριπαραγωγής.....	99
4.3.2.1	Μονάδα Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας	99
4.3.2.2	Λέβητας Φυσικού Αερίου για Θερμότητα	100
4.3.2.3	Μονάδα Απορρόφησης για Ψύξη.....	100
4.3.2.4	Μονάδα Συμπίεσης για Ψύξη.....	100
4.3.3	Ισοζύγιο Εκροών	101
4.3.3.1	Ζήτηση Θερμότητας.....	101
4.3.3.2	Ζήτηση Ψύξης	101
4.3.3.3	Πωλήσεις Ηλεκτρισμού προς το Δίκτυο	101
4.3.3.4	Ζήτηση Ηλεκτρισμού	101
4.4	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	102
4.5	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	104
4.5.1	Μεταβλητή Απόφασης	104
4.5.2	Διαδικές Μεταβλητές	105
4.5.3	Τεχνικά και Οικονομικά Δεδομένα μονάδων Συμπαγωγής.....	106
4.5.4	Ετησιοποιημένο Κόστος Επένδυσης μονάδων Συμπαγωγής.....	107
4.5.5	Επιπρόσθετοι περιορισμοί λειτουργίας μονάδας συμπαγωγής	109
4.6	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΨΥΞΗ	111
4.6.1	Επιπρόσθετοι περιορισμοί λειτουργίας μονάδων ψύξης	113
4.7	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ Β2 ΤΗΣ ΔΕΗ	115
4.8	ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	117
4.9	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	119
4.10	ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	121
5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	123
5.1.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1	124
5.1.1	Δεδομένα Ενεργειακών Απαιτήσεων Ξενοδοχείου 1	124
5.1.2	Επεξεργασία Ενεργειακών Δεδομένων Ξενοδοχείου 1	127
5.1.3	Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Ξενοδοχείου 1 με χρήση GAMS	131
5.2.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2	135
5.2.1	Δεδομένα Ενεργειακών Απαιτήσεων Ξενοδοχείου 2	135

5.2.2	Επεξεργασία Ενεργειακών Δεδομένων Ξενοδοχείου 2	138
5.2.3	Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Ξενοδοχείου 2 με χρήση GAMS	141
5.3.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 3	145
5.3.1	Δεδομένα Ενεργειακών Απαιτήσεων Ξενοδοχείου 3	145
5.3.2	Επεξεργασία Ενεργειακών Δεδομένων Ξενοδοχείου 3	148
5.3.3	Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Ξενοδοχείου 3 με χρήση GAMS	151
5.4.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4	153
5.4.1	Δεδομένα Ενεργειακών Απαιτήσεων Ξενοδοχείου 4	153
5.4.2	Επεξεργασία Ενεργειακών Δεδομένων Ξενοδοχείου 4	156
5.4.3	Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Ξενοδοχείου 4 με χρήση GAMS	159
5.5.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	163
5.5.1	Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 1.....	163
5.5.2	Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 2.....	164
5.5.3	Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 3.....	166
5.5.4	Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 4.....	167
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	169
6.1.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	169
6.2.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	170
6.3.	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ GAMS	171
6.4.	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΤΩΝ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΩΝ	172
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	175
7.1.	ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	175
7.2.	ΓΙΑ ΤΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ	176
7.3.	ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	176
7.4.	ΓΙΑ ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ GAMS	177
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΚΩΔΙΚΑΣ GAMS	179
8.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS	179
8.2.	ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ GAMS	181
8.3.	ΣΥΝΟΛΑ	183
8.4.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	185
8.4.1	Πίνακες	185
8.4.2	Πίνακες Στοιχείου	186
8.4.3	Παράμετροι.....	188
8.5.	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	189
8.6.	ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ	192
8.6.1	Εκφράσεις με δείκτες	193
8.7.	ΔΗΛΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	199
8.7.1	Χαρακτηριστικά Μοντέλου	199
8.7.2	Ταξινόμηση των μοντέλων.....	201
8.8.	ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	202
8.9.	ΔΗΛΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΑΡΧΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ	203
8.10.	ΔΗΛΩΣΗ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΣΕ ΒΡΟΧΟΥΣ	205
8.11.	ΔΗΛΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	207
8.12.	ΈΞΟΔΟΣ ΣΤΟ GAMS	210
8.12.1	Αποτύπωση του προγράμματος.....	210
8.12.2	Αναφορά σφαλμάτων	210
8.12.3	Χάρτης αναφοράς συμβόλων	211
8.12.4	Λίστα Εξισώσεων	212
8.12.5	Λίστα Μεταβλητών	213
8.12.6	Στατιστικά Μοντέλου	214
8.12.7	Περίληψη Επίλυσης	214

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1 ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΗΘ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΝΑ ΚΛΑΔΟ ΤΟ 2006.....	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΤΟ 1999.....	24
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟΥΣ	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-5 ΣΥΜΒΟΛΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ.....	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 ΑΠΟΤΕΜΝΟΥΣΑ, ΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΑΙC ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	108
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΟΝΑΔΩΝ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΕΣ	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4 ΑΠΟΤΕΜΝΟΥΣΑ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΑΙC ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΨΥΞΗΣ.....	112
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5 ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΩΝ	123
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1.....	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΥΠΙΚΗΣ ΩΡΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1 (ΜΕΡΟΣ 1).....	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΥΠΙΚΗΣ ΩΡΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1 (ΜΕΡΟΣ 2).....	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1 (kW).....	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-6 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1 (kW).....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-7 ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1 (kW)	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-9 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΗΘ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1.....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-10 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1.	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-11 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΠΟΥ ΑΓΟΡΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1.....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-12 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΠΟΥ ΑΓΟΡΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-13 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-14 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-15 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2.....	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-16 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΥΠΙΚΗΣ ΩΡΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2 (ΜΕΡΟΣ 1)	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-17 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΥΠΙΚΗΣ ΩΡΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2 (ΜΕΡΟΣ 2)	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-18 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2 (kW).....	138
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-19 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2 (kW).....	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-20 ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2 (kW).....	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-21 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2.....	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-22 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΗΘ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2.....	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-23 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-24 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΠΟΥ ΑΓΟΡΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2.....	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-25 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΠΟΥ ΑΓΟΡΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-26 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-27 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12x24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-28 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3.....	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-29 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΥΠΙΚΗΣ ΩΡΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3 (ΜΕΡΟΣ 1)	146
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-30 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΥΠΙΚΗΣ ΩΡΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3 (ΜΕΡΟΣ 2)	147

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-31 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3 (kW).....	148
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-32 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3 (kW).....	149
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-33 ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3 (kW).....	150
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-34 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3.....	151
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-35 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12Χ24) ΠΟΥ ΑΓΟΡΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 3	152
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-36 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12Χ24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 3.....	152
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-37 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4.....	153
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-38 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΥΠΙΚΗΣ ΩΡΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4 (ΜΕΡΟΣ 1).....	154
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-39 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΥΠΙΚΗΣ ΩΡΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4 (ΜΕΡΟΣ 2).....	155
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-40 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4 (kW).....	156
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-41 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4 (kW).....	157
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-42 ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4 (kW).....	158
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-43 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4.....	159
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-44 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12Χ24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΗΘ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4.....	160
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-45 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12Χ24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4.....	160
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-46 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12Χ24) ΠΟΥ ΑΓΟΡΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4	161
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-47 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12Χ24) ΠΟΥ ΑΓΟΡΑΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4.....	161
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-48 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12Χ24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4.....	162
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-49 ΠΡΟΦΙΛ ΦΟΡΤΙΟΥ (12Χ24) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4.....	162
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-50 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1.....	163
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-51 ΣΑΡΩΣΗ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1.....	163
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-52 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2.....	164
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-53 ΣΑΡΩΣΗ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2.....	165
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-54 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3.....	166
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-55 ΣΑΡΩΣΗ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 3.....	166
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-56 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4.....	167
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-57 ΣΑΡΩΣΗ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4.....	168
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΣΤΑ ΤΕΣΣΕΡΑ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ.....	172
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-1 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GAMS.....	181
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΩΝ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	184
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	185
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ - ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	187
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-5 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	188
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-6 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	191
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-7 ΔΗΛΩΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	195
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-8 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	197
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-9 ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	200
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-10 ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΛΥΟΝΤΑΙ ΜΕΣΩ ΤΟΥ GAMS.....	201
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-11 ΔΗΛΩΣΗΣ ΕΠΙΛΥΣΕΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	202
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-12 ΔΗΛΩΣΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΑΡΧΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	204
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-13 ΔΗΛΩΣΗ ΒΡΟΓΧΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΑΡΧΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	206
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-14 ΔΗΛΩΣΕΙΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	207
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-15 ΔΗΛΩΣΕΙΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΕΙΟΥ ΕΞΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS.....	209
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-16 ΤΥΠΟΙ ΣΥΜΒΟΛΩΝ, ΠΟΥ ΕΙΣΑΓΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΧΑΡΤΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.....	211
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-17 ΕΙΔΟΣ ΔΗΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΣΥΜΒΟΛΟΥ ΣΤΟ ΧΑΡΤΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.....	212

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 2-1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕ ΧΩΡΙΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. (ΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΠΑΡΙΣΤΑΝΟΥΝ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ).....	21
ΣΧΗΜΑ 2-2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕ ΧΩΡΙΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	21
ΣΧΗΜΑ 2-3 ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΣΗΘ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΈΝΩΣΗ.....	28
ΣΧΗΜΑ 2-4 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ «ΚΟΡΥΦΗΣ» ΚΑΙ «ΒΑΣΗΣ».....	30
ΣΧΗΜΑ 2-5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ.....	32
ΣΧΗΜΑ 2-6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ.....	33
ΣΧΗΜΑ 2-7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΥΚΛΟ ΒΑΣΗΣ ΑΤΜΟΥ.....	34
ΣΧΗΜΑ 2-8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ.....	36
ΣΧΗΜΑ 2-9 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ.....	37
ΣΧΗΜΑ 2-10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	40
ΣΧΗΜΑ 2-11 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ.....	42
ΣΧΗΜΑ 2-12 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	44
ΣΧΗΜΑ 2-13 ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	46
ΣΧΗΜΑ 2-14 ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ STIRLING.....	47
ΣΧΗΜΑ 2-15 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΙΜΩΝ ΛΟΓΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ (PHR) ΚΑΙ ΛΟΓΟΥ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FESR) ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	50
ΣΧΗΜΑ 2-16 ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	56
ΣΧΗΜΑ 2-17 Η ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	58
ΣΧΗΜΑ 2-18 ΨΥΚΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΜΟΝΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ.....	59
ΣΧΗΜΑ 2-19 ΨΥΚΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ.....	61
ΣΧΗΜΑ 3-1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	67
ΣΧΗΜΑ 3-2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	73
ΣΧΗΜΑ 3-3 ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	80
ΣΧΗΜΑ 3-4 ΧΩΡΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΙΔΕΩΔΗΣ ΛΥΣΗ.....	84
ΣΧΗΜΑ 4-1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	96
ΣΧΗΜΑ 4-2 Η ΥΠΕΡΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΩΝ.....	97
ΣΧΗΜΑ 4-3 ΩΡΙΑΙΟ ΠΡΟΦΙΛ ΓΙΑ ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΓΙΑ ΜΙΑ ΤΥΠΙΚΗ ΗΜΕΡΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ.....	103
ΣΧΗΜΑ 4-4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΕΤΗΣΙΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΕ ΤΜΗΜΑΤΙΚΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	107
ΣΧΗΜΑ 4-5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΕΤΗΣΙΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΨΥΞΗΣ.....	112
ΣΧΗΜΑ 5-1 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1.....	124
ΣΧΗΜΑ 5-2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1.....	128
ΣΧΗΜΑ 5-3 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1.....	129
ΣΧΗΜΑ 5-4 ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 1.....	130
ΣΧΗΜΑ 5-5 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2.....	135
ΣΧΗΜΑ 5-6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2.....	138
ΣΧΗΜΑ 5-7 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2.....	139
ΣΧΗΜΑ 5-8 ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 2.....	140
ΣΧΗΜΑ 5-9 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3.....	145
ΣΧΗΜΑ 5-10 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3.....	148
ΣΧΗΜΑ 5-11 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3.....	149
ΣΧΗΜΑ 5-12 ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 3.....	150
ΣΧΗΜΑ 5-13 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4.....	153
ΣΧΗΜΑ 5-14 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4.....	156
ΣΧΗΜΑ 5-15 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4.....	157
ΣΧΗΜΑ 5-16 ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ 4.....	158
ΣΧΗΜΑ 5-17 ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 1.....	164
ΣΧΗΜΑ 5-18 ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 2.....	165
ΣΧΗΜΑ 5-19 ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 3.....	167
ΣΧΗΜΑ 5-20 ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ 4.....	168

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βέλτιστος Ενεργειακός Σχεδιασμός σε Κτίρια Τριτογενούς Τομέα

Τα τελευταία χρόνια, η Απελευθέρωση της Αγοράς Ενέργειας και οι Νέες Ενεργειακές Τεχνολογίες έδωσαν νέες δυνατότητες σε μονάδες του Τριτογενούς Τομέα, ώστε να επανασχεδιαστεί και να βρεθεί ο Βέλτιστος Τρόπος Κάλυψης των Ενεργειακών Αναγκών των μονάδων του συγκεκριμένου τομέα.

Με τον όρο 'Ενεργειακές Ανάγκες' εννοούνται συνήθως τα Θερμικά, Ψυκτικά και Ηλεκτρικά φορτία. Η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να γίνει με ένα εύρος εναλλακτικών ενεργειακών τεχνολογιών από τις οποίες επιλέγεται ο κατάλληλος συνδυασμός.

Επίσης, εκτός από τον Τύπο των μονάδων, πρέπει να καθοριστεί και η Δυναμικότητα τους. Όταν υπάρχουν και μέτρα διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης ή εξοικονόμησης ενέργειας, συμπεριλαμβάνονται και αυτά στην ανάλυση για να βρεθούν τα πιο συμφέροντα.

Τελικά το πρόβλημα του Ενεργειακού Σχεδιασμού ανάγεται στον καθορισμό του τύπου και των διαστάσεων των μονάδων των προτεινόμενων ενεργειακών τεχνολογιών καθώς και των προτεινόμενων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας έτσι ώστε να Ελαχιστοποιείται το Συνολικό Κόστος Κάλυψης των Ενεργειακών Αναγκών ή πιο γενικά να Βελτιστοποιείται ένα ή περισσότερα από τα Κριτήρια Απόφασης.

Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί μια τέτοια περίπτωση με βασικό εργαλείο το Μαθηματικό Προγραμματισμό. Συγκεκριμένα σκοπός της μελέτης είναι:

‘Ενεργειακός Ανασχεδιασμός Ελληνικών Ξενοδοχείων με τη χρήση του Μαθηματικού Προγραμματισμού, υπό το πρίσμα κάποιων νέων ενεργειακών τεχνολογιών, όπως η Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας και η Ψύξη με Απορρόφηση για Κλιματισμό.

Ο Σχεδιασμός γίνεται με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου GAMS, το οποίο αποτελεί γλώσσα Μαθηματικού Προγραμματισμού’.

1.1.1 Μεθοδολογία Επίλυσης

Ο Ενεργειακός Σχεδιασμός μοντελοποιείται ως ένα πρόβλημα ‘Δομικής, Διαστατικής και Λειτουργικής Αριστοποίησης’ και το βασικότερο εργαλείο για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων είναι ο ‘Μαθηματικός Προγραμματισμός’, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία 30 χρόνια για τον ενεργειακό σχεδιασμό σε επίπεδο χωρών ή περιφερειών. Το βασικό πρόβλημα στο οποίο απαντά, είναι η εύρεση του Ελάχιστου Κόστους, με το οποίο μπορούν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες του κάθε συστήματος. Τα βασικότερα μέρη για την μοντελοποίηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού είναι τα ακόλουθα:

- Καταρχήν, δημιουργείται η ‘Υπερδομή του Συστήματος’, όπου όλες οι τεχνολογίες ή τα μέτρα διαχείρισης της ζήτησης αποτυπώνονται σε ένα Διάγραμμα Ροής, που ξεκινά από την προσφορά ενέργειας, περιλαμβάνει τις διάφορες μετατροπές και καταλήγει στην κάλυψη της ζήτησης.
- Στο μοντέλο Μαθηματικού Προγραμματισμού, οι ‘Μεταβλητές Απόφασης’ (οι άγνωστοι του προβλήματος) είναι οι διάφορες ενεργειακές ροές, οι διαστάσεις των μονάδων που θα εγκατασταθούν, ο τύπος τους κ.ά.
- Οι ‘Παράμετροι’ (γνωστοί όροι - δεδομένα) είναι τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά, τα στοιχεία κόστους, η ενεργειακή ζήτηση, κάποια άνω και κάτω όρια στις διαστάσεις κλπ.
- Οι ‘Εξισώσεις’ ή καλύτερα οι ‘Περιορισμοί’ του Μοντέλου είναι τα διάφορα ισοζύγια ενέργειας, περιορισμοί δυναμικότητας, κάλυψης της ζήτησης κλπ.
- Τέλος, ‘Αντικειμενική Συνάρτηση’ του μοντέλου είναι η Ελαχιστοποίηση του Συνολικού Κόστους Κάλυψης των Ενεργειακών Αναγκών καθώς και επιπλέον κριτήρια βελτιστοποίησης (πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση), όπως η ‘Μείωση της Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα’ (CO₂).

1.1.2 Απαιτούμενα Δεδομένα για την Επίλυση

Τα βασικά δεδομένα, που απαιτούνται για την κατασκευή του μοντέλου Μαθηματικού Προγραμματισμού είναι:

- ✓ ‘Στοιχεία Κόστους’, που αφορούν τόσο στο κόστος των υποψηφίων μονάδων - τεχνολογιών (κόστος επένδυσης και λειτουργίας), όσο και στα κόστη των καυσίμων ή τις τιμές πώλησης πλεονάζουσας ενέργειας.
- ✓ ‘Τεχνολογικά Στοιχεία’ (π.χ. απόδοση μονάδων, τεχνολογικά ελάχιστα λειτουργίας, άνω και κάτω όρια δυναμικότητας).
- ✓ ‘Εκπομπή Ρύπων Διοξειδίων του Άνθρακα’ (συντελεστές εκπομπής ρύπων μέσω κατανάλωσης φυσικού αερίου, θέρμανσης μέσω υπάρχοντος λέβητα, ηλεκτρισμού μέσω του δικτύου).
- ✓ ‘Ενεργειακή Ζήτηση’. Ο τρόπος έκφρασης της ενεργειακής ζήτησης είναι πολύ καθοριστικός για την κατασκευή του μοντέλου. Συνήθως χρησιμοποιούνται τα 24ωρα προφίλ (ζήτηση σε kW ανά ώρα) για μια τυπική ημέρα κάθε μήνα και για τα τρία φορτία (θερμικό, ηλεκτρικό, ψυκτικό). Υπάρχει, επίσης, η δυνατότητα συμπίεσης των δεδομένων της ζήτησης έτσι ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού που προκύπτει. Συγκεκριμένα, η συμπίεση μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: ομαδοποιούνται οι μήνες σε εποχές του χρόνου και επίσης οι ώρες τις ημέρας σε χρονικά διαστήματα.

1.1.3 Αποτελέσματα της Επίλυσης

Τα αποτελέσματα της επίλυσης του μοντέλου είναι η ‘Βέλτιστη Δομή του Συστήματος’, δηλαδή ποιες τεχνολογίες και ποιες μονάδες θα επιλεγούν, ποιες θα είναι οι βέλτιστες διαστάσεις των επιλεχθέντων μονάδων, ο συντελεστής φόρτισης τους σε κάθε χρονική στιγμή μέσα στο έτος και βέβαια το συνολικό ετήσιο κόστος του συστήματος το οποίο έχει ελαχιστοποιηθεί (ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης και ετήσιο κόστος λειτουργίας). Παράλληλα, υπολογίζεται και η ‘Ρύπανση του Περιβάλλοντος μέσω της ποσότητας Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα’ λόγω της κατανάλωσης καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συστήματος.

1.2 Χρήση Μαθηματικού Προγραμματισμού

Οι βασικές καινοτομίες της προσέγγισης της ενεργειακής εξοικονόμησης μέσω του Μαθηματικού Προγραμματισμού είναι ο τρόπος, με τον οποίο μοντελοποιούνται οι εναλλακτικές ενεργειακές τεχνολογίες (με τμηματικά γραμμικές συναρτήσεις) καθώς και η δυνατότητα πιστής απεικόνισης του κόστους ηλεκτρισμού με την ακριβή μοντελοποίηση του τιμολογίου της ΔΕΗ με τις διάφορες παραλλαγές του.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση της παρούσης μελέτης, το πρόβλημα ανάγεται σε πρόβλημα Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού και το αποτέλεσμα της επίλυσής του, παρέχει πληροφορίες για τη Δομική (ποιες νέες μονάδες πρέπει να κατασκευασθούν), τη Διαστατική (τι διαστάσεις θα έχουν) και τη Λειτουργική (πότε θα λειτουργεί και πόσο θα παράγει η κάθε συσκευή) βελτιστοποίηση του ενεργειακού συστήματος.

Εκτός από τη βέλτιστη λύση, η προσέγγιση του Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορεί να επεκταθεί θεωρώντας περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις (Πολυκριτηριακός Μαθηματικός Προγραμματισμός) με επιπλέον κριτήρια βελτιστοποίησης (πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση), όπως η 'Μείωση των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα' (CO_2).

Επίσης, κατάλληλα μοντέλα Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιμετωπισθεί η αβεβαιότητα ως προς συγκεκριμένες παραμέτρους (π.χ. κόστος, ενεργειακή ζήτηση) προσφέροντας μια εκτεταμένη ανάλυση ευαισθησίας της βέλτιστης λύσης.

1.3 Χρήση του εργαλείου GAMS

Για την ανάπτυξη του μοντέλου Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού για τη μελέτη περιπτώσεων της παρούσης εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό περιβάλλον του Γενικού Αλγεβρικού Συστήματος Μοντέλου (General Algebraic Modeling System – G.A.M.S.).

Αυτή η γλώσσα προγραμματισμού, είναι ιδιαίτερος χρήσιμη όχι μόνο για απλά, αλλά και για πολυσύνθετα και διαφορετικού τύπου προβλήματα, γραμμικά ή μη. Χρησιμοποιείται κατά κόρον για τεχνοοικονομικά ζητήματα, αν και οι δυνατότητες του δεν περιορίζονται μόνο εκεί. Μπορεί να αναλύσει προβλήματα βελτιστοποίησης, όπως μελέτες για την εκπομπή ρύπων, παραγωγής και ζήτησης και γενικότερα όλα τα ενεργειακά θέματα.

Ο κώδικας του GAMS αποτελείται από οντότητες, οι οποίες δηλώνονται στο αρχείο εισόδου με τη μορφή Συνόλων, Δεδομένων (Παραμέτρων, Πινάκων και Στοιχείων), Μεταβλητών, Εξισώσεων και Περιορισμών και τέλος με τις Αντικειμενικές Συναρτήσεις, που απαρτίζουν το μοντέλο ανάπτυξης. Οι οντότητες αυτές δηλώνονται ονομαστικά, αριθμητικά και υπολογιστικά με συγκεκριμένους συμβολισμούς, κοινούς για όλους τους χρήστες, ώστε να επιτυγχάνεται μεθοδική ανάπτυξη και σωστή οργάνωση του μοντέλου. Εν τέλει, τα επιθυμητά αποτελέσματα παρατίθενται σε ένα νέο αρχείο εξόδου, το οποίο δηλώνεται από το χρήστη.

1.4 Δομή Παρούσης Διπλωματικής Εργασίας

Η δομή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε θεματικές ενότητες στα επόμενα κεφάλαια:

- ✓ Στο 2^ο κεφάλαιο, περιγράφονται οι τεχνολογίες της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, της Ψύξης με Απορρόφηση και της Ψύξης με Συμπίεση. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι τομείς εφαρμογής τους, η ιστορική εξέλιξη της ανάπτυξης τους στην Ελλάδα καθώς και τα πλεονεκτήματα που αποφέρουν στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.
- ✓ Στο 3^ο κεφάλαιο, περιγράφεται το μοντέλο του Γραμμικού Προγραμματισμού. Ορίζονται τα βήματα και οι συνθήκες για την ολοκληρωμένη μοντελοποίηση του προβλήματος, ενώ παράλληλα εισάγονται οι έννοιες του Μικτού, Ακέραιου και Πολυκριτηριακού Μαθηματικού Προγραμματισμού.
- ✓ Στο 4^ο κεφάλαιο, αναλύεται το μεθοδολογικό μέρος με την παρουσίαση της Υπερδομής του συστήματος, των αρχών μοντελοποίησης των τριών νέων μονάδων και του τιμολογίου της ΔΕΗ στα πλαίσια ανάπτυξης του μοντέλου Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού.
- ✓ Στο 5^ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι μελέτες περίπτωσης των τεσσάρων ελληνικών ξενοδοχείων. Γίνεται σχηματική απεικόνιση του προφίλ ζήτησης των φορτίων τους και παρατίθενται τα αριθμητικά και συγκριτικά αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας.
- ✓ Στο 6^ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα βασικότερα συμπεράσματα για το όφελος από τη χρήση του μαθηματικού προγραμματισμού και του εργαλείου GAMS για την προώθηση επενδυτικών συστημάτων Τριπαραγωγής στις περιπτώσεις των συγκεκριμένων ξενοδοχειακών μονάδων.
- ✓ Στο 7^ο κεφάλαιο, παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές και οι ηλεκτρονικές πηγές, οι οποίες αποτέλεσαν το θεωρητικό και υπολογιστικό υπόβαθρο για την σύνταξη των θεματικών εννοιών του κάθε κεφαλαίου.
- ✓ Στο 8^ο κεφάλαιο (Παράρτημα), περιγράφεται αναλυτικά το υπολογιστικό εργαλείο του κώδικα GAMS με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού εγχειρίδιου χρήσης του. Επεξηγούνται τα σύμβολα, που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε βήμα ανάπτυξης του μοντέλου της παρούσης μελέτης με τρόπο απλό και κατανοητό.

2 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

2.1 Ορθολογική Χρήση της Ενέργειας

Η «*Ορθολογική Χρήση της Ενέργειας*» αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την διατήρηση της ποιότητας του περιβάλλοντος και την ενίσχυση της οικονομίας μιας χώρας, αφού είναι σε θέση να προσφέρει μια εναλλακτική μέθοδο κάλυψης των ενεργειακών αναγκών με το χαμηλότερο κόστος. Αντικειμενικός σκοπός της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας είναι ο περιορισμός της κατανάλωσης, που επιτυγχάνεται κυρίως με την αύξηση της αποδοτικότητας των ενεργειακών χρήσεων (μείωση ενεργειακών απωλειών με παράλληλη ανάκτηση της απορριπτόμενης ενέργειας).

Η λήψη μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να αποδειχθεί κερδοφόρα επένδυση, καθώς επιφέρει αύξηση κερδών μέσω της μείωσης του κόστους παραγωγής, βελτίωση της ανταγωνιστικότητας λόγω των θετικών επιδράσεων στην παραγωγικότητα, αυξημένη ικανότητα στην αντιμετώπιση εξωτερικών πιέσεων (αυστηροί περιβαλλοντικοί όροι), βελτίωση της κοινωνικής αποδοχής κ.α.

Τα τελευταία χρόνια τόσο η βιομηχανία και ο τομέας των υπηρεσιών, όσο και οι τοπικές ή εθνικές κυβερνήσεις δίνουν ιδιαίτερη και ολοένα μεγαλύτερη σημασία στη «*Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας*». Αυτό οφείλεται στο μεγάλο αριθμό επιτυχημένων εφαρμογών συμπαράγωγής σε βιομηχανικές μονάδες έντασης ενέργειας, καθώς και στην αναγνώριση της ως μιας ώριμης, πλέον, τεχνολογίας. Υπάρχουν εκατοντάδες ιδρύματα, νοσοκομεία, κοινοτικά κέντρα και μεγάλα ξενοδοχεία, που έχουν μεγάλη ετήσια ζήτηση ηλεκτρισμού και θερμότητας για θέρμανση, ώστε να δικαιολογείται μια επένδυση συμπαράγωγής. [Ασημακόπουλος κ.α. 2008].

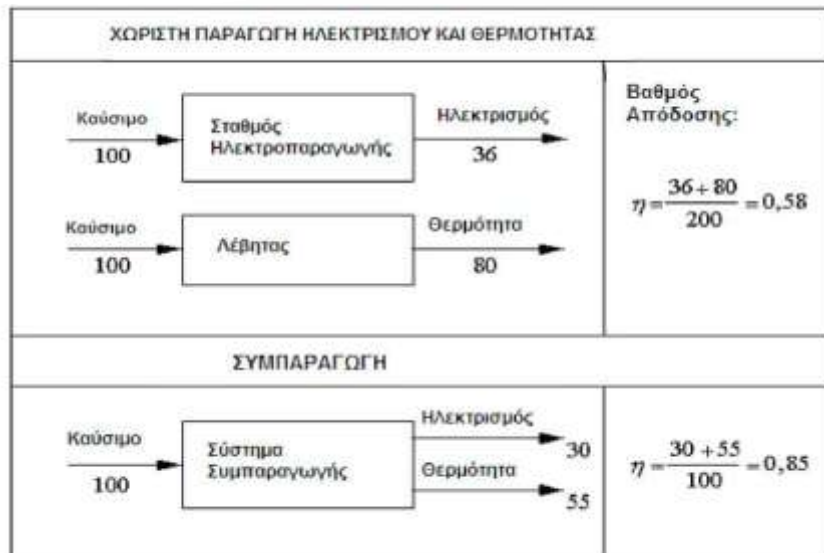
2.2 Εισαγωγή στη Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών ενός καταναλωτή (ή μιας ομάδας καταναλωτών) γίνεται μέσω της αγοράς ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και της καύσης κάποιου καυσίμου (σε λέβητα, κλίβανο κλπ) για την παραγωγή θερμότητας.

Οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί είναι οι σημαντικότερες πηγές για τον εφοδιασμό πολλών χωρών με ηλεκτρισμό. Τα μειονεκτήματά τους, όμως, είναι σημαντικά. Μόνο το 1/3 της αρχικής ενέργειας, που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις αυτές, καθίσταται πραγματικά διαθέσιμο προς χρήση υπό μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η υπόλοιπη μετατρέπεται σε θερμότητα που απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Επιπλέον, οι πιο πολλές εγκαταστάσεις βρίσκονται μακριά από τον καταναλωτή, πράγμα το οποίο οδηγεί σε πρόσθετες απώλειες κατά τη μετάδοση και διανομή της ενέργειας από το δίκτυο.

Μετά από την αξιολόγηση των παραπάνω στοιχείων, η επιστημονική κοινότητα κατέληξε στη διαμόρφωση ενός εναλλακτικού συστήματος λειτουργίας, το οποίο συμβάλλει σημαντικά στη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμων, της *«Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Σ.Η.Θ.) (Combined Heat and Power – C.H.P.)»*, δηλαδή, της *«Συνδυασμένης και ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική ενεργειακή πηγή»*. Εν συνεχεία, η παραγόμενη μηχανική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βοηθητικά μηχανήματα, όπως συμπιεστές και αντλίες. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη ή κλιματισμό (*«Τριπαραγωγή - Trigenation»*), κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με μονάδες απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό.

Κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού, μεγάλα ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωμάτων ατμού, πύργων ψύξης, ψυγείων νερού κινητήρων Diesel, κ.λπ.) είτε μέσω των καυσαερίων (αεριοστροβίλων, κινητήρων Diesel, κινητήρων Otto, κ.λπ.). Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα με τη χρήση συστημάτων συμπαραγωγής, των οποίων ο βαθμός απόδοσης των μπορεί να φθάσει έως 80-85%. Μια τυπική σύγκριση της συμπαραγωγής με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ως προς τον βαθμό απόδοσης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1. [Φραγκόπουλος κ.α. 1994].



Σχήμα 2-1 Σύγκριση βαθμού απόδοσης συμπαραγωγής και με χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. (οι αριθμοί παριστάνουν μονάδες ενέργειας)
[Πηγή : Μπαλάνου κ.α. 2007]

Η υψηλή ενεργειακή απόδοση των συστημάτων συμπαραγωγής έχει ως εύλογο αποτέλεσμα την υψηλή οικονομική τους απόδοση. Αν μάλιστα, χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο, τότε η Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας προκύπτει ως ένας από τους οικονομικότερους και αποδοτικότερους τρόπους μείωσης του ενεργειακού κόστους μιας διεργασίας. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ενεργειακού κόστους έως και 40% (σχήμα 2.2.), ενώ η περίοδος αποπληρωμής τους κυμαίνεται από 3 έως 5 έτη.



Σχήμα 2-2 Σύγκριση ενεργειακού κόστους συμπαραγωγής και με χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

[Πηγή : Παπαδόπουλος 2002]

2.3 Τομείς Εφαρμογής της Συμπαραγωγής στην Ελλάδα

2.3.1 Σύστημα Ηλεκτρισμού της Χώρας

Η Ελλάδα έχει σχετικά μικρή ανάπτυξη της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. Το μεγαλύτερο μέρος της εγκατεστημένης ισχύος βρίσκεται στα διυλιστήρια, σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής και στη βιομηχανία τροφίμων.

Οι πρώτες μονάδες συμπαραγωγής εγκαταστάθηκαν σε μεγάλες βιομηχανίες, στις αρχές της δεκαετίας του '70. Σήμερα, λειτουργούν μονάδες συμπαραγωγής, σε βιομηχανίες ζαχαρής και χάρτου, διυλιστήρια πετρελαίου, κλωστοϋφαντουργίες, κ.λπ. Επίσης, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΔΕΗ έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα, ώστε να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες αστικών περιοχών με τα δίκτυα τηλεθέρμανσης, όπως τα δίκτυα της Κοζάνης, Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και πρόσφατα της Μεγαλόπολης. Ως αποτέλεσμα των μέτρων οικονομικής υποστήριξης της ΣΗΘ έχουν αρχίσει να γίνονται βιώσιμες τέτοιες εγκαταστάσεις και σε μεγάλα κτίρια του τριτογενούς τομέα.

Το σύνολο της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος των μονάδων βιομηχανικής συμπαραγωγής είναι περίπου 232MWe, που αντιστοιχεί στο 1,6% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στη χώρα (Πίνακας 2.1), ενώ η ολική ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες, εκτός από τους σταθμούς της ΔΕΗ που τροφοδοτούν δίκτυα τηλεθέρμανσης της ΔΕΗ, είναι περίπου 800GWh.

Πίνακας 2-1 Εγκατεστημένη Ισχύς ΣΗΘ στην Ελλάδα ανά κλάδο το 2006.

Κατηγορία Δραστηριότητας	Ηλεκτρική Ισχύς		Καθαρή Θερμική Ισχύς (MWth)
	ΣΗΘ (MWe)	Μικτή (MWe)	
Δημόσιοι θερμικοί σταθμοί	37,8	1130	316
Θερμικοί Σταθμοί Αυτοπαραγωγών Διυλιστήρια	5,6	7,1	9,6
	112,6	132,6	159,22
Βιομ. Τροφίμων, ποτών και καπνού	59,7	59,7	254,06
Υφαντουργία, Ενδύματα και Δέρματα	2,1	2,7	3,6
Μη σιδηρούχα μεταλλουργική	10	10	36,67
Βιομηχανία Μη Μεταλλικών Ορυκτών	1,1	1,1	3,68
Νοσοκομεία	0,75	0,75	0,89
Εκπαίδευση	2,72	2,72	3,09
ΣΥΝΟΛΟ	232	1348	787

[Πηγή : ΥΠ.ΑΝ. 2006]

2.3.2 Βιομηχανικός Τομέας

Πολλές βιομηχανικές διεργασίες απαιτούν θερμότητα, παράλληλα με τις ανάγκες για ηλεκτρισμό, για να ολοκληρωθούν. Κατατάσσονται ανάλογα με την απαιτούμενη θερμοκρασία:

- ✓ Διεργασίες **χαμηλών** θερμοκρασιών (<100°C), όπως στη ξήρανση γεωργικών προϊόντων, θέρμανση ή ψύξη χώρων, θερμό νερό χρήσης.
- ✓ Διεργασίες **μέτριων** θερμοκρασιών (100-300°C), όπως στη χαρτοποιία, στην κλωστοϋφαντουργία, στα εργοστάσια ζάχαρης, σε μερικές χημικές βιομηχανίες, κλπ.
- ✓ Διεργασίες **υψηλών** θερμοκρασιών (300-700°C), όπως σε μερικές χημικές βιομηχανίες.
- ✓ Διεργασίες **πολύ υψηλών** θερμοκρασιών (>700°C), όπως σε εργοστάσια τσιμέντου, μεταλλουργικές βιομηχανίες (χαλυβουργία, εργοστάσια παραγωγής αλουμινίου, κ.λπ.), υαλουργία, κ.λπ.

Οι βασικές προϋποθέσεις εγκατάστασης ενός συστήματος συμπαραγωγής σε μια βιομηχανία είναι οι εξής :

- ✓ Οι ανάγκες σε θερμική ενέργεια για τη βιομηχανική παραγωγή, να είναι υψηλές.
- ✓ Οι ανάγκες σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια να είναι σχετικά σταθερές κατά την διάρκεια της ημέρας και του έτους.
- ✓ Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της επεξεργασίας κατά τη βιομηχανική παραγωγή (όπως αέρια, υγρά, ατμός, καυσαέρια), να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να προσδώσουν θερμότητα στο σύστημα.

Οι περισσότερες βιομηχανίες με σημαντικό δυναμικό συμπαραγωγής, έχουν ορισμένες παραγωγικές διεργασίες, οι οποίες παράγουν ή αποβάλλουν θερμότητα σε ικανοποιητική ποσότητα και ποιότητα (θερμοκρασιακή στάθμη). Είναι σκόπιμη η ανάκτηση της θερμότητας αυτής, η οποία προστίθεται έτσι σε εκείνη που παράγεται άμεσα από το σύστημα συμπαραγωγής. Επίσης, ορισμένες χημικές διεργασίες παράγουν καύσιμα αέρια, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν το καύσιμο του συστήματος συμπαραγωγής. [Φούντη κ.α. 2007]

Πίνακας 2-2 Δυναμικό συμπαραγωγής στη βιομηχανία στην Ελλάδα το 1999.

Αα	Βιομηχανία - Τύπος	Τόπος	Τύπος Μηχανής	Ηλεκτρική Ισχύς (MW)		Καύσιμο
1.	ΜΟΤΟR ΟΙΛ Διυλιστήρια	Κόρινθος	Αεριοστρόβιλοι	13+15,5	28,5	Αέριο Διυλιστηρίων
2.	ΕΛ.Δ.Α. Α.Ε. Διυλιστήρια	Ασπρόπυργος	Αεριοστρόβιλοι Ατμοστρόβιλος	2x17 1x16	50,0	Μαζούτ, Ντήζελ και Υγραέριο
3.	ΕΤΜΑ Υφάσματα	Αθήνα	Ατμοστρόβιλοι	2,8+10,3	13,1	Μαζούτ
4.	ΑΑΕΧΠ & ΛΠΗΑΣΜΑΤΑ	Δραπετσώνα	Ατμοστρόβιλοι	7,2+4,2	11,4	Απορριπτόμενη Θερμότητα
5.	Φοσφορικά Διπάσματα	Καβάλα	Ατμοστρόβιλοι	5+7,6+12,4	25,0	Απορριπτόμενη Θερμότητα
6.	Χημικές Βιομηχ. Βορ. Ελλάδος Α.Ε.	Θεσσαλονίκη	Ατμοστρόβιλοι	2x3+4,5	10,5	Απορριπτόμενη Θερμότητα
7.	Ελλ. Βιομ. Ζάχαρης	Λάρισα	Ατμοστρόβιλοι	2x2,5+7	12,0	Μαζούτ
		Πλαταιές		2x2,5+7	12,0	Μαζούτ
		Σέρρες		2x3	6,0	Μαζούτ
		Ξάνθη		2x8	16,0	Μαζούτ
		Ορεστιάδα		2x5	10,0	Μαζούτ
8.	Εταιρία Πετρελαίων Βορείου Αιγαίου	Καβάλα	Συνδ. Κύκλος αεριοστοβίλων - ατμοστροβίλου	2x5,5 1x5,5	16,5	Φυσικό Αέριο
9.	Αλουμίνιο της Ελλάδος	Δίστομο	Ατμοστρόβιλοι	3,5+7,8	11,3	Μαζούτ
10.	Εκκοκκιστήρια Βάμβακα	Δαύλεια	Ατμοστρόβιλος	0,5	0,5	Βιομάζα
Σύνολο					222,8	

[Πηγή : Παπαδόπουλος 2002]

Την τελευταία δεκαετία έχει σημειωθεί μεγαλύτερη εξάπλωση της συμπαραγωγής στη βιομηχανία με βασικά παραδείγματα :

Βιομηχανία Αλουμινίου EXALCO στην Λάρισα 2.72MW, Υφασμάτων ΕΛΦΙΚΟ στη Βοιωτία 1.1MW, Ελληνική Εταιρεία Χάλυβα στον Ασπρόπυργο 11.5MW, Κεραμοποιία ΚΟΘΑΛΗΣ στην Καβάλα 1.13MW, Τροφίμων ΑΜΥΛΟΥΜ στη Θεσσαλονίκη 4.5MW, ΕΥΔΑΠ 11.4MW, ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων, ΧΥΤΑ Βόλου 1.25MW, Χαρτοποιία ΔΙΑΝΑ στη Θράκη 9.9MW κ.α.

2.3.3 Εμπορικός – Κτιριακός Τομέας (τριτογενής τομέας)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας που εγκαθίστανται σε μεγάλα ξενοδοχεία, νοσοκομεία, πανεπιστημιούπολεις, κολυμβητήρια, γυμναστήρια, εμπορικά κέντρα, σχολεία, κτίρια γραφείων, κατοικίες, κτλ. Η συμπαραγωγή καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό και θερμότητα των κτιρίων (θέρμανση ή ψύξη χώρων, θερμό νερό χρήσης, κλίβανοι, κλπ.). Ο τομέας διακρίνεται σε τρεις υποτομείς: Νοσοκομεία - Ξενοδοχεία, Πολυκατοικίες και Κτίρια Γραφείων.

Ο καθένας από αυτούς χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη μορφή της καμπύλης φορτίου. Άλλου είδους κτίρια (π.χ. πανεπιστήμια, καταστήματα, κλπ) έχουν καμπύλες φορτίου, που προκύπτουν με συνδυασμό των τριών υποτομέων. Η συμπαραγωγή εδώ μπορεί να καλύπτει ανάγκες ηλεκτρισμού, θέρμανσης και ψύξης (τριπαραγωγή). Η μελέτη σκοπιμότητας και ο τελικός σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να βασίζονται στην καμπύλη φορτίου του συγκεκριμένου κτιρίου.

Μελέτες σκοπιμότητας έχουν δείξει ότι στα ψυχρά κλίματα, οι μεγάλες χρονικές περίοδοι ζήτησης θερμικής ενέργειας για θέρμανση συμβάλλουν στην βιωσιμότητα των συστημάτων συμπαραγωγής. Στα θερμά κλίματα, η απαίτηση ψυκτικής ισχύος με ταυτόχρονη κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό και θερμότητα, είναι οι παράγοντες που κάνουν ένα σύστημα συμπαραγωγής βιώσιμο.

Η διαθεσιμότητα του φυσικού αερίου και των μονάδων συμπαραγωγής σε μορφή πακέτου, καθώς επίσης και η δυνατότητα παρακολούθησης εξ αποστάσεως της λειτουργίας των συστημάτων έχουν συντελέσει στην προώθηση των εφαρμογών της συμπαραγωγής στον τριτογενή τομέα.

Ο ετεροχρονισμός μεταξύ ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου στις κατοικίες καθώς και η μεταβολή της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διάρκεια του 24-ώρου, καθιστούν απαραίτητη την ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης θερμότητας, προκειμένου να επιτευχθεί οικονομική εκμετάλλευση του συστήματος συμπαραγωγής.

Στην Ελλάδα, οι πρώτες μονάδες συμπαραγωγής στο κτιριακό τομέα εγκαταστάθηκαν στο Ηλιακό Χωριό (Λυκόβρυση Αττικής) και στο Αμερικάνικο Κολλέγιο (Αγία Παρασκευή) στις αρχές της δεκαετίας του '90. Τα τελευταία χρόνια οι αλλαγές στο νομοθετικό πλαίσιο είχαν διαμορφώσει ένα πιο ευνοϊκό κλίμα για περαιτέρω εξαπλώση στον τριτογενή τομέα.

Κάποια παραδείγματα συστημάτων συμπαραγωγής που βρίσκονται σε λειτουργία ή σε στάδιο αδειοδότησης είναι τα ακόλουθα :

1. Ιδρύματα (Εκπαιδευτήρια Δούκα 0.35MW, Ελληνικά Πανεπιστήμια κ.α.),
2. Νοσοκομεία (ΚΑΤ 1.2MW, Γενικό Αθηνών 1.4MW, Ναυτικό Αθηνών 0.5MW, 'Γεννηματάς' 1.3MW, Αττικό 1.65MW, Σισμανόγλειο 1.2MW, Μαιευτήριο Μητέρα 0.5MW, Ευαγγελισμός 1.5MW, Γένεσις Μαιευτική Θεσσαλονίκης 0.73MW κ.α.),
3. Ξενοδοχεία σε διάφορες περιοχές της χώρας (Θεσσαλονίκη, Αθήνα, Κρήτη κα.).

2.3.4 Αγροτικός Τομέας

Αν και δεν είναι πολύ διαδεδομένη η συμπαραγωγή σε αυτόν τον τομέα, η εφαρμογή της ωστόσο μπορεί να εξοικονομήσει καύσιμα και να έχει θετικές οικονομικές επιπτώσεις σε αγροτικές κοινότητες. Υπολείμματα αγροτικών διεργασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο. Πολλά υποσχόμενες εφαρμογές περιλαμβάνουν την παραγωγή αιθανόλης, την ξήρανση γεωργικών προϊόντων και την θέρμανση θερμοκηπίων, οικιών κτλ. Μελέτες που έχουν γίνει από το Κέντρο Ανανέσιμων Πηγών Ενέργειας, έχουν δείξει ότι πολλές εφαρμογές στον ελληνικό αγροτικό τομέα είναι τεχνικά δυνατές και οικονομικά βιώσιμες και το καύσιμο που θα χρησιμοποιείται, θα είναι συνήθως βιομάζα. [Φραγκόπουλος κ.α. 1994]

2.4 Ιστορική Εξέλιξη της Συμπαραγωγής

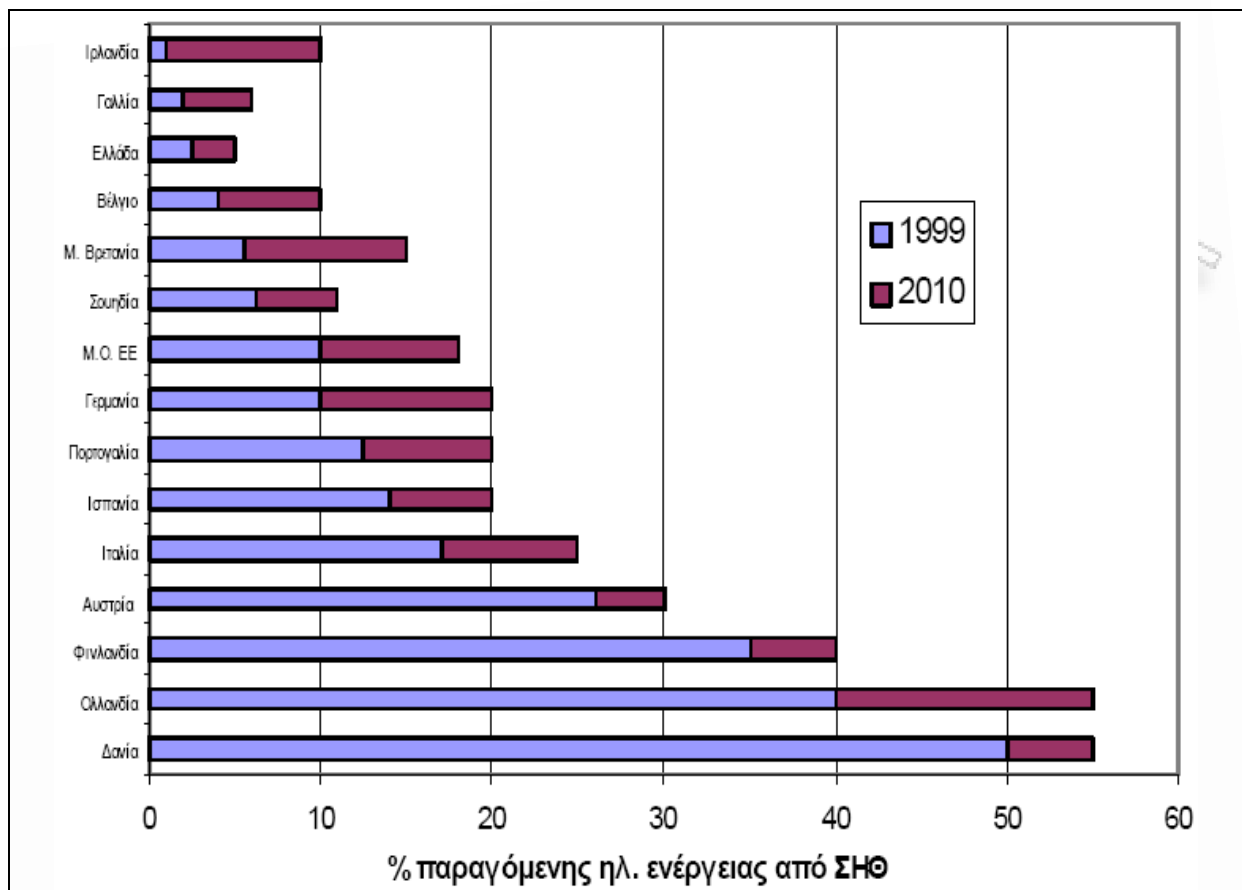
Η συμπαραγωγή πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. στα τέλη της δεκαετίας του 1880. στις αρχές του 20ού αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο, που λειτουργούσαν με άνθρακα. Πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι περίπου το 58% του ηλεκτρισμού, που παραγόταν σε βιομηχανίες των Η.Π.Α. στις αρχές του αιώνα, προερχόταν από μονάδες συμπαραγωγής. Κατόπιν ακολούθησε κάμψη κυρίως για δύο λόγους:

- ✓ ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, που προσέφεραν σχετικά φθηνή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια εκμεταλλευόμενη οικονομίες κλίμακας, και
- ✓ διαθεσιμότητα υγρών καυσίμων και φυσικού αερίου σε χαμηλές τιμές, που έκανε τη λειτουργία λεβήτων οικονομικά συμφέρουσα για την παραγωγή αποκλειστικά θερμικής ενέργειας.

Μέχρι το 1950 η βιομηχανική συμπαραγωγή στις Η.Π.Α. μειώθηκε στο 15% του όλου δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής και μέχρι το 1974 έπεσε στο 5%. Ωστόσο η καθοδική αυτή πορεία έχει πλέον αναστραφεί όχι μόνον στις Η.Π.Α. αλλά και σε χώρες της Ευρώπης, στην Ιαπωνία κ.α., γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως στην απότομη αύξηση των τιμών των καυσίμων από την ενεργειακή κρίση του 1973 και μετά.

Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας, που προήλθε από συστήματα συμπαραγωγής στις 12 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 1985, ήταν 8.13%, με τάσεις για μικρή αύξηση κατά τα τελευταία έτη. Το ποσοστό ήταν σχετικά χαμηλό και αφήνει σημαντικά περιθώρια για ανάπτυξη. Από το 1990 μέχρι σήμερα σε πολλές χώρες καταβάλλονται προσπάθειες να υπερπηδηθούν τα εμπόδια και να διευκολυνθεί η διάδοση της. Μεταξύ των κινήτρων, που χρησιμοποιήθηκαν, είναι η σχετικά υψηλή τιμή αγοράς περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας από τις εταιρείες ηλεκτρισμού και η επιχορήγηση επενδύσεων. Άλλα μέτρα περιλάμβαναν πληροφόρηση, ενεργειακές καταγραφές και αναλύσεις, υποστήριξη της έρευνας και ανάπτυξη, κ.λπ.

Στο επόμενο σχήμα 2.3. φαίνεται παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής της Σ.Η.Θ. στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη τελευταία δεκαετία στις χώρες της Ευρώπης.



Σχήμα 2-3 Συμμετοχή της ΣΗΘ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

[Πηγή : COGEN Europe]

Η ανοδική πορεία στη διάδοση της συμπαραγωγής συνοδεύτηκε και από αξιοσημείωτη πρόοδο της σχετικής τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις και εξελίξεις συνεχίζονται, νέες τεχνικές αναπτύσσονται και δοκιμάζονται, αλλά ήδη η συμπαραγωγή έχει φθάσει σε επίπεδο ωριμότητας με αποδεδειγμένη αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων, από πλευράς είδους, μεγέθους και λειτουργικών χαρακτηριστικών, είναι πλέον διαθέσιμη. [Βλάχου κ.α. 2008]

2.5 Συστήματα Συμπαραγωγής

Ένα σύστημα συμπαραγωγής αποτελείται κυρίως από τέσσερα στοιχεία:

- ✓ Τον κινητήρα : Ο κινητήρας μπορεί να είναι αμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος, παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδυασμένος κύκλος, κυψέλες καυσίμου, μηχανή Stirling ή micro-turbine. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια.
- ✓ Τη γεννήτρια : Αυτή μπορεί να είναι σύγχρονη, ασύγχρονη ή αυτοδιεγειρόμενη ασύγχρονη. Αυτή παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- ✓ Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας : Αυτό ανακτά την απορριπτόμενη θερμότητα από τα ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής (με εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας) και από τα καυσαέρια (με λέβητα ανάκτησης θερμότητας που αποκαλείται και λέβητας καυσαερίων).
- ✓ Το σύστημα ελέγχου : Αυτό διασφαλίζει την ασφαλή και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής.

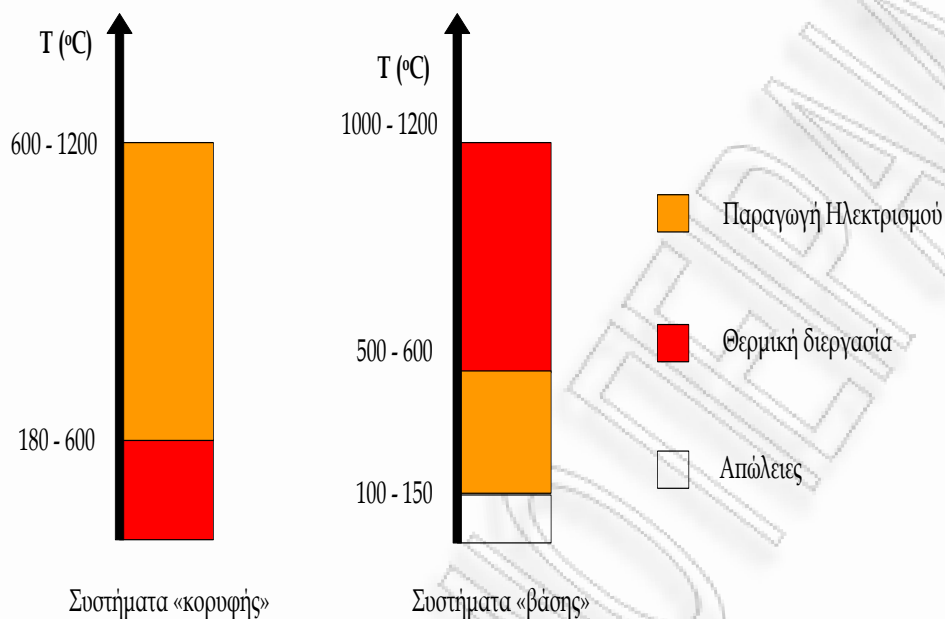
Οι μονάδες συμπαραγωγής γενικά κατατάσσονται με βάση το είδος του κινητήρα, της γεννήτριας και του καυσίμου που χρησιμοποιείται.

Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να χαρακτηρισθούν, είτε ως συστήματα «κορυφής», είτε ως συστήματα «βάσης».

Στα συστήματα «κορυφής», ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση (ψύξης) χώρων ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα συστήματα «βάσης» αρχικά παράγεται θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (π.χ. σε φούρνους χαλυβουργείων, υαλοουργείων, εργοστασίων τσιμέντου κ.λπ.), κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας όπου παράγεται ατμός που κινεί αμοστροβιλογεννήτρια. Είναι επίσης δυνατό να διοχετευθούν τα θερμά αέρια σε αεριοστρόβιλο, που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια, χωρίς την παρεμβολή λέβητα.

Στο παρακάτω Σχήμα 2.4. δίνεται ενδεικτικά το πεδίο θερμοκρασιών για κάθε ένα από τα συστήματα.



Σχήμα 2-4 Ενδεικτικό πεδίο θερμοκρασιών σε συστήματα «κορυφής» και «βάσης».

[Πηγή : Βλάχου κ.α. 2008]

Στην αγορά είναι διαθέσιμα ποικίλα συστήματα συμπαραγωγής τα οποία χρησιμοποιούν διαφορετικά καύσιμα. Τα συστήματα, όμως, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο είναι προτιμότερα καθώς είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον και πιο αποτελεσματικά.

Οι εφαρμογές της συμπαραγωγής μπορούν να καταταγούν βάσει της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος των συστημάτων συμπαραγωγής. Η ηλεκτρική ισχύς των συστημάτων συμπαραγωγής κυμαίνεται από 1-500MWe. Για την συμπαραγωγή μεγάλης κλίμακας, (για ισχύ μεγαλύτερη των 1Mwe), τα χαρακτηριστικά των συστημάτων προσδιορίζονται με σκοπό την βελτιστοποίηση της εφαρμογής για κάθε ξεχωριστή περίπτωση. Για εφαρμογές συμπαραγωγής μικρής κλίμακας, (για ισχύ μικρότερη των 1Mwe), τα συστήματα έχουν τυποποιημένη μορφή («πακέτα»), γεγονός που διευκολύνει την εγκατάστασή τους. Τα συστήματα για βιομηχανικές εφαρμογές έχουν εύρος 1-50MWe, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις. Είναι δύσκολη η διάκριση ανάμεσα σε μικρή και μεγάλη κλίμακα, καθώς αυτή διαφοροποιείται από χώρα σε χώρα. Σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι από 1-10MWe ενοείται συμπαραγωγή μεσαίας κλίμακας και άνω των 10MWe για

συμπαραγωγή μεγάλης κλίμακας. Οι μη βιομηχανικές εφαρμογές έχουν μεγάλο εύρος, από 1kWe (οικιακή εφαρμογή) μέχρι 10MWe (εφαρμογές τηλεθέρμανσης). Ισχείς μικρότερες των 1MWe θεωρούνται εφαρμογές μικρής κλίμακας. "Mini" κλίμακα υπάρχει για εφαρμογές μικρότερες των 500 kWe και 'Micro' για εφαρμογές μικρότερες των 20 kWe. Συνοπτικά δημιουργείται ο πίνακας 2.3.

Πίνακας 2-3 Κατηγοριοποίηση εφαρμογών συμπαραγωγής βάσει της εγκατεστημένης ισχύος τους

Κατηγοριοποίηση των εφαρμογών συμπαραγωγής βάσει της εγκατεστημένης ισχύος τους	
Κλίμακα εφαρμογής συμπαραγωγής	Εύρος ισχύος
Μεγάλη	>10 MWe
Μεσαία	1 MWe -10 MWe
Μικρή	500 kWe -1 MWe
Mini	20 kWe - 500 kWe
micro	< 20 kWe

[Πηγή : Μπαλάνου κ.α. 2007]

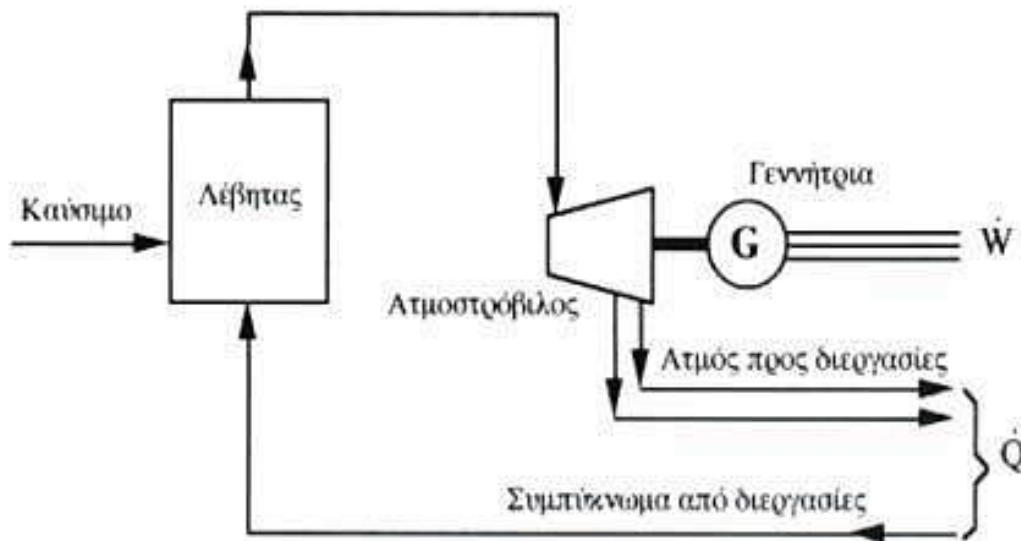
2.5.1 Συστήματα Ατμοστροβίλου

Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής, κατάλληλα για ισχύ 500 kW-100 MW ή και μεγαλύτερες. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο. Ακόμη και στερεά απόβλητα καίγονται σε ειδικούς λέβητες εφοδιασμένους με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση. Ο βαθμός απόδοσης τους φθάνει το 60-85%. Για σύγκριση, υπενθυμίζεται ότι ο βαθμός απόδοσης ενός συμβατικού ατμοηλεκτρικού σταθμού βρίσκεται στην περιοχή του 35%. Τα συστήματα ατμοστροβίλου έχουν υψηλή αξιοπιστία, που φθάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα (90-95%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη). Όμως, ο χρόνος εγκατάστασης είναι σχετικά μεγάλος: 12-18 μήνες για μικρές μονάδες και μέχρι τρία έτη για μεγαλύτερα συστήματα. Οι τρεις βασικές διατάξεις συστημάτων της κατηγορίας αυτής περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω :

2.5.1.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Ατμός υψηλής πίεσης (20-100bar) και θερμοκρασίας (480-540°C) παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση ατμοστρόβιλου, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια (Σχήμα 2.5.). Ο ατμός βγαίνει από τον στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος ‘αντίθλιψη’ οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (3-20 bar). Απομάστευση (δηλ. εξαγωγή) μέρους του ατμού από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις είναι επίσης δυνατή. Σε σύγκριση με το σύστημα απομάστευσης, που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο, το σύστημα αντίθλιψης έχουν απλή μορφή, μικρότερο κόστος, μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη ψυκτικού νερού, υψηλότερο βαθμό απόδοσης (περίπου 85%), κυρίως διότι δεν αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον μέσω ψυγείου.

Σημαντικό μειονέκτημα, όμως, είναι ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι στενά συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα. Έτσι, είναι αδύνατη η ανεξάρτητη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού από το δίκτυο θέρμανσης και είναι αναγκαία η αμφίδρομη σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού για την κάλυψη πρόσθετων αναγκών ή για τη διοχέτευση της πιθανής περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας.

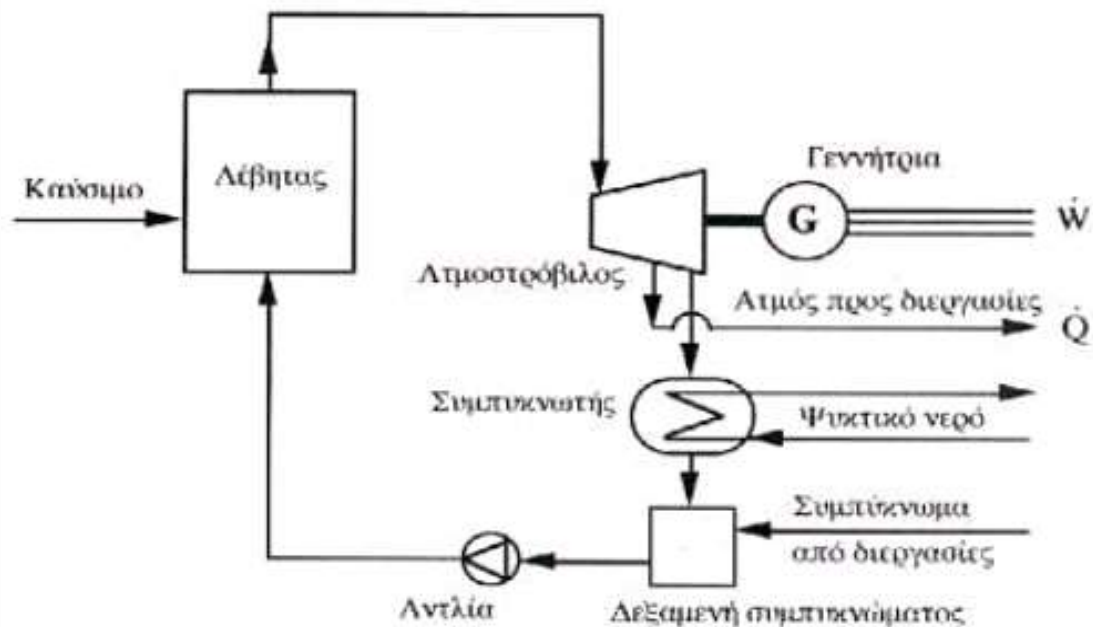


Σχήμα 2-5 Σύστημα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης.

[Πηγή : ΕΣΣΗΘ]

2.5.1.2 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης

Μέρος του ατμού απομαστεύεται από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις, ενώ ο υπόλοιπος εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή (λέγεται και ψυγείο ατμού) που είναι 0,05-0,10 bar. Τα συστήματα απομάστευσης είναι ακριβότερα και έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης (περίπου 80%) από τα συστήματα αντίθλιψης. Όμως, έχουν τη δυνατότητα ανεξάρτητης (μέσα σε ορισμένα όρια) ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της ολικής παροχής ατμού και επομένως της παροχής ατμού προς τον συμπυκνωτή. (Σχήμα 2.6).

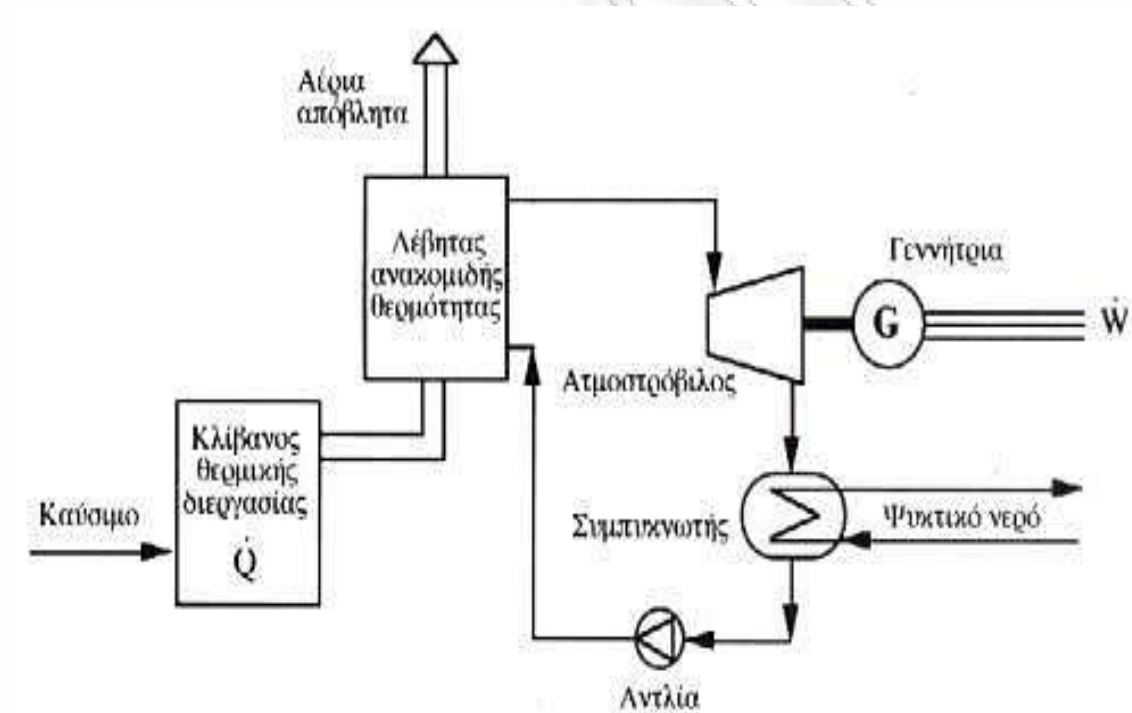


Σχήμα 2-6 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης.

[Πηγή : ΕΣΣΗΘ]

2.5.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης

Αρκετές βιομηχανίες (π.χ. χαλυβουργεία, υαλουργεία, κεραμουργεία, εργοστάσια τσιμέντου, εργοστάσια αλουμινίου, διυλιστήρια πετρελαίου, κ.λπ.) έχουν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας. Μετά τη θερμική διεργασία, τα αέρια αυτά μπορούν να περάσουν μέσα από λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί μια ατμοστροβιλογεννήτρια. Έτσι, η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού. Τυπική περιοχή τιμών του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης είναι 5–15%. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι σχετικά χαμηλός, αλλά ο ηλεκτρισμός παράγεται από θερμότητα που διαφορετικά θα χανόταν, χωρίς πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου (Σχήμα 2.7.).



Σχήμα 2-7 Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού.

[Πηγή : ΕΣΣΗΘ]

2.5.2 Συστήματα Αεριοστρόβιλου

Στα συστήματα αυτά, η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κινείται από έναν αεριοστρόβιλο. Υπάρχουν δυο βασικές διατάξεις : ανοικτού και κλειστού κύκλου.

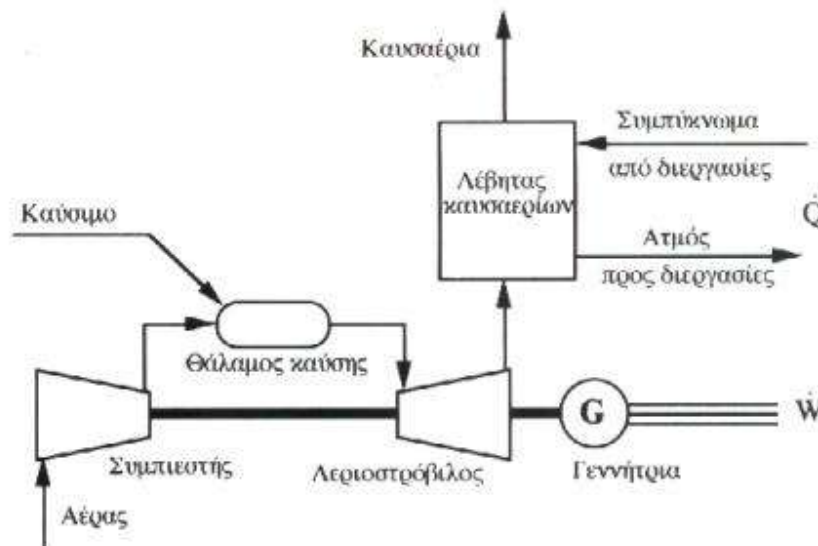
2.5.2.1 Συστήματα αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου

Οι περισσότερες αεριοστροβλικές μονάδες είναι ανοικτού τύπου: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στον θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια αποτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια), από τον οποίο βγαίνουν με θερμοκρασία 300-600°C. Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25-35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%).

Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων κάνει τις μονάδες αυτές ιδανικές για συμπαραγωγή (Σχήμα 2.8.), που αυξάνει τον βαθμό απόδοσης στο 60-80%. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων:

- ✓ Άμεση χρήση σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση, κ.λπ.).
- ✓ Διοχέτευση των καυσαερίων σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας (λέγεται και λέβητας καυσαερίων). Εκεί παράγεται ατμός υψηλών χαρακτηριστικών, που είναι κατάλληλος όχι μόνον για θερμικές διεργασίες αλλά και για την κίνηση ατμοστροβίλου (συνδεδεμένου με γεννήτρια ή άλλο μηχάνημα). Στη δεύτερη περίπτωση πρόκειται για σύστημα συνδυασμένου κύκλου, που περιγράφεται εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα.

Και στους δύο τρόπους, είναι δυνατή η αύξηση του θερμικού περιεχομένου (δηλ. της θερμοκρασίας) των καυσαερίων, και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, όταν απαιτείται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου των καυσαερίων. Καυστήρες τοποθετημένοι μετά τον αεριοστρόβιλο χρησιμοποιούν τα καυσαέρια για την καύση πρόσθετου καυσίμου.



Σχήμα 2-8 Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου.

[Πηγή : ΕΣΣΗΘ]

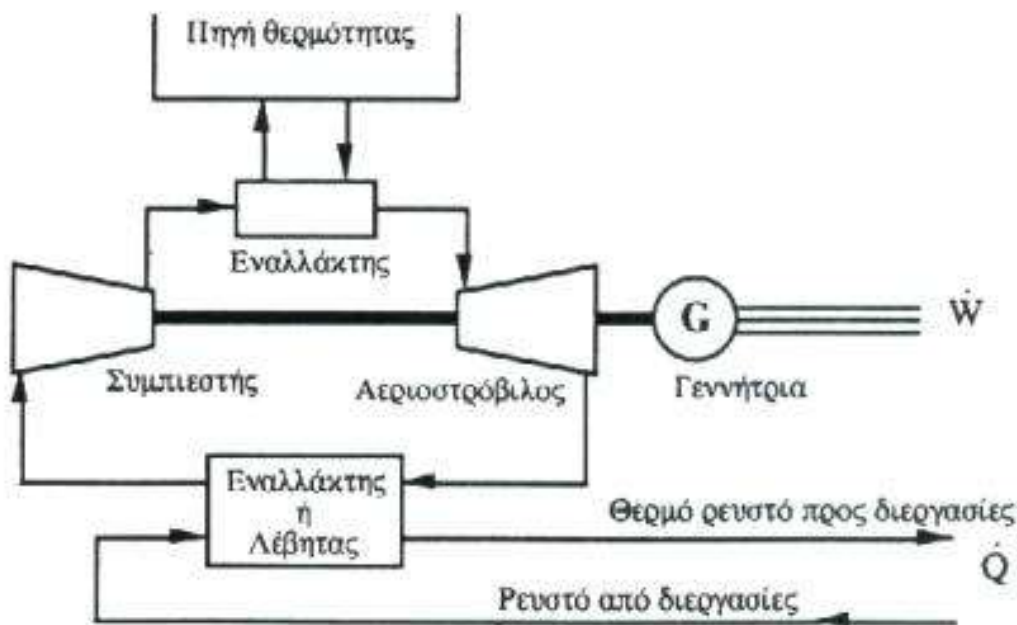
Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100kW – 100MW. Λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel), ενώ ευοίωνες παρουσιάζονται οι προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαεριωμένη μορφή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν καύσιμα αέρια, που παράγονται, π.χ., κατά την καταλυτική σχάση υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου. Γενικά, πάντως, χρειάζεται προσοχή, επειδή τα πτερύγια του αεριοστρόβιλου είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσης, τα προϊόντα αυτά πρέπει να μην έχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση (νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, βανάδιο, θείο, κ.λπ.) και τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια.

Εάν το καυσαέριο περιέχει τέτοια συστατικά, πρέπει να καθαρισθεί με ειδικές διατάξεις, πριν οδηγηθεί στον αεριοστρόβιλο. Είναι επίσης ενδεχόμενο, το καύσιμο να χρειασθεί καθαρισμό, πριν από την εισαγωγή του στο θάλαμο καύσης. Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής αεριοστρόβιλων είναι 9-14 μήνες για ισχείς μέχρι 7 MW και φθάνει τα δύο έτη για μεγαλύτερες μονάδες. Η αξιοπιστία και η μέση ετήσια διαθεσιμότητα συστημάτων αεριοστρόβιλου, που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, είναι συγκρίσιμες με εκείνες των συστημάτων αμμοστρόβιλου. Οι μονάδες που λειτουργούν με υγρό καύσιμο απαιτούν πιο συχνές συντηρήσεις, με συνέπεια τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα. Η χρήσιμη διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και μπορεί να μειωθεί σημαντικά από καύσιμο κακής ποιότητας ή ανεπαρκή συντήρηση.

2.5.2.2 Συστήματα αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου

Στα συστήματα κλειστού κύκλου, το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν (Σχήμα 2.9.) καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και η χημική διάβρωση του αεριοστρόβιλου από τα προϊόντα της καύσης. Η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα, ηλιακή ενέργεια κ.λπ.

Ο βαθμός απόδοσης και ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκονται στα ίδια περίπου επίπεδα με εκείνα των συστημάτων ανοικτού κύκλου. Τα συστήματα κλειστού κύκλου έχουν το πλεονέκτημα ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης δεν μειώνεται στα μερικά φορτία, είναι μάλιστα ενδεχόμενο να αυξάνεται εάν υπάρχει διάταξη αναγεννητικής προθέρμανσης του εργαζόμενου μέσου και κατάλληλο σύστημα ρύθμισης και ελέγχου. Ο ολικός βαθμός απόδοσης σε μερικό φορτίο εξαρτάται κυρίως από το βαθμό απόδοσης της πηγής θερμότητας.



Σχήμα 2-9 Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου.

[Πηγή: ΕΣΣΗΘ]

2.5.3 Συστήματα με Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- ✓ Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή (15-1000kW) ή κινητήρα Diesel (75-1000 kW),
- ✓ Συστήματα μέσης ισχύος (1000-6000 kW) με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel,
- ✓ Συστήματα μεγάλης ισχύος (άνω των 6000 kW) με κινητήρα Diesel.

Αεριομηχανές ('Gas engines') ονομάζονται οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με αέριο καύσιμο, π.χ., φυσικό αέριο, βιοαέριο, κ.λπ. Εμπορικά είναι διαθέσιμοι οι ακόλουθοι τύποι αεριομηχανών :

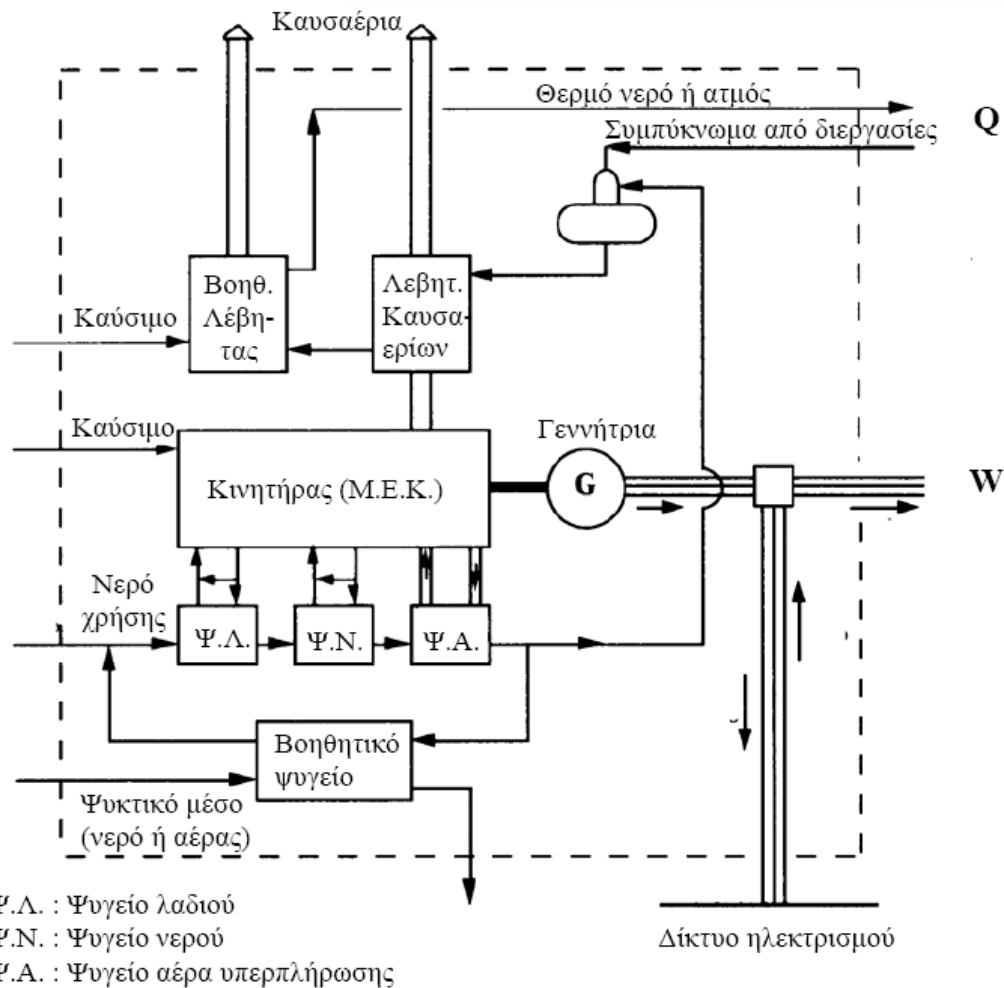
- ✓ Βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. Είναι συνήθως μικρές μηχανές (15-30 kW), ελαφρές, με μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Η μετατροπή πολύ λίγο επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης, ενώ μειώνει την ισχύ κατά 18% περίπου. Χάρη στη μαζική παραγωγή οι τιμές τους είναι χαμηλές αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι σχετικά μικρή (1000-3000 ώρες).
- ✓ Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. Έχουν ισχύ μέχρι 200 kW. Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις των εμβόλων, των κεφαλών και του μηχανισμού των βαλβίδων, που επιβάλλονται από το ότι η έναυση δεν γίνεται πλέον με απλή συμπίεση αλλά με σπινθηριστή. Η μετατροπή συνήθως δεν προκαλεί μείωση της ισχύος, καθώς υπάρχει περιθώριο μείωσης της περισσειας αέρα.
- ✓ Σταθερές μηχανές που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές ή που έχουν από την αρχή σχεδιασθεί ως αεριομηχανές. Οι μηχανές αυτές είναι βαριές και στιβαρές. Κατασκευάζονται για εφαρμογές στη βιομηχανία και στα πλοία. Η ισχύς τους φθάνει 3000 kW. Η ανθεκτική κατασκευή τους μειώνει τις απαιτήσεις συντηρήσεων αλλά αυξάνει το κόστος αγοράς τους. Είναι μηχανές κατάλληλες για συνεχή λειτουργία σε υψηλό φορτίο.
- ✓ Σταθερές μηχανές διπλού καυσίμου. Είναι κινητήρες Diesel ισχύος μέχρι 6000 kW. Το καύσιμο αποτελείται κατά 90% από φυσικό αέριο, η έναυση του οποίου γίνεται όχι με σπινθηριστή αλλά με έγχυση υγρού καυσίμου Diesel (που αποτελεί το υπόλοιπο 10% της προσφερόμενης ενέργειας). Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να λειτουργούν είτε με φυσικό αέριο είτε με καύσιμο Diesel, το οποίο βέβαια αυξάνει το κόστος αγοράς και

συντήρησης. Οι κινητήρες Diesel διακρίνονται σε ταχύστροφους, μεσόστροφους και βραδύστροφους.

Κατάλληλα καύσιμα είναι όλα τα αποστάγματα πετρελαίου (τα βαρύτερα για τους μεγαλύτερους κινητήρες). Οι μεγάλοι βραδύστροφοι κινητήρες μπορούν να καύσουν ακόμη και κατάλοιπα από την απόσταξη του πετρελαίου ('residuals'). Όπως και στην περίπτωση των αεριοστροβίλων, τα καυσαέρια των κινητήρων βρίσκουν είτε άμεση είτε έμμεση χρήση. Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 300-400°C, δηλ. αισθητά χαμηλότερη από εκείνη του αεριοστροβίλου, γι'αυτό και κάνει πιο συχνή την ανάγκη για συμπληρωματική θερμότητα. Αυτή αποκτάται είτε με τοποθέτηση καυστήρα και προσαγωγή αέρα για καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων (ή στον κλίβανο της θερμικής διεργασίας), είτε με εγκατάσταση βοηθητικού λέβητα. Οι μεγάλοι κινητήρες προσφέρουν τη δυνατότητα συνδυασμένου κύκλου.

Το Σχήμα 2.10. απεικονίζει ένα γενικό διάγραμμα ροής τέτοιου συστήματος, χωρίς να αποτελεί τη μόνη δυνατή διάταξη. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια. Τέσσερις εναλλάκτες ανακτούν θερμότητα από ρευστά που έχουν σχέση λειτουργία της μηχανής: ψυγείο λαδιού, ψυγείο νερού (του κλειστού κυκλώματος του κινητήρα), ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης και εναλλάκτης ανακομιδής θερμότητας από τα καυσαέρια του κινητήρα (ή λέβητας καυσαερίων). Με τη θερμότητα αυτή θερμαίνεται το νερό που προορίζεται για διάφορες χρήσεις. Σε συστήματα μέσης και μεγάλης ισχύος, η θερμότητα επαρκεί και για την παραγωγή ατμού. Οι μικροί κινητήρες δεν έχουν ψυγείο λαδιού. Εξάλλου, όταν ο κινητήρας δεν είναι εφοδιασμένος με στροβιλοπληρωτή (σε μονάδες προς το κάτω όριο της περιοχής ισχύος), δεν υπάρχει ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης.

Η συγκέντρωση ισχύος του κινητήρα αυξάνει με υπερπλήρωση του θαλάμου καύσης. Ο στροβιλοπληρωτής (λέγεται και ζεύγος υπερπλήρωσης) αποτελείται από αεριοστρόβιλο, που κινείται με τα καυσαέρια του κινητήρα και κινεί φυγοκεντρικό αεροσυμπιεστή. Εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας εξόδου από τον στροβιλοπληρωτή (120-140°C), ο αέρας έχει χαμηλή πυκνότητα. Για να αυξηθεί ο βαθμός πληρότητας των κυλίνδρων, ο αέρας ψύχεται σε ειδικό ψυγείο (Σχήμα 2.10.), προσφέροντας θερμότητα στο νερό χρήσης.



Σχήμα 2-10 Σύστημα συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης.

[Πηγή : ΕΣΣΗΘ]

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις από πλευράς θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από το ψυγείο: χαμηλή θερμοκρασία (περίπου 45°C), ή υψηλή θερμοκρασία (περίπου 90°C). Η χαμηλή θερμοκρασία συντελεί σε υψηλότερο βαθμό πληρότητας και επομένως υψηλότερη συγκέντρωση ισχύος. Όμως, η ανακτώμενη θερμότητα βρίσκει περιορισμένη χρήση, διότι το νερό στην έξοδο του ψυγείου έχει χαμηλή θερμοκρασία ($30\text{-}35^{\circ}\text{C}$). Η λύση αυτή μπορεί να επιλεγεί όταν υπάρχει ανάγκη προθέρμανσης νερού, που έρχεται στο σύστημα με θερμοκρασία $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$. εάν το νερό έρχεται στο σύστημα με θερμοκρασία $60\text{-}70^{\circ}\text{C}$, όπως συμβαίνει, π.χ. στα δίκτυα κεντρικής θέρμανσης, τότε η λύση της υψηλής θερμοκρασίας είναι προτιμότερη από πλευράς εκμεταλλεύσεως της ενέργειας του καυσίμου, καθώς αυξάνει τον ολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά 3-5%. Η θερμοκρασιακή στάθμη επηρεάζει τη σχετική ως προς τη ροή του νερού τοποθέτηση των τριών ψυγείων (λαδιού, νερού και αέρα).

Με ανάκτηση θερμότητας από τα τρία ψυγεία, το νερό θερμαίνεται μέχρι τους 75-80°C. Κατόπιν έρχεται στον εναλλάκτη ανακομιδής θερμότητας των καυσαερίων, όπου θερμαίνεται μέχρι τους 85-90°C ή και ατμοποιείται. Μονάδες μεσαίου μεγέθους παράγουν κορεσμένο ατμό 180-200°C, ενώ μεγάλες μονάδες μπορούν να δώσουν υπέρθερμο ατμό με πίεση 15-20bar και θερμοκρασία 250-350°C. Η ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του εναλλάκτη εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο. Για καύσιμο Diesel, το όριο είναι 160-170°C, ενώ για φυσικό αέριο είναι 90-100°C.

Ο βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35-45%, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50%. Ο βαθμός απόδοσης ενός συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης βρίσκεται στην περιοχή του 80%. Η διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντήρησης. Οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση απ' ό,τι τα προηγούμενα συστήματα με αποτέλεσμα μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα: 80-90%.

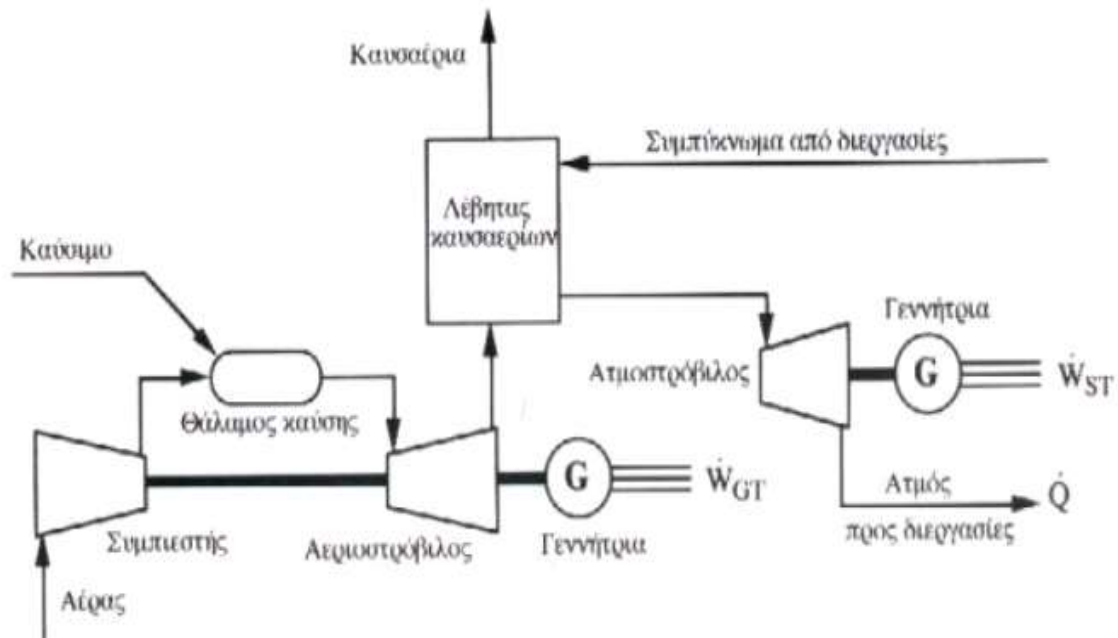
2.5.4 Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου

Ο όρος ‘συνδυασμένος κύκλος’ αναφέρεται σε συστήματα με δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο ρευστό και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας αυξάνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστροβίλου - ατμοστροβίλου (κύκλοι Joule - Rankine). Η παραγωγή ατμού σε δύο ή και τρεις διαφορετικές πιέσεις κάνει την εγκατάσταση πιο περίπλοκη, αλλά αυξάνει τον βαθμό απόδοσης.

Η υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια του αεριοστροβίλου (περίπου 17%) επιτρέπει την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων, εάν κριθεί αναγκαία για την αύξηση ισχύος του συστήματος. Η συμπληρωματική καύση αυξάνει τον βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο, αλλά κάνει την

εγκατάσταση και ιδιαίτερα τις διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου πιο περίπλοκες. Η ισχύς των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 20-400 MW, ενώ κατασκευάζονται επίσης και μικρότερες μονάδες με ισχύ 4-11 MW. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση ισχύος των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστροβίλου (Joule) ή ατμοστροβίλου (Rankine). Ως προς τα καύσιμα ισχύει ότι αναφέρθηκε για τα συστήματα αεριοστροβίλου.

Ο χρόνος εγκατάστασης είναι 2-3 έτη. Είναι δυνατή η ολοκλήρωση της εγκατάστασης σε δύο πεδία: Εγκαθίσταται πρώτα η μονάδα αεριοστροβίλου, που μπορεί να είναι έτοιμη για λειτουργία σε 12-18 μήνες. Ενώ αυτή λειτουργεί, συμπληρώνεται το σύστημα με τη μονάδα του ατμοστροβίλου. Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80-85 %, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77-85% και ο οικονομικός χρόνος ζωής 15-25 έτη. (Σχήμα 2.11)



Σχήμα 2-11 Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης. [Πηγή : ΕΣΣΗΘ]

2.5.5 Συστήματα Κύκλου Βάσης Rankine με Οργανικά Ρευστά

Τα συστήματα αυτού του τύπου, βασίζουν την λειτουργία τους στον κύκλο Rankine, έχουν όμως ως εργαζόμενο μέσο κάποιο οργανικό ρευστό, το οποίο παρουσιάζει χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης. Με αυτό τον τρόπο, γίνεται δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, όταν η διαθέσιμη θερμότητα είναι χαμηλής θερμοκρασίας (80–300°C, σε αντίθεση με τα συστήματα κύκλου Rankine ατμού, στα οποία απαιτείται θερμοκρασία άνω των 600°C). Έτσι, πηγές θερμότητας μπορούν να είναι η ηλιακή ενέργεια, βιομηχανικά απόβλητα, γεωθερμική ενέργεια, θερμά καυσαέρια κ.ά.

Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται στην περιοχή 2kW–10MW. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης τους είναι σχετικά μικρός (10–30%), αλλά το σημαντικότερο πλεονέκτημα τους είναι η παραγωγή ισχύος, μέσω της εκμετάλλευσης απορριπτόμενης ενέργειας, χωρίς την πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης λαμβάνει τιμές από 5 έως 30%. Ο χρόνος εγκατάστασης μικρών συστημάτων (μέχρι 50 kW) είναι 4–8 μήνες, ενώ για μεγαλύτερες μονάδες από 1 έως 2 έτη. Λόγω της μικρής εμπειρίας που υπάρχει στην τεχνολογία αυτή, τα διαθέσιμα στοιχεία για την αξιοπιστία τους είναι ανεπαρκή. Η ετήσια διαθεσιμότητα τους εκτιμάται ότι είναι 80–90% και η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους περίπου 20 έτη. [Φούντη κ.α. 2007]

2.5.6 Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαραγωγής (‘Πακέτα’)

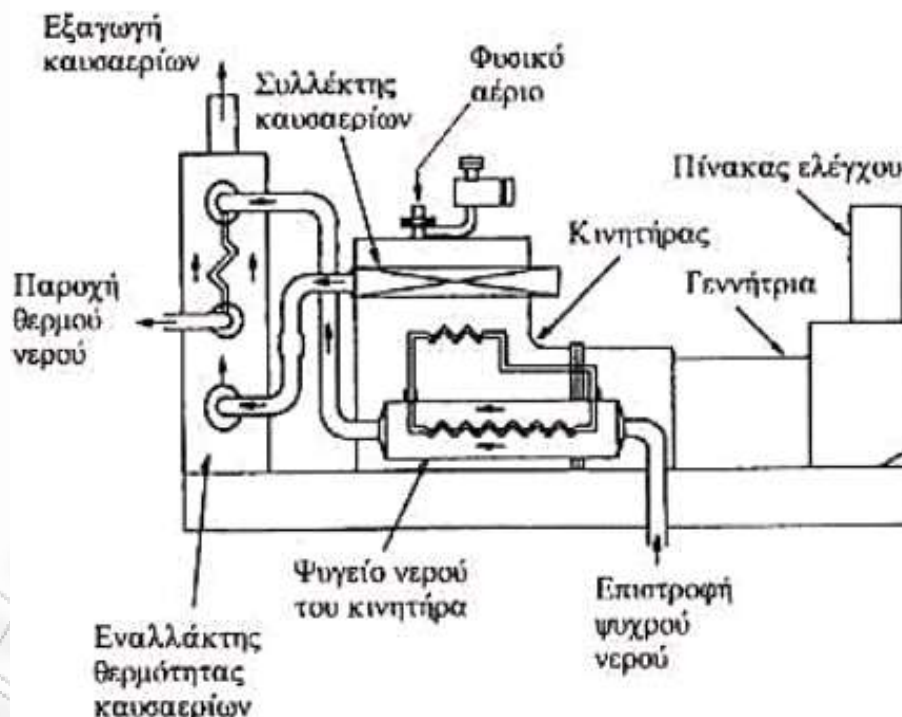
Οι μονάδες αυτές, βασίζονται συνήθως σε κινητήρες αυτοκινήτων Otto ή Diesel και παράγονται μαζικά σε τυποποιημένη μορφή “πακέτου”, με ηλεκτρική ισχύ από 10-1000 kW. Τα βασικότερα πλεονεκτήματά τους είναι το χαμηλό κόστος, ο μικρός τους όγκος, η εύκολη εγκατάσταση και η αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς τη συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται συνήθως είναι φυσικό αέριο, λόγω της καθαρότητάς του, της έλλειψης ανάγκης αποθήκευσης του και της σχετικά χαμηλής τιμής του. (Σχήμα 2.12).

Στις τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής, το 27–35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50–55% σε θερμότητα, επομένως ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 0.5–0.7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 80%. Η διαθεσιμότητα μονάδων με προσεγμένη κατασκευή και συντήρηση φθάνει το 90%. Οι εφαρμογές των τυποποιημένων πακέτων συμπαραγωγής παρουσιάζεται στον πίνακα 2.4. Τα πακέτα, δηλαδή, βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στον τριτογενή τομέα.

Πίνακας 2-4 Εφαρμογές τυποποιημένων μονάδων συμπαραγωγής

Εφαρμογή	Περιοχή ισχύος (kW)
Εστιατόρια	50-80
Πολυκατοικίες	50-100
Καταστήματα τροφίμων	90-120
Ξενοδοχείων	100-2000
Νοσοκομεία	300-1000
Εμπορικά κέντρα	500-1500
Εκπαιδευτικά Ιδρύματα	500-1500
Κτίρια γραφείων	500-2000

[Πηγή : Μπαλάνου κ.α. 2007]



Σχήμα 2-12 Απεικόνιση τυποποιημένης μονάδας συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης.

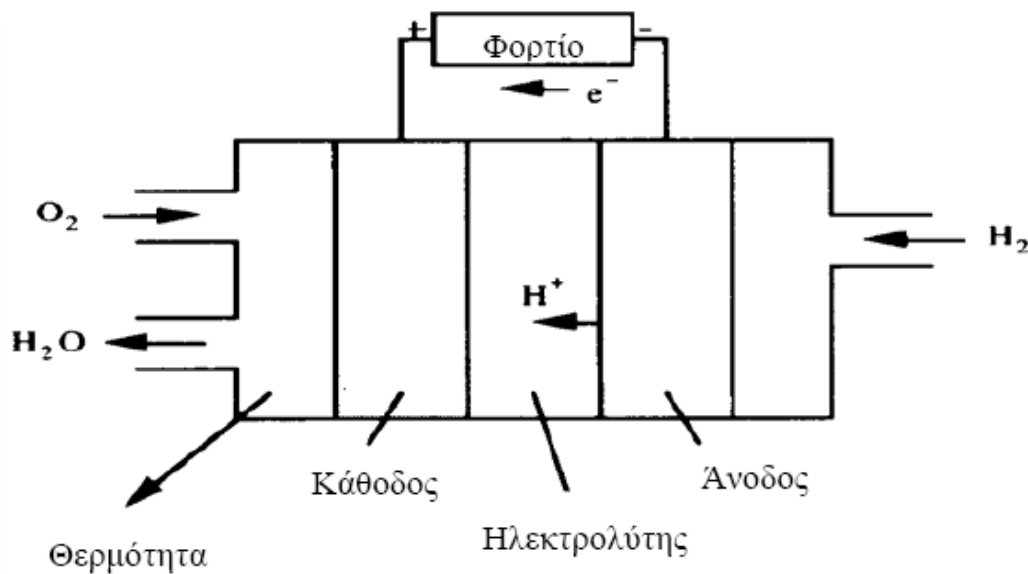
[Πηγή: Φούντη κ.α. 2007]

2.5.7 Κυψέλες Καυσίμου

Η κυψέλη καυσίμου ('fuel cell'), είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή η οποία μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς να λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της καύσης. Η αρχή λειτουργίας της είναι η εξής : υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα – φορτίο (Σχήμα 2.13). Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω.

Το απαιτούμενο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα, συνήθως μεθάνιο (CH_4), το οποίο αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Ορισμένοι τύποι κυψελών μπορούν να λειτουργήσουν επίσης και με μονοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες. Επειδή η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική χωρίς την παρεμβολή θερμοδυναμικού κύκλου, ο βαθμός απόδοσης δεν περιορίζεται από εκείνον του κύκλου Carnot, αλλά έχει ως θεωρητικό ανώτατο όριο την μονάδα. Στις μονάδες που είναι σήμερα διαθέσιμες, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στην περιοχή 3–45% και εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου καθώς και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Σε μερικά φορτία, ο βαθμός απόδοσης είναι ίσος ή ακόμα και μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο σε πλήρες φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85–90% ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται στην περιοχή 0.8 – 1.

Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου, βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης και κατά συνέπεια δεν είναι ευρέως γνωστή και διαδεδομένη. Εκτιμάται ότι η χρήση τους σε εφαρμογές συμπαραγωγής στη βιομηχανία θα παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως την αρθρωτή δομή, η οποία διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ, τη διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο, την ευκολία αυτοματισμού, τις χαμηλές εκπομπές ρύπων και τη χαμηλή στάθμη θορύβου.



Σχήμα 2-13 Απλοποιημένη απεικόνιση κυψέλης καυσίμου.

[Πηγή : Φούντη κ.α. 2007]

2.5.8 Μηχανές Stirling

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι επίσης δυνατή με μηχανές Stirling. Η τεχνική αυτή δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί και διαδοθεί αρκετά, αλλά το ενδιαφέρον για την ανάπτυξή της έχει αυξηθεί τελευταία, χάρη στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε σύγκριση με συστήματα κινητήρων Diesel, αεριοστροβίλων ή ατμοστροβίλων: δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης, μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου, καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, χαμηλές εκπομπές ρύπων, χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

Αρχικά, η έρευνα και ανάπτυξη είχε ως αντικείμενο κινητήρες ισχύος 3-100kW, κατάλληλους για αυτοκίνητα. Η προσπάθεια στράφηκε κατόπιν και προς κινητήρες ισχύος μέχρι 1-1,5MW με αναμενόμενη διάρκεια ζωής της τάξεως των 20 ετών. Καθώς τα συστήματα βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης, δεν υπάρχουν συγκεντρωμένα στοιχεία για τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία τους, αναμένεται όμως ότι θα είναι συγκρίσιμη με εκείνη των κινητήρων Diesel. Χάρη στην εξωτερική καύση και στον κλειστό κύκλο λειτουργίας, τα κινούμενα μέρη του κινητήρα δεν εκτίθενται στα προϊόντα της καύσης με αποτέλεσμα οι φθορές να είναι περιορισμένες. Όμως, απαιτούνται στεγανωτικές διατάξεις

για την αποφυγή διαρροών τόσο του αερίου υψηλής πίεσης προς το εξωτερικό του κυλίνδρου, όσο και του λιπαντικού λαδιού προς το εσωτερικό του κυλίνδρου. Η κατασκευή αποτελεσματικών διατάξεων με ικανοποιητική διάρκεια ζωής είναι ένα από τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν.

Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει η χρήση διαφόρων καυσίμων: υγρά ή αέρια καύσιμα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα, ακόμη και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, είναι δυνατή η αλλαγή καυσίμου χωρίς διακοπή της λειτουργίας ή μετατροπή των ρυθμίσεων του κινητήρα. Χάρη στην ευελιξία τους, οι μηχανές Stirling μπορούν επίσης να αποτελέσουν στοιχεία ηλιακών ή πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ή συμπαραγωγής.

Το Σχήμα 2.14 αποτελεί μια απλοποιημένη απεικόνιση κινητήρα Stirling. Αέριο (π.χ., υδρογόνο, ήλιο, κλπ) συμπιέζεται και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου - δύο εμβόλων με αποτέλεσμα την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Το αέριο θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας χωρίς να συμμετέχει στην καύση (κινητήρας εξωτερικής καύσης).



Σχήμα 2-14 Απλοποιημένη απεικόνιση κινητήρα Stirling.

[Πηγή : ΕΣΣΗΘ]

2.6 Ενεργειακή Συμπεριφορά Συστημάτων Συμπαραγωγής

Η ενεργειακή συμπεριφορά των συστημάτων συμπαραγωγής περιγράφεται με ορισμένους χαρακτηριστικούς δείκτες. Στους ορισμούς που ακολουθούν, χρησιμοποιούνται τα σύμβολα, που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.5 :

Πίνακας 2-5 Σύμβολα για τους δείκτες ενεργειακής συμπεριφοράς.

Σύμβολα που χρησιμοποιούνται στους δείκτες ενεργειακής συμπεριφοράς	
Σύμβολα	Επεξήγηση
W	Ηλεκτρική ή μηχανική ισχύς
Q	Θερμική ισχύς
\dot{W}_s	Η ισχύς στον άξονα της κύριας πηγής ενέργειας.
$H_{f\Sigma}$	Ισχύς καυσίμου που καταναλίσκεται από το σύστημα συμπαραγωγής
m_f	Παροχή καυσίμου για την χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ισχύος
$m_{f\Sigma}$	Παροχή καυσίμου σε σύστημα συμπαραγωγής
H_{fW}	Ισχύς καυσίμου για χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος
H_{fQ}	Ισχύς καυσίμου για χωριστή παραγωγή θερμικής ισχύος
H_{fX}	Ολική ισχύς καυσίμου για χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ισχύος
H_u	Κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα (δύναμη) καυσίμου

- ✓ Η ισχύς καυσίμου, που καταναλώνεται από ένα σύστημα για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας δίνεται από τις σχέσεις:

$$H_{fW} = m_f \cdot H_u \quad (2.1) \quad H_{fQ} = m_f \cdot H_u \quad (2.2) \quad H_{fX} = H_{fW} + H_{fQ} \quad (2.3)$$

ενώ σε ένα σύστημα συμπαραγωγής έχουμε: $H_{f\Sigma} = m_{f\Sigma} \cdot H_u \quad (2.4)$

- ✓ Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα (π.χ. του αεριοστροβίλου, της μηχανής Diesel ή Otto, του ατμοστροβίλου, κλπ.) ορίζεται ως:

$$\eta_m = \frac{W_s}{H_{f\Sigma}} \quad (2.5)$$

- ✓ Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής (η_e):

$$\eta_e = \frac{W}{H_{f\Sigma}} \quad (2.6)$$

- ✓ Θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής (η_h ή η_{th}):

$$\eta_h = \frac{Q}{H_{\mathcal{F}\Sigma}} \quad (2.7)$$

- ✓ Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης (η):

$$\eta = \eta_h + \eta_e = \frac{W + Q}{H_{\mathcal{F}\Sigma}} \quad (2.8)$$

Η ποιότητα της θερμότητας είναι χαμηλότερη από αυτήν της ηλεκτρικής ενέργειας και ελαττώνεται με τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη (δηλαδή η ποιότητα της θερμότητας υπό μορφή ζεστού νερού είναι χαμηλότερη από την ποιότητά της υπό μορφή ατμού). Συνεπώς, δεν είναι σκόπιμο να προστίθεται η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα, όπως στην περίπτωση της εξίσωσης 2.8 και μερικές φορές είναι παραπλανητική μια σύγκριση μεταξύ συστημάτων με βάση τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης. Ακόμα κι αν μέχρι τώρα συνήθως χρησιμοποιούνται οι ενεργειακοί βαθμοί απόδοσης, μία θερμοδυναμικά ακριβέστερη αξιολόγηση και μία δικαιότερη σύγκριση μεταξύ των συστημάτων μπορεί να γίνει βάσει των εξεργειακών αποδοτικότητων.

- ✓ Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR, Power to heat ratio):

$$\text{PHR} = \frac{W}{Q} = \frac{\eta_e}{\eta_h} \quad (2.9)$$

- ✓ Λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου (FESR, Fuel energy savings ratio):

$$\text{FESR} = \frac{H_{\mathcal{F}\Sigma'} - H_{\mathcal{F}\Sigma}}{H_{\mathcal{F}\Sigma}} \quad (2.10)$$

Πρόκειμένου ένα σύστημα συμπαραγωγής να αποτελεί μια λογική επιλογή από την άποψη της εξοικονόμησης ενέργειας, πρέπει να είναι: $\text{FESR} > 0$.

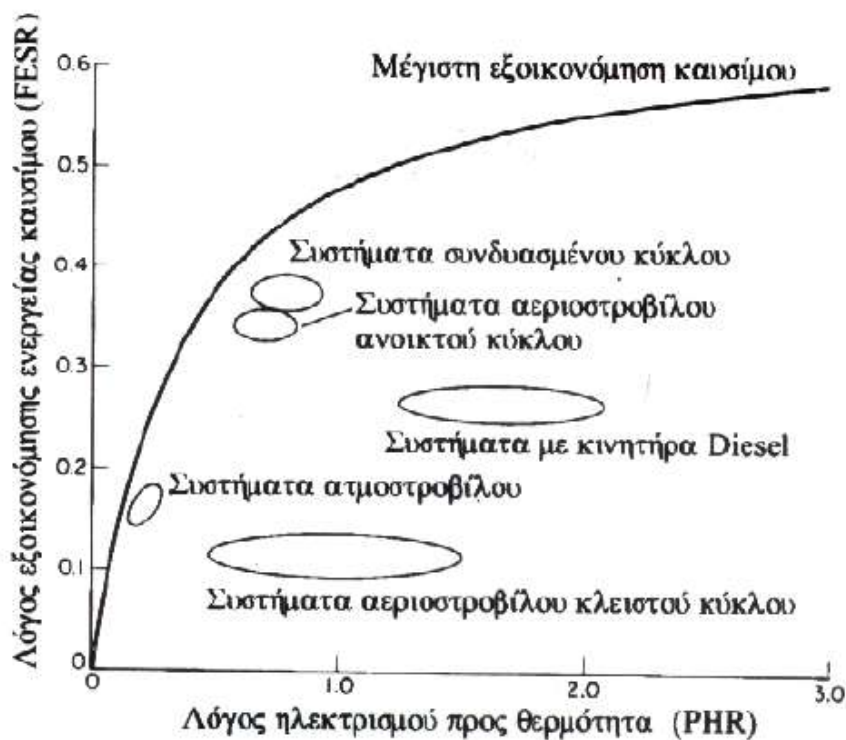
Οι εξισώσεις 6 έως 10 οδηγούν στις παρακάτω σχέσεις:

$$\eta = \eta_e \left(1 + \frac{1}{\text{PHR}} \right) \quad (2.11)$$

$$\text{PHR} = \frac{\eta_e}{\eta_{th} - \eta_e} \quad (2.12)$$

Οι σχέσεις αυτές βοηθούν στον προσδιορισμό αποδεκτών τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα PHR, όταν η τιμή του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης η_e είναι γνωστή, δεδομένου ότι ο ολικός βαθμός απόδοσης δεν ξεπερνά το 85-88%. Πρέπει να αναφερθεί ότι, σε κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες για την επιλογή ενός συστήματος συμπαραγωγής.

Το σχήμα 2.15 δείχνει τις περιοχές τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα PHR και του λόγου εξοικονόμησης καυσίμου FESR για τους πέντε βασικούς τύπους συστημάτων συμπαραγωγής. Τα όρια των περιοχών αυτών δεν είναι απόλυτα αυστηρά αλλά μπορούν μέχρι ένα βαθμό να μεταβληθούν με πρόσθετο εξοπλισμό. Για τον λόγο αυτόν, το σχήμα 2.15 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνον για μια πρώτη ένδειξη του είδους συστήματος, που θα ήταν κατάλληλο για κάποια εφαρμογή. Η τελική επιλογή πρέπει να στηριχθεί στις προδιαγραφές των μηχανημάτων που δίνουν οι κατασκευαστές.



Σχήμα 2-15 Περιοχές τιμών λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) και λόγου εξοικονόμησης καυσίμου (FESR) διάφορων συστημάτων συμπαραγωγής
 [Πηγή : Φραγκόπουλος κ.α. 1994]

2.7 Τρόποι Λειτουργίας Συστημάτων Συμπαραγωγής

Οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής, δηλ. οι τρόποι ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή, είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Παραγωγή θερμότητας ίσης με το θερμικό φορτίο (heat ratio) : Εάν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια περισσότερη από το φορτίο, η περίσσεια πωλείται στο εθνικό δίκτυο. Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μικρότερη από το φορτίο, το έλλειμμα συμπληρώνεται από το δίκτυο.
- ✓ Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο (electricity ratio) : Εάν χρειαστεί, ένας βοηθητικός λέβητας συμπληρώνει τις πρόσθετες ανάγκες σε θερμότητα. Επίσης είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ψυγείων ικανών να αποβάλουν την περίσσεια θερμότητας, εάν προκύψει ανάγκη.
- ✓ Μικτός τρόπος (mixed-match mode), δηλαδή παρακολούθηση άλλοτε του θερμικού φορτίου (τρόπος α') και άλλοτε του ηλεκτρικού φορτίου (τρόπος β').
- ✓ Πλήρης κάλυψη του θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το εθνικό δίκτυο (stand-alone mode). Αυτός ο τρόπος λειτουργίας απαιτεί επαρκή εφεδρεία ισχύος και επομένως περίπλοκο σύστημα συμπαραγωγής. Είναι η πιο ακριβή λύση, τουλάχιστον από πλευράς αρχικού κόστους.

Παρά τις εξαιρέσεις, σε γενικές γραμμές ο πρώτος από τους τρόπους αυτούς προσφέρει την υψηλότερη ενεργειακή και οικονομική απόδοση για συστήματα στο βιομηχανικό και εμπορικό-κτιριακό τομέα. Για σταθμούς συμπαραγωγής του συστήματος ηλεκτρισμού της χώρας η επιλογή του τρόπου λειτουργίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις της αγοράς. Δηλαδή από τις ευρύτερες ανάγκες του δικτύου, τις διαθέσιμες μονάδες και τις υποχρεώσεις απέναντι στους καταναλωτές ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Είναι φανερό ότι ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το σχεδιασμό του συστήματος. Κρίσιμη για την οικονομικότητά του είναι η διαστασιολόγηση των κύριων μηχανημάτων, ώστε το σύστημα να καλύπτει το φορτίο αιχμής, το φορτίο βάσης ή κάποιο άλλο φορτίο. Η επιλογή του είδους του συστήματος, η διαστασιολόγησή του και ο τρόπος λειτουργίας του σε κάθε χρονική στιγμή είναι θέματα που πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσεκτική μελέτη και βελτιστοποίηση για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή. [Βλάχου κ.α. 2008]

2.8 Κριτήρια Επιλογής Συστήματος Συμπαραγωγής

Η απόφαση εγκατάστασης ή μη ενός συστήματος συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας λαμβάνεται με κριτήριο τα παρουσιαζόμενα οφέλη σε σύγκριση με τον συμβατικό τρόπο λειτουργίας (αγορά ηλεκτρισμού από το δίκτυο και λειτουργία λεβήτων για την παραγωγή θερμότητας). Για την σωστή επιλογή του κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι απαραίτητη μια προσεκτική και διεξοδική ανάλυση όλων των επιθυμητών λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος, δεδομένου του μεγάλου αριθμού των παραμέτρων, που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα του. Στην συνέχεια παρατίθενται μερικά κριτήρια επιλογής συστήματος συμπαραγωγής, τα οποία χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις μεθόδους οικονομικής αξιολόγησης επενδύσεων, με σκοπό την επίτευξη βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας της εγκατάστασης.

Απαιτήσεις της παραγωγής για την ταυτόχρονη προσφορά ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

- ✓ Είδος της βιομηχανίας (εποχιακή ή συνεχής λειτουργία, κάλυψη αιχμών).
- ✓ Η κατά το βέλτιστο τρόπο αξιοποίηση των προσφερόμενων καυσίμων.
- ✓ Η θερμοδυναμική κατάσταση του μέσου μεταφοράς θερμότητας.
- ✓ Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από το κεντρικό δίκτυο.
- ✓ Ο απαιτούμενος λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο λόγος, τόσο περισσότερο συμφέρει η προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.
- ✓ Το κόστος του καυσίμου.
- ✓ Ο θερμικός βαθμός απόδοσης των λεβήτων (που θα χρησιμοποιηθούν αντί του συστήματος συμπαραγωγής).
- ✓ Ο θερμικός και ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής.
- ✓ Το κόστος συντήρησης, η αξιοπιστία και η διάρκεια ζωής του συστήματος.

[Φούντη κ.α. 2007]

Στους πίνακες 2.6–2.7 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά όλων των παραπάνω τεχνολογιών.

Πίνακας 2-6 Σύγκριση χαρακτηριστικών λειτουργίας διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής.

Σύγκριση μεταξύ των χαρακτηριστικών λειτουργίας διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής						
Τεχνολογία Χαρακτηριστικά	Μηχανή Diesel	Αεριομηχανή	Ατμοστρόβιλος	Αεριοστρόβιλος	Micro turbine	Κυψέλες καυσίμου
Ηλ.βαθμός απόδοσης (%)	30-50	25-45	30-42	25-40 (απλός κύκλος) 40-60 (συνδυασμένος κύκλος)	20-30	40-70
Ισχύς (MW)	0,05-5	0,05-5	οποιαδήποτε	3-200	0,025 – 0,25	0,2-2
Καταλαμβανόμενος χώρος (m²/kW)	0,02	0,02 – 0,029	<0,01	0,002-0,06	0,014 – 0,14	0,06-0,37
Κόστος εγκατάστασης (euro /kW)	700-1350	700-1350	700-900	650-850	450-1150	>2700
Κόστος λειτουργίας (euro /kWh)	0,005-0,007	0,007-0,014	0,004	0,002-0,007	0,002-0,01	0,003-0,014
Διαθεσιμότητα (%)	90-95	92-97	99-100	90-98	90-98	>95
Χρόνος μεταξύ συντηρήσεων	25.000 – 30.000	24.000 – 60.000	>50.000	30.000 – 50.000	5.000 – 40.000	10.000 – 40.000
Χρόνος εκκίνησης	10sec	10sec	1hr-1day	10min-1hr	60 sec	3hrs - 2days
Καύσιμα	πετρέλαιο-κατάλοιπα διύλισης πετρελαίου	φυσικό αέριο, βιοαέριο, προπάνιο	οποιοδήποτε	φυσικό αέριο, βιοαέριο, προπάνιο	Φυσικό αέριο, βιοαέριο, προπάνιο	φυσικό αέριο, προπάνιο, υδρογόνο
Επίπεδα θορύβου	Μέτριος ως υψηλός (απαιτείται ηχομόνωση)	Μέτριος ως υψηλός (απαιτείται ηχομόνωση)	Μέτριος ως υψηλός (απαιτείται ηχομόνωση)	Μέτριος (απαιτείται ηχομόνωση)	Μέτριος (απαιτείται ηχομόνωση)	Χαμηλός
Εκπομπές NOx (kg/MWh)	1,4 – 15	1-12,7	0,8	0,14-1,8	0,18-1	<0,01
Χρήσεις της ανακτόμενης θερμότητας	Ζεστό νερό, ατμός χαμηλής πίεσης, τηλεθέρμανση	Ζεστό νερό, ατμός χαμηλής πίεσης, τηλεθέρμανση	Ατμός χαμηλής και υψηλής πίεσης, τηλεθέρμανση	Θέρμανση, ζεστό νερό, ατμός χαμηλής και υψηλής πίεσης, τηλεθέρμανση	Θέρμανση, ζεστό νερό, ατμός χαμηλής πίεσης	Ζεστό νερό, ατμός χαμηλής και υψηλής πίεσης
Απόδοση (Btu/kWh)	3.400	1.000-5.000	Άγνωστο	3.400-12.000	4.000-15.000	500-3700
Ωφέλιμη θερμοκρασία για συμπαραγωγή (oC)	80-480	150-260	Άγνωστο	260-600	205-345	60-370

[Πηγή : Μπαλάνου κ.α. 2007]

Πίνακας 2-7 Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών των συστημάτων συμπαραγωγής

Μηχανή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ατμοστρόβιλος	-υψηλός ολικός βαθμός απόδοσης -οποιοδήποτε καύσιμο -ποικιλία μεγεθών -υψηλή αξιοπιστία -υψηλή διαθεσιμότητα -μεγάλη διάρκεια ζωής -μεγάλο εύρος θερμοκρασιακών σταθμών -ο λόγος PHR μπορεί να	-χαμηλός λόγος PHR -υψηλό κόστος εγκατάστασης -μεγάλος χρόνος εγκατάστασης -αργή εκκίνηση
Αεριοστρόβιλος	-υψηλή αξιοπιστία -υψηλή θερμοκρασιακή στάθμη -χαμηλό κόστος εγκατάστασης -ποικιλία καυσίμων -χαμηλές εκπομπές ρύπων	-περιορισμένο εύρος μεγεθών -υψηλά επίπεδα θορύβου -πιθανό μεγάλο χρονικό διάστημα διακοπής λειτουργίας για συντήρηση -χαμηλή
Παλινδρομικές	-υψηλός βαθμός απόδοσης, επηρεάζεται ελάχιστα από τις μεταβολές του φορτίου -σχετικά χαμηλό κόστος εγκατάστασης -μεγάλο εύρος μεγεθών -γρήγορη απόκριση στις μεταβολές φορτίου	-υψηλός κόστος συντήρησης -υψηλό επίπεδο θορύβου χαμηλής συχνότητας
Μηχανή Stirling	-κατάλληλες για μαζική παραγωγή -χαμηλή στάθμη θορύβων % κραδασμών υψηλός βαθμός απόδοσης -ευελιξία καυσίμου -καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο -χαμηλές εκπομπές ρύπων	-υψηλό κόστος -πρόσφατη τεχνολογία, δεν έχει αναπτυχθεί αρκετά
Micro Turbine	-υψηλή αξιοπιστία -απλή εγκατάσταση -μικρό μέγεθος και βάρος -ανεκτά επίπεδα θορύβου -χαμηλές εκπομπές ρύπων -καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας -χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης	-υψηλό κόστος
Κυψέλες καυσίμου	-χαμηλές εκπομπές ρύπων -χαμηλή στάθμη θορύβου -μικρός χρόνος κατασκευής -αυτοματοποιημένη λειτουργία -λίγες απαιτήσεις συντήρησης -ευελιξία στον λόγο PHR -αρθρωτή δομή -διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης και σε μερικό φορτίο -γρήγορη απόκριση στις μεταβολές του	-υψηλό κόστος -αργή εκκίνηση -διάβρωση στην περίπτωση υγρών ηλεκτρολυτών -μικρή διάρκεια ζωής -δεν έχει αναπτυχθεί αρκετά -μικρή συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου)

[Πηγή : Μπαλάνου κ.α. 2007]

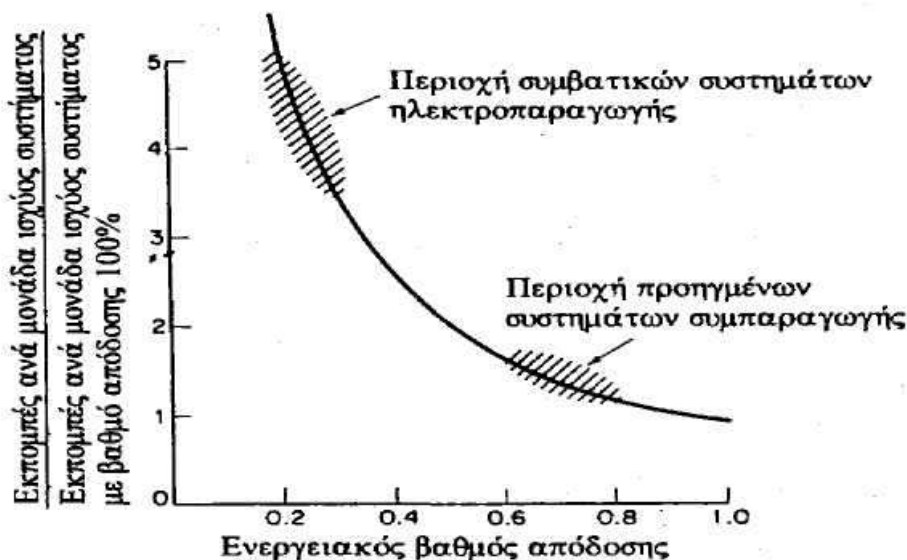
2.9 Πλεονεκτήματα της Συμπαραγωγής

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της συμπαραγωγής, αν εφαρμοστεί σωστά, είναι:

- ✓ Βαθμός απόδοσης: Υψηλότερος βαθμός απόδοσης σε σχέση με συμβατικές τεχνολογίες χωριστής ηλεκτροπαραγωγής και παραγωγής θερμότητας.
- ✓ Εξοικονόμηση καυσίμου: Με τα συστήματα συμπαραγωγής επιτυγχάνεται η καλύτερη αξιοποίηση της πρωτογενούς πηγής ενέργειας, δεδομένου ότι αξιοποιείται και η θερμική, η οποία αναπόφευκτα παράγεται κατά την διαδικασία μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Με αυτόν τον τρόπο συμβάλλουν στην εξοικονόμηση καυσίμων και εμμέσως στην αποφυγή εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- ✓ Ελαχιστοποίηση απωλειών: Τα συστήματα συμπαραγωγής βρίσκονται κοντά στον καταναλωτή σε σχέση με τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που είναι της τάξης του 8-10%. Οι μειωμένες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.
- ✓ Ενίσχυση του ενεργειακού δυναμικού: Παρέχει ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε τοπικές ενεργειακές ανάγκες και ασφάλεια εφοδιασμού. Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να σχεδιάζονται και να εγκαθίστανται ακόμα και σε γεωγραφικά απόμακρες περιοχές, εξυπηρετώντας τις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών. Προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε απρόβλεπτες μεταβολές της ζήτησης του ηλεκτρισμού. Σε κρατικό επίπεδο, η συμπαραγωγή αυξάνει το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής και περιορίζει τις ανάγκες κατασκευής νέων μεγάλων κεντρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, αυξάνει τη σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου της χώρας και την αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✓ Αύξηση της αξιοπιστίας ηλεκτροδότησης των καταναλωτών: Αυξάνεται η αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με την παράλληλη λειτουργία συστημάτων συμπαραγωγής και των κεντρικών σταθμών. Η σύνδεση της μονάδας συμπαραγωγής με το ηλεκτρικό δίκτυο εγγυάται την αδιάκοπη παροχή ηλεκτρισμού, αφού σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας της μονάδας, το δίκτυο μπορεί να παρέχει την ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή στη

σύνδεση των συστημάτων συμπαραγωγής με το δίκτυο έτσι ώστε να μην δημιουργηθούν προβλήματα στην ευστάθεια του δικτύου. Τα προβλήματα αυτά περιορίζονται ή και αποφεύγονται, όταν το σύστημα συμπαραγωγής και η σύνδεσή του με το δίκτυο πληρούν ορισμένες προδιαγραφές.

- ✓ Αύξηση της σταθερότητας ηλεκτρικών δικτύων: Η «Διανεμημένη Παραγωγή» της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνει την φόρτιση και τις απώλειες των δικτύων μεταφοράς και διανομής.
- ✓ Μείωση εκπομπόμενων ρύπων προς το περιβάλλον: Επιτυγχάνεται με την αποδοτικότερη εκμετάλλευση καυσίμου μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων προς το περιβάλλον σε σφαιρική κλίμακα, με την προϋπόθεση ότι το καύσιμο που χρησιμοποιείται δεν είναι κατώτερης ποιότητας από εκείνο της χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου συνοδεύεται από μια έμμεση μείωση των ρύπων από τον υπόλοιπο κύκλο του καυσίμου (εξόρυξη, επεξεργασία, μεταφορά, αποθήκευση). Το πλεονέκτημα αυτό καθίσταται ιδιαίτερα σημαντικό σήμερα, ενόψει της ραγδαίας επιβάρυνσης και καταστροφής του περιβάλλοντος σε παγκόσμια κλίμακα. Η μείωση των μολυσματικών ρύπων είναι ένας στόχος άλλωστε που έχει τεθεί και από το Πρωτόκολλο του Κιότο.



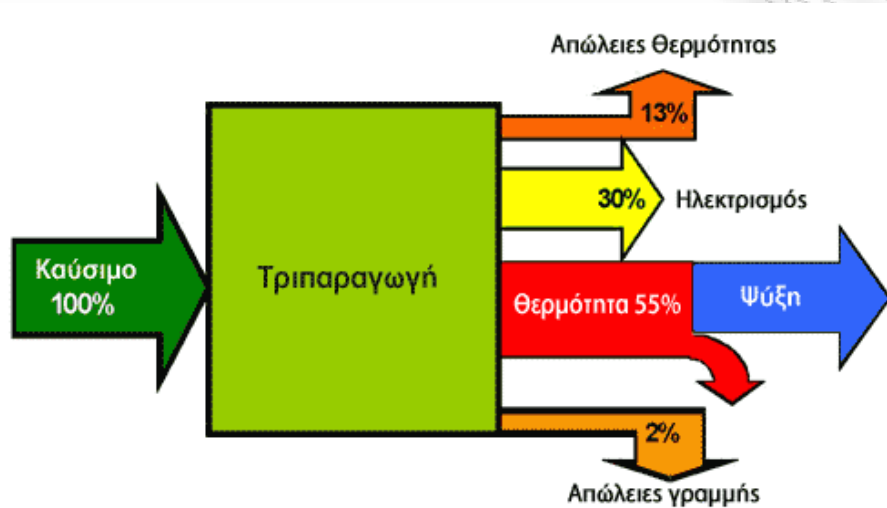
Σχήμα 2-16 Εκπομπή ρύπων ως συνάρτηση του βαθμού απόδοσης.

[Πηγή : Μπαλάνου κ.α. 2007]

- ✓ Κοινωνικά οφέλη: Η γεωγραφική διασπορά των συστημάτων συμπαραγωγής δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας, συγκρατεί εκεί το εργατικό δυναμικό και συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη του τόπου με την ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων, που σχετίζονται με την κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία των μονάδων.
- ✓ Συμβολή στην αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας: Τα συστήματα συμπαραγωγής σχεδιάζονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, αποφεύγοντας τις απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία του συστήματος που χρησιμοποιείται. Επακόλουθο είναι η αποκέντρωση της λήψης σχετικών αποφάσεων και η ενδυνάμωση του ρόλου της τοπικής αυτοδιοίκησης.
- ✓ Οικονομικά οφέλη στη εθνική οικονομία: Η συμπαραγωγή προσφέρει όφελος στην εθνική οικονομία μειώνοντας το σύνολο των δαπανών για τα εισαγόμενα καύσιμα. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία στα πλαίσια της ελληνικής ενεργειακής πολιτικής, καθώς η μειωμένη ανάγκη καυσίμων αποτελεί λύση για την μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από εισαγωγές.
- ✓ Οικονομικά οφέλη για το χρήστη: Επιτυγχάνεται ο περιορισμός του χρηματοοικονομικού κόστους χάρη στον μικρό χρόνο εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής σε σχέση με αυτόν που απαιτείται για την κατασκευή ενός κεντρικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Αυτό με την σειρά του συμβάλλει στην μείωση του μοναδιαίου κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✓ Ανατρέπει τα οποιαδήποτε μονοπώλια στην αγορά: Αποτελεί ευκαιρία να δημιουργηθούν συνθήκες ανταγωνισμού και ποικιλότητα στην ηλεκτροπαραγωγή. Το γεγονός αυτό την καθιστά από τα πιο σημαντικά εργαλεία στην προώθηση της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας.
- ✓ Στην περίπτωση της Τριπαραγωγής προστίθεται και η ανακούφιση του δικτύου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες: Χάρη στην τριπαραγωγή, κατά την διάρκεια του θέρους, κυρίως στις Μεσογειακές χώρες, δεν παρουσιάζεται τόσο αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για να καλυφθούν οι ανάγκες ψύξης. Έτσι, αυξάνεται η σταθερότητα των δικτύων ηλεκτρισμού και βελτιώνεται η αποδοτικότητα του συστήματος, αφού οι καλοκαιρινές αιχμές ως τώρα καλύπτονται από τις εταιρείες ηλεκτρισμού μέσω εφεδρικών μονάδων και το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατά την περίοδο του καλοκαιριού είναι υπερφορτωμένο. [Μπαλάνου κ.α. 2007].

2.10 Τεχνολογίες Τριπαραγωγής

Η εφαρμογή της τριπαραγωγής συνδυάζει συστήματα συμπαραγωγής με ψυκτικά συστήματα που λειτουργούν με απορρόφηση θερμικής ενέργειας. Τα πιο διαδεδομένα ψυκτικά συστήματα είναι οι ψύκτες απορρόφησης.



Σχήμα 2-17 Η βασική αρχή της Τριπαραγωγής.

[Πηγή: Περδικέας κ.α. 2008]

2.10.1 Ψύκτες Απορρόφησης

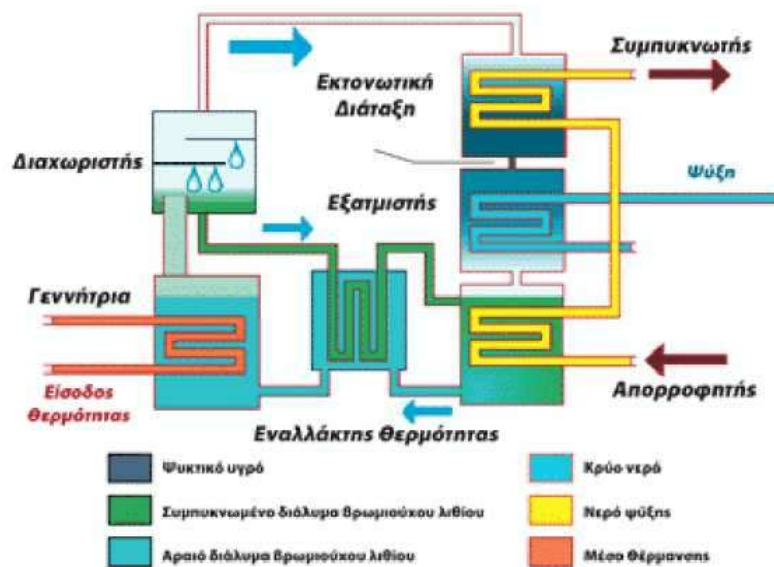
Οι ψύκτες απορρόφησης αποτελούν την εναλλακτική λύση, για την αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας έναντι της ηλεκτρικής. Ο ψύκτης απορρόφησης καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια μόνο 5-10% σε σύγκριση με έναν ηλεκτρικό ψύκτη, ως βοηθητική ενέργεια και ενέργεια για έλεγχο. Ως κύρια ενέργεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα είδη πηγών θερμότητας, π.χ. αέριο καύσιμο (φυσικό αέριο), υγρό καύσιμο (πετρέλαιο), ατμός (βιομηχανική χρήση), ηλιακή θερμότητα, ζεστό νερό (γεωθερμία ή βιομηχανική χρήση), υψηλής θερμοκρασίας καυσαέρια (ηλεκτρογεννήτρια συμπαραγωγής), κλπ, αντί της ηλεκτρικής ενέργειας.

Περίπου 12-13% της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ισχύος σε ένα κτίριο μπορούν να εξοικονομηθούν με χρήση ψυκτών απορρόφησης. Επομένως, εάν οι ψύκτες απορρόφησης υιοθετούνται σε μια κλίμακα εθνικού επιπέδου, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να λύσει η Πολιτεία τα προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας (φυσικά εφόσον η τελευταία δώσει τα κατάλληλα κίνητρα). Οποιαδήποτε

θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας που αποβάλλεται μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμη και να χρησιμοποιηθεί ως εφαρμογή εξοικονόμησης οδηγώντας ένα ψύκτη απορρόφησης ως πηγή θερμότητάς του. Επίσης ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί το νερό ως ψυκτικό μέσο αντί του φρέον. Ως εκ τούτου είναι πολύ φιλικό στο περιβάλλον.

Βασική αρχή ενός ψύκτη απορρόφησης

Στην απλή του μορφή, ένας ψύκτης απορρόφησης αποτελείται από έναν εξατμιστή, έναν συμπυκνωτή, έναν απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος. Στον κύκλο απορρόφησης, η συμπίεση του ατμοποιημένου ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται στον απορροφητή, στην αντλία και την γεννήτρια. Ο ατμός που παράγεται στον εξατμιστή απορροφάται από το υγρό μέσο απορρόφησης στον απορροφητή, το οποίο στη συνέχεια οδηγείται στην γεννήτρια, όπου το ψυκτικό μέσο απελευθερώνεται ως ατμός και εν συνεχεία συμπυκνώνεται. Το μέσο απορρόφησης οδηγείται πάλι στον απορροφητή για να ανακτήσει και πάλι το ψυκτικό μέσο. Θερμότητα παρέχεται στην γεννήτρια σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία και απορρίπτεται από τον απορροφητή σε χαμηλή θερμοκρασία.



Σχήμα 2-18 Ψύκτης απορρόφησης μονού κελύφους.

[Πηγή : Περδικέας κ.α. 2008]

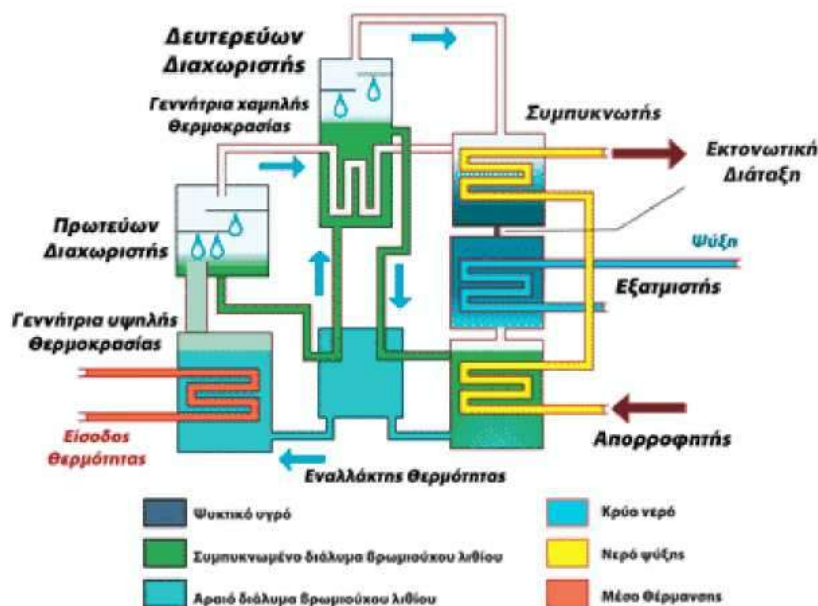
Σε έναν κύκλο απορρόφησης, το ψυκτικό μέσο και το μέσο απορρόφησης αποτελούν το ζεύγος εργασίας. Πολλά ζευγάρια έχουν προταθεί αλλά μόνο δύο χρησιμοποιούνται σήμερα: αμμωνία με νερό ως απορροφητή και νερό με διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (LiBr) ως απορροφητή.

Το ζεύγος αμμωνία/νερό συναντάται κυρίως σε εφαρμογές ψύξης με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης (κάτω από 0°C). Το ζεύγος νερό/LiBr χρησιμοποιείται ευρέως για κλιματισμό, όπου απαιτούνται θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 0°C. Η πίεση στις συσκευές αμμωνίας/νερού είναι συνήθως μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής ενώ τα συστήματα με νερό/LiBr λειτουργούν κάτω από μερικό κενό.

Στα συστήματα ψύξης με απορρόφηση που χρησιμοποιούν LiBr/νερό η πηγή θερμότητας πρέπει να βρίσκεται σε θερμοκρασία 60-80°C ενώ μπορεί να φτάσει και έως 150°C σε σύστημα διπλού κελύφους. Για συστήματα που χρησιμοποιούν αμμωνία/νερό η απαιτούμενη θερμοκρασία είναι 100-120°C. Ο βασικός κύκλος μπορεί να τροποποιηθεί με πολλούς τρόπους. Περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν αν εκμεταλλευτούμε πιο αποτελεσματικά την υψηλή θερμοκρασία της διαθέσιμης θερμότητας. Τα αποκαλούμενα συστήματα διπλού κελύφους έχουν δύο ζευγάρια γεννήτριας-απορροφητή με σκοπό την εκμετάλλευση της διαθέσιμης θερμότητας σε δύο στάδια.

Το κόστος συντήρησης των ψυκτών απορρόφησης ποικίλλει κατά περίπτωση. Τα πλεονεκτήματα των ψυκτών απορρόφησης σε σύγκριση με τους συμβατικούς ψύκτες είναι:

- ✓ Πολύ μικρή κατανάλωση ηλεκτρισμού
- ✓ Αυξημένη αξιοπιστία
- ✓ Μικρό κόστος συντήρησης
- ✓ Χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών
- ✓ Μη εκπομπή ουσιών, επιβλαβών για το στρώμα του όζοντος



Σχήμα 2-19 Ψύκτης απορρόφησης διπλού κελύφους.

[Πηγή: Μπαλάνου κ.α. 2007]

Απόδοση των ψυκτών απορρόφησης

Ο συντελεστής της απόδοσης (COP) είναι ένα μέτρο της αποδοτικότητας, με τον οποίο ο ψύκτης μετασχηματίζει τη θερμότητα σε ψύξη και είναι ο λόγος της θερμότητας που επάγεται προς την απαιτούμενη παρεχόμενη ενέργεια. Το COP ορίζεται ως η 'μείωση ενθαλπίας στο ρευστό που καταψύχεται (ενέργεια έξω) διαιρεμένη με την ενθαλπία που μεταφέρεται στο σύστημα από την πηγή θερμότητας (ενέργεια μέσα)'.

$$\text{COP} = \text{Ψυκτικό αποτέλεσμα (kW)} / \text{Συνολική Χρησιμοποιούμενη ιχύς από σύστημα (kW)}$$

Ο συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς (COP) είναι αδιάστατο μέγεθος. Η χαρακτηριστική τιμή COP για ενός σταδίου ψύκτη απορρόφησης είναι περίπου 0,7. Όσο μεγαλύτερη η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της επιθυμητής θερμοκρασίας ψύξης, τόσο υψηλότερος είναι ο COP. [Μουζακίτης κ.α. 2005]

2.10.2 Ψύξη με Συμπίεση

Η ψύξη με συμπιεστή είναι ο πλέον διαδεδομένος και συμβατικός τρόπος ψύξης, καθώς είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιούν τα κλιματιστικά για την παροχή ψυκτικού φορτίου. Τα συστήματα ψύξης με συμπιεστή διαθέτουν ένα μηχανισμό σχεδιασμένο να μειώνει τη θερμοκρασία του χώρου, συνήθως μέσω ενός ψυκτικού κύκλου. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρικός κινητήρας για να λειτουργεί ο συμπιεστής. Καθώς η εξάτμιση συμβαίνει όταν απορροφάται θερμότητα, και η συμπύκνωση συμβαίνει όταν απελευθερώνεται θερμότητα, ο συμπιεστής χρησιμοποιείται για να προκαλέσουν αλλαγές πίεσης ανάμεσα σε δύο τμήματα, και να βοηθήσει την κυκλοφορία ψυκτικού μέσα στο σύστημα. Ένα ψυκτικό μέσο αντλείται στο διαμέρισμα χαμηλής πίεσης (έλικας εξατμιστήρα), όπου, παρά τις χαμηλές θερμοκρασίες, η χαμηλή πίεση προκαλεί την εξάτμιση του ψυκτικού σε υδρατμό, παίρνοντας θερμότητα μαζί του. Στο άλλο διαμέρισμα (συμπυκνωτής), οι ατμοί του ψυκτικού συμπιέζονται και ωθούνται μέσω ενός έλικα εναλλαγής θερμότητας, να συμπυκνωθούν σε υγρό, απορρίπτοντας τη θερμότητα που έχουν προηγουμένως απορροφήσει από το ψυκτικό χώρο. Ο εναλλάκτης θερμότητας στο χώρο συμπύκνωσης συχνά ψύχεται από έναν ανεμιστήρα ο οποίος φυσά εξωτερικό αέρα μέσω αυτού ή σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως οι θαλάσσιες εφαρμογές, με άλλα μέσα, όπως το νερό. [Βλάχου κ.α. 2008].

3 ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

3.1 Εισαγωγή στον Γραμμικό Προγραμματισμό

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός ('Linear Programming') αποτελεί αναμφίβολα το δημοφιλέστερο μοντέλο στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας, αλλά και της διοικητικής επιστήμης ('Management Science') γενικότερα. Η μεγάλη επιτυχία, την οποία είχαν οι εφαρμογές του σε προβλήματα λήψης αποφάσεων των ιδιωτικών και δημόσιων επιχειρήσεων και οργανισμών αποδίδεται, από τη μία πλευρά στα επιτεύγματα της έρευνας μαθηματικών και οικονομολόγων σε θεωρητικό επίπεδο και από την άλλη πλευρά στην επαναστατική ανάπτυξη της πληροφορικής επιστήμης και της τεχνολογίας. Κυριαρχεί σήμερα η αντίληψη ότι, τρεις στις τέσσερις εφαρμογές μοντέλων επιχειρησιακής έρευνας σε πραγματικά προβλήματα διοίκησης παραπέμπουν στο Γραμμικό Προγραμματισμό.

Ο *'Γραμμικός Προγραμματισμός'* χρησιμοποιείται από τους επιχειρησιακούς ερευνητές ή τους αναλυτές προβλημάτων απόφασης για την *'προσέγγιση προβλημάτων κατανομής περιορισμένων πόρων ή μέσων σε εναλλακτικές και ανταγωνιστικές μεταξύ τους δραστηριότητες κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο'*. Πρόκειται για το γνωστό πρόβλημα κατανομής της 'πίτας' ('Resource Allocation Problem').

Τέτοια προβλήματα παρουσιάζονται συχνά όταν πρόκειται να ληφθεί απόφαση οικονομικού προγραμματισμού, δηλαδή απόφαση σχετικά με το επίπεδο στο οποίο θα αναπτυχθούν ορισμένες οικονομικές δραστηριότητες που διεκδικούν τους ίδιους πόρους. Μερικά παραδείγματα αυτής της μορφής είναι η κατανομή εργατικού δυναμικού, τεχνολογικού εξοπλισμού και πρώτων υλών σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες, η κατανομή κεφαλαίου σε διάφορα επενδυτικά προγράμματα, η ανάθεση σε περιορισμένο προσωπικό διαφόρων υπηρεσιών, η κατανομή του κρατικού προϋπολογισμού μεταξύ διαφόρων προγραμμάτων, υπουργείων κ.ά.

Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα αυτών των αποφάσεων (κριτήρια απόφασης) μπορεί να αφορά τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους από πωλήσεις, την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, τη μεγιστοποίηση της απασχόλησης, την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, κ.λπ. (Σίσκος 1998).

3.2 Μαθηματικοί Ορισμοί στον Γραμμικό Προγραμματισμό

Στη μαθηματική γλώσσα, ο Γραμμικός Προγραμματισμός είναι ένα μαθηματικό μοντέλο, στο οποίο επιχειρείται η βελτιστοποίηση (μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση) μιας ή περισσότερων γραμμικών συναρτήσεων (κριτήρια βελτιστοποίησης) αγνώστων πραγματικών μεταβλητών, των οποίων το πεδίο τιμών οριοθετείται έμμεσα από γραμμικούς περιορισμούς (ανισοεξισώσεις) συναρτήσεις των μεταβλητών αυτών.

Για τη λύση των προβλημάτων ο Γραμμικός Προγραμματισμός χρησιμοποιεί ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο αποτελείται από μεταβλητές απόφασης, μια αντικειμενική συνάρτηση (ή συνάρτηση σκοπού) και ένα σύνολο περιορισμών :

- ✓ **‘Μεταβλητές απόφασης’** (‘Decision Variables’) ενός προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού είναι οι δραστηριότητες, οι οποίες μπορούν να αναπτυχθούν (π.χ. γραμμές και ύψος παραγωγής ανά προϊόν, επενδύσεις ανά κατηγορία κ.ά.) σε ποσότητες που πρόκειται να προσδιοριστούν με τη λύση του προβλήματος.
- ✓ **‘Αντικειμενική συνάρτηση’** (‘Objective Function’) εκφράζει το αντικείμενο (το κόστος, κέρδος, πωλήσεις κτλ), το οποίο πρόκειται να βελτιστοποιηθεί (να ελαχιστοποιηθεί ή να μεγιστοποιηθεί, αντίστοιχα).
- ✓ **‘Περιορισμοί Μεταβλητών’** (‘Variable Constrains’) είναι ένα σύνολο αλγεβρικών ανισοτήτων ή ισοτήτων, οι οποίες εκφράζουν τους περιορισμούς του επιχειρηματικού περιβάλλοντος και της τεχνολογίας μέσα στους οποίους κινείται ο αποφασίζων, π.χ. περιορισμοί δυναμικότητας, διαθεσιμότητας πρώτων υλών, τεχνολογίας, αγοράς, κ.λπ.

Αναλυτικά, ένα τυπικό Μονοκριτηριακό πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού ορίζεται ως εξής:

- ✓ Να προσδιοριστούν οι τιμές των μεταβλητών $(x_1, x_2, \dots, x_\ell)$, που βελτιστοποιούν (μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν) τη γραμμική αντικειμενική συνάρτηση (κριτήριο βελτιστοποίησης):

$$g(x) = z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_\ell x_\ell$$

- ✓ Υπό τους γραμμικούς περιορισμούς:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1\ell}x_\ell \leq \eta \text{ ή } \eta \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2\ell}x_\ell \leq \eta \text{ ή } \eta \geq b_2$$

...

...

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{m\ell}x_\ell \leq \eta \text{ ή } \eta \geq b_m$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_\ell \geq 0$$

- ✓ Όπου το πρόσημο ενός περιορισμού είναι εναλλακτικά μικρότερο ή ίσο « \leq », ίσο « $=$ » ή μεγαλύτερο ή ίσο « \geq » και a_{ij}, b_i, c_j , για $i = 1, 2, \dots, m$ και $j = 1, 2, \dots, \ell$ είναι γνωστοί πραγματικοί συντελεστές.
- ✓ Οι περιορισμοί των μεταβλητών $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_\ell \geq 0$ είναι συμβατικοί και αποδίδουν (μοντελοποιούν) τη συνήθη φυσική σημασία των μεταβλητών απόφασης. (Βλάχου κ.α. 2008)

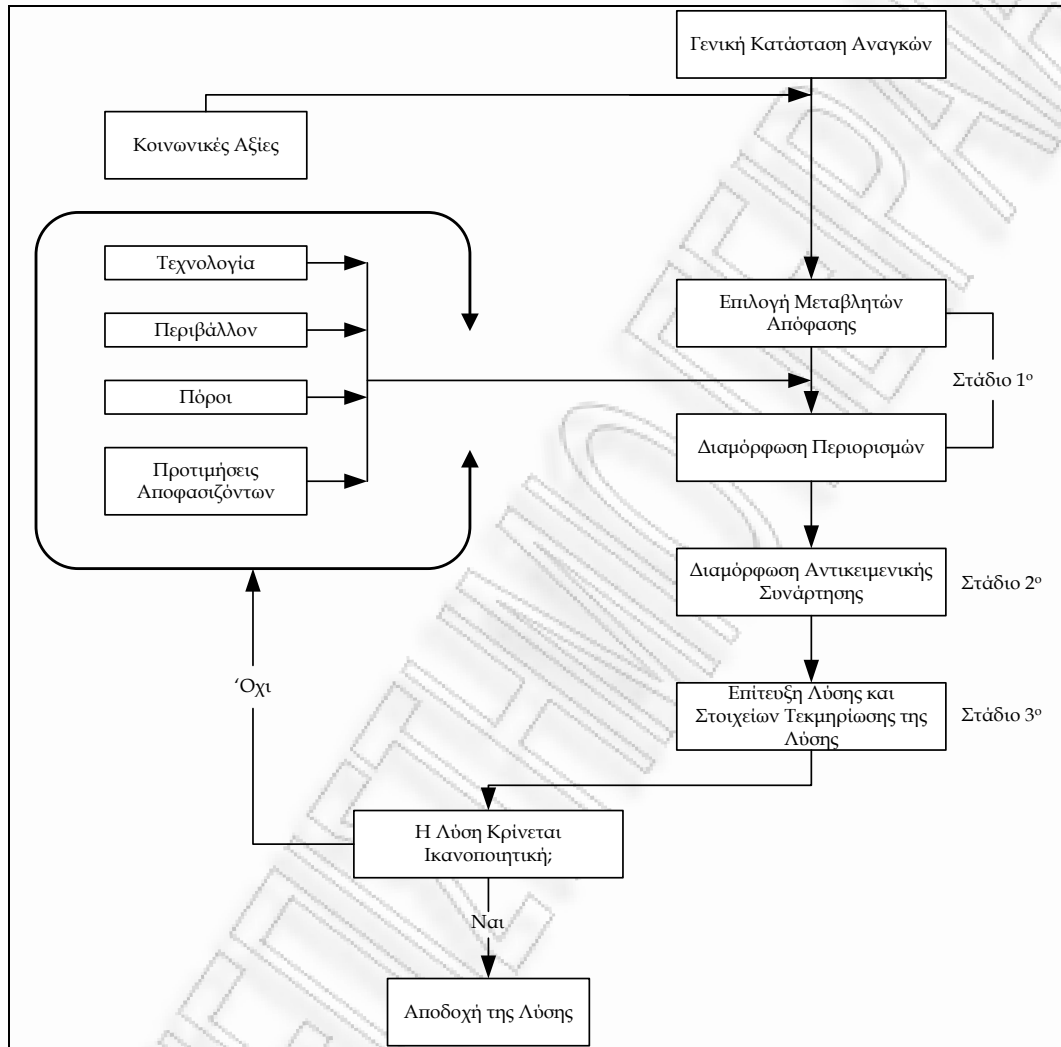
3.3 Μεθοδολογία Μοντελοποίησης Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού

Η διαδικασία διαμόρφωσης ενός μοντέλου Γραμμικού Προγραμματισμού ονομάζεται 'Μοντελοποίηση' ('Modelling'). Πρόκειται για το βασικότερο στάδιο προσέγγισης του προβλήματος απόφασης, το οποίο επιτρέπει στον αναλυτή (κατασκευαστής του μοντέλου) να αποκτήσει και επεξεργαστεί λύσεις για το πρόβλημα. Ο αναλυτής του προβλήματος οφείλει να διαγνώσει, εάν το σύστημα απόφασης που μελετά, επιδέχεται μοντελοποίηση με Γραμμικό Προγραμματισμό. Κάτι τέτοιο είναι κατορθωτό εφόσον οι αποφάσεις μπορούν να αναλυθούν σε δραστηριότητες κατανομής πόρων, μέσων, εργαλείων, προϊόντων, υπηρεσιών κλπ.

Κατά συνέπεια, όταν γίνεται λόγος για μοντελοποίηση προβλήματος απόφασης, πρόκειται για τέχνη διάγνωσης, αξιοποίησης εμπειρίας, κατασκευής, καθώς και διαχείρισης μαθηματικών σχέσεων με στόχο τη δημιουργία ενός κατάλληλου, αποτελεσματικού και οικονομικά διαχειρίσιμου μαθηματικού οικοδομήματος (μοντέλο Γραμμικού Προγραμματισμού). Στην τέχνη αυτή δεν υπάρχουν πάντα σταθεροί κανόνες. Υπάρχει, βεβαίως, ένα μεγάλο φάσμα κλασσικών προβλημάτων, για τα οποία η εμπειρία και η πράξη μέσα στις επιχειρήσεις έδειξαν ότι μοντελοποιούνται ικανοποιητικά με Γραμμικό Προγραμματισμό, καθότι στα προβλήματα αυτά οι αποφάσεις που πρόκειται να παρθούν είναι ή διαμορφώνονται ως αποφάσεις κατανομής. Σε άλλα προβλήματα, όμως, δεν είναι προφανής μια αβίαστη αναγωγή στην εμπειρία αυτή. Ας μην ξεχνιέται ότι, κάθε πραγματικό πρόβλημα απόφασης είναι ένα πρόβλημα καινούργιο, όπως επίσης ότι, το ίδιο πρόβλημα απόφασης μπορεί ενδεχομένως να μοντελοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με το πρόβλημα και τον αναλυτή του.

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αντιμετώπιση πολλών περίπλοκων προβλημάτων αποφάσεων. Η «ποιότητα» των αποφάσεων αυτών, όμως, εξαρτάται απόλυτα από την ακρίβεια της περιγραφής της κατάστασης, που μελετάται και από την καταλληλότητα του μοντέλου και των προϋποθέσεων ή απλουστεύσεων, που επιβάλλει ο μελετητής ή το συγκεκριμένο μοντέλο. Με λίγα λόγια, η ποιότητα της απόφασης εξαρτάται σημαντικά από την ακρίβεια της διατύπωσης του προβλήματος.

Το μεθοδολογικό πλαίσιο κατά το οποίο μοντελοποιείται, διαμορφώνεται μαθηματική δηλαδή, ένα πρόβλημα απόφασης ως πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού, μπορεί να παρασταθεί από το οργανόγραμμα του σχήματος 3.1. (Σίσκος 1998)



Σχήμα 3-1 Διαδικασία μοντελοποίησης και υποστήριξης αποφάσεων

[Πηγή : Σίσκος 1998]

Τα βήματα, τα οποία απαρτίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι:

- ✓ Κατανόηση του προβλήματος και ορισμός των μεταβλητών
- ✓ Ορισμός της αντικειμενικής συνάρτησης
- ✓ Ορισμός των περιορισμών και
- ✓ Αξιολόγηση της επίλυσης του προβλήματος

Τα βήματα αυτά ισχύουν για όλα τα προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού. Η δυσκολία του κάθε βήματος, όμως, όπως και ο χρόνος που απαιτείται στο κάθε στάδιο, διαφέρει από πρόβλημα σε πρόβλημα.

Τα βήματα αυτά δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, ενώ το περιεχόμενό τους συχνά δεν είναι σαφώς καθορισμένο. Ένα πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού ενδεχομένως να μην έχει μία μοναδική διατύπωση. Έτσι, κατά τη διατύπωση ενός προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού, ίσως υπάρξει ανάγκη να γίνει επάνοδος σε προηγούμενο στάδιο και να αναθεωρηθούν οι εκεί προϋποθέσεις και συμπεράσματα. Η επιτυχία της διατύπωσης εξαρτάται σε ένα βαθμό από τη φαντασία του μελετητή και από την εμπειρία του στη διατύπωση παρόμοιων προβλημάτων.

Στάδιο 1^ο : Κατανόηση του Προβλήματος και Ορισμός των Μεταβλητών Απόφασης

Το στάδιο αυτό, που αποτελεί προϋπόθεση για όλα τα επόμενα, είναι από τα πιο δύσκολα στα μεγάλα «αληθινά» προβλήματα. Ο αναλυτής εδώ πρέπει να κατανοήσει αρχικά ποιο είναι το πρόβλημα. Ποιά εναλλακτικά σχέδια δράσης (δραστηριότητες) εξετάζονται; Ποιές είναι οι μεταβλητές (εξωγενείς, ελεγχόμενες) του προβλήματος; Τί ερωτήματα έχουν τεθεί; Και πώς σχετίζονται τα σχέδια δράσης με ένα πιθανό αποτέλεσμα; Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας ο μελετητής πρέπει επίσης να ξεκαθαρίσει ποιά δεδομένα (μέσα από τον μεγάλο όγκο δεδομένων στο οποίο μπορεί να έχει πρόσβαση) είναι εκείνα που τον ενδιαφέρουν. Πολλές φορές στα στοιχεία υπάρχουν ελλείψεις ή αντιφάσεις, οπότε πρέπει να ασχοληθεί με ανάλογη συμπλήρωση, επαλήθευση ή επιλογή.

Οι μεταβλητές απόφασης οφείλουν να αντανακλούν απόλυτα (μοντελοποιούν) το ζητούμενο της απόφασης, μέσα από τις ανάγκες του περιβάλλοντος στο οποίο θα παρθεί η απόφαση και σύμφωνα με τις αξίες μιας κοινωνίας (αναβάθμιση των συνθηκών εργασίας, καθαρό φυσικό περιβάλλον, κλπ.). Το αντικείμενο της απόφασης ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό των λύσεων μετά από διαμόρφωση περιορισμών που είναι συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης. Το τετράπτυχο : ‘τεχνολογία-περιβάλλον-πόροι-προτιμήσεις’ είναι η κατεξοχήν πηγή έμμεσων επιτρεπτών ορίων μέσα στα οποία ‘κινούνται’ οι τιμές των μεταβλητών απόφασης.

Στάδιο 2^ο : Ορισμός της Αντικειμενικής Συνάρτησης

Στο δεύτερο στάδιο, ο αναλυτής του προβλήματος οφείλει να διαμορφώνει αντικειμενικές συναρτήσεις (των μεταβλητών απόφασης) σύμφωνα με τους στόχους της επιχείρησης ή του οργανισμού καθώς και τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων (μεγιστοποίηση κέρδους, παραγωγικότητας, ελαχιστοποίηση ρύπανσης του περιβάλλοντος, κλπ).

Το μοντέλο του Γραμμικού Προγραμματισμού απαιτεί μια μοναδική αντικειμενική συνάρτηση. Πολλές φορές όμως υπάρχουν καταστάσεις στις οποίες μπορεί κανείς να διατυπώσει περισσότερους από έναν σκοπούς. Επιπλέον, ενδέχεται μερικοί από αυτούς τους σκοπούς να μην συμβιβάζονται με άλλους, αλλά όλοι οι σκοποί συνολικά να οδηγούν σε διαφορετική στρατηγική δράση.

Σε περιπτώσεις, λοιπόν, όπου ο μελετητής συναντάει τέτοιου είδους προβλήματα μπορεί να ακολουθήσει μια από τις ακόλουθες τακτικές:

- α) να επιλέξει τον σκοπό εκείνο, ο οποίος ενδιαφέρει περισσότερο ή άμεσα, κατόπιν συνεννόησης με την διοίκηση και αφού εξεταστούν οι διάφοροι αντικειμενικοί σκοποί,
- β) να εκφράσει τους διάφορους επί μέρους στόχους, να τους αποτιμήσει ως προς τη σημασία τους, και να υπολογίσει ως αντικειμενική συνάρτηση το άθροισμα των γινομένων του κάθε επί μέρους στόχου επί την σπουδαιότητά του,
- γ) να επιλέξει τον πρωταρχικό σκοπό για την αντικειμενική συνάρτηση, και να εκφράσει τους άλλους σκοπούς ως περιορισμούς, όπου δεν θα επιτραπεί να «πέσουν» χαμηλότερα από ορισμένα όρια ανοχής,
- δ) να χρησιμοποιήσει μεθόδους του Προγραμματισμού Στόχων ('Goal Programming'), με τις οποίες επιθυμούμε να ελαχιστοποιήσουμε το άθροισμα των αποκλίσεων του κάθε σκοπού από κάποιον στόχο,
- ε) να χρησιμοποιήσει άλλη μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης. (Βλάχου κ.α. 2008)

Στάδιο 3^ο : Καθορισμός των Περιορισμών των Μεταβλητών Απόφασης

Ένα μεγάλο μέρος της επιτυχίας του πρότυπου του Γραμμικού Προγραμματισμού εξαρτάται από την ικανότητα του μελετητή να διατυπώνει με ακρίβεια, συντομία και πληρότητα όλους τους περιορισμούς, οι οποίοι είναι σχετικοί με την κατάσταση που μελετάται. Οι περιορισμοί αυτοί περιλαμβάνουν περιορισμούς δυναμικότητας (παραγωγής, αγοράς, κ.λπ.), τεχνολογίας, διαθεσιμότητας πρώτων υλών, νομικούς ή θεσμικούς, κ.ά.. Ωστόσο πρέπει να περιλαμβάνονται μόνο οι άμεσα σχετικοί περιορισμοί, και να εκφράζονται με συντομία και ακρίβεια.

Στάδιο 4^ο : Υποστήριξη της Απόφασης – Αξιολόγηση Επίλυσης

Στο στάδιο αυτό, ο αναλυτής προσπαθεί να πείσει τον αποφασίζοντα για την 'αξία' της λύσης. Σε περίπτωση, όπου η λύση και οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον όπου θα παρθεί η απόφαση δεν ικανοποιούν τον αποφασίζοντα, θα πρέπει να αναθεωρηθεί ένας ή περισσότεροι από τους παράγοντες : τεχνολογία (ανακαίνιση τεχνολογικού εξοπλισμού, κλπ), περιβάλλον (βελτίωση συνθηκών εργασίας, κλπ), πόροι (αύξηση προϋπολογισμού, νέες προμήθειες πρώτων υλών, κλπ), προτιμήσεις (αλλαγή πολιτικής : προσθήκη νέων αντικειμενικών συναρτήσεων, κλπ). (Σίσκος 1998)

3.4 Συνθήκες Εφαρμογής Μοντέλων Γραμμικού Προγραμματισμού

Προκειμένου να διατυπωθεί ένα μοντέλο Γραμμικού Προγραμματισμού πρέπει προηγουμένως να ισχύουν οι προϋποθέσεις του Γραμμικού Προγραμματισμού. Εάν δεν ισχύουν, τότε μπορεί να διατυπωθεί και να λυθεί μια προσέγγιση του προβλήματος για την οποία ισχύουν, με την επιφύλαξη, όμως, ότι η προσέγγιση αυτή θα ληφθεί υπόψη στην εκτίμηση της ακρίβειας της λύσης.

Οι προϋποθέσεις, που πρέπει να ισχύουν για να διατυπωθεί ένα μοντέλο Γραμμικού Προγραμματισμού είναι οι εξής:

✓ Γραμμικότητα

Όλες οι συναρτήσεις του προβλήματος (αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί) πρέπει να είναι γραμμικές ως προς τις άγνωστες μεταβλητές x_1, x_2, \dots, x_l .

Η προϋπόθεση της γραμμικότητας είναι πολύ σημαντική και πρέπει να προσεχτεί ιδιαίτερα. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Γραμμικού Προγραμματισμού θα πρέπει να υπάρχει η βεβαιότητα ότι η προϋπόθεση της γραμμικότητας ισχύει. Υπάρχουν και οι περιπτώσεις προβλημάτων, όπου οι σχέσεις είναι ‘Τμηματικά Γραμμικές’ (‘Piecewise Linear’).

Μερικές σχέσεις όπως παρουσιάζονται στην γραμμικότητα είναι μη γραμμικές, παρουσιάζοντας ‘Οικονομίες Κλίμακας ή Σταθερά Κόστη’ (‘Economies of Scale, Fixed Costs’). Πάντως, σε πολλές περιπτώσεις στις οποίες δεν ισχύει απόλυτα η προϋπόθεση της γραμμικότητας, μπορεί να γίνει αρκετά καλή προσέγγιση με γραμμικές συναρτήσεις, οι οποίες λύνουν το πρόβλημα.

✓ Διαιρετότητα

Το μοντέλο του Γραμμικού Προγραμματισμού προϋποθέτει ότι κάθε δραστηριότητα (δηλαδή μεταβλητή) είναι συνεχής και, επομένως, άπειρα διαιρετή. Αυτό συνεπάγεται ότι όλα τα επίπεδα δραστηριοτήτων και όλες οι χρήσεις πόρων επιτρέπεται να πάρουν ακέραιες τιμές, οπότε το πρόβλημα εμπίπτει στην κατηγορία του **‘Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού’**.

Όταν δεν δεσμεύονται όλες οι μεταβλητές να πάρουν ακέραιες τιμές, αλλά μόνο μερικές από αυτές, το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του **‘Μικτού Γραμμικού Προγραμματισμού’**.

✓ Βεβαιότητα

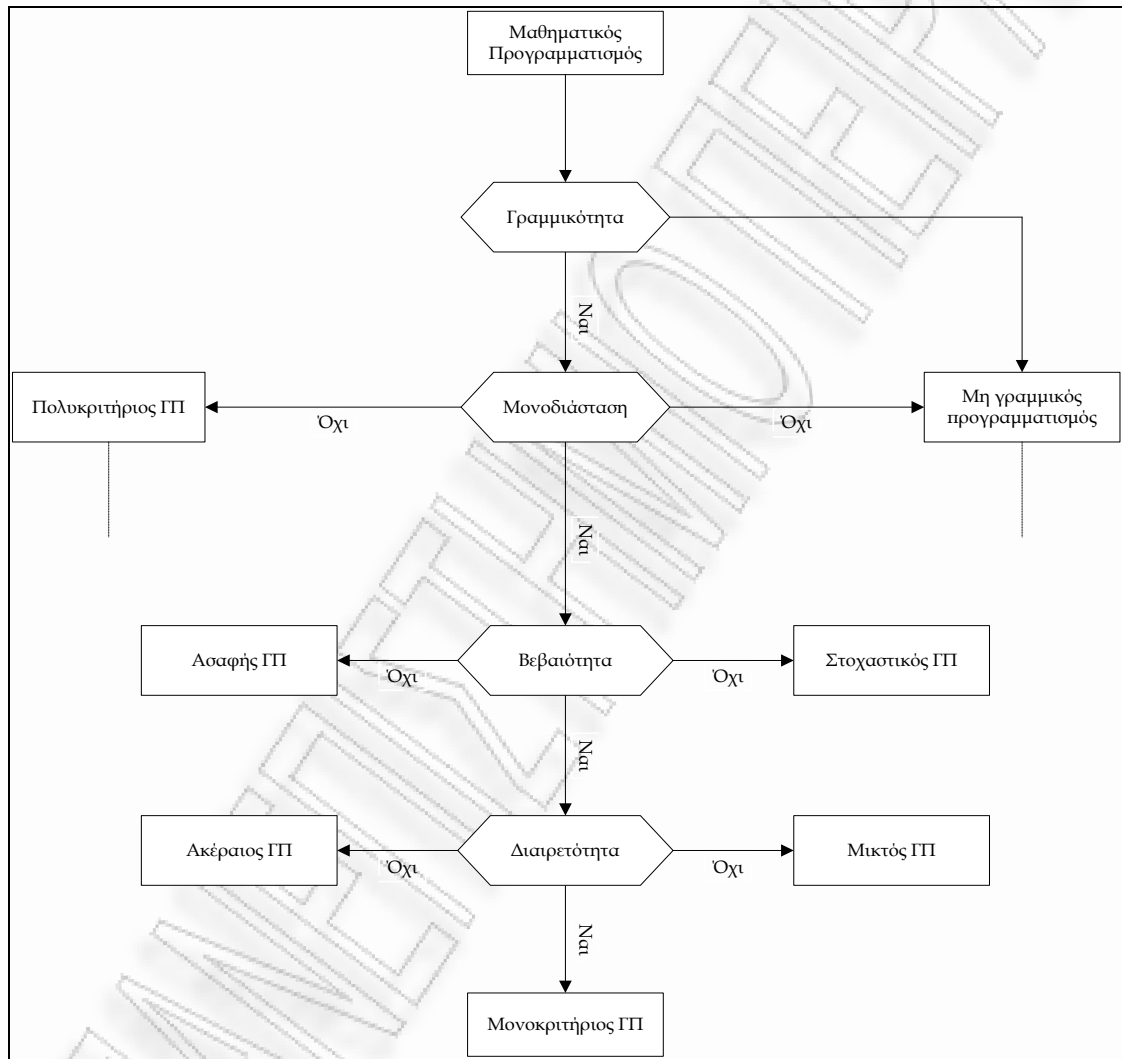
Το πρότυπο του Γραμμικού Προγραμματισμού προϋποθέτει ότι όλες οι παράμετροι του προβλήματος είναι γνωστές με απόλυτη βεβαιότητα. Οι παράμετροι αυτές περιλαμβάνουν τις διαθεσιμότητες των πρώτων υλών, τη συνεισφορά κάθε δραστηριότητας στη συνάρτηση σκοπού, και τις χρήσεις (αναλογίες) των πόρων (πρώτων υλών) για την επίτευξη των δραστηριοτήτων.

Όταν ορισμένες από τις παραμέτρους δεν είναι γνωστές με βεβαιότητα, αλλά ακολουθούν γνωστούς στατιστικούς νόμους, ο προγραμματισμός (γραμμικός, ακέραιος, μη γραμμικός) λέγεται **‘Στοχαστικός’** (‘Stochastic Programming’). Τέλος, όταν η πληροφορία για κάποιους συντελεστές είναι προσεγγιστική, είναι δηλαδή διαστήματα στα οποία ανήκουν ασαφώς οι συντελεστές αυτοί, ο προγραμματισμός λέγεται **‘Ασαφής’** (‘Fuzzy Programming’).

✓ Αριθμός Διαστάσεων

Η περίπτωση αυτή αφορά το πλήθος των αντικειμενικών συναρτήσεων, που μοντελοποιούν τους στόχους του προβλήματος απόφασης. Στον κλασικό Γραμμικό Προγραμματισμό η αντικειμενική συνάρτηση πρέπει να είναι μια και μοναδική (μονοδιάστατος ή μονοκριτήριος Γραμμικός Προγραμματισμός). Στην αντίθετη περίπτωση το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του **‘Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού’** (‘Multicriteria ή Multiobjective Linear Programming’). (Βλάχου κ.α. 2008)

Συνδυασμός των παραπάνω κατηγοριοποιήσεων κατά συνθήκη, οδηγεί στο δενδρικό σχήμα 3.2. Ανάλογη κατηγοριοποίηση μοντέλων, η οποία γίνεται για τον Μονοκριτηριακό Γραμμικό Προγραμματισμό ισχύει τόσο για τον Πολυκριτηριακό όσο και για τον Μη Γραμμικό Προγραμματισμό, μόνο που οι σχετικές θεωρίες δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί με ρυθμούς ανάλογους του κλασικού Γραμμικού Προγραμματισμού.



Σχήμα 3-2 Κατηγοριοποίηση προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού

[Πηγή : Σίσκος 1998]

3.5 Ακέραιος και Μικτός Γραμμικός Προγραμματισμός

Μια από τις προϋποθέσεις εφαρμογής του συνεχούς Γραμμικού Προγραμματισμού είναι η διαιρετότητα των μεταβλητών απόφασης. Σε ένα κλασικό (συνεχές) Γραμμικό Προγραμματισμό, οι μεταβλητές μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή (π.χ. 7,5 kg, 0,75 ώρες, 3,5 χιλ. €, κ.λπ.). Υπάρχει όμως σημαντικός αριθμός προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού, στα οποία όλες οι μεταβλητές ή μερικές από αυτές υποχρεούνται να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές (π.χ. αριθμός εργατών, αριθμός εργοστασιακών μονάδων, αποφάσεις χρηματοδότησης ή μη χρηματοδότησης ενός έργου, κ.λπ.).

Τα προβλήματα του Γραμμικού Προγραμματισμού, στα οποία όλες ανεξαιρέτα οι μεταβλητές απόφασης περιορίζονται να πάρουν ακέραιες τιμές εμπίπτουν στο πεδίο του *‘Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού’* (*‘Integer Linear Programming’*).

Η λύση αυτών των προβλημάτων είναι απλή: όταν οι τιμές που λαμβάνουν αυτές οι μεταβλητές είναι σχετικά μεγάλες (π.χ. πάνω από 15), τα προβλήματα αυτά λύνονται με τη χρήση Γραμμικού Προγραμματισμού (δηλαδή αγνοώντας τον περιορισμό περί ακεραιότητας των μεταβλητών), όπου το αποτέλεσμα προσεγγίζεται στον κοντινότερο ακέραιο. Με αυτή τη διαδικασία ελπίζουμε αφενός ότι η προσέγγιση είναι μικρή σε σχέση με το μέγεθος της μεταβλητής, αφετέρου ότι δεν θα παραβιαστούν οι περιορισμοί του προβλήματος, εφ’ όσον μερικές μεταβλητές θα αυξηθούν, άλλες όμως θα μειωθούν στη διαδικασία της προσέγγισης. Μία τέτοια διαδικασία είναι αρκετά επικίνδυνη, όσο απλή κι αν φαίνεται, γιατί μπορεί να καταλήξει είτε σε υποβέλτιστες λύσεις, κατώτερες δηλαδή της πραγματικά βέλτιστης ακέραιης λύσης, είτε σε λύσεις μη πραγματοποιήσιμες, που παραβιάζουν δηλαδή τουλάχιστον ένα από τους περιορισμούς του προβλήματος.

Προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού, στα οποία ο περιορισμός ακεραιότητας δεν ισχύει για όλες τις μεταβλητές, αλλά για μερικές από αυτές, ονομάζονται προβλήματα *‘Μικτού Γραμμικού Προγραμματισμού’* (*‘Mixed Linear Programming’*).

Σε αντίθεση με τον Γραμμικό Προγραμματισμό, όπου η συνηθισμένη μέθοδος Simplex είναι μια πολύ πετυχημένη μέθοδος λύσης, στον Ακέραιο Προγραμματισμό δεν έχει ευρεθεί αντίστοιχος αλγόριθμος ο οποίος να εγγυάται την άριστη λύση του κάθε προβλήματος μέσα σε «λογικό» (σε σχέση με το μέγεθος του προβλήματος) χρόνο. Επιπλέον, υπάρχουν μερικές κατηγορίες «δύσκολων προβλημάτων» για τα οποία υπάρχουν έντονες ενδείξεις ότι δεν μπορεί να υπάρξει τέτοιος αλγόριθμος.

Η κύρια δυσκολία στη λύση των προβλημάτων Ακέραιου Προγραμματισμού οφείλεται στον συνδυαστικό τους χαρακτήρα. Γι' αυτό το λόγο, τα προβλήματα αυτά ονομάζονται και **‘Συνδυαστικά Προβλήματα’** (‘Combinatorial Problems’). Έτσι, και οι πιο γνωστές μέθοδοι για τη λύση τους, περιλαμβάνουν απόπειρες συνδυασμού ακέραιων τιμών μεταξύ των μεταβλητών, μέχρι να επιτευχθεί μια σχετικά καλή (και όχι αναγκαστικά η άριστη) λύση. Αυτή η έννοια της **«σχετικά καλής και εύκολης, αλλά όχι αναγκαστικά άριστης λύσης»** είναι πολύ σημαντική στον Ακέραιο Προγραμματισμό.

Βασίζεται στην ιδέα ότι αυτός, που αποφασίζει είναι διατεθειμένος να δεχτεί μια τέτοια λύση εάν η άριστη λύση απαιτεί υπερβολικά μεγάλο χρόνο για τον υπολογισμό της. Η ιδέα αυτή, η οποία εξάλλου είναι γνωστή σαν γενικότερη αρχή στη διοικητική συμπεριφορά ήταν η αιτία για τη δημιουργία και ραγδαία εξέλιξη των **‘Προσεγγιστικών ή Ευρεστικών μεθόδων’** (‘Heuristic Methods’). Ο κλάδος των ευρεστικών μεθόδων έχει σαν σκοπό τη δημιουργία και την αξιολόγηση αλγορίθμων, οι οποίοι βρίσκουν μια «καλή» λύση σε ένα πρόβλημα, μέσα σε «σχετικά μικρό» χρόνο. Πολλά προβλήματα καθημερινών αποφάσεων λύνονται με ευρεστικές μεθόδους.

Έτσι, λοιπόν, χωρίζουμε τους αλγορίθμους Ακέραιου Προγραμματισμού σε δυο κατηγορίες:

- ✓ τους αλγορίθμους αριστοποίησης και
- ✓ τους ευρεστικούς αλγορίθμους.

Ο πιο γνωστός αλγόριθμος αριστοποίησης είναι η μέθοδος των **‘Διαδοχικών Ορίων’** (‘Branch-and-Bound method’). Η μέθοδος αυτή αποτελεί και τη βάση για όλα τα πακέτα Ηλεκτρονικού Υπολογιστή που λύνουν προβλήματα Ακέραιου Προγραμματισμού. (Βλάχου κ.α. 2008)

3.6 '0 / 1' Ακέραιος Προγραμματισμός

Εκτός όμως από τα συνήθη αυτά προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού, όπου οι μεταβλητές είναι γενικά ακέραιες και η λύση σχετικά απλή, υπάρχει μια ιδιαίτερα σημαντική κατηγορία προβλημάτων αποφάσεων στα οποία η απόφαση μπορεί να είναι μόνο της μορφής «ΝΑΙ» ή «ΟΧΙ». Μερικά παραδείγματα τέτοιων προβλημάτων είναι προβλήματα επενδύσεων (απόφαση: «να γίνει» ή «να μη γίνει» μια επένδυση), προβλήματα χωροταξίας (απόφαση: «να κτιστεί εδώ το νέο υποκατάστημα» ή «να κτιστεί εκεί»), κ.ά.. Στα προβλήματα αυτά οι μεταβλητές δε έχουν ένα φυσικό νόημα όπως οι κλασσικές γραμμικές μεταβλητές (π.χ. μονάδες παραγωγής, κιλά προϊόντος, ώρες εργασίας, κ.ά.), αλλά λογικό νόημα (ναι ή όχι). Έτσι, οι μεταβλητές αυτές μπορούν να πάρουν μόνο δύο ακέραιες τιμές: 0 ή 1. Γι' αυτό και αυτή η κατηγορία προβλημάτων Ακέραιου Προγραμματισμού ονομάζεται *'προβλήματα 0 / 1'*.

Τα προβλήματα 0 / 1 παρουσιάζουν ενδιαφέρον για διάφορους λόγους. Πρώτον, τα προβλήματα αυτά καλύπτουν τις σημαντικότερες εφαρμογές Ακέραιου Προγραμματισμού. Δεύτερον, η διατύπωσή τους παρουσιάζει ιδιομορφία και απαιτεί εμπειρία και φαντασία πέρα από αυτή των προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού. Τρίτον, στα προβλήματα αυτά εντάσσονται και προβλήματα, όπου σε πρώτη όψη όλες οι μεταβλητές έχουν φυσικό νόημα, αλλά υπάρχουν άλλα χαρακτηριστικά (π.χ. σταθερό κόστος) που δεν επιτρέπουν τη λύση Γραμμικού Προγραμματισμού. Και τέταρτον, η επίλυσή τους συνήθως παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία, εφόσον (επειδή οι αριθμοί είναι μικροί), η στρογγυλοποίηση στον κοντινότερο ακέραιο μπορεί να δώσει λύσεις που όχι απλώς απέχουν σημαντικά από την άριστη αλλά δεν είναι καν εφικτές.

3.7 Πολυκριτηριακός Μαθηματικός Προγραμματισμός

3.7.1 Εισαγωγή

Ο Πολυκριτηριακός Μαθηματικός Προγραμματισμός (ΠΚΜΠ) ή Μαθηματικός Προγραμματισμός με πολλαπλά κριτήρια ('Multiple Objective Mathematical Programming') αποτελεί τον κλάδο εκείνο της λήψης αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια, που ασχολείται με τη δημιουργία και επίλυση μοντέλων μαθηματικού προγραμματισμού με περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις. Από πολύ νωρίς προσέλκυσε το ενδιαφέρον των ερευνητών του αντίστοιχου τομέα, για δύο κυρίως λόγους:

Πρώτον, αναγνωρίστηκε ότι τα περισσότερα προβλήματα λήψης απόφασης που εκφράζονται με μοντέλα Μαθηματικού Προγραμματισμού είναι στην ουσία πολυκριτηριακά. Τα περισσότερα του ενός κριτήρια εκφράζουν μια πιο ρεαλιστική εκδοχή των σύγχρονων μοντέλων λήψης απόφασης. Αυτό ενισχύεται και από το γεγονός ότι στα σημερινά προβλήματα υπάρχουν περισσότεροι του ενός εμπλεκόμενοι φορείς, με διαφορετικές οπτικές γωνίες, που αντιστοιχούν σε διαφορετικά, πολλές φορές αλληλοσυγκρουόμενα, κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά, σε ένα πρόβλημα Μαθηματικού Προγραμματισμού, ποσοτικοποιούνται με τις κατάλληλες αντικειμενικές συναρτήσεις.

Ο δεύτερος λόγος είναι η αλματώδης εξέλιξη στην υπολογιστική τεχνολογία (αύξηση ταχύτητας, δυνατότητα αποθήκευσης κλπ), η οποία ενθαρρύνει την ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων, που είναι κατεξοχήν απαιτητικές σε υπολογιστική ισχύ, όπως είναι οι μέθοδοι Πολυκριτηριακού Μαθηματικού Προγραμματισμού. Προβλήματα, τα οποία πριν από μια δεκαετία εθεωρούντο πρακτικά άλυτα, σήμερα επιλύονται σε μερικά δευτερόλεπτα.

Ο Πολυκριτηριακός Γραμμικός Προγραμματισμός αποτελεί τον κλάδο του Πολυκριτηριακού Μαθηματικού Προγραμματισμού, όπου οι σχέσεις του μοντέλου είναι γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης. Ο όρος Πολυκριτηριακός Γραμμικός Προγραμματισμός ετυμολογικά παραπέμπει στην επέκταση του Γραμμικού Προγραμματισμού στο χώρο των πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων, αλλά ουσιαστικά πρόκειται για μια διαφορετική φιλοσοφία στον τρόπο προσέγγισης των υπό εξέταση προβλημάτων.

Η επίλυση των προβλημάτων Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού είναι αρκετά πιο πολύπλοκη σε σχέση με τα αντίστοιχα προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού και εμπλέκουν άμεσα τον αποφασίζοντα στη διαδικασία εύρεσης της προτιμότερης λύσης. Το βασικότερο χαρακτηριστικό των προβλημάτων Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού είναι ότι δεν υπάρχει μια αντικειμενικά βέλτιστη λύση η οποία προκύπτει από τη διαδικασία επίλυσης (όπως στο Γραμμικό Προγραμματισμό), αλλά ένα σύνολο υποψηφίων για αποδοχή λύσεων (ικανές λύσεις), οι οποίες υπολογίζονται και μεταξύ αυτών, καλείται ο αποφασίζων να επιλέξει την καλύτερη σύμφωνα με τις προτιμήσεις του (σχετικά «βέλτιστη» λύση). (Μαυρωτάς 2000)

3.7.2 Χαρακτηριστικά προβλημάτων

Τα προβλήματα Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού ανήκουν στην κατηγορία των ‘προβλημάτων χαμηλού βαθμού δόμησης’ (‘ill structured problems’), είναι δηλαδή προβλήματα, όπου η ορθολογική λύση δεν καθορίζεται από το ίδιο το πρόβλημα (όπως στο Γραμμικό Προγραμματισμό), αλλά αποτελεί αντικείμενο προοδευτικής αναζήτησης, με εμπλοκή του αποφασίζοντα στη διαδικασία αυτή, συνήθως μέσω μιας ‘διαδικασίας δοκιμής – σφάλματος’ (‘trial and error process’). Η επίλυση των προβλημάτων Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού αποτελείται ουσιαστικά από δύο βήματα:

- ✓ Το πρώτο είναι ο υπολογισμός των ικανών λύσεων, δηλαδή των λύσεων εκείνων που έχουν αντικειμενικά τη δυνατότητα αποδοχής από τον αποφασίζοντα.
- ✓ Το δεύτερο αφορά τη διαδικασία επιλογής της προτιμότερης μεταξύ των ικανών λύσεων.

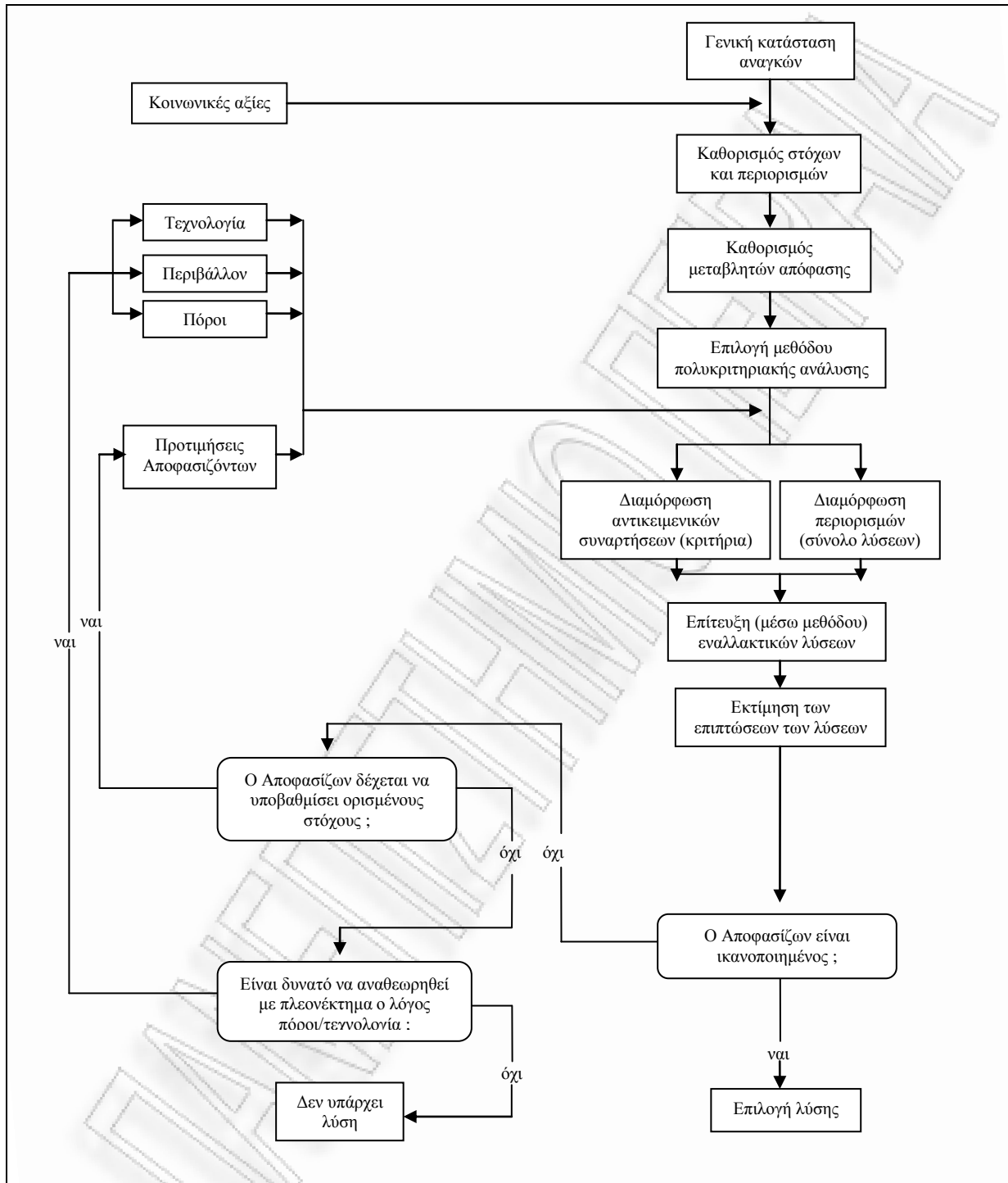
Είναι φανερό ότι οι μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού πρέπει να περιλαμβάνουν στοιχεία αλληλεπίδρασης μεταξύ της μεθόδου και του αποφασίζοντα, προκειμένου ο τελευταίος να οδηγήσει την αναζήτηση προς τη σχετικά «βέλτιστη» λύση εκφράζοντας τις προτιμήσεις του. Σε αντίθεση με το Γραμμικό Προγραμματισμό, οι μέθοδοι Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού δεν έχουν ως αποκλειστικό σκοπό τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης, διότι, όπως αναφέρθηκε, αυτή δεν υφίσταται λόγω της πολυκριτηριακής φύσης του προβλήματος. Οι μέθοδοι Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού επιδιώκουν την παροχή όσο το δυνατόν

περισσότερων πληροφοριών σχετικά με τις υπονήφιες λύσεις (ικανές λύσεις) στον αποφασίζοντα, έτσι ώστε να υποστηριχθεί στη λήψη της δικής του απόφασης για την προτιμότερη λύση. Πρέπει, συγχρόνως, να έχουν τη δυνατότητα να αποτυπώνουν όσο γίνεται καλύτερα τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα κατά την διαλογική διαδικασία επιλογής της τελικής λύσης.

Για τους λόγους αυτούς οι ολοκληρωμένες μέθοδοι Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού αποτελούν ουσιαστικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων για την επίλυση προβλημάτων χαμηλού βαθμού δόμησης. Η διαφοροποίηση μεταξύ των μεθόδων Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού αφορά κυρίως τον τρόπο υπολογισμού των ικανών λύσεων, το πλήθος και τα χαρακτηριστικά των ικανών λύσεων που παράγουν και τη διαδικασία αλληλεπίδρασης με τον αποφασίζοντα. Είναι χαρακτηριστικό ότι στα 30 περίπου χρόνια ζωής του Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού δεν υπήρξε κάποια μέθοδος που να επικράτησε, όπως για παράδειγμα στον Γραμμικό Προγραμματισμό η μέθοδος Simplex. Η καταλληλότητά της εφαρμογής μιας μεθόδου Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του προβλήματος, τα χαρακτηριστικά του αποφασίζοντα, την εμπειρία του αναλυτή και τα διαθέσιμα υπολογιστικά εργαλεία. (Μαυρωτάς 2000).

Οι σύγχρονες μέθοδοι Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού είναι αλληλεπιδραστικού χαρακτήρα ('interactive methods'), δηλαδή περιέχουν φάσεις υπολογισμού (επίτευξη εναλλακτικών λύσεων, αξιολόγηση των επιπτώσεων μιας λύσης πάνω στα κριτήρια) και φάσεις διαλόγου ανθρώπου – μηχανής (man-machine models), κατά το γενικό πρότυπο του σχήματος 3.3, που αποσκοπούν στο να κατανοήσει ο αποφασίζων τις δικές του προτιμήσεις και να καθοδηγηθεί προς την ικανοποιητική λύση.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ένα γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο μοντελοποίησης γραμμικών προγραμμάτων με πολλαπλά κριτήρια.



Σχήμα 3-3 Γενική μεθοδολογία μοντελοποίησης πολυκριτηριακών γραμμικών προγραμμάτων

[Πηγή : Σίσκος 1998]

3.7.3 Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος

Η εισαγωγή πολλών αντικειμενικών συναρτήσεων σ' ένα πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού δημιουργεί το 'πρόβλημα της γραμμικής διανυσματικής μεγιστοποίησης' ('linear vector maximum problem'). Με τον όρο μεγιστοποίηση εννοείται γενικότερα η αριστοποίηση αφού και η ελαχιστοποίηση μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε μεγιστοποίηση με αλλαγή πρόσημου. Η ανάλυση των προβλημάτων αυτών αποτελεί το αντικείμενο του Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού.

Το πρόβλημα του Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού μαθηματικά ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} & \max \{ c^1 \cdot x = g_1 \} \\ & \max \{ c^2 \cdot x = g_2 \} \\ & \dots \\ & \max \{ c^p \cdot x = g_p \} \end{aligned} \quad (3.1)$$

υπό τους περιορισμούς

$$x \in S = \{ x \in \mathbb{R}^n \mid A \cdot x = b, x \geq 0, b \in \mathbb{R}^m \}$$

S: το εφικτό χωρίο των περιορισμών

n: ο αριθμός των μεταβλητών

m: ο αριθμός των περιορισμών

p: ο αριθμός των αντικειμενικών συναρτήσεων

c^i : το διάνυσμα γραμμής των συντελεστών της 'i' αντικειμενικής συνάρτησης

g^i : η τιμή της 'i' αντικειμενικής συνάρτησης

A: η μήτρα ($m \times n$) των τεχνολογικών συντελεστών

b: το διάνυσμα ($m \times 1$) των σταθερών όρων (δεξί σκέλος περιορισμών)

x: το διάνυσμα ($n \times 1$) των μεταβλητών απόφασης

Σε αντίθεση με τον Γραμμικό Προγραμματισμό, όπου η διαδικασία επίλυσης επικεντρώνεται στην εξέταση του χώρου των μεταβλητών απόφασης R^n , στον Πολυκριτηριακό Γραμμικό Προγραμματισμό έχει ιδιαίτερη σημασία ο χώρος των αντικειμενικών συναρτήσεων R^p . Αυτό συμβαίνει διότι η διαδικασία επίλυσης στα προβλήματα του Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού αφορά την εξέταση των τιμών των αντικειμενικών συναρτήσεων που προκύπτουν από κάθε λύση. Συνεπώς, είναι αρκετά βοηθητική η απεικόνιση του προβλήματος στο χώρο των αντικειμενικών συναρτήσεων R^p αντί του χώρου των μεταβλητών απόφασης R^n . Εξάλλου, το p , δηλαδή ο αριθμός των αντικειμενικών συναρτήσεων, είναι συνήθως πολύ μικρότερο του n , που εκφράζει το πλήθος των μεταβλητών απόφασης, κι έτσι η γραφική απεικόνιση της κατάστασης του προβλήματος είναι πιο εύκολη. (Μαυρωτάς 2000)

3.7.4 Βασικές έννοιες – ορισμοί

3.7.4.1 Ικανή λύση

Μία λύση 'x' ενός προβλήματος Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού λέγεται ‘Ικανή’ (ή ‘κατά Pareto άριστη’, ή ‘αποτελεσματική’), ('efficient, non-dominated solution') αν και μόνο αν :

$$\begin{aligned} & \text{' } x \in S \text{ και δεν υπάρχει άλλη λύση } y \in S \text{ τέτοια ώστε } c^i \cdot y \geq c^i \cdot x \\ & \text{για κάθε } i = 1, 2, \dots, p \text{ και } c^i \cdot y > c^i \cdot x \text{ για τουλάχιστον ένα } i \text{ ' .} \end{aligned}$$

Κάθε ικανή λύση αντιστοιχεί σε ένα μη βελτιώσιμο διάνυσμα στο χώρο των αντικειμενικών συναρτήσεων, με την έννοια ότι δεν μπορεί να βελτιωθεί η τιμή μιας αντικειμενικής συνάρτησης χωρίς να χειροτερεύσει τουλάχιστον μία από τις άλλες.

Ο όρος ‘ικανή λύση’ χρησιμοποιείται επίσης για να εκφράσει και το αντίστοιχο διάνυσμα τιμών των κριτηρίων $g = (c^1 \cdot x, c^2 \cdot x, \dots, c^p \cdot x)$ στο χώρο των αντικειμενικών συναρτήσεων R^p .

Όταν υπάρχει λύση $y \in S$ τέτοια ώστε $c^i \cdot y \geq c^i \cdot x$ για $i = 1, 2, \dots, p$ με τουλάχιστον μία αυστηρή ανισότητα τότε η λύση y ‘κυριαρχεί’ της x .

3.7.4.2 Τελική ή σχετικά βέλτιστη λύση

Η ικανή εκείνη λύση που τελικά επιλέγει από το σύνολο των ικανών λύσεων ο αποφασίζων, λέγεται ‘Τελική ή Σχετικά Βέλτιστη λύση’ (‘final or best compromise solution’). Ο όρος «σχετικά» σημαίνει ακριβώς ότι αποτελεί υποκειμενική επιλογή του αποφασίζοντα σε αντίθεση με τη βέλτιστη λύση σε ένα πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού που είναι αντικειμενικά προσδιοριζόμενη.

3.7.4.3 Ικανή ακραία λύση

Μια ικανή λύση ενός προβλήματος Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού, η οποία αντιστοιχεί σ’ ένα ακραίο σημείο του εφικτού χωρίου του προβλήματος (κορυφή) λέγεται ‘Ικανή Ακραία λύση’ (‘efficient extreme solution’).

Μία ακραία λύση αντιστοιχεί σε ακραίο σημείο και στο χώρο των αντικειμενικών συναρτήσεων. Οι ακραίες λύσεις, που αντιστοιχούν σε γειτονικές κορυφές στο εφικτό σύνολο ονομάζονται ‘γειτονικές ακραίες λύσεις’ (‘adjacent extreme solutions’). Η μετάβαση από μία ακραία λύση σε μία γειτονική της πραγματοποιείται με μια επανάληψη της μεθόδου Simplex, δηλαδή με αντικατάσταση μιας βασικής μεταβλητής από μια μη βασική έτσι ώστε να προκύπτει εφικτή λύση. Επίσης, αποδεικνύεται το ακόλουθο θεώρημα, στο οποίο στηρίζονται και οι αλγόριθμοι παραγωγής του συνόλου των ακραίων ικανών λύσεων:

Θεώρημα 3.1

‘Το σύνολο των ικανών ακραίων λύσεων στα προβλήματα Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού με συνεχείς μεταβλητές απόφασης είναι διασυνδεδεμένο, δηλαδή κάθε μία ικανή ακραία λύση έχει τουλάχιστον μία γειτονική ικανή ακραία λύση’

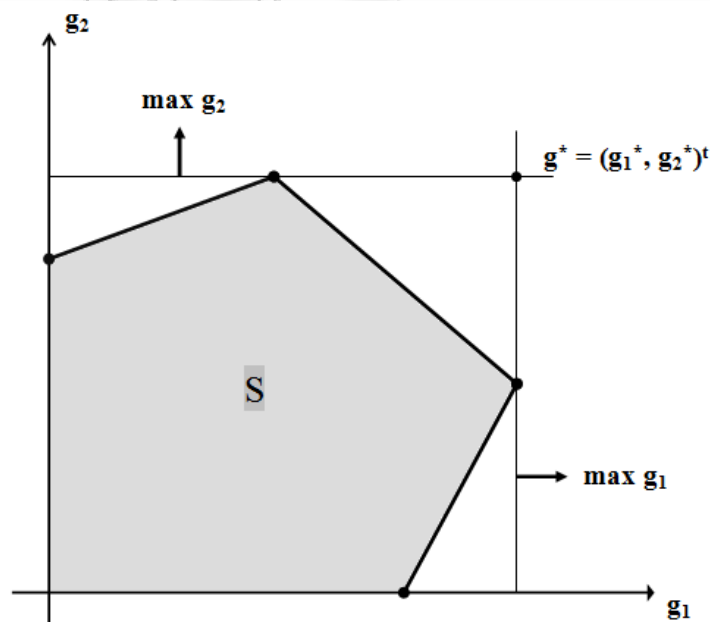
3.7.4.4 Διάλυση τιμών των κριτηρίων

Κάθε λύση $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ που ανήκει στο χώρο των μεταβλητών απόφασης R^n απεικονίζεται μέσω των αντικειμενικών συναρτήσεων στο χώρο των κριτηρίων R^p σ' ένα διάνυσμα (σημείο) $g = (g_1, g_2, \dots, g_p)$, όπου $g_1 = c^1 \cdot x$, $g_2 = c^2 \cdot x$, ..., $g_p = c^p \cdot x$. Το διάνυσμα g ορίζεται ως Διάλυση Τιμών των Κριτηρίων ('criterion vector').

3.7.4.5 Ιδεώδης λύση

Ιδεώδης λύση (ή ιδεώδες διάνυσμα), ('ideal solution' or 'ideal vector') στο χώρο των αντικειμενικών συναρτήσεων R^p , ορίζεται εκείνο το διάνυσμα των τιμών των μεταβλητών απόφασης, που μεγιστοποιεί ταυτόχρονα όλες τις συναρτήσεις, έχει δηλαδή συντεταγμένες στο χώρο κριτηρίων : $g^* = (g_1^*, g_2^*, \dots, g_n^*)^t$.

Φυσικά δεν πρόκειται για δυνατή λύση, αφού το σημείο g^* βρίσκεται έξω από το επιτρεπτό σύνολο τιμών g_i . (δεν υπάρχει εφικτή λύση που να αριστοποιεί συγχρόνως όλες τις αντικειμενικές συναρτήσεις). Συχνά αναφέρεται και ως 'σημείο ουτοπίας' ('utopia point'). Το ιδεώδες σημείο χρησιμοποιείται συνήθως ως σημείο αναφοράς για να διερευνηθεί η προσέγγιση σ' αυτό των ικανών λύσεων. (σχήμα 3.4).



Σχήμα 3-4 Χώρος κριτηρίων και ιδεώδης λύση

(ο γραμμοσκιασμένος χώρος είναι η απεικόνιση του συνόλου S των δυνατών λύσεων) [Πηγή : Σίσκος 1998]

3.7.4.6 Εναλλακτικές άριστες λύσεις

Όταν η άριστη τιμή g^* μιας αντικειμενικής συνάρτησης προκύπτει από διαφορετικές λύσεις $x^{1*}, x^{2*}, \dots, x^{k*}$, τότε η συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση έχει k Εναλλακτικές Άριστες λύσεις. ('alternative optimal solutions').

3.7.4.7 Πίνακας Πληρωμών ή Κερδών

Μία βασική έννοια, αλλά και αναπαράσταση του ανταγωνισμού μεταξύ των πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων, είναι ο Πίνακας Πληρωμών ή Κερδών ('pay-off table'). Συνίσταται στη βελτιστοποίηση καθεμιάς χωριστά αντικειμενικής συνάρτησης: $g_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, n$ και την αντικατάσταση της εκάστοτε βέλτιστης λύσης στις υπόλοιπες αντικειμενικές συναρτήσεις.

Τα στοιχεία των ενεργειών αυτών, μεταφέρονται σε έναν πίνακα, ο οποίος περιέχει σε κάθε γραμμή τη βελτιστοποίηση που πραγματοποιείται, τις τιμές της βέλτιστης λύσης πάνω σε όλες τις αντικειμενικές συναρτήσεις και τις τιμές των μεταβλητών απόφασης, εφόσον το πλήθος τους είναι μικρό, αλλιώς παραλείπονται (πίνακας 3.1)

Πίνακας 3-1 Πίνακας Πληρωμών

Τύπος λύσης	g_1	g_2	...	g_i	...	g_n	Αντιστοιχούσα λύση
[max] $g_1(x)$	g_{11}^*	g_{12}	...	g_{1i}	...	g_{1n}	$x_1^1, x_2^1, \dots, x_1^1$
[max] $g_2(x)$	g_{21}	g_{22}^*	...	g_{2i}	...	g_{2n}	$x_1^2, x_2^2, \dots, x_1^2$
...		
[max] $g_i(x)$	g_{i1}	g_{i2}	...	g_{ii}^*	...	g_{in}	$x_1^i, x_2^i, \dots, x_1^i$
...		
[max] $g_n(x)$	g_{n1}	g_{n2}	...	g_{ni}	...	g_n^*	$x_1^n, x_2^n, \dots, x_1^n$

[Πηγή : Σίσκος 1998]

Συνεπώς, μετά τη μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης $g_i(x)$, ονομάζεται ως x^i η επιτευχθείσα βέλτιστη λύση και προκύπτει:

$$g_i^* = \max g_i(x), x \in S \quad (3.2)$$

$$g_{ij} = g_j(x^i), j \neq i \quad (3.3)$$

Ο πίνακας πληρωμών παρέχει πολύ χρήσιμα στοιχεία, τόσο για την ποιότητα των λύσεων στις οποίες οδηγούν οι αντικειμενικές συναρτήσεις, όσο και για το ανταγωνιστικό καθεστώς που υπάρχει ανάμεσα τους. Όσον αφορά αυτό το τελευταίο, αρκεί να παρατηρήσει κανείς μια-μια τις στήλες του τετραγωνικού πίνακα (g_{ij}) : οι συναρτήσεις g_j και g_k θεωρούνται 'ανταγωνιστικές' όταν οι διαφορές $(g_{ij} - g_{ik})$ είναι συστηματικά υψηλές για διάφορους δείκτες συναρτήσεων i , ενώ θεωρούνται μη ανταγωνιστικές όταν οι διαφορές είναι μικρές. Στη διαγώνιο του πίνακα τιμών μπορούν να διαβαστούν οι συντεταγμένες του ιδεώδους σημείου. (Σίσκος 1998).

3.7.4.8 Συναινετική λύση

Μια δυνατή λύση λέγεται 'Συναινετική' ('compromise solution') όταν βρίσκεται σε ελάχιστη απόσταση από το ιδεώδες σημείο g^* . Ο ορισμός προϋποθέτει φυσικά την ύπαρξη κάποιας απόστασης των σημείων του χώρου S από το ιδεώδες σημείο. Η απόσταση, που χρησιμοποιείται συνήθως είναι η εξής :

$$F_p(x) = \left\{ \sum_{i=1}^n p_i \left(\frac{g_i^* - g_i(x)}{g_i^*} \right)^p \right\}^{1/p} \quad (3.4)$$

όπου P είναι φυσικός αριθμός, που επιλέγεται από τον αναλυτή του προβλήματος και p_1, p_2, \dots, p_n είναι συντελεστές βαρύτητας συναρτήσεων με άθροισμα την μονάδα ($\sum p_i = 1$).

Η εξίσωση 3.4 αποτελεί υπερκριτήριο βελτιστοποίησης κατά την έννοια :

$$x^* = \min_{x \in S} F_p(x) \quad (3.5)$$

Η διαδικασία επίλυσης του μαθηματικού προγράμματος της εξίσωσης 3.5 ονομάστηκε ‘συναινετικός προγραμματισμός’ (‘compromise programming’). Δεν είναι, όμως, μια απλή υπόθεση, διότι για τιμές της παραμέτρου $P \neq 1, \infty$ το πρόβλημα της εξίσωσης 3.5 είναι πρόβλημα μη γραμμικού προγραμματισμού.

Το πρόβλημα ανάγεται σε Γραμμικό Προγραμματισμό για $P = 1$ (προφανές) και $P = \infty$. Στη δεύτερη, ειδικά, περίπτωση η απόσταση (3.4) καταλήγει στη προσφιλή ‘απόσταση Tchebycheff’:

$$F_{\infty}(x) = \lim_{P \rightarrow \infty} F_{p(x)} = \max_{i=1}^n [p_i \cdot (g_i^* - g_i(x)) / g_i^*] \quad (3.6)$$

Η απόσταση Tchebycheff χρησιμοποιείται ευρέως στον Πολυκριτηριακό Γραμμικό Προγραμματισμό, διότι δεν καταστρέφει τη γραμμικότητα του προβλήματος. Για να προσδιοριστεί τώρα η δυνατή λύση, που ελαχιστοποιεί την απόσταση F_{∞} , αρκεί να λυθεί ο ακόλουθος Γραμμικός Προγραμματισμός, που είναι ισοδύναμος του προβλήματος $\min F_{\infty}(x)$, $x \in S$:

$$[\min] g = \lambda \quad (3.7)$$

υπό τους περιορισμούς :

$$\lambda \geq [g_i^* - g_i(x)] \cdot (p_i / g_i^*), \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (3.8)$$

$$x \in S, \lambda \geq 0 \quad (3.9)$$

Ο αναγνώστης μπορεί εύκολα να διαπιστώσει την ισοδυναμία των δύο προβλημάτων, παρατηρώντας ότι η πρόσθετη μεταβλητή ‘λ’ ελαχιστοποιείται, ώστε να πάρει τη μέγιστη τιμή από τα δεύτερα μέλη της σχέσης 3.8. (Σίσκος 1998)

3.7.5 Λεξικογραφική αριστοποίηση

Ο όρος ‘Λεξικογραφική Αριστοποίηση’ (‘lexicographic optimization’) αναφέρεται σε μια κατά στάδια αριστοποίηση προβλημάτων Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού.

Στο πρώτο στάδιο (αφού ο αποφασίζων έχει ιεραρχήσει τις συναρτήσεις ως προς τη σπουδαιότητα τους) αριστοποιείται η πρώτη σημαντικότερη αντικειμενική συνάρτηση. Αν υπάρχουν εναλλακτικά άριστα αναζητείται μεταξύ αυτών αυτό που αριστοποιεί τη δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση (δεύτερο στάδιο). Με σταθερή δηλαδή την άριστη τιμή της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης επιδιώκεται η αριστοποίηση της δεύτερης. Στη συνέχεια με σταθερές τις τιμές της πρώτης και της δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης επιδιώκεται η βελτιστοποίηση της τρίτης κ.ο.κ. μέχρι την τελευταία αντικειμενική συνάρτηση. Το αποτέλεσμα της λεξικογραφικής αριστοποίησης για κάποια αντικειμενική συνάρτηση είναι η λύση εκείνη, που αριστοποιεί τη συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση και παρουσιάζει τις καλύτερες δυνατές τιμές για τις υπόλοιπες αντικειμενικές συναρτήσεις με κάποια σειρά προτεραιότητας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν δεν υπάρχουν εναλλακτικά άριστες λύσεις για μία αντικειμενική συνάρτηση, τότε το αποτέλεσμα της λεξικογραφικής αριστοποίησης ταυτίζεται με αυτό της απλής αριστοποίησης. Ουσιαστικό ρόλο στη μέθοδο αυτή παίζει κυρίως η πρώτη στην ιεραρχία συνάρτηση, που σημαίνει ότι η μέθοδος υποβαθμίζει τον πολυκριτηριακό χαρακτήρα του προβλήματος.

3.7.6 Μέθοδος Ολικού Κριτηρίου

Ως ‘Μέθοδος Ολικού Κριτηρίου’ (‘global criterion method’) εννοείται κάθε μέθοδος, που αποσκοπεί στη σύνθεση των n αντικειμενικών συναρτήσεων σε μία, μετατρέποντας τον Πολυκριτηριακό Γραμμικό Προγραμματισμό σε πρόβλημα βελτιστοποίησης. Η νέα συνάρτηση είναι μία ‘συνάρτηση αξιών’ (‘value function’):

$$u(x) = u[(g_1(x), g_2(x), \dots, g_n(x))] \quad (3.10)$$

Πέραν των τεχνικών δυσκολιών, που ενδέχεται να θέσει το νέο πρόβλημα:

$$[\max] u(x), \text{ υπό τον περιορισμό } x \in S \quad (3.11)$$

Δεδομένου ότι η συνάρτηση αξιών μπορεί να είναι μη γραμμική, τίθεται και θέμα θεμιτότητας της συγκεκριμένης συνάρτησης ως μοντέλου ολικής προτίμησης του αποφασίζοντος. Το τελευταίο πρόβλημα καθορισμού της συνάρτησης αξιών ενός αποφασίζοντος παραπέμπει στην ‘πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας’ (‘multi-attribute utility theory’). Στην απλή περίπτωση, όπου η συνάρτηση 3.10 είναι γραμμική, έχουμε τον ‘σταθμισμένο μέσο’ των κριτηρίων g_1, g_2, \dots, g_n :

$$u(x) = \sum_{i=1}^n p_i g_i(x) \quad (3.12)$$

όπου p_1, p_2, \dots, p_n είναι θετικοί συντελεστές βαρύτητας των οποίων η φυσική σημασία για τη συγκεκριμένη συνάρτηση 3.12 δίνεται παρακάτω.

Ως μοντέλο ολικής προτίμησης ενός αποφασίζοντος η συνάρτηση 3.12 οφείλει να σέβεται τις εξής σχέσεις:

$$u(x) > u(y) \leftrightarrow \text{η λύση } x \text{ προτιμάται της } y \quad (3.13)$$

$$u(x) = u(y) \leftrightarrow \text{η λύση } x \text{ κρίνεται ισοδύναμη της } y \quad (3.14)$$

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η φυσική σημασία των συντελεστών βαρύτητας $p_i, i=1, 2, \dots, n$ στο μοντέλο σταθμισμένου μέσου (3.12), θεωρείται πως υπάρχουν δύο υποθετικές λύσεις x και y με τις εξής τιμές στα κριτήρια:

$$\begin{array}{l} x: \quad g_1 \quad g_2 \quad \dots \quad g_i \quad \dots \quad g_n \\ y: \quad g_1 - \Delta \quad g_2 \quad \dots \quad g_i + 1 \quad \dots \quad g_n \end{array}$$

Οι τιμές των δύο λύσεων στα κριτήρια είναι παντού ίδιες εκτός από δύο κριτήρια, το κριτήριο g_i στο οποίο έχει κερδηθεί μία μονάδα από τη λύση y ως προς τη x και το κριτήριο g_1 όπου έχει χαθεί ποσότητα Δ από τη λύση y .

Υπό την υπόθεση ότι ο αποφασίζων, έχοντας τη λύση x , έχει παραχωρήσει Δ μονάδες κριτηρίου g_1 προκειμένου να κερδίσει μία μονάδα κριτηρίου g_i , δηλαδή είναι αδιάφορος ως προς τις προτιμήσεις μεταξύ των λύσεων x και y (η λύση x κρίνεται ισοδύναμη της y). Σύμφωνα με τη σχέση 3.14:

$$u(x) = u(y) \leftrightarrow p_1 g_1 + p_2 g_2 + \dots + p_i g_i + \dots + p_n g_n = p_1 (g_1 - \Delta) + p_2 g_2 + \dots + p_i (g_i + 1) + \dots + p_n g_n$$

από όπου προκύπτει τελικά:

$$\Delta = p_i / p_1, \forall i \quad (3.15)$$

Άρα, αν τεθεί $p_1 = 1$ και η συνάρτηση παίξει το ρόλο της συνάρτησης αναφοράς, που αποζημιώνει τις υπόλοιπες ($p_i = \Delta$), το βάρος μιας συνάρτησης είναι η ποσότητα, που παραχωρείται στη συνάρτηση αναφοράς για να κερδηθεί ακριβώς μια μονάδα στη συνάρτηση g_i . Συνεπώς, τα βάρη είναι 'συντελεστές αντιστάθμισης' ('trade off') μεταξύ των συναρτήσεων και της συνάρτησης αναφοράς.

Θεώρημα 3.2

‘Η συνάρτηση αξιών ενός αποφασίζοντος είναι γραμμική (σταθμισμένος μέσος) όταν για κάθε ζεύγος συναρτήσεων (g_i, g_j), $i = 1, \dots, n$ συντελεστές αντιστάθμισης (βάρη) είναι ανεξάρτητοι των τιμών, που παίρνουν οι υπόλοιπες συναρτήσεις στο χώρο συναρτήσεων και σταθεροί’

Υπό το φως του θεωρήματος αυτού, ο αναλυτής του προβλήματος μπορεί να δρομολογήσει ένα διάλογο με τον αποφασίζοντα, τόσο για τη θεμιτότητα του μοντέλου του σταθμισμένου μέσου, όσο και για την εκτίμηση των βαρών των αντικειμενικών συναρτήσεων. Είναι φανερό πόσο ισχυρές είναι οι υποθέσεις, που κρύβονται πίσω από το μοντέλο του σταθμισμένου μέσου, υποθέσεις που δημιουργούν σοβαρά πρακτικά προβλήματα στους αναλυτές, οι οποίοι πρέπει άμεσα ή έμμεσα να ελέγξουν και προσδιορίσουν σταθερές παραχωρήσεις-βάρη μεταξύ οικονομικών κριτηρίων και κριτηρίων περιβαλλοντικών, κοινωνικών, γεωπολιτικών, κ.λπ. (Σίσκος 1998)

3.7.7 Σταθμισμένο άθροισμα αντικειμενικών συναρτήσεων

Με τον όρο ‘Σταθμισμένο Άθροισμα Αντικειμενικών Συναρτήσεων’ (‘weighted sum of objective functions’) εννοείται η σύνθεση των αντικειμενικών συναρτήσεων, μέσω του σταθμισμένου αθροίσματός τους, ώστε να δημιουργηθεί μία γενικευμένη αντικειμενική συνάρτηση. Το αντίστοιχο πρόβλημα σταθμισμένου αθροίσματος του προβλήματος Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού, που περιγράφεται στην (3.1) ορίζεται ως εξής:

$$\max \{ \lambda^T \mathbf{c}^i \mathbf{x}, i: = 1..p, / \mathbf{x} \in S \} \quad (3.16)$$

Πρόκειται δηλαδή για πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού, όπου οι συντελεστές στάθμισης λ_i (ή απλά «βάρη») των αντικειμενικών συναρτήσεων παίρνουν τιμές στο χώρο των συντελεστών στάθμισης, Λ που ορίζεται ως εξής:

$$\lambda_i \in \Lambda = \{ \lambda_i \in \mathbb{R}^p / \lambda_i \in (0,1), \sum \lambda_i = 1 \} \quad (3.17)$$

3.7.8 Πρόβλημα min-max

Στον Πολυκριτηριακό Γραμμικό Προγραμματισμό με τον όρο ‘min-max πρόβλημα’ εννοείται το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της μέγιστης απόκλισης από κάποιο σημείο-στόχο. Στον Πολυκριτηριακό Γραμμικό Προγραμματισμό το σημείο-στόχος ανήκει στον χώρο των p διαστάσεων (\mathbb{R}^p , όπου p ο αριθμός των αντικειμενικών συναρτήσεων). Η ελαχιστοποίηση της μέγιστης απόκλισης από το σημείο-στόχο, σημαίνει την εύρεση της εφικτής λύσης που αντιστοιχεί στο σημείο εκείνο του \mathbb{R}^p , του οποίου η μεγαλύτερη απόκλιση (ως προς τις p διαστάσεις) από το σημείο-στόχο αποκτά την ελάχιστη τιμή της. Το σημείο-στόχος μπορεί να είναι το ιδεώδες σημείο του προβλήματος Πολυκριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού. (Μαυρωτάς 2000).

3.7.9 Μέθοδος των Περιορισμών

Η 'μέθοδος των Περιορισμών' ('e-constraint method') ανήκει στην κατηγορία των λεγόμενων 'μεθόδων παραγωγής' ('generation methods') των ικανών λύσεων. Οι μέθοδοι αυτοί έχουν ως αντικείμενο τον υπολογισμό (παραγωγή) του συνόλου ή κάποιου αντιπροσωπευτικού υποσυνόλου των ικανών λύσεων. Μετά την παραγωγή των ικανών λύσεων, ο αποφασίζων τις εξετάζει και επιλέγει την προτιμότερη απ' αυτές που αποτελεί την τελική λύση. Οι μέθοδοι παραγωγής έχουν το πλεονέκτημα ότι δίνουν στον αποφασίζοντα τη δυνατότητα να δει όλες τις δυνατές επιλογές του πριν αποφασίσει, πράγμα που προσδίδει μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην τελική του απόφαση.

Η τεχνική που ακολουθείται εφαρμόζει μια συστηματική μεταβολή του δεξιού σκέλους των περιορισμών και λειτουργεί ως εξής:

- ✓ Στην αρχή κατασκευάζεται ο πίνακας πληρωμών του προβλήματος, απ' όπου ο χρήστης πληροφορείται για την καλύτερη επίδοση κάθε αντικειμενικής συνάρτησης και παίρνει μια ιδέα για το εύρος των τιμών τους.
- ✓ Επιλέγεται μία αντικειμενική συνάρτηση και οι υπόλοιπες μετατρέπονται σε περιορισμούς του προβλήματος, ανάλογα με την κατεύθυνση της αριστοποίησής τους. Αν δηλαδή μία αντικειμενική συνάρτηση είναι προς μεγιστοποίηση, τότε μετατρέπεται σε περιορισμό «μεγαλύτερο ή ίσο», ενώ αν πρόκειται να ελαχιστοποιηθεί μετατρέπεται σε περιορισμό «μικρότερο ή ίσο».
- ✓ Στη συνέχεια το πεδίο τιμών των αντικειμενικών συναρτήσεων που θα χρησιμοποιηθούν ως περιορισμοί ("δεσμευμένες" αντικειμενικές συναρτήσεις) χωρίζεται σε k ίσα μέρη με $k+1$ κομβικά σημεία. Το πλήθος των κομβικών σημείων μπορεί να είναι διαφορετικό για κάθε αντικειμενική συνάρτηση. Τα κομβικά σημεία αποτελούν το δεξί σκέλος των επιπλέον περιορισμών που αντιπροσωπεύουν τις "δεσμευμένες" αντικειμενικές συναρτήσεις. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των διαστημάτων τόσο πυκνότερο είναι το αντιπροσωπευτικό υποσύνολο των ικανών λύσεων που λαμβάνεται.
- ✓ Στη συνέχεια σαρώνεται το σύνολο των κομβικών σημείων λύνοντας για κάθε ένα συνδυασμό κομβικών σημείων το αντίστοιχο πρόβλημα Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού (μεταβάλλοντας συστηματικά το δεξί-σταθερό σκέλος των περιορισμών των αντικειμενικών συναρτήσεων). Ο πίνακας πληρωμών του προβλήματος μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στον καθορισμό της συστηματικής

μεταβολής του δεξιού σκέλους των περιορισμών των αντικειμενικών συναρτήσεων. Ο καθορισμός αυτός του δεξιού σκέλους, μπορεί να γίνει και αντικείμενο αλληλεπιδραστικής διαδικασίας με τον αποφασίζοντα.

- ✓ Τα αντίστοιχα προβλήματα Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού δημιουργούνται αυτόματα, επιλύονται και παράγουν τις αντίστοιχες ικανές λύσεις. Στα αποτελέσματα μαζί με τις τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων που αντιστοιχούν στα ικανά σημεία παράγονται και οι τιμές των μεταβλητών απόφασης για κάθε ικανή λύση.
- ✓ Τέλος, ο χρήστης και αποφασίζων μπορεί να επικεντρώσει την προσοχή του στις ενδιαφέρουσες περιοχές των ‘βαθμών παραχωρήσεων’ (‘trade-off’) μεταξύ των κριτηρίων απόφασης και να επιλέξει τις λύσεις τις οποίες κρίνει συμφέρουσες και αποδοτικότερες με βάση τον καλύτερο συνδυασμό όλων των κριτηρίων απόφασης. (Μαυρωτάς 2000).
- ✓ Για παράδειγμα, υποθέτοντας το Δικριτηριακό Μικτό Ακέραιο Γραμμικό Προγραμματισμό:

$$\min (g_{1(x)}, g_{2(x)})$$

Τότε, με τη μέθοδο των περιορισμών, ελαχιστοποιείται μία από τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις χρησιμοποιώντας τη δεύτερη ως περιορισμό ‘μικρότερο ή ίσο’:

$$\begin{aligned} & \min g_{1(x)} \\ & \text{υπό τον περιορισμό: } g_{2(x)} \leq \text{rhs}_2 \end{aligned}$$

Με την παραμετρική μεταβολή του δεξιού σκέλους (rhs) της δεσμευμένης αντικειμενικής συνάρτησης $g_{2(x)}$ παράγονται οι ικανές λύσεις του προβλήματος για τους $k+1$ συνδυασμούς των κριτηρίων απόφασης. (Μαυρωτάς 2009).

РАНЕЕЗНАМО ТЕРРА

4 ΜΕΘΟΛΟΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Εισαγωγή

Ο ενεργειακός σχεδιασμός, ύστερα από τον βιομηχανικό τομέα και τον τομέα των μεταφορών, επεκτείνεται όλο και περισσότερο στον κτιριακό τομέα στοχεύοντας στην αποδοτικότερη κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Τα ξενοδοχεία ανήκουν στους ιδιαίτερα ενεργοβόρους καταναλωτές στον τριτογενή τομέα, όπου ο ενεργειακός σχεδιασμός μπορεί σημαντικά να διευκολύνει τις επενδυτικές αποφάσεις ως προς την διαχείριση του ενεργειακού εξοπλισμού.

Η γενική τάση της εποχής ως προς την ενέργεια χαρακτηρίζεται από στροφή στη χρήση του φυσικού αερίου, τη κατασκευή των διευρωπαϊκών δικτύων, τη προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας, δίνοντας έμφαση στην προσπάθεια μείωσης της εξάρτησης της από το εισαγόμενο πετρέλαιο.

Ακολουθώντας αυτή τη παγκόσμια τάση, επιχειρείται ο ενεργειακός σχεδιασμός τεσσάρων ξενοδοχείων σε διάφορες περιοχές της Ελλάδος με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με τον αποτελεσματικότερο και οικονομικότερο τρόπο και τον προσδιορισμό της δυναμικότητας των βασικών αναγκαίων μονάδων.

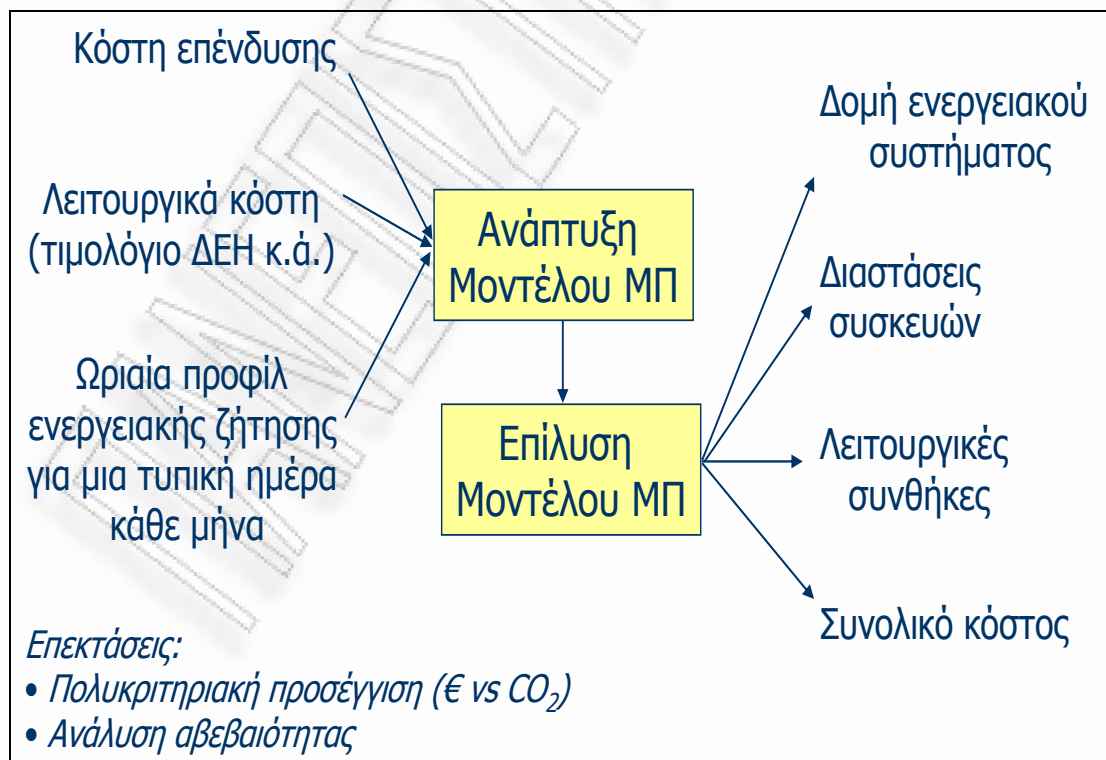
Η ενεργειακή αναμόρφωση των τεσσάρων ξενοδοχείων περιλαμβάνει ως εναλλακτικές τη μεμονωμένη ή από κοινού εγκατάσταση μίας μονάδας Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ), μίας μονάδας Ψύξης με Συμπιεστή και μίας μονάδας Ψύξης με Απορρόφηση Θερμότητας.

4.2 Γενικές αρχές μοντελοποίησης Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα ‘Δομικής, Διαστατικής και Λειτουργικής Αριστοποίησης’ (‘structural, design and operational optimization’) με βάση τις αρχές του σχεδιασμού διεργασιών, που αναφέρονται στη δουλειά των Manrotas et al (2002, 2007).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το πρόβλημα ανάγεται σε πρόβλημα Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού και το αποτέλεσμα της επίλυσης του, παρέχει πληροφορίες για τη Δομική (ποιες νέες μονάδες πρέπει να κατασκευασθούν), τη Διαστατική (τι διαστάσεις θα έχουν) και τη Λειτουργική (πότε θα λειτουργεί και πόσο θα παράγει η κάθε συσκευή) βελτιστοποίηση του ενεργειακού συστήματος (Σχήμα 4.1).

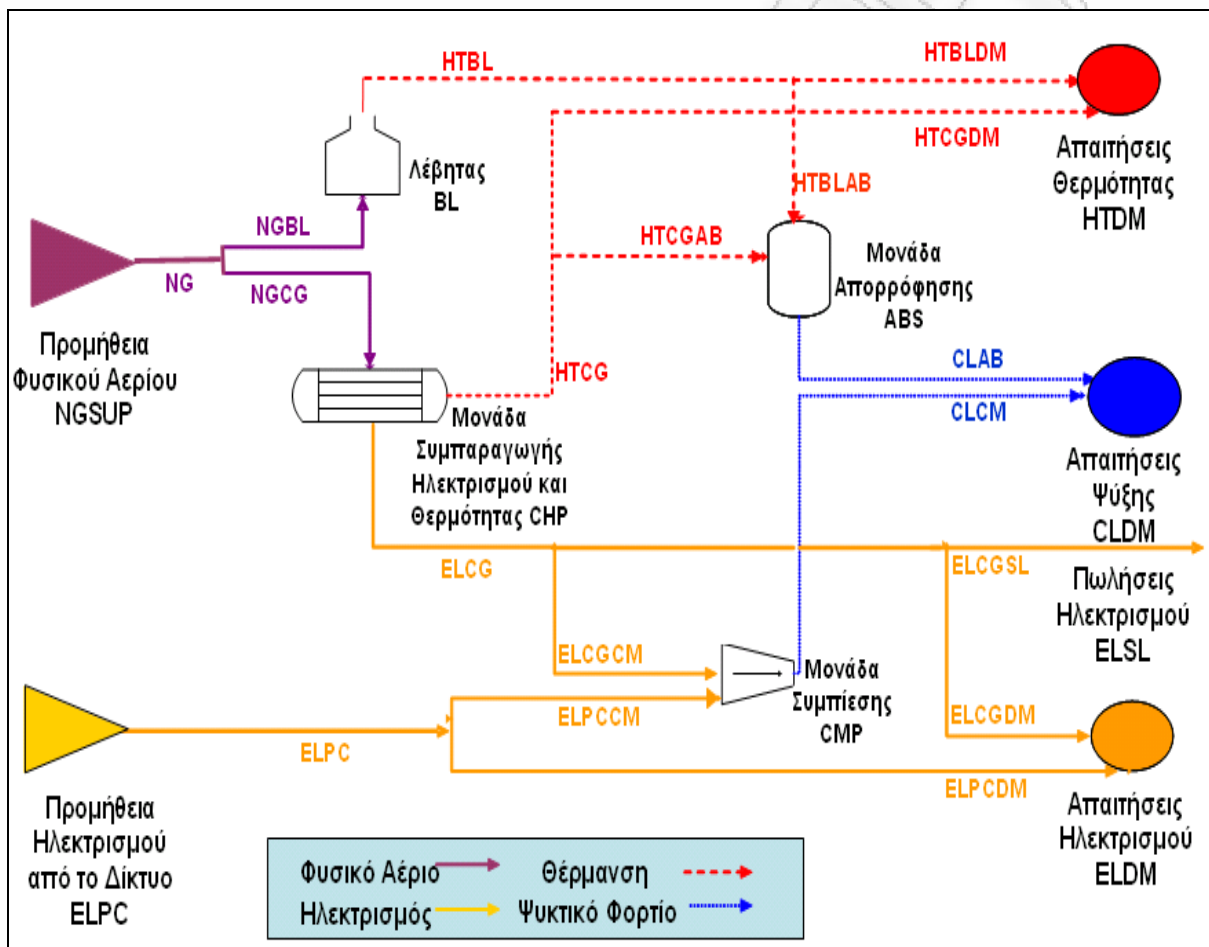
Το κριτήριο βελτιστοποίησης μπορεί να είναι οικονομικό, περιβαλλοντικό, τεχνικό ή συνδυασμός τους. Εκτός από την Ελαχιστοποίηση του Κόστους, η προσέγγιση του Μαθηματικού Προγραμματισμού μπορεί να επεκταθεί θεωρώντας περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις (Πολυκριτηριακός Μαθηματικός Προγραμματισμός), όπως την Ελαχιστοποίηση των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα.



Σχήμα 4-1 Γραφική απεικόνιση της μεθοδολογίας ενεργειακής βελτιστοποίησης.

4.3 Υπερδομή Ενεργειακού Συστήματος

Η Υπερδομή ('superstructure') του ενεργειακού συστήματος του κάθε ξενοδοχείου (δηλαδή, όλες οι δυνατές λύσεις υπό τη μορφή ενός κοινού εκτεταμένου διαγράμματος ροής) φαίνεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4-2 Η Υπερδομή του Ενεργειακού Συστήματος των Ξενοδοχείων.

Με τον όρο 'Υπερδομή' εννοείται η πλήρης καταγραφή όλων των εναλλακτικών επιλογών και των δυνατών διασυνδέσεων μεταξύ των υπονήφιων μονάδων στο ενεργειακό σύστημα του ξενοδοχείου. Σύντομη περιγραφή των ενεργειακών ισοζυγίων και των συμβολισμών τους στο διάγραμμα ροής της Υπερδομής, γίνεται στις επόμενες παραγράφους:

4.3.1 Ισοζύγιο Εισροών

4.3.1.1 Προμήθεια και χρήσεις Φυσικού Αερίου

Ως ενεργειακή πηγή μπορεί να είναι οποιοδήποτε καύσιμο, ωστόσο στα πλαίσια εξοικονόμησης φυσικών πόρων και προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κρίνεται αποδοτικότερη και πιο συμφέρουσα η χρήση καυσίμων φιλικότερων προς το περιβάλλον, όπως το Φυσικό Αέριο ('Natural Gas Supply' - **NGSUP**). Το φυσικό αέριο χωρίζεται σε δύο παροχές:

- I. Η πρώτη οδηγείται στη μονάδα Συμπαραγωγής ('Natural Gas to Cogeneration unit' - **NGCG**),
- II. Η δεύτερη οδηγείται στο Λέβητα για την πρόσθετη παραγωγή θερμικής ενέργειας στην περίπτωση που παρουσιάζεται έλλειμμα θερμικής ενέργειας ('Natural Gas to Boiler' – **NGBL**):

$$\mathbf{NGSUP = NGCG + NGBL} \quad (\text{Ισοζύγιο Παροχών Φυσικού Αερίου})$$

4.3.1.2 Αγορά Ηλεκτρισμού από το Δίκτυο

Για την κάλυψη των πρόσθετων αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια στην περίπτωση που παρουσιάζεται έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας, το ξενοδοχείο τροφοδοτείται από το Δίκτυο Μέσης Τάσης της ΔΕΗ ('Electricity Purchased from the grid' – **ELPC** ή **ELGRID**). Η τροφοδοσία του ηλεκτρισμού χωρίζεται σε δύο διανομές:

- I. Η πρώτη οδηγείται στη μονάδα Συμπύεσης για ψύξη ('Electricity Purchased from grid to Compression unit' – **ELPCCM**),
- II. Η δεύτερη οδηγείται για πρόσθετη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση που παρουσιάζεται έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας ('Electricity Purchased from grid to Demand' – **ELPCDM**):

$$\mathbf{ELPC = ELPCCM + ELPCDM} \quad (\text{Ισοζύγιο Αγοράς Ηλεκτρισμού από ΔΕΗ})$$

4.3.2 Ισοζύγιο ενδιάμεσων Ροών υποψήφιων μονάδων Τριπαραγωγής

4.3.2.1 Μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

Οι δυο πιο συνηθισμένες μορφές ενέργειας, που παράγονται από ένα σύστημα συμπαραγωγής ('Cogeneration Unit' – CG), είναι η μηχανική και θερμική:

$$\mathbf{NGCG = ELCG + HTCG} \quad (\text{Συνολική Ενεργειακή Ροή στη μονάδα Συμπαραγωγής})$$

- A. Η μηχανική ενέργεια, συνήθως, θέτει σε λειτουργία μια ηλεκτρική γεννήτρια, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βοηθητικά μηχανήματα, όπως συμπιεστές και αντλίες:
- I. Έτσι, ένας μέρος της παραγόμενης ενέργειας οδηγείται στη μονάδα Συμπίεσης για Ψύξη ('Electricity produced by Cogeneration unit to Compression unit' – ELCGCM),
 - II. Επίσης, ένα δεύτερο μέρος της ίδιας ενέργειας οδηγείται σε ανάγκες Ηλεκτρισμού ('Electricity produced by Cogeneration unit to Demand' – ELCGDM),
 - III. Περίσσεια της ίδιας ενέργειας πωλείται στο δίκτυο της ΔΕΗ για οικονομικό όφελος της επένδυσης ('Electricity produced by Cogeneration unit Sold to grid' – ELCGSL):

$$\mathbf{ELCG = ELCGCM + ELCGDM + ELCGSL}$$

(Ισοζύγιο Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας από μονάδα Συμπαραγωγής)

- B. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για θέρμανση και για ψύξη:
- I. Έτσι, ένα βασικό μέρος αυτής της ενέργειας χρησιμοποιείται για ανάγκες Θέρμανσης ('Heating Energy produced by Cogeneration unit to Demand' – HTCGDM),
 - II. Στις θερμότερες εποχές, το θερμικό φορτίο αρκετών ξενοδοχείων είναι χαμηλό και η περισσευούμενη θερμική ενέργεια που παράγεται από τη συμπαραγωγή, χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του συστήματος Ψύξης με Απορρόφηση ('Heating Energy produced by Cogeneration unit to Absorption unit' – HTCGAB),
 - III. Τέλος, μικρό ποσοστό της θερμικής ενέργειας χάνεται προς το περιβάλλον ('Heating Energy produced by Cogeneration unit Rejected' – HTCGXS)

$$\mathbf{HTCG = HTCGAB + HTCGDM + HTCGXS}$$

(Ισοζύγιο Παραγόμενης Θερμικής Ενέργειας από μονάδα Συμπαραγωγής)

4.3.2.2 Λέβητας Φυσικού Αερίου για Θερμότητα

Η παραγόμενη θερμική ενέργεια ('Heating Energy produced by Boiler' – HTBL) από τον Λέβητα (με απόδοση 85% - 'Boiler Efficiency' - BLEFF) χωρίζεται σε δύο ρεύματα:

- I. Το ένα μέρος οδηγείται για θερμικές ανάγκες του ξενοδοχείου ('Heating Energy produced by Boiler to Demand' – HTBLDM)
- II. Δεύτερο μέρος της ενέργειας, οδηγείται στη μονάδα Απορρόφησης για Ψύξη ('Heating Energy produced by Boiler to Absorption unit' – HTBLAB).

$$0.85 \cdot \text{NGBL} = \text{HTBL} \quad (\text{Ενεργειακή Ροή στο Λέβητα με απόδοση 85\%})$$

$$\text{HTBL} = \text{HTBLDM} + \text{HTBLAB}$$

(Ισοζύγιο Παραγόμενης Θερμικής Ενέργειας από το Λέβητα)

4.3.2.3 Μονάδα Απορρόφησης για Ψύξη

Τα δύο ρεύματα θερμικής ενέργειας, που καταλήγουν στη μονάδα Απορρόφησης (με βαθμό απόδοσης COP = 0.8), μετατρέπονται σε ρεύμα χαμηλής θερμοκρασίας, με το οποίο ικανοποιείται μέρος των Ψυκτικών αναγκών του ξενοδοχείου ('Cooling Load from Absorption unit' – CLAB).

$$0.8 \cdot \text{HTBLAB} + 0.8 \cdot \text{HTCGAB} = \text{CLAB}$$

(Ισοζύγιο στη μονάδα Απορρόφησης για Ψύξη)

4.3.2.4 Μονάδα Συμπίεσης για Ψύξη

Τα δύο ρεύματα ηλεκτρικής ενέργειας, που καταλήγουν στη μονάδα Συμπίεσης (με βαθμό απόδοσης COP = 2.7), μετατρέπονται σε ρεύμα χαμηλής θερμοκρασίας, με το οποίο ικανοποιείται μέρος των Ψυκτικών αναγκών του ξενοδοχείου ('Cooling Load from Compression unit' – CLCM).

$$2.7 \cdot \text{ELPCCM} + 2.7 \cdot \text{ELCGCM} = \text{CLCM}$$

(Ισοζύγιο στη μονάδα Συμπίεσης για Ψύξη)

4.3.3 Ισοζύγιο Εκροών

4.3.3.1 Ζήτηση Θερμότητας

Το Θερμικό φορτίο του ξενοδοχείου ('Heat Demand' - **HTDM**), καλύπτεται από την παραγωγή θερμικής ενέργειας από τη μονάδα Συμπαραγωγής και κατά δεύτερο λόγο από την καύση φυσικού αερίου στο Λέβητα:

$$\mathbf{HTBLDM + HTCGDM = HTDM} \quad (\text{Ενεργειακή κάλυψη Θερμικών Αναγκών})$$

4.3.3.2 Ζήτηση Ψύξης

Το Ψυκτικό φορτίο του ξενοδοχείου ('Cooling Demand' - **CLDM**), καλύπτεται από ρεύματα χαμηλής θερμοκρασίας, που παράγονται από τις μονάδες Απορρόφησης και Συμπύεσης για Ψύξη:

$$\mathbf{CLAB + CLCM = CLDM} \quad (\text{Ενεργειακή κάλυψη Ψυκτικών Αναγκών})$$

4.3.3.3 Πωλήσεις Ηλεκτρισμού προς το Δίκτυο

Η περίσσεια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ('Electricity Sold to grid' - **ELSL**) από τη μονάδα Συμπαραγωγής μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο της ΔΕΗ για οικονομικό όφελος της επένδυσης:

4.3.3.4 Ζήτηση Ηλεκτρισμού

Το Ηλεκτρικό φορτίο του ξενοδοχείου ('Electricity Demand' - **ELDM**), καλύπτεται από τη παραγωγή ηλεκτρισμού από τη μονάδα Συμπαραγωγής και κατά δεύτερο λόγο από την αγορά ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ:

$$\mathbf{ELCGDM + ELPCDM = ELDM} \quad (\text{Ενεργειακή κάλυψη Ηλεκτρικών Αναγκών})$$

4.4 Μοντελοποίηση του προβλήματος

Το πρόβλημα συνδυασμού των ροών της Υπερδομής για τον ενεργειακό σχεδιασμό του κάθε ξενοδοχείου μοντελοποιείται ως εξής :

1. Μεταβλητές Απόφασης : Χωρίζονται σε Συνεχείς και Δυαδικές.

I. Δυαδικές είναι οι μεταβλητές, που εκφράζουν τα δομικά χαρακτηριστικά της επίλυσης, δηλαδή την ύπαρξη ή μη των μονάδων εξοπλισμού καθώς και τη λειτουργία τους ή μη σε ωριαία βάση. Η ύπαρξη κάποιας μονάδας δηλώνεται με την τιμή της αντίστοιχης δυαδικής μεταβλητής της ίση με τη μονάδα (1), ενώ σε αντίθετη περίπτωση με το μηδέν (0).

II. Οι Συνεχείς μεταβλητές εκφράζουν τα σχεδιαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της επίλυσης, δηλαδή τις διάφορες ενεργειακές ροές μεταξύ των μονάδων για κάθε χρονική περίοδο, τις διαστάσεις και τη δυναμικότητα των μονάδων.

2. Περιορισμοί του προβλήματος

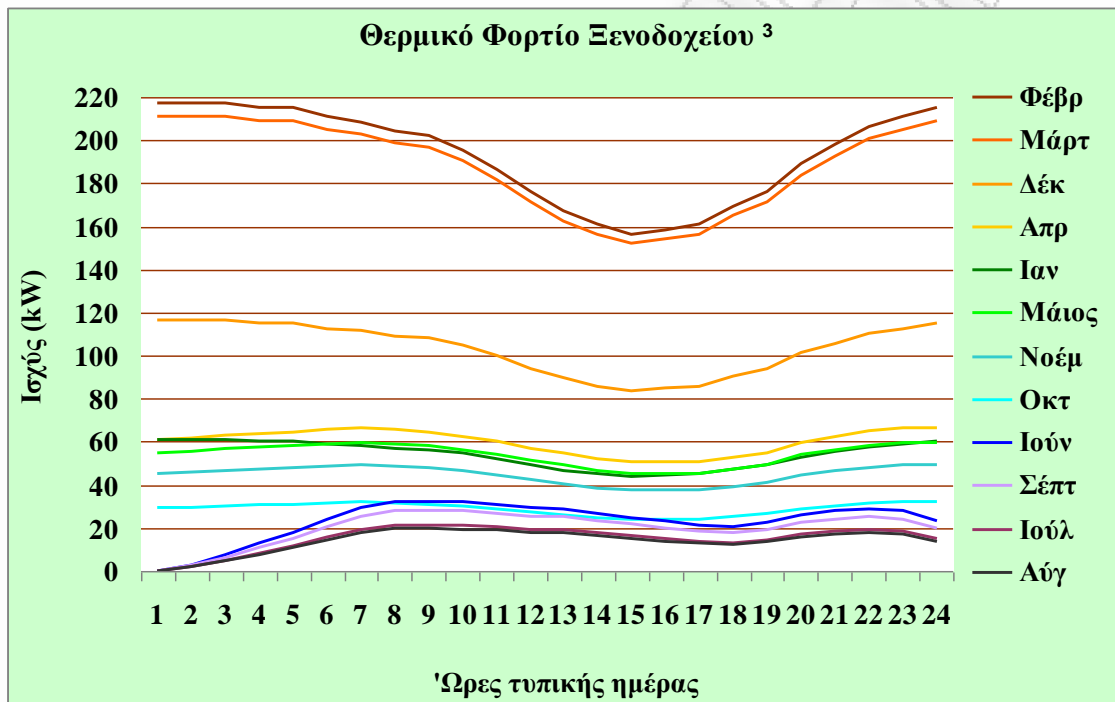
- I. Ενεργειακά ισοζύγια,
- II. Μοντελοποίηση των μονάδων (περιορισμοί δυναμικότητας και τεχνικών ελάχιστων των συσκευών),
- III. Μετατροπές της ισχύος σε ενέργεια και
- IV. Ικανοποίηση της ζήτησης.

3. Δεδομένα και Παράμετροι προβλήματος:

- I. Κόστος επένδυσης, αγοράς καυσίμων και τιμή πώλησης των προϊόντων,
- II. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά (βαθμοί απόδοσης μονάδων κλπ),
- III. Συντελεστές εκπομπής CO₂ των καυσίμων,
- IV. Ζήτηση ενέργειας ανά φορτίο (θερμικό, ψυκτικό, ηλεκτρικό).

Η χρονική διάσταση της ζήτησης ανά φορτίο εισέρχεται ως εξής:

Για κάθε μήνα θεωρείται μια τυπική αντιπροσωπευτική ημέρα, της οποίας είναι γνωστό το ωριαίο προφίλ ως προς τα τρία φορτία: ηλεκτρικό, θερμικό, ψυκτικό. Δηλαδή, το ετήσιο φορτίο αντί να απεικονίζεται από 8760 ωριαίες τιμές προσεγγίζεται με πολύ καλή ακρίβεια από πίνακα 12×24 ωριαίων τιμών, οι οποίες θεωρείται ότι επαναλαμβάνονται τις ημέρες ενός μήνα. Για παράδειγμα το ωριαίο προφίλ για το θερμικό φορτίο του τρίτου εξεταζόμενου ξενοδοχείου φαίνεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4-3 Ωριαίο προφίλ για το θερμικό φορτίο για μια τυπική ημέρα κάθε μήνα.

4. Αντικειμενικές Συναρτήσεις προβλήματος:

- I. Ελαχιστοποίηση του ετήσιου κόστους κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης, στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και το ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης των νέων μονάδων με βάση την υπερδομή.
- II. Ελαχιστοποίηση της ετήσιας ποσότητας εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα, που παράγονται από τη κατανάλωση του φυσικού αερίου και του προμηθευόμενου ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ.

4.5 Μοντελοποίηση της μονάδας Συμπαραγωγής

Η μονάδα συμπαραγωγής μοντελοποιείται με μια τμηματικά γραμμική συνάρτηση, η οποία προκύπτει από τα υπάρχοντα τεχνικά στοιχεία και στοιχεία κόστους επένδυσης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία (European Commission, 2001).

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία τεσσάρων υπαρχόντων μονάδων συμπαραγωγής διαφορετικής δυναμικότητας μπορεί να κατασκευασθεί μια τμηματικά γραμμική συνάρτηση ('piecewise linear'), η οποία να εκφράζει τόσο το κόστος επένδυσης όσο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά (βαθμός απόδοσης κλπ) της συσκευής που θα επιλεγεί.

Στην παρούσα μελέτη περιπτώσεων, ως μονάδες αναφοράς έχουν χρησιμοποιηθεί οι μονάδες Συμπαραγωγής Εσωτερικής Καύσης δυναμικότητας 300 kW, 800 kW, 1.500 kW και 2.200 kW αντίστοιχα.

4.5.1 Μεταβλητή Απόφασης

Η δυναμικότητα της μονάδας ('Capacity of CHP' - $CAPCHP$) αναλύεται σε ένα άθροισμα μεταβλητών απόφασης $CAPCHP_{IVL}$ όσα είναι και τα γραμμικά τμήματα της συνάρτησης.

Ο δείκτης (IVL) της μεταβλητής λαμβάνει την τιμή 1 όταν η δυναμικότητα της μονάδας βρίσκεται μεταξύ του πρώτου διαστήματος 300 – 800 kW, την τιμή 2 για το δεύτερο διάστημα 800 – 1.500 kW και την τιμή 3 για το τρίτο διάστημα 1.550 – 2.200 kW.

$$\sum_{IVL=1}^3 CAPCHP_{IVL} = CAPCHP \rightarrow$$

$$CAPCHP_1 + CAPCHP_2 + CAPCHP_3 = CAPCHP$$

(εξίσωση 4.1)

4.5.2 Δυαδικές Μεταβλητές

Η μοντελοποίηση μιας τμηματικά γραμμικής συνάρτησης γίνεται χρησιμοποιώντας δυαδικές μεταβλητές $S_{(IVL)}$, οι οποίες ουσιαστικά εκφράζουν σε ποιο από τα τρία γραμμικά τμήματα της συνάρτησης βρίσκεται η επιλεγθείσα δυναμικότητα της μονάδας συμπαραγωγής ('Binary Variable indicating CHP Size Interval' – $S_{(IVL)}$).

Η δυαδική μεταβλητή του κάθε τμήματος (δείκτη) $S_{(IVL)}$ λαμβάνει τιμή ίση με τη μονάδα (1) όταν η δυναμικότητα της μονάδας συμπαραγωγής βρίσκεται εντός του ίδιου τμήματος, ενώ λαμβάνει τιμή ίση με το μηδέν (0) για τα άλλα δύο τμήματα (δείκτες). Προφανώς, το συνολικό άθροισμα των τριών δυαδικών μονάδων είναι ίσο με τη μονάδα.

$$\sum_{IVL=1}^3 S_{IVL} \leq 1 \rightarrow S_1 + S_2 + S_3 \leq 1 \quad (\text{περιορισμός 4.2})$$

Οι δυαδικές μεταβλητές $S_{(IVL)}$ επιτρέπουν το πολύ σε μία από τις μεταβλητές απόφασης $CAPCHP_{(IVL)}$ να είναι μεγαλύτερη του μηδενός. Οι ακόλουθες σχέσεις χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της τμηματικά γραμμικής συνάρτησης, που εκφράζει τη δυναμικότητα της νέας μονάδας αναλόγως με το τμήμα στο οποίο βρίσκεται:

$$300 \cdot S_1 \leq CAPCHP_1 \leq 800 \cdot S_1 \quad (\text{περιορισμός 4.3α})$$

$$800 \cdot S_2 \leq CAPCHP_2 \leq 1.500 \cdot S_2 \quad (\text{περιορισμός 4.3β})$$

$$1.500 \cdot S_3 \leq CAPCHP_3 \leq 2.200 \cdot S_3 \quad (\text{περιορισμός 4.3γ})$$

4.5.3 Τεχνικά και Οικονομικά Δεδομένα μονάδων Συμπαραγωγής

Στον επόμενο πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι τεχνικές και οικονομικές παράμετροι των μονάδων συμπαραγωγής με διαφορετική δυναμικότητα:

Πίνακας 4-1 Τεχνικές και οικονομικές παράμετροι μονάδων συμπαραγωγής με διαφορετική δυναμικότητα

Δυναμικότητα Μονάδας (kWe)	Μοναδιαίο Κόστος (euros / kWe)	Κόστος Επένδυσης (euros)	Ετησιοποιημένο Κόστος (euros)	Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης	Θερμικός Βαθμός Απόδοσης
300	1.545,89	463.466	54.147	0,35	0,55
800	830,37	664.294	77.609	0,37	0,53
1.500	578,60	866.405	101.222	0,39	0,48
2.200	475,80	1.044.558	120.000	0,39	0,43

Όπως φαίνεται από τις τελευταίες τρεις στήλες του παραπάνω πίνακα, ο βαθμός ηλεκτρικής απόδοσης και το ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης του συστήματος συμπαραγωγής αυξάνονται όσο μεγαλύτερη είναι η δυναμικότητα της μονάδας, σε αντίθεση με το βαθμό θερμικής απόδοσης ο οποίος μειώνεται σημαντικά στις υψηλότερες δυναμικότητες.

- ✓ Το Ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης ('Annualized Investment Cost' – **AIC**) για κάθε μονάδα προκύπτει από το Κόστος Επένδυσης το οποίο πολλαπλασιάζεται με το Συντελεστή Ανάκτησης Κεφαλαίου ('Capital Recovery Factor' - **CRF**), ο οποίος ορίζεται ως:

$$CRF = \frac{r \times (1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

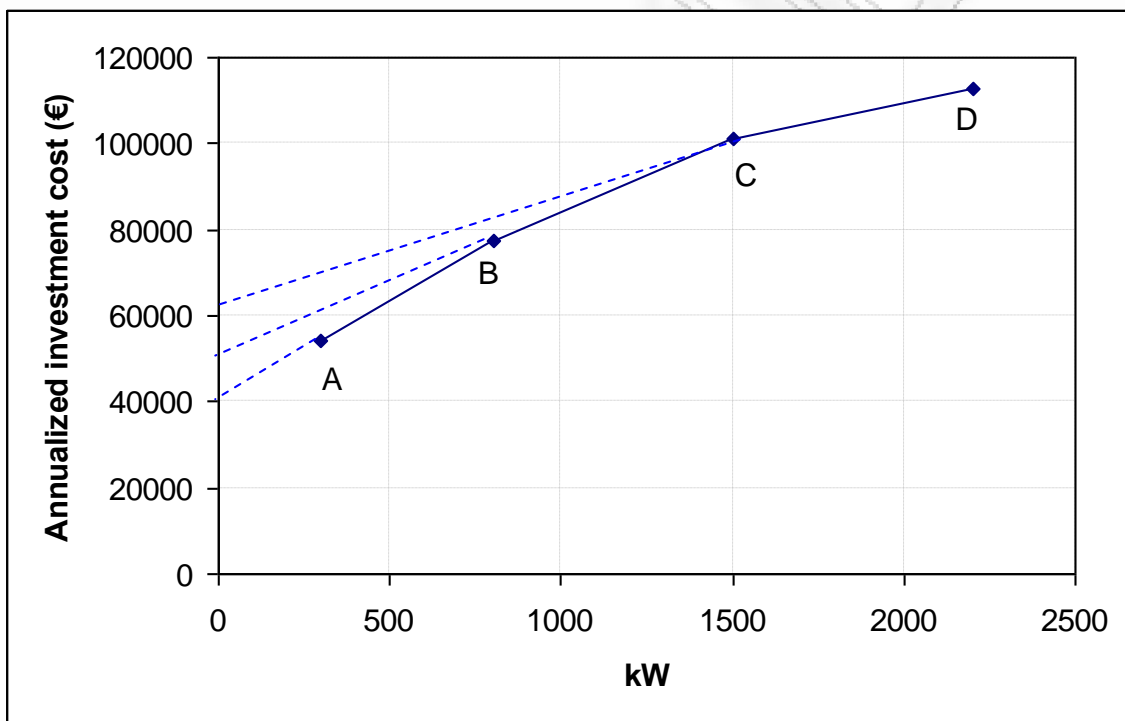
Όπου:

- r είναι το επιτόκιο αναγωγής ('interest rate'),
- n είναι ο χρόνος ζωής της μονάδας ('lifetime')

Στην προκειμένη περίπτωση καθορίζονται οι τιμές για $r = 8 \%$ και για $n = 15$ έτη, άρα $CRF(15, 8\%) = 0.11683$.

4.5.4 Ετησιοποιημένο Κόστος Επένδυσης μονάδων Συμπαραγωγής

Με βάση τις ακραίες τιμές για το κάτω και άνω όριο δυναμικότητας ('Lower and Upper bound of each subinterval in CHP Size' – $LO_{CHP_{(IVL)}}$, $UP_{CHP_{(IVL)}}$) του κάθε γραμμικού τμήματος της μονάδας συμπαραγωγής αλλά και των αντίστοιχων τιμών του ετησιοποιημένου κόστους επένδυσης, προκύπτει το επόμενο διάγραμμα 4.4. Οι πρότυπες δυναμικότητες των μονάδων εκφράζονται από τα σημεία A, B, C και D αντίστοιχα και τα οποία απεικονίζονται στη τμηματικά γραμμική συνάρτηση του σχήματος 4.4.



Σχήμα 4-4 Προσέγγιση του ετησιοποιημένου κόστους επένδυσης με τμηματικά γραμμική συνάρτηση για τη μονάδα συμπαραγωγής

Από το διάγραμμα αυτό, γίνεται εφικτό να προσδιοριστεί η συνάρτηση υπολογισμού του ετησιοποιημένου κόστους επένδυσης για τη βέλτιστη δυναμικότητα μονάδας συμπαραγωγής, η οποία θα προκύψει από την επίλυση του μοντέλου.

- ✓ Το ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης, λοιπόν, παριστάνεται από την αντικειμενική συνάρτηση με την ακόλουθη αθροιστική παράσταση για το κάθε γραμμικό τμήμα:

$$AIC = \sum_{IVL=1}^3 (CHPINTCPT_{IVL} \cdot S_{IVL} + CHPSLOPE_{IVL} \cdot CAPCHP_{IVL})$$

Όπου:

- $CHPINTCPT_{(IVL)}$ η Αποτέμνουσα του i-γραμμικού τμήματος ('Intercept for each CHP Interval')
- $CHPSLOPE_{(IVL)}$ η αντίστοιχη Κλίση ('Slope for each CHP Interval')

Στον επόμενο πίνακα, παρουσιάζονται οι τιμές των κλίσεων και των αποτεμνουσών του κάθε γραμμικού τμήματος του σχήματος 4.4. Επίσης, αναγράφονται ο Μέσος Βαθμός Ηλεκτρικής Απόδοσης του κάθε γραμμικού τμήματος ('Electric Efficiency of each CHP Interval' – $EFFCHP_{(IVL)}$), ο οποίος προκύπτει από το μέσο όρο των βαθμών απόδοσης για τις ακραίες δυναμικότητες του κάθε γραμμικού τμήματος καθώς και ο Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα του κάθε γραμμικού τμήματος ('Electricity to Heat Ratio for each CHP Interval' – $ELHTRT_{(IVL)}$):

Πίνακας 4-2 Αποτεμνουσα, Κλίση και Βαθμοί Απόδοσης για κάθε γραμμικό τμήμα της συνάρτησης AIC για τη μονάδα συμπαραγωγής

Εύρος Δυναμικότητας Μονάδων (kWe)	Αποτεμνουσα (euros)	Κλίση (euros / kWe)	Μέσος Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης	Μέσος Θερμικός Βαθμός Απόδοσης	Μέσος Λόγος Ηλεκτρισμού προς Θερμότητας
300 - 800	40.070	46,92	0,365	0,540	0,676
800 – 1.500	50.623	33,73	0,380	0,505	0,752
1.500 – 2.200	60.983	26,83	0,389	0,455	0,855

Τελικά, προκύπτει η εξίσωση υπολογισμού του ετησιοποιημένου κόστους επένδυσης των μονάδων συμπαραγωγής (AIC_{CHP}) συνολικά ως συνάρτηση της βέλτιστης δυναμικότητας ($CAPCHP$):

$$AIC_{CHP} = AIC_{CHP1} + AIC_{CHP2} + AIC_{CHP3} =$$

$$= 46,92 \cdot CAPCHP_1 + 40.070 \cdot S_1 + 33,73 \cdot CAPCHP_2 + 50.623 \cdot S_2 + 26,83 \cdot CAPCHP_3 + 60.983 \cdot S_3 \quad (\text{εξίσωση 4.4})$$

4.5.5 Επιπρόσθετοι περιορισμοί λειτουργίας μονάδας συμπαραγωγής

Στη παρούσα παράγραφο, θα παρουσιαστούν κάποιοι επιπρόσθετοι περιορισμοί, που σχετίζονται με τα τεχνικά ελάχιστα και τη μέγιστη επιτρεπτή δυναμικότητα της μονάδας συμπαραγωγής.

Στο σημείο αυτό, εισάγονται οι δυναμικές μεταβλητές $Y_{CHP(I,J)}$, οι οποίες ουσιαστικά εκφράζουν αν λειτουργεί ή όχι η μονάδα συμπαραγωγής για κάθε ημερήσια ώρα I του μήνα J ('Binary Variable indicating if CHP is operating in daily hour I of month J').

Η δυαδική μεταβλητή $Y_{CHP(I,J)}$ λαμβάνει τιμή ίση με τη μονάδα (1) όταν η μονάδα συμπαραγωγής λειτουργεί τη συγκεκριμένη περίοδο, ενώ λαμβάνει τιμή ίση με το μηδέν (0) σε περίπτωση μη λειτουργίας της.

➤ Περιορισμός Τεχνικού Ελαχίστου λειτουργίας της μονάδας Συμπαραγωγής:

Το τεχνικό ελάχιστο λειτουργίας της μονάδας συμπαραγωγής για κάθε περίοδο ('Technical minimum of CHP production as percentage of nominal capacity' – **techminchp**), εκφράζεται από το ελάχιστο ποσοστό της βέλτιστης ονομαστικής δυναμικότητας της μονάδας συμπαραγωγής και το οποίο ορίζεται σε 30% αυτής. Έτσι, προκύπτει ο περιορισμός για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής ανά περίοδο (I,J):

$$ELCG_{(I,J)} \geq \text{techminchp} \cdot (CAP_{CHP} + up_{chp}^{(3)}) \cdot Y_{CHP(I,J)} - up_{chp}^{(3)} \quad (\text{περιορισμός 4.5α})$$

➤ Περιορισμοί Μέγιστης λειτουργίας της μονάδας Συμπαραγωγής:

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής ανά περίοδο (I,J) πρέπει να είναι μικρότερη τόσο από τη βέλτιστη ονομαστική δυναμικότητα όσο και από το ανώτερο όριο δυναμικότητας του τρίτου γραμμικού τμήματος της μονάδας συμπαραγωγής:

$$ELCG_{(I,J)} \leq CAP_{CHP} \quad (\text{περιορισμός 4.5β})$$

$$ELCG_{(I,J)} \leq up_{chp}^{(3)} \cdot Y_{CHP(I,J)} \quad (\text{περιορισμός 4.5γ})$$

- Ηλεκτρισμός προς Θερμότητα της μονάδας Συμπαραγωγής:

Η παραγόμενη ανά περίοδο(I,J) ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής συνδέεται με την αντίστοιχη παραγόμενη θερμική ενέργεια με το Λόγο Ηλεκτρισμού προς Θερμότητας ('ELHTRT') με βάση τις τιμές του πίνακα 4.2:

$$ELCG_{(I,J)} = \sum_{IVL=1}^3 ELHTRT_{IVL} \cdot HTCG_{(I,J)IVL} \quad (\text{περιορισμός 4.5δ})$$

- Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια από τη μονάδα Συμπαραγωγής:

Η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής συνδέεται με την ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου προς τη μονάδα συμπαραγωγής με το μέσο βαθμό ηλεκτρικής απόδοσης ('EFFCHP') με βάση τις τιμές του πίνακα 4.2:

$$ENELCG = \sum_{IVL=1}^3 EFFCHP_{IVL} \cdot ENNGCG_{IVL} \quad (\text{περιορισμός 4.5ε})$$

- Περιορισμός κατανάλωσης Φυσικού Αερίου για τη μονάδα Συμπαραγωγής:

Η ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου για συμπαραγωγή είναι μεγαλύτερη του μηδενός μόνο εάν υπάρχει συσκευή συμπαραγωγής. Η συνθήκη αυτή εκφράζεται με τη βοήθεια ενός άνω ορίου για την κατανάλωση φυσικού αερίου (1.000.000kWh) ως εξής:

$$ENNGCG_{IVL} \leq 1.000.000 \cdot S_{IVL} \quad (\text{περιορισμός 4.5στ})$$

- Περιορισμός για την παραγόμενη θερμική ενέργεια από τη μονάδα Συμπαραγωγής:

Η συνολική παραγόμενη θερμική ενέργεια από τη συμπαραγωγή υφίσταται μόνο αν υπάρχει μία μονάδα συμπαραγωγής οποιουδήποτε μεγέθους. Αυτή η συνθήκη που μηδενίζει την παραγωγή θερμικής ενέργειας από συμπαραγωγή αν δεν υπάρχει μονάδα συμπαραγωγής εκφράζεται με την ακόλουθη σχέση : (Ο συντελεστής 2.5 χρειάζεται επειδή το άνω όριο της δυναμικότητας της μονάδας συμπαραγωγής εκφράζεται σε ηλεκτρική ισχύ, που είναι περίπου 2.5 φορές μικρότερη από τη θερμική ισχύ) :

$$\sum_{I,J} HTCG_{(I,J)IVL} \leq 2.5 \cdot upchp_{IVL} \cdot card_I \cdot card_J \cdot S_{IVL} \quad (\text{περιορισμός 4.5ζ})$$

4.6 Μοντελοποίηση μονάδων Απορρόφησης και Συμπίεσης για Ψύξη

Όπως και στη μοντελοποίηση της μονάδας συμπαραγωγής, έτσι και στις περιπτώσεις των μονάδων απορρόφησης και συμπίεσης για ψύξη, το ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης προκύπτει ως γραμμική συνάρτηση της δυναμικότητας των μονάδων.

Στην παρούσα μελέτη περιπτώσεων, ως μονάδες αναφοράς έχουν χρησιμοποιηθεί οι μονάδες Απορρόφησης και Συμπίεσης για Ψύξη δυναμικότητας 500 kW και 5.000 kW αντίστοιχα. Όπως, γίνεται φανερό, εδώ υπάρχει μόνο ένα εύρος διακύμανσης δυναμικότητας και το οποίο καθιστά την εξαγωγή της συνάρτησης κόστους πολύ πιο απλή.

Στο σημείο αυτό, εισάγονται οι δυναμικές μεταβλητές **BABS** και **BCMP**, οι οποίες ουσιαστικά εκφράζουν την ύπαρξη (τιμή 1) ή μη (τιμή 0) των μονάδων απορρόφησης και συμπίεσης αντίστοιχα ('Binary Variable indicating the existence of Absorption and Compression unit').

Έτσι, οι βέλτιστες δυναμικότητες των μονάδων απορρόφησης και συμπίεσης ('Capacities of ABS and CMP' – CAPABS, CAPCMP) έχουν τους εξής περιορισμούς:

$$500 \cdot \mathbf{BABS} \leq \mathbf{CAPABS} \leq 5.000 \cdot \mathbf{BABS} \quad (\text{περιορισμός 4.6α})$$

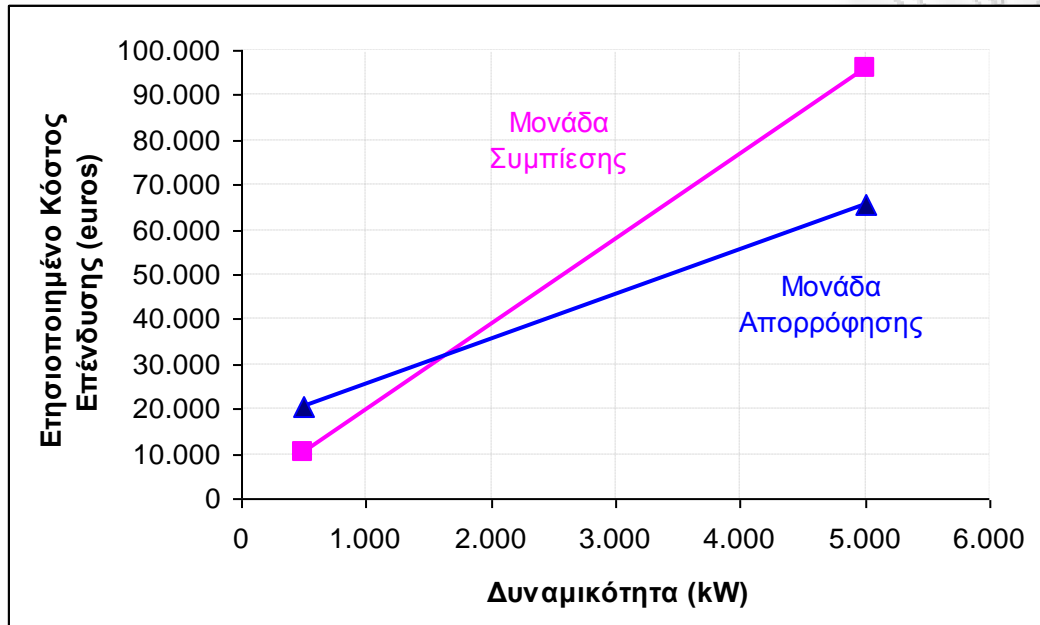
$$500 \cdot \mathbf{BCMP} \leq \mathbf{CAPCMP} \leq 5.000 \cdot \mathbf{BCMP} \quad (\text{περιορισμός 4.6β})$$

Στον επόμενο πίνακα, παρουσιάζονται οι οικονομικές παράμετροι των μονάδων απορρόφησης και συμπίεσης με διαφορετική δυναμικότητα:

Πίνακας 4-3 Οικονομικές παράμετροι μονάδων ψύξης με πρότυπες δυναμικότητες

Δυναμικότητα Μονάδας (kWf)	Μοναδιαίο Κόστος (euros / kWf)	Κόστος Επένδυσης (euros)	Ετησιοποιημένο Κόστος (euros)
Απορρόφηση 500	350,01	175.006	20.446
Απορρόφηση 5.000	112,04	560.181	65.446
Συμπίεση 500	177,49	88.745	10.368
Συμπίεση 5.000	164,12	820.600	95.870

Σχεδιάζεται το διάγραμμα ετησιοποιημένου κόστους επένδυσης σε συνάρτηση με τις πρότυπες δυναμικότητες και εν συνεχεία υπολογίζονται οι αντίστοιχες αποτέμνουσες και κλίσεις της συνάρτησης (absintcpt, absslope, cmpintcpt, cmpslope).



Σχήμα 4-5 Προσέγγιση του ετησιοποιημένου κόστους επένδυσης μονάδων ψύξης

Πίνακας 4-4 Αποτέμνουσα και κλίση των συναρτήσεων AIC για τις μονάδες ψύξης

Εύρος Δυναμικότητας Μονάδων (kWe)	Αποτέμνουσα (euros)	Κλίση (euros / kWe)
Απορρόφησης 500 - 5.000	15.446	10
Συμπίεσης 500 - 5.000	868	19

Τελικά, προκύπτει η εξίσωση υπολογισμού του ετησιοποιημένου κόστους επένδυσης των μονάδων ψύξης (AIC_{ABS} , AIC_{CMP}) συνολικά ως συνάρτηση της βέλτιστης δυναμικότητας (CAP_{ABS} , CAP_{CMP}):

$$AIC_{ABS} = 15.446 \cdot BABS + 10 \cdot CAP_{ABS} \quad (\text{εξίσωση 4.7α})$$

$$AIC_{CMP} = 868 \cdot BCMP + 19 \cdot CAP_{CMP} \quad (\text{εξίσωση 4.7β})$$

4.6.1 Επιπρόσθετοι περιορισμοί λειτουργίας μονάδων ψύξης

Στη παρούσα παράγραφο, θα παρουσιαστούν κάποιοι επιπρόσθετοι περιορισμοί, που σχετίζονται με τα τεχνικά ελάχιστα και τη μέγιστη επιτρεπτή δυναμικότητα των μονάδων ψύξης.

Στο σημείο αυτό, εισάγονται οι δυναμικές μεταβλητές $YABS_{(I,J)}$ και $YCMP_{(I,J)}$, οι οποίες ουσιαστικά εκφράζουν αν λειτουργούν (τιμή 1) ή όχι (τιμή 0) οι μονάδες απορρόφησης και συμπίεσης αντίστοιχα για κάθε ημερήσια ώρα I του μήνα J ('Binary Variable indicating if Absorption and Compression units are operating in daily hour I of month J').

Παράλληλα, ορίζεται και ο συντελεστής ('**abscoef**') με τον οποίο πρέπει να πολλαπλασιαστεί η δυναμικότητα της μονάδας απορρόφησης, λόγω του γεγονότος πως η θερμική ενέργεια, που προέρχεται από τη μονάδα ΣΗΘ ή το λέβητα και εισέρχεται στη μονάδα απορρόφησης έχει μέγιστη θερμοκρασία 90°C, σημαντικά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία αναφοράς των ψυκτών απορρόφησης των 130°C. Ο συντελεστής λαμβάνει την τιμή 0.369. (European Commission, SAVE II, 2001).

➤ Περιορισμός Τεχνικού Ελαχίστου λειτουργίας των μονάδων ψύξης:

Όπως και στη μοντελοποίηση της μονάδας συμπαραγωγής, έτσι και τώρα ορίζονται τα τεχνικά ελάχιστα λειτουργίας των μονάδων ψύξης για κάθε περίοδο (**techminabs**, **techmincmp**), τα οποία λαμβάνουν τιμή 0.3.

Έτσι, προκύπτει ο περιορισμός για το παραγόμενο ψυκτικό φορτίο από τη καθημιά μονάδα ψύξης ανά περίοδο (I,J):

$$CLAB_{(I,J)} \geq \text{techminabs} \cdot (\text{CAPABS} \cdot \text{abscoef} + \text{upabs} \cdot YABS_{(I,J)} - \text{upabs})$$

(περιορισμός 4.8α)

$$CLCP_{(I,J)} \geq \text{techmincmp} \cdot (\text{CAPCMP} + \text{upcmp} \cdot YCMP_{(I,J)} - \text{upcmp})$$

(περιορισμός 4.8β)

➤ Περιορισμοί παραγόμενου ψυκτικού φορτίου:

Το παραγόμενο ψυκτικό φορτίο από τη καθεμιά μονάδα ψύξης ανά περίοδο (I,J) πρέπει να είναι μικρότερο τόσο από τη βέλτιστη ονομαστική δυναμικότητα όσο και από το ανώτερο όριο δυναμικότητας των μονάδων ψύξης:

$$\mathbf{CLAB}_{(I,J)} \leq \mathbf{CAPABS} \cdot \mathbf{abscoef} \quad (\text{περιορισμός 4.8γ})$$

$$\mathbf{CLAB}_{(I,J)} \leq \mathbf{upabs} \cdot \mathbf{YABS}_{(I,J)} \quad (\text{περιορισμός 4.8δ})$$

$$\mathbf{CLCMP}_{(I,J)} \leq \mathbf{CAPCMP} \quad (\text{περιορισμός 4.8ε})$$

$$\mathbf{CLCMP}_{(I,J)} \leq \mathbf{urcmp} \cdot \mathbf{YCMP}_{(I,J)} \quad (\text{περιορισμός 4.8στ})$$

➤ Περιθώριο ασφαλείας ψυκτικού συστήματος:

Το περιθώριο ασφαλείας ('reverse margin') είναι το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να υπερβαίνει η εγκατεστημένη ισχύς τη μέγιστη απαιτούμενη ισχύ του συστήματος (αιχμή) για μια δεδομένη χρονική λειτουργίας του συστήματος.

Στην περίπτωση της παρούσης μελέτης, το άθροισμα της δυναμικότητας και των δύο μονάδων ψύξης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από κάποια οριακή τιμή του ψυκτικού συστήματος ('cooling margin' - **clmargin**).

Η τιμή αυτή ορίζεται ως 1.2 φορές μεγαλύτερη από την τιμή της μέγιστης ψυκτικής ζήτησης ('maximum cooling load demand' – $\mathbf{smax}((I,J), \mathbf{CLDM}_{(I,J)})$):

$$\mathbf{CAPCMP} + \mathbf{abscoef} \cdot \mathbf{CAPABS} \geq \mathbf{clmargin}$$

$$\mathbf{clmargin} = 1.2 \cdot \mathbf{smax}((I,J), \mathbf{CLDM}_{(I,J)})$$

(περιορισμός 4.8ζ)

4.7 Μοντελοποίηση του τιμολογίου B2 της ΔΕΗ

Το τιμολόγιο ηλεκτρισμού που ισχύει στα συγκεκριμένα ξενοδοχεία είναι το τιμολόγιο γενικής χρήσης B2 της ΔΕΗ για Μέση Τάση. Με αυτό το τιμολόγιο, ουσιαστικά, το κάθε ξενοδοχείο αγοράζει ηλεκτρική ενέργεια (αν χρειάζεται) από τη ΔΕΗ.

Πίνακας 4-5 Τιμολόγιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας Γενικής Χρήσης

Τιμολόγιο B2 Μηνιαία χρέωση	
Ισχύς: χρεωστέα Ζήτηση (XZ)	3,671 €/kW
Ενέργεια: όλες οι kWh	0,07944 €/kWh
Ελάχιστη χρέωση για $XZ \leq 5$ kW	233,26 €
Ελάχιστη χρέωση για $XZ > 5$ kW	$2,3272 \cdot (XZ - 5) + 233,26$ €

(Πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Ιούλιος 2008)

Σύμφωνα με αυτό το τιμολόγιο, χρεώνεται σε μηνιαία βάση:

- η μέγιστη καταναλισκόμενη ισχύς, που ορίζεται ως Χρεωστέα Ζήτηση (XZ) με 3.6710 €/kW
- η συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια με 0.07944 €/kWh.
- η ελάχιστη χρέωση είναι 233.26 € για χρεωστέα ζήτηση κάτω από 5 kW και
- η ελάχιστη χρέωση είναι $2.3272 \cdot (XZ - 5) + 233.26$ € για χρεωστέα ζήτηση πάνω από 5 kW.

Η μοντελοποίηση του παραπάνω τιμολογίου στο μοντέλο ΜΑΓΠ γίνεται ως εξής:

1. Εύρεση της μέγιστης αγοραζόμενης ισχύος ανά μήνα:

Προκειμένου να βρεθεί η μέγιστη ζητούμενη ισχύ κάθε μήνα ορίζουμε τους σχετικούς περιορισμούς για κάθε έναν από τους 12 μήνες, πρέπει η Μέγιστη Καταναλισκόμενη Ισχύς ('Maximum Power' – **MAXP**) να είναι μεγαλύτερη από το φορτίο (ισχύς), που αγοράζεται από τη ΔΕΗ για κάθε I-ώρα τον J-μήνα (**ELPPC_{I,J}**):

$$\mathbf{MAXP}_J \geq \mathbf{ELPPC}_{I,J} \quad (\text{περιορισμός 4.9})$$

$$\text{με } I = 1, \dots, 24 \text{ και } J = 1, \dots, 12$$

2. Εξέταση αν η Μέγιστη Ισχύς υπερβαίνει ή όχι τα 5 kW:

Στο σημείο αυτό, εισάγεται η δυαδική μεταβλητή $D_{(J)}$, με την οποία εξετάζεται αν η Μέγιστη μηνιαία ισχύς ξεπερνά (λαμβάνει την τιμή 0) ή όχι (τιμή 1) τα 5 kW ('Logical Variable indicating if power in month J is lower than 5kW'):

$$5 - 5 \cdot D_J \leq \text{MAXP}_J \leq 5 + m \cdot (1 - D_J) \quad (\text{περιορισμός 4.10})$$

Όπου, m ένα ανώτατο όριο για το MAXP_j (π.χ. $m = 5.000$).

3. Υπολογισμός μηνιαίας ενεργειακής κατανάλωσης:

Στη συνέχεια υπολογίζεται η συνολική ενέργεια που αγοράζεται από το δίκτυο της ΔΕΗ το μήνα J (σε MWh):

$$\text{ELENRG}_J = \left\{ \sum_{I=1}^{24} \text{Hours}_{(I,J)} \cdot \text{ELPPC}_{(I,J)} \right\} / 1000 \quad (\text{εξίσωση 4.10})$$

Όπου, Hours_{IJ} είναι οι συνολικές ώρες του J-μήνα που αντιστοιχούν στην I-ώρα στο ωριαίο προφίλ και ισούται με τον αριθμό των ημερών του κάθε μήνα.

4. Προσδιορισμός κατάλληλου κόστους:

Οι μεταβλητές COST1_J και COST2_J εκφράζουν το μηνιαίο κόστος αν η χρεωστέα ζήτηση είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη αντίστοιχα από τα 5 kW. Στη συνέχεια αθροίζονται τα κόστη των μηνών για να δώσουν το ετήσιο κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (' COST_J '). Όπου q ένα ανώτατο όριο για το COST_J (π.χ. 200.000):

Ελάχιστη χρέωση για $XZ < 5\text{kW}$:

- $\text{COST1}_J \geq 233.26$ (περιορισμός 4.11α)
- $\text{COST1}_J \geq 3.671 \cdot \text{MAXP}_J + 79.44 \cdot \text{ELENRG}_J$ (περιορισμός 4.11β)
- $\text{COST}_J \geq \text{COST1}_J - (1 - D_J) \cdot q$ (περιορισμός 4.11γ)

Ελάχιστη χρέωση για $XZ \geq 5\text{kW}$:

- $\text{COST2}_J \geq 233.26 + 2.3272 \cdot (\text{MAXP}_J - 5)$ (περιορισμός 4.11δ)
- $\text{COST2}_J \geq 3.671 \cdot \text{MAXP}_J + 79.44 \cdot \text{ELENRG}_J$ (περιορισμός 4.11ε)
- $\text{COST}_J \geq \text{COST2}_J - D_J \cdot q$ (περιορισμός 4.11στ)

4.8 Επιπρόσθετοι περιορισμοί μοντελοποίησης

Κάποιοι επιπρόσθετοι περιορισμοί είναι απαραίτητο να προστεθούν, ώστε το μοντέλο βελτιστοποίησης να ολοκληρωθεί:

I. Επάρκεια ζήτησης των φορτίων:

Για κάθε ένα από τα τρία φορτία (θερμικό, ηλεκτρικό, ψυκτικό), η ζήτηση για κάθε περίοδο (I,J) εκφράζεται από ένα ποσοστό ελάχιστης αποδεκτής ζήτησης (στην προκειμένη περίπτωση ορίστηκε στο 90% της ζήτησης) καθώς και από ένα ανοδικό περιθώριο ασφαλείας (στην προκειμένη περίπτωση ορίστηκε στο 20% της ζήτησης).

Επίσης, ορίστηκε και μια μεταβλητή απόφασης ('LAMDA'), η οποία αποτελεί το βαθμό ικανοποίησης και λαμβάνει τιμές στο διάστημα [0,1]:

$$0 \leq \text{LAMDA} \leq 1$$

Όσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει η μεταβλητή LAMDA, τόσο 'αυστηρότερη' γίνεται η ανάγκη κάλυψης ζήτησης για κάθε περίοδο (I,J) στο προτεινόμενο ενεργειακό σύστημα. Δηλαδή, για τιμή ίση με LAMDA = 1, οι απαιτήσεις για κάλυψη των φορτίων φτάνουν το 110%, ενώ για τιμή LAMDA = 0, μειώνονται στο 90%

Στην παρούσα μελέτη, για την επίλυση του μοντέλου ορίστηκε σταθερή τιμή της μεταβλητής σε LAMDA = 0.5, δηλαδή 100% των αναγκών κάλυψης των διαφόρων φορτίων.

$$\text{ELCGDM}_{(I,J)} + \text{ELPCDM}_{(I,J)} \geq 0.9 \cdot \text{eldm}_{(I,J)} + 0.2 \cdot \text{eldm}_{(I,J)} \cdot \text{LAMDA}$$

(περιορισμός 4.12α)

$$\text{HTCGDM}_{(I,J)} + \text{HTBLDM}_{(I,J)} \geq 0.9 \cdot \text{htdm}_{(I,J)} + 0.2 \cdot \text{htdm}_{(I,J)} \cdot \text{LAMDA}$$

(περιορισμός 4.12β)

$$\text{CLCMP}_{(I,J)} + \text{CLAB}_{(I,J)} \geq 0.9 \cdot \text{cldm}_{(I,J)} + 0.2 \cdot \text{cldm}_{(I,J)} \cdot \text{LAMDA}$$

(περιορισμός 4.12γ)

II. Μετατροπή της Απαιτούμενης Ισχύς σε Ενέργεια:

Στους επόμενους περιορισμούς, παριστάνεται ο υπολογισμός των ετήσιων ποσοτήτων Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας από τη μονάδα ΣΗΘ, ετήσιας ποσότητας Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας στο δίκτυο της ΔΕΗ, ετήσιας ποσότητας Παραγόμενης Θερμικής Ενέργειας από το λέβητα, ετήσιας ποσότητας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ και τέλος το ετήσιο Παραγόμενο Ψυκτικό φορτίο από τη μονάδα Απορρόφησης.

Οι ποσότητες αυτές υπολογίζονται από την αντίστοιχη απαιτούμενη Ισχύ (kW) για κάθε χρονική στιγμή (I,J) πολλαπλασιαζόμενη με τις αντίστοιχες ημέρες ανά μήνα για κάθε χρονική στιγμή (I,J). Το συνολικό άθροισμα διαιρείται με 1.000 προκειμένου η ενέργεια να εκφραστεί σε μονάδες MWh:

$$\mathbf{ENELCG} = \left\{ \sum_{I,J} \mathbf{Hours}_{(I,J)} \cdot \mathbf{ELCG}_{(I,J)} \right\} / \mathbf{1000} \text{ (περιορισμός 4.13α)}$$

$$\mathbf{ENELCGSL} = \left\{ \sum_{I,J} \mathbf{Hours}_{(I,J)} \cdot \mathbf{ELCGSL}_{(I,J)} \right\} / \mathbf{1000} \text{ (περιορισμός 4.13β)}$$

$$\mathbf{ENHTBL} = \left\{ \sum_{I,J} \mathbf{Hours}_{(I,J)} \cdot (\mathbf{HTBLDM}_{(I,J)} + \mathbf{HTBLAB}_{(I,J)}) \right\} / \mathbf{1000}$$

(περιορισμός 4.13γ)

$$\mathbf{ENELPC} = \left\{ \sum_{I,J} \mathbf{Hours}_{(I,J)} \cdot (\mathbf{ELPCDM}_{(I,J)} + \mathbf{ELPCCM}_{(I,J)}) \right\} / \mathbf{1000}$$

(περιορισμός 4.13δ)

$$\mathbf{ENCLAB} = \left\{ \sum_{I,J} \mathbf{Hours}_{(I,J)} \cdot \mathbf{CLAB}_{(I,J)} \right\} / \mathbf{1000} \text{ (περιορισμός 4.13ε)}$$

4.9 Αντικειμενικές Συναρτήσεις Μοντελοποίησης

Οι αντικειμενικές συναρτήσεις του μοντέλου είναι η οικονομική αποδοτικότητα και η περιβαλλοντική επιβάρυνση:

1. Ελαχιστοποίηση του ετήσιου κόστους κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης, στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και το ετησιοποιημένο κόστος επένδυσης των νέων μονάδων με βάση την υπερδομή.

$$\begin{aligned} \text{ANNUAL COST} = & \\ & \text{ngcost} \cdot \left\{ \sum_{IVL=1}^3 \text{ENNGCG}_{IVL} + \text{ENNGBL} \right\} + \sum_{J=1}^{12} \text{COST}_J + \\ & + \{ \text{AIC}_{\text{CHP}} + \text{AIC}_{\text{ABS}} + \text{AIC}_{\text{CMP}} \} + \{ 17.6 \cdot \text{ENELCG} + 2 \cdot \text{ENCLAB} \} - \\ & - \text{elsellprice} \cdot \text{ENELCGSL} \end{aligned}$$

Το πρώτο μέρος της εξίσωσης εκφράζει το κόστος αγοράς Φυσικού Αερίου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τις απαιτήσεις της μονάδας ΣΗΘ και του Λέβητα. Ισούται με το γινόμενο του Μοναδιαίου Κόστους φυσικού αερίου ('ngcost' 30euros/MWh για το φυσικό αέριο NG και 35euros/MWh για το υγραέριο LPG, που χρησιμοποιείται για το 4ο ξενοδοχείο) επί την Ετήσια Απαιτούμενη Ενέργεια Φυσικού Αερίου, που καταναλώνεται στη μονάδα ΣΗΘ (περιορισμός 4.5ε) και στη μονάδα του Λέβητα (ισοζύγιο 4.3.2.2 και περιορισμός 4.13γ).

Το δεύτερο μέρος της εξίσωσης εκφράζει το ετήσιο κόστος αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ μέσω των περιορισμών 4.11.

Το τρίτο μέρος της εξίσωσης εκφράζει τα ετησιοποιημένα κόστη επένδυσης των μονάδων ΣΗΘ (εξίσωση 4.4) και των δύο μονάδων ψύξης (εξίσωση 4.7). Είναι σταθερά κόστη και ανεξάρτητα από της ετήσιας παραγωγής.

Το τέταρτο μέρος της εξίσωσης εκφράζει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ('Operation and Maintenance Cost' – O&M) των συστημάτων ΣΗΘ και απορρόφησης. Εκφράζεται με το γινόμενο του συντελεστή κόστους ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας (ισούται με 17.6euros/MWh_e και 2euros/MWh_f αντίστοιχα) επί την ετήσια ποσότητα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα ΣΗΘ (περιορισμός 4.5δε) και ετήσιου

παραγόμενου ψυκτικού φορτίου από το σύστημα απορρόφησης αντίστοιχα (ισοζύγιο 4.3.2.3 και περιορισμός 4.13ε). Είναι μεταβλητά κόστη και ανάλογα της ετήσιας παραγωγής.

Το πέμπτο μέρος της εξίσωσης εκφράζει το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την πώληση της ετήσιας περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από τη μονάδα ΣΗΘ προς το δίκτυο της ΔΕΗ (ισοζύγιο 4.3.3.3 και περιορισμός 4.13β). Η μοναδιαία τιμή πώλησης είναι ('**elsellprice**') 48 euros/MWh.

2. Ελαχιστοποίηση της ετήσιας ποσότητας εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα, που παράγονται από τη κατανάλωση του φυσικού αερίου και του προμηθευμένου ηλεκτρισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ.

$$\begin{aligned}
 & \text{ANNUAL EMISSIONS CO}_2 = \\
 & = \text{emmfact}_{('gas')} \cdot \left\{ \sum_{IVL=1}^3 \text{ENNGCG}_{IVL} + \text{ENNGBL} \right\} + \\
 & + \text{emmfact}_{('elec')} \cdot \sum_{J=1}^{12} \text{ELENRG}_J \leq \text{rhsCO}_2
 \end{aligned}$$

Το πρώτο μέρος της εξίσωσης εκφράζει την ετήσια ποσότητα εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, λόγω της χρήσης φυσικού αερίου για τις απαιτήσεις της μονάδας ΣΗΘ και του λέβητα. Ισούται με το γινόμενο του Συντελεστή εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση φυσικού αερίου ('**emission factor gas**' 0.21 tCO₂/MWh για το NG και 0.234 tCO₂/MWh για το LPG) επί την Ετήσια Απαιτούμενη Ενέργεια φυσικού αερίου, που καταναλώνεται στη μονάδα ΣΗΘ (περιορισμός 4.5ε) και στη μονάδα του λέβητα (ισοζύγιο 4.3.2.2 και περιορισμός 4.13γ).

Το δεύτερο μέρος της εξίσωσης εκφράζει την ετήσια ποσότητα εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο οφείλεται από τη χρήση ηλεκτρισμού προμηθευμένου από το δίκτυο της ΔΕΗ. Ισούται με το γινόμενο του Συντελεστή εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση ηλεκτρισμού της ΔΕΗ ('**emission factor elec**' 0.85 tCO₂/MWh) επί την Ετήσια Απαιτούμενη Ενέργεια Ηλεκτρισμού, που αγοράζεται από τη ΔΕΗ και καταναλώνεται για τις απαιτήσεις του συστήματος (εξίσωση 4.10 και περιορισμός 4.13δ).

Στο δεξί μέλος της ανίσωσης ('**Right Hand Side**' – **RHS**), ορίζεται ένα μέγιστο ποσό πάνω από το οποίο δεν πρέπει να υπερβεί η ποσότητα εκπομπών, ώστε να είναι αποδεκτές οι λύσεις. Στην περίπτωση της παρούσης μελέτης, το ποσό αυτό ορίστηκε σε 1.000.000 tCO₂.

4.10 Επίλυση μοντέλων παρούσης εργασίας

Στην παρούσα εργασία, έγιναν δύο είδη μοντελοποιήσεων, η διαφορά των οποίων έγκειται στον αριθμό των κριτηρίων απόφασης, δηλαδή στο πλήθος των αντικειμενικών συναρτήσεων:

1. Αρχικά, λύθηκε το μοντέλο Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού με μοναδική αντικειμενική συνάρτηση την Ελαχιστοποίηση του Ετήσιου Κόστους του συστήματος (4.9.1.), ενώ η συνάρτηση υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών CO₂ (4.9.2.) χρησιμοποιήθηκε ως απλός περιορισμός στο μοντέλο. Έτσι, προέκυψε μία και μοναδική βέλτιστη τιμή ετήσιου κόστους, αλλά και όλων των υπολοίπων μεταβλητών απόφασης (ετήσιες εκπομπές, δυναμικότητες μονάδων, αγορά και πώληση ηλεκτρισμού από και προς το δίκτυο και προμήθεια φυσικού αερίου).

2. Στη συνέχεια, λύθηκε το μοντέλο Πολυκριτηριακού Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού με αντικειμενικές συναρτήσεις την ελαχιστοποίηση τόσο του Ετήσιου Κόστους, όσο και των Ετήσιων Εκπομπών CO₂. Η επίλυση του μοντέλου βασίστηκε στη μέθοδο των περιορισμών, η οποία περιγράφηκε στην παράγραφο 3.7.4.13.

Καταρχήν υπολογίζεται ο πίνακας πληρωμών (παράγραφος 3.7.4.7.) για το Πολυκριτηριακό πρόβλημα με τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις (ετήσιο κόστος-ετήσιες εκπομπές CO₂). Στη συνέχεια, το προκύπτον εύρος των Ετήσιων Εκπομπών CO₂ όπως προκύπτει από τον πίνακα πληρωμών χωρίστηκε σε 20 ισαπέχοντα διαστήματα, τα οποία τέθηκαν ως δεξί σκέλος του περιορισμού ετήσιων εκπομπών CO₂. Εν τέλει λύθηκαν $20 + 1 = 21$ συνεχόμενα μοντέλα ελαχιστοποίησης του Ετήσιου Κόστους (παραμετρική επίλυση) παρέχοντας τις αντίστοιχες ικανές λύσεις ('Pareto Optimal Solutions').

Στη συνέχεια, ο χρήστης αποφασίζει ποια ή ποιες από τις λύσεις αυτές, κρίνει ότι είναι υποσχόμενες και λογικά συμφέρουσες (δηλαδή, είναι διατεθειμένος να 'χειροτερεύσει' ελάχιστα το ετήσιο κόστος, προκειμένου να 'βελτιώσει' σημαντικά τις ετήσιες εκπομπές ή το ανάποδο).

РАНЕЕ НЕ ПЕРПА

5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, η ενεργειακή βελτιστοποίηση μέσω μοντέλου Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού εφαρμόστηκε σε 4 ξενοδοχεία στην ελληνική επικράτεια. Τα δεδομένα ζήτησης σε μορφή ωριαίων προφίλ για τα τρία φορτία (ηλεκτρισμός, θερμικό φορτίο και ψυκτικό φορτίο) ελήφθησαν από τα αποτελέσματα του προγράμματος SAVE II (European Commission, 2001). Τα χαρακτηριστικά των 4 ξενοδοχείων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1. :

Πίνακας 5-1 Χαρακτηριστικά των τεσσάρων ξενοδοχείων

	Περιοχή	Δωμάτια	Κλίνες	Επιφάνεια (m ²)
Ξενοδοχείο 1	Αθήνα	601	1.121	57.000
Ξενοδοχείο 2	Θεσσαλονίκη	284	576	29.021
Ξενοδοχείο 3	Αθήνα	195	361	14.850
Ξενοδοχείο 4	Κρήτη	242	460	11.975

[Πηγή: SAVE II (European Commission, 2001)]

Γνωρίζοντας ότι η ενεργειακή ζήτηση καλύπτεται από λέβητες (θερμικό φορτίο), ηλεκτρισμό από το δίκτυο (ηλεκτρικό φορτίο) και μονάδες συμπίεσης (ψυκτικό φορτίο), συγκεντρώθηκαν τα αντίστοιχα δεδομένα και ταξινομήθηκαν στους πίνακες και στα διαγράμματα, που ακολουθούν στις επόμενες παραγράφους για το κάθε ένα από τα τέσσερα ξενοδοχεία.

Παρατηρήσεις :

- ✓ Στις παραγράφους 5.1 έως 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα επίλυσης του Μονοκριτηριακού, ενώ στην 5.5 του Δικριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού.
- ✓ Σε όλα τα ξενοδοχεία (5.1 ως 5.4) λύθηκαν τα αντίστοιχα προβλήματα με το “no action” σενάριο, δηλαδή χωρίς συμπαραγωγή και ψύξη με απορρόφηση (ηλεκτρισμός μόνο από το δίκτυο, θέρμανση μόνο από τον ήδη εγκατεστημένο λέβητα και ψύξη μόνο με μονάδες συμπίεσης).
- ✓ Για το ξενοδοχείο 4 θεωρήθηκε ως καύσιμο το υγραέριο και όχι το φυσικό αέριο όπως στα υπόλοιπα τρία ξενοδοχεία, για τα οποία υπάρχει πρόσβαση στο δίκτυο φυσικού αερίου.

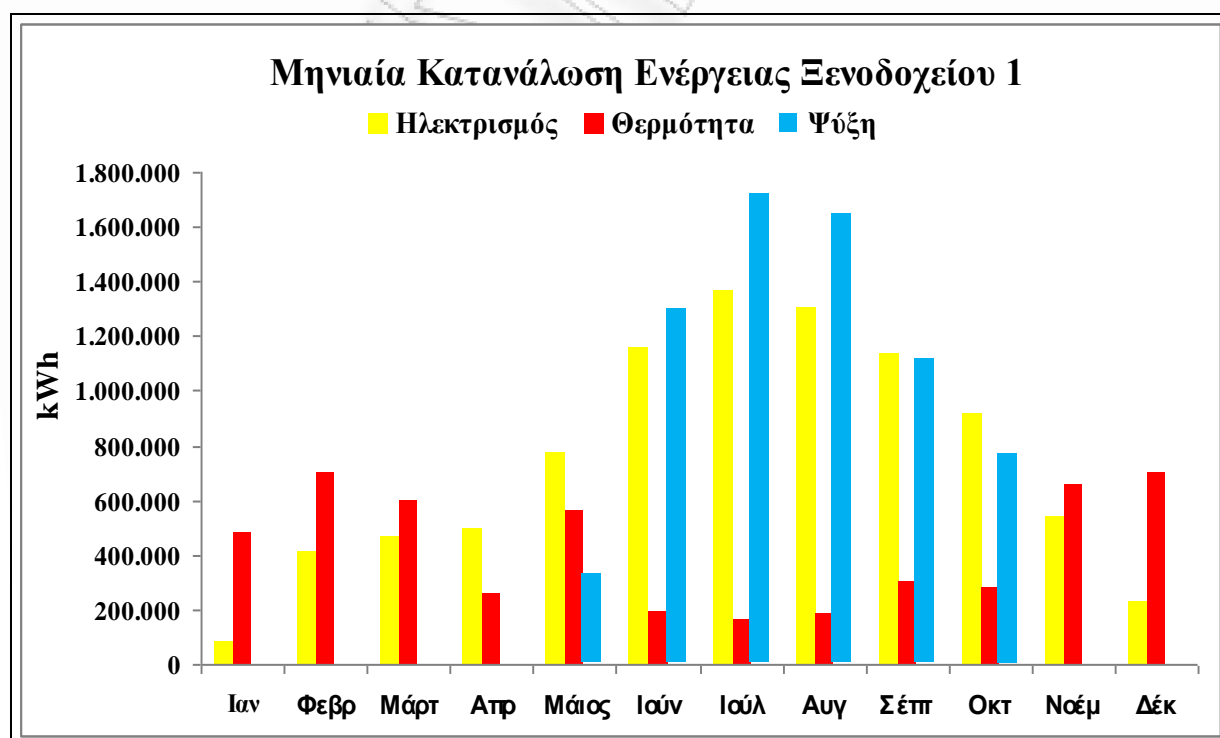
5.1. Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 1

5.1.1 Δεδομένα Ενεργειακών Απαιτήσεων Ξενοδοχείου 1

Η μηνιαία ζήτηση κατανάλωσης για ηλεκτρισμό, θερμότητα και ψύξη για το ξενοδοχείο 1 παρουσιάζεται στον πίνακα 5.2 και σχηματικά στο σχήμα 5.1.

Πίνακας 5-2 Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας Ξενοδοχείου 1

Μήνας	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	kWh _e	kWh _{th}	kWh _f
1	84.000	476.325	0
2	412.000	701.713	0
3	464.000	596.163	0
4	492.000	259.000	0
5	776.000	563.480	325.920
6	1.156.000	193.947	1.294.720
7	1.364.000	162.037	1.718.640
8	1.304.000	186.678	1.643.040
9	1.136.000	301.596	1.113.280
10	916.000	282.520	769.440
11	536.000	654.009	0
12	228.000	701.713	0
Σύνολο	8.868.000	5.079.181	6.865.040



Σχήμα 5-1 Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας Ξενοδοχείου 1

Στους πίνακες 5.3 και 5.4 παρουσιάζεται το προφίλ του φορτίου κάθε τυπικής ώρας για όλους τους μήνες για το ξενοδοχείο 1 :

Πίνακας 5-3 Προφίλ Φορτίου Τυπικής Ώρας Ξενοδοχείου 1 (Μέρος 1)

Ώρα Ημέρας	Προφίλ 1			Προφίλ 2		
	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	%	%	%	%	%	%
1	2.32	4.69	0.00	3.94	4.24	0.00
2	2.43	4.69	0.00	3.82	4.28	0.00
3	2.61	4.69	0.00	3.82	4.38	0.00
4	2.78	4.64	0.00	3.50	4.42	0.00
5	3.01	4.64	0.00	3.50	4.47	0.00
6	3.25	4.55	0.00	3.51	4.56	0.00
7	3.48	4.50	0.00	3.82	4.61	0.00
8	3.83	4.41	0.00	4.08	4.56	0.00
9	4.29	4.36	0.00	4.38	4.47	0.00
10	4.87	4.22	0.00	4.44	4.33	0.00
11	5.22	4.03	0.00	4.12	4.19	0.00
12	5.16	3.80	0.00	4.17	3.96	0.00
13	5.04	3.61	0.00	4.22	3.78	0.00
14	4.93	3.47	0.00	4.27	3.59	0.00
15	4.81	3.38	0.00	4.22	3.50	0.00
16	4.75	3.42	0.00	4.22	3.50	0.00
17	4.81	3.47	0.00	4.27	3.50	0.00
18	4.93	3.66	0.00	4.31	3.64	0.00
19	5.22	3.80	0.00	4.50	3.82	0.00
20	5.57	4.08	0.00	4.74	4.15	0.00
21	5.80	4.27	0.00	4.74	4.33	0.00
22	4.64	4.45	0.00	4.74	4.51	0.00
23	3.48	4.55	0.00	4.41	4.61	0.00
24	2.78	4.64	0.00	4.27	4.61	0.00
	Μήνες όπου το κάθε προφίλ εφαρμόζεται:					
	Ιαν, Φεβ, Μαρ, Δεκ			Απρ, Νοεμ		

Πίνακας 5-4 Προφίλ Φορτίου Τυπικής Ωρας Ξενοδοχείου 1 (Μέρος 2)

Ωρα Ημέρας	Προφίλ 3			Προφίλ 4		
	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	%	%	%	%	%	%
1	3.94	4.24	1.84	3.59	0.00	1.28
2	3.82	4.28	1.38	3.59	0.53	1.93
3	3.82	4.38	1.38	3.59	1.35	1.96
4	3.50	4.42	0.92	3.54	2.34	1.84
5	3.50	4.47	0.92	3.59	3.16	1.96
6	3.51	4.56	0.92	3.59	4.34	1.97
7	3.82	4.61	1.38	3.64	5.33	2.10
8	4.08	4.56	1.84	3.69	5.86	2.56
9	4.38	4.47	2.75	3.75	5.86	3.33
10	4.44	4.33	3.67	3.85	5.80	3.95
11	4.12	4.19	4.13	3.95	5.62	4.53
12	4.17	3.96	5.51	4.10	5.33	4.87
13	4.22	3.78	7.34	4.41	5.21	5.56
14	4.27	3.59	8.26	4.62	4.86	6.00
15	4.22	3.50	8.26	4.57	4.51	6.54
16	4.22	3.50	9.18	4.52	4.16	6.40
17	4.27	3.50	9.18	4.46	3.87	6.29
18	4.31	3.64	8.25	4.46	3.69	6.28
19	4.50	3.82	6.89	4.62	4.04	6.26
20	4.74	4.15	4.74	5.13	4.69	6.96
21	4.74	4.33	3.38	5.13	5.04	6.53
22	4.74	4.51	3.42	5.13	5.21	5.57
23	4.41	4.61	2.17	4.36	5.04	2.96
24	4.27	4.61	2.30	4.10	4.16	2.38
	Μήνες όπου το κάθε προφίλ εφαρμόζεται:					
	Μάιος, Οκτ			Ιουν, Ιουλ, Αυγ, Σεπτ		

5.1.2 Επεξεργασία Ενεργειακών Δεδομένων Ξενοδοχείου 1

Για την κατασκευή του ωριαίου ημερήσιου προφίλ του ηλεκτρικού, θερμικού, και ψυκτικού φορτίου (12 x 24) όλων των ξενοδοχείων γίνονται οι εξής υπολογισμοί :

Για παράδειγμα, ο υπολογισμός του ηλεκτρικού φορτίου της 1^{ης} ώρας του μήνα Ιανουαρίου προκύπτει ως :

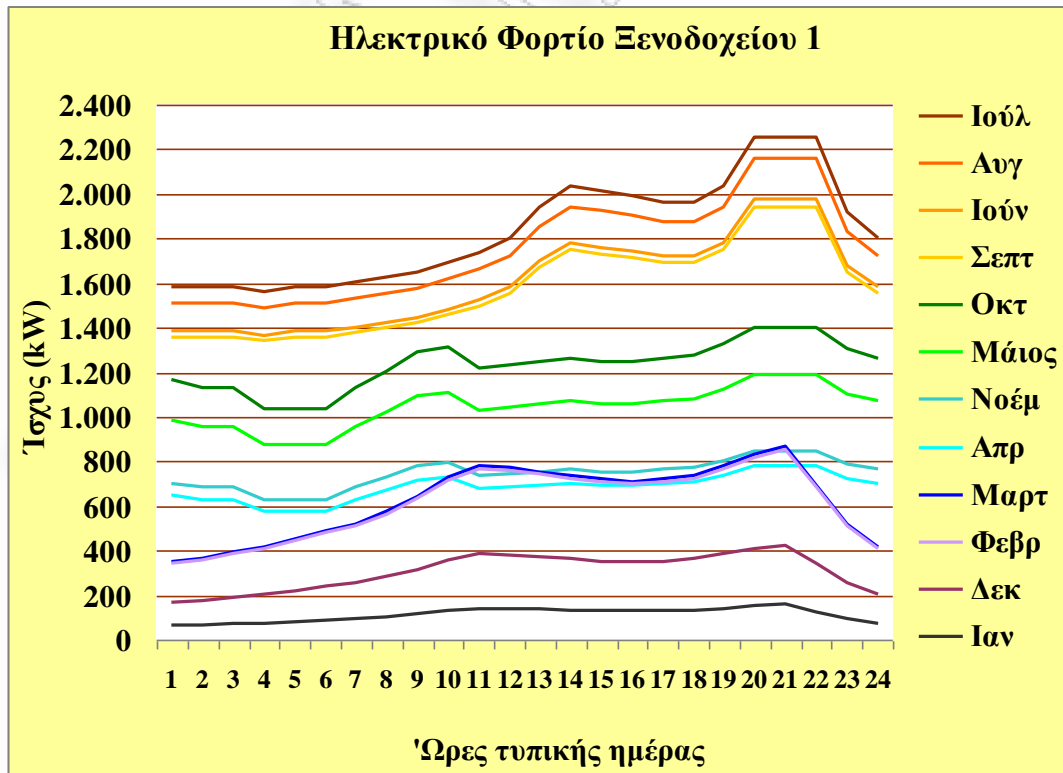
το γινόμενο της Μέσης Ημερήσιας Κατανάλωσης Ηλεκτρισμού για τον μήνα Ιανουάριο (τιμή από τον πίνακα 4.2 διαιρεμένη με τον αριθμό ημερών του μήνα Ιανουαρίου) επί το προφίλ της 1^{ης} τυπικής ώρας για τον ηλεκτρισμό (τιμή από τον πίνακα 5.3 για τον αντίστοιχο μήνα Ιανουάριο διαιρεμένη με το 100) :

$$\text{ώρα} (84.000 / 31) \times (2.32 / 100) = 63 \text{ kWh.}$$

Παρόμοιοι υπολογισμοί γίνονται για όλες τις υπόλοιπες ώρες όλων των μηνών και για τα 3 είδη φορτίων όλων των ξενοδοχείων, οπότε προκύπτουν οι επόμενοι πίνακες που απεικονίζονται και σχηματικά στα επόμενα διαγράμματα :

Πίνακας 5-5 Ηλεκτρικό φορτίο Ξενοδοχείου 1 (kW)

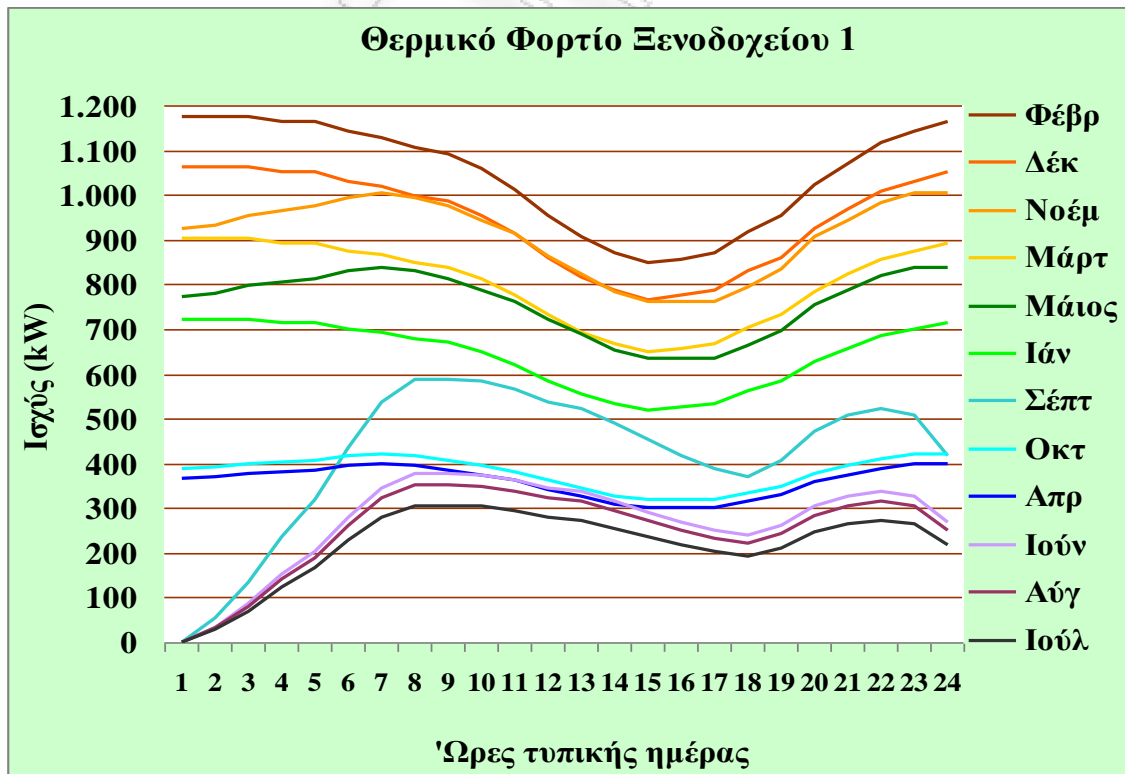
Ωρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1	63	341	347	646	986	1383	1580	1510	1359	1164	704	171
2	66	358	364	626	956	1383	1580	1510	1359	1129	683	179
3	71	384	391	626	956	1383	1580	1510	1359	1129	683	192
4	75	409	416	574	876	1364	1558	1489	1340	1034	625	204
5	82	443	451	574	876	1383	1580	1510	1359	1034	625	221
6	88	478	486	576	879	1383	1580	1510	1359	1037	627	239
7	94	512	521	626	956	1403	1602	1531	1378	1129	683	256
8	104	564	573	669	1021	1422	1624	1552	1397	1206	729	282
9	116	631	642	718	1096	1445	1650	1577	1420	1294	783	316
10	132	717	729	728	1111	1484	1694	1619	1458	1312	793	358
11	141	768	781	676	1031	1522	1738	1662	1496	1217	736	384
12	140	759	772	684	1044	1580	1804	1725	1553	1232	745	380
13	137	742	754	692	1056	1699	1940	1855	1670	1247	754	371
14	134	725	738	700	1069	1780	2033	1943	1749	1262	763	363
15	130	708	720	692	1056	1761	2011	1922	1731	1247	754	354
16	129	699	711	692	1056	1742	1989	1901	1712	1247	754	349
17	130	708	720	700	1069	1719	1962	1876	1689	1262	763	354
18	134	725	738	707	1079	1719	1962	1876	1689	1274	770	363
19	141	768	781	738	1126	1780	2033	1943	1749	1330	804	384
20	151	820	834	777	1187	1977	2257	2158	1943	1401	847	410
21	157	853	868	777	1187	1977	2257	2158	1943	1401	847	427
22	126	683	695	777	1187	1977	2257	2158	1943	1401	847	341
23	94	512	521	723	1104	1680	1918	1834	1651	1303	788	256
24	75	409	416	700	1069	1580	1804	1725	1553	1262	763	204



Σχήμα 5-2 Ηλεκτρικό φορτίο Ξενοδοχείου 1

Πίνακας 5-6 Θερμικό φορτίο Ξενοδοχείου 1 (kW)

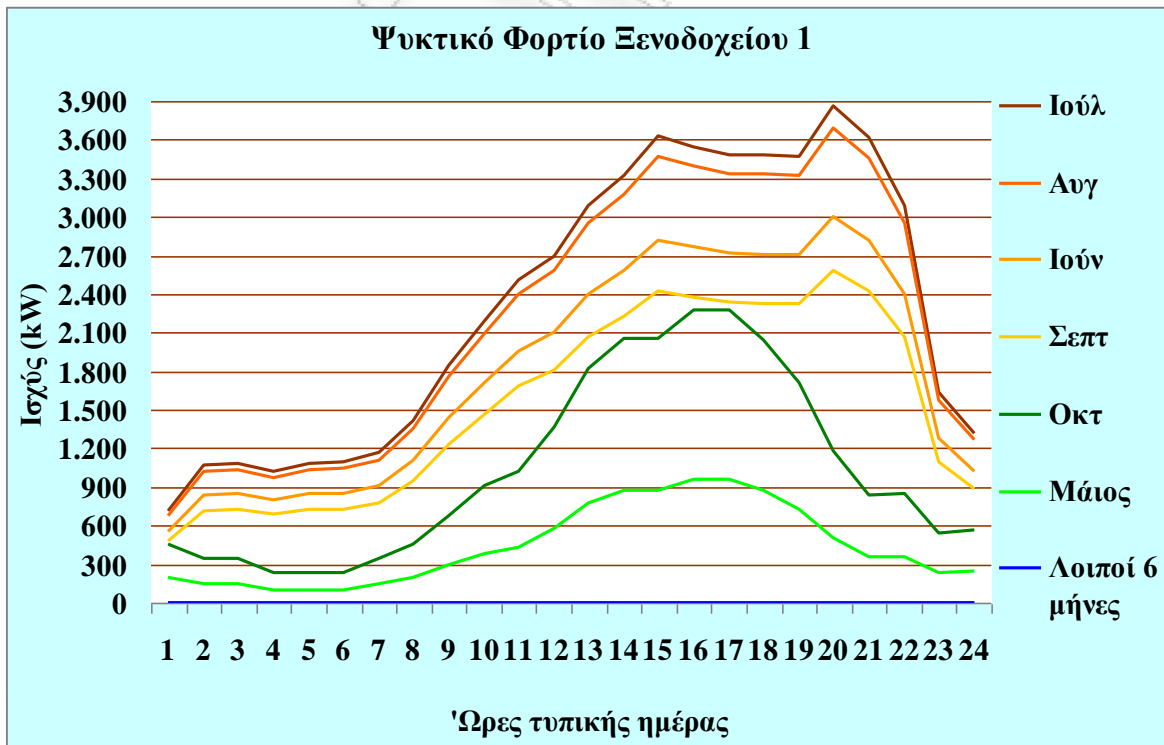
Ώρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1	721	1175	902	366	771	0	0	0	0	386	924	1062
2	721	1175	902	370	778	34	28	32	53	390	933	1062
3	721	1175	902	378	796	87	71	81	136	399	955	1062
4	713	1163	892	382	803	151	122	141	235	403	964	1050
5	713	1163	892	386	813	204	165	190	318	407	974	1050
6	699	1140	875	394	829	281	227	261	436	416	994	1030
7	691	1128	865	398	838	345	279	321	536	420	1005	1019
8	678	1105	848	394	829	379	306	353	589	416	994	998
9	670	1093	838	386	813	379	306	353	589	407	974	987
10	648	1058	812	374	787	375	303	349	583	395	944	955
11	619	1010	775	362	762	363	294	338	565	382	913	912
12	584	952	731	342	720	345	279	321	536	361	863	860
13	555	905	694	326	687	337	272	314	524	344	824	817
14	533	870	667	310	653	314	254	293	489	327	783	785
15	519	847	650	302	636	292	236	272	453	319	763	765
16	525	857	658	302	636	269	217	251	418	319	763	774
17	533	870	667	302	636	250	202	233	389	319	763	785
18	562	917	704	314	662	239	193	222	371	332	794	828
19	584	952	731	330	694	261	211	243	406	348	833	860
20	627	1022	785	358	754	303	245	282	471	378	905	924
21	656	1070	821	374	787	326	263	304	507	395	944	967
22	684	1115	856	389	820	337	272	314	524	411	983	1007
23	699	1140	875	398	838	326	263	304	507	420	1005	1030
24	713	1163	892	398	838	269	217	251	418	420	1005	1050



Σχήμα 5-3 Θερμικό φορτίο Ξενοδοχείου 1

Πίνακας 5-7 Ψυκτικό φορτίο Ξενοδοχείου 1 (kW)

Ώρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1					193	552	710	678	475	457		
2					145	833	1070	1023	716	343		
3					145	846	1087	1039	727	343		
4					97	794	1020	975	683	228		
5					97	846	1087	1039	727	228		
6					97	850	1092	1044	731	228		
7					145	906	1164	1113	779	343		
8					193	1105	1419	1357	950	457		
9					289	1437	1846	1765	1236	683		
10					386	1705	2190	2094	1466	911		
11					434	1955	2511	2401	1681	1025		
12					579	2102	2700	2581	1807	1368		
13					772	2400	3082	2947	2063	1822		
14					868	2589	3326	3180	2227	2050		
15					868	2822	3626	3466	2427	2050		
16					965	2762	3548	3392	2375	2279		
17					965	2715	3487	3334	2334	2279		
18					867	2710	3482	3328	2330	2048		
19					724	2702	3471	3318	2323	1710		
20					498	3004	3859	3689	2583	1176		
21					355	2818	3620	3461	2423	839		
22					360	2404	3088	2952	2067	849		
23					228	1277	1641	1569	1098	539		
24					242	1027	1319	1261	883	571		



Σχήμα 5-4 Ψυκτικό φορτίο Ξενοδοχείου 1

5.1.3 Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Ξενοδοχείου 1 με χρήση GAMS

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που εξήχθησαν για την έκφραση της Δομικής και Διαστατικής Αριστοποίησης των νέων μονάδων, ύστερα από την επίλυση των μοντέλων με τη χρήση του προγράμματος GAMS και γίνεται σύγκριση μεταξύ της συμβατικής κάλυψης και της συμπαραγωγής για την κάλυψη των ηλεκτρικών, θερμικών και ψυκτικών αναγκών του ξενοδοχείου 1.

Πίνακας 5-8 Σύγκριση συμβατικής και συμπαραγωγής ενεργειακής κάλυψης ξενοδοχείου 1

	Χρήση Τριπαραγωγής	Συμβατική Λύση	Σύγκριση
Ετήσιο κόστος (€)	1.201.010	1.299.013	- 7.5 %
Συμπαραγωγή (kW)	1.441	0	
Ψύξη με απορρόφηση (kW)	3.973	0	
Ψύξη με συμπίεση (kW)	3.165	4.631	- 31.7 %
Αγορά ηλεκτρισμού (MWh)	2.558	12.009	- 78.7 %
Πώληση ηλεκτρισμού (MWh)	351	0	
Αγορά καυσίμου (MWh)	21.145	5.976	
Εκπομπή CO₂ (t)	6.446	11.415	- 43.5 %

Παρατηρείται ότι η εξοικονόμηση φτάνει το 8% του ετήσιου κόστους για το ξενοδοχείο 1, ενώ η μείωση των εκπομπών CO₂ κρίνεται πολύ ικανοποιητική αγγίζοντας το 45% περίπου σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο. Η περίοδος αποπληρωμής (‘Payback Time’) υπολογίζεται ότι φτάνει στα 5,9 έτη (χωρίς την ύπαρξη επιδότησης για το κόστος εγκατάστασης των μονάδων Τριπαραγωγής – το ίδιο ισχύει και για τα άλλα 3 ξενοδοχεία).

Εκτός από αυτά τα στοιχεία, στα αποτελέσματα των επόμενων πινάκων παρουσιάζονται και οι τιμές της Λειτουργικής βελτιστοποίησης για το ξενοδοχείο 1, δηλαδή πόσο πρέπει να δουλεύει η κάθε μονάδα σε κάθε ώρα μιας τυπικής μέρας του κάθε μήνα. (παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους και για τα υπόλοιπα τρία ξενοδοχεία).

Πίνακας 5-9 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της ΣΗΘ για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 1.

Operation of CHP (kWe)											
432	432	432	641	981	519	667	637	447	742	699	432
432	432	432	621	951	809	1027	986	713	707	683	432
432	432	432	621	951	861	1075	1038	786	713	683	432
432	432	432	569	871	860	1051	1023	819	716	625	432
432	438	451	569	871	949	1146	1120	923	719	620	432
432	473	481	571	874	1010	1197	1178	1015	726	627	432
432	507	516	621	951	1111	1304	1288	1135	729	683	432
432	559	568	664	1021	1324	671	1441	1336	784	729	432
432	626	637	713	1091	743	1073	1032	856	948	778	432
432	712	724	723	1106	992	1394	1338	1441	1153	788	432
432	763	776	671	1026	1218	1441	1441	1113	1217	731	432
432	754	767	679	1044	1343	1441	1441	1209	1161	740	432
432	737	749	687	1056	1441	1441	1441	1441	1176	749	432
432	720	733	695	1069	1441	1441	1441	1441	1280	758	432
432	703	715	687	1056	1441	1441	1441	1441	1274	749	432
432	694	706	687	1056	1441	1441	1441	1441	1441	749	432
432	703	715	695	1067	1441	1441	1441	1441	1441	758	432
432	720	733	702	1074	1441	1441	1441	1441	1282	765	432
432	763	776	733	1121	1441	1441	1441	1441	1259	799	432
432	815	829	772	1182	1441	1441	1441	1441	1390	842	432
432	848	863	772	1182	1441	1441	1441	1441	1086	842	432
432	678	690	772	1182	1441	1441	1441	1441	1107	842	432
432	507	519	718	1099	1441	848	811	1413	881	783	432
432	432	432	695	1064	1168	1403	1374	1144	853	758	432

Πίνακας 5-10 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Απορρόφηση για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 1.

Operation of Absorption chillers (kWc)											
0	0	0	0	440	552	710	678	475	457	0	0
0	0	0	0	440	833	1070	1023	716	440	0	0
0	0	0	0	440	846	1087	1039	727	440	0	0
0	0	0	0	440	794	1020	975	683	440	0	0
0	0	0	0	440	846	1087	1039	727	440	0	0
0	0	0	0	440	850	1092	1044	731	440	0	0
0	0	0	0	440	906	1164	1113	779	440	0	0
0	0	0	0	440	1105	470	1357	950	457	0	0
0	0	0	0	440	488	897	816	440	683	0	0
0	0	0	0	440	756	1241	1145	1466	911	0	0
0	0	0	0	440	1006	1298	1263	732	1025	0	0
0	0	0	0	579	1153	1310	1277	858	440	0	0
0	0	0	0	772	1264	1316	1282	1114	873	0	0
0	0	0	0	868	1282	1330	1299	1142	1101	0	0
0	0	0	0	868	1300	1345	1316	1171	1101	0	0
0	0	0	0	965	1318	1360	1333	1199	1278	0	0
0	0	0	0	965	1333	1372	1347	1222	1278	0	0
0	0	0	0	867	1342	1379	1356	1237	1099	0	0
0	0	0	0	724	1325	1365	1339	1209	761	0	0
0	0	0	0	498	1466	1466	1466	1466	1176	0	0
0	0	0	0	440	1280	1323	1290	1306	839	0	0
0	0	0	0	440	1264	1316	1282	1114	849	0	0
0	0	0	0	440	1277	692	620	1098	539	0	0
0	0	0	0	440	1027	1319	1261	883	571	0	0

Πίνακας 5-11 Προφίλ φορτίου (12x24) που αγοράζεται από τη ΔΕΗ για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 1

Purchases from grid (kWe)											
4	0	0	5	5	864	913	873	913	422	5	4
4	2	0	5	5	574	553	524	646	422	0	4
4	0	0	5	5	522	505	472	573	416	0	4
4	0	0	5	5	504	507	466	521	318	0	4
4	5	0	5	5	434	434	390	436	315	5	4
4	5	5	5	5	373	383	332	344	311	0	4
4	5	5	5	5	292	298	243	243	400	0	4
4	5	5	5	0	98	1304	111	61	422	0	4
4	5	5	5	5	1053	929	897	915	346	5	4
4	5	5	5	5	843	652	632	17	159	5	4
4	5	5	5	5	655	746	642	735	0	5	4
4	5	5	5	0	589	877	767	695	422	5	4
4	5	5	5	0	678	1153	1030	581	422	5	4
4	5	5	5	0	823	1331	1198	709	333	5	4
4	5	5	5	0	883	1415	1277	755	324	5	4
4	5	5	5	0	835	1358	1222	706	176	5	4
4	5	5	5	2	789	1304	1171	659	191	5	4
4	5	5	5	5	784	1299	1165	653	343	5	4
4	5	5	5	5	849	1372	1235	720	422	5	4
4	5	5	5	5	1105	1702	1540	915	11	5	4
4	5	5	5	5	1105	1666	1521	915	315	5	4
4	5	5	5	5	958	1472	1335	854	294	5	4
4	5	2	5	5	239	1422	1375	238	422	5	4
4	0	0	5	5	412	401	351	409	409	5	4

Πίνακας 5-12 Προφίλ φορτίου (12x24) που αγοράζεται από τη ΔΕΗ για τις ανάγκες συμβατικής κάλυψης για το ξενοδοχείο 1

Purchases from grid (kWe)											
63	341	347	646	1501	1898	2095	2025	1874	1679	704	171
66	358	364	626	1471	1898	2095	2025	1874	1644	683	179
71	384	391	626	1471	1898	2095	2025	1874	1644	683	192
75	409	416	574	1391	1879	2073	2004	1855	1549	625	204
82	443	451	574	1391	1898	2095	2025	1874	1549	625	221
88	478	486	576	1394	1898	2095	2025	1874	1552	627	239
94	512	521	626	1471	1918	2117	2046	1893	1644	683	256
104	564	573	669	1536	1937	2150	2067	1912	1721	729	282
116	631	642	718	1611	1977	2334	2231	1935	1809	783	316
132	717	729	728	1626	2115	2505	2395	2001	1827	793	358
141	768	781	676	1546	2246	2668	2551	2119	1732	736	384
140	759	772	684	1559	2359	2804	2681	2222	1747	745	380
137	742	754	692	1571	2588	3081	2946	2434	1922	754	371
134	725	738	700	1584	2739	3265	3121	2574	2021	763	363
130	708	720	692	1571	2806	3354	3206	2630	2006	754	354
129	699	711	692	1571	2765	3303	3157	2592	2091	754	349
130	708	720	700	1584	2725	3253	3111	2553	2106	763	354
134	725	738	707	1594	2723	3252	3109	2552	2033	770	363
141	768	781	738	1641	2781	3319	3172	2609	1963	804	384
151	820	834	777	1702	3090	3686	3524	2900	1916	847	410
157	853	868	777	1702	3021	3598	3440	2840	1916	847	427
126	683	695	777	1702	2867	3401	3251	2709	1916	847	341
94	512	521	723	1619	2195	2526	2415	2166	1818	788	256
75	409	416	700	1584	2095	2319	2240	2068	1777	763	204

Πίνακας 5-13 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Συμπύεση για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 1

Operation of Compression chillers (kWc)											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	949	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	949	949	949	949	0	0	0
0	0	0	0	0	949	949	949	0	0	0	0
0	0	0	0	0	949	1213	1138	949	0	0	0
0	0	0	0	0	949	1390	1304	949	949	0	0
0	0	0	0	0	1136	1766	1665	949	949	0	0
0	0	0	0	0	1307	1996	1881	1085	949	0	0
0	0	0	0	0	1522	2281	2150	1256	949	0	0
0	0	0	0	0	1444	2188	2059	1176	1001	0	0
0	0	0	0	0	1382	2115	1987	1112	1001	0	0
0	0	0	0	0	1368	2103	1972	1093	949	0	0
0	0	0	0	0	1377	2106	1979	1114	949	0	0
0	0	0	0	0	1538	2393	2223	1117	0	0	0
0	0	0	0	0	1538	2297	2171	1117	0	0	0
0	0	0	0	0	1140	1772	1670	953	0	0	0
0	0	0	0	0	0	949	949	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5-14 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Συμπύεση για τις ανάγκες συμβατικής κάλυψης για το ξενοδοχείο 1

Operation of Compression chillers (kWc)											
0	0	0	0	1389	1389	1389	1389	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1389	1389	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1389	1389	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1389	1389	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1389	1389	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1389	1389	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1389	1389	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1419	1389	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1437	1846	1765	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1705	2190	2094	1466	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1955	2511	2401	1681	1389	0	0
0	0	0	0	1389	2102	2700	2581	1807	1389	0	0
0	0	0	0	1389	2400	3082	2947	2063	1822	0	0
0	0	0	0	1389	2589	3326	3180	2227	2050	0	0
0	0	0	0	1389	2822	3626	3466	2427	2050	0	0
0	0	0	0	1389	2762	3548	3392	2375	2279	0	0
0	0	0	0	1389	2715	3487	3334	2334	2279	0	0
0	0	0	0	1389	2710	3482	3328	2330	2048	0	0
0	0	0	0	1389	2702	3471	3318	2323	1710	0	0
0	0	0	0	1389	3004	3859	3689	2583	1389	0	0
0	0	0	0	1389	2818	3620	3461	2423	1389	0	0
0	0	0	0	1389	2404	3088	2952	2067	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1641	1569	1389	1389	0	0
0	0	0	0	1389	1389	1389	1389	1389	1389	0	0

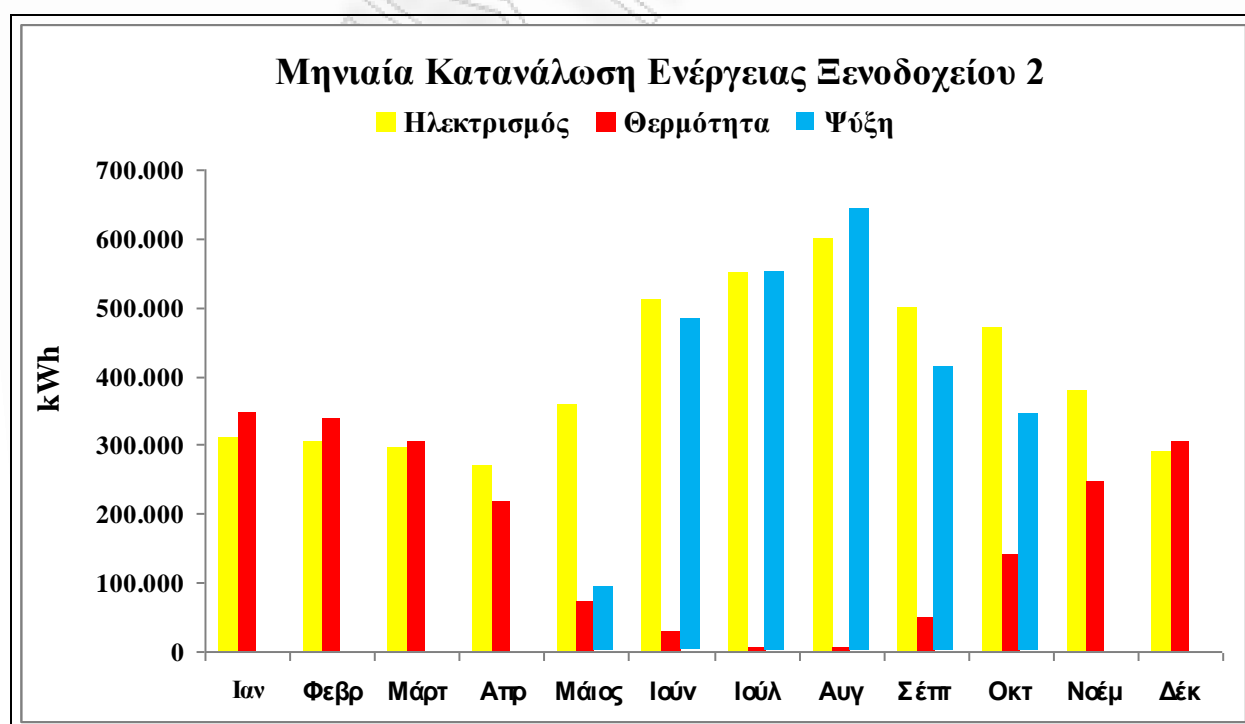
5.2. Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 2

5.2.1 Δεδομένα Ενεργειακών Απαιτήσεων Ξενοδοχείου 2

Η μηνιαία ζήτηση κατανάλωσης για ηλεκτρισμό, θερμότητα και ψύξη για το ξενοδοχείο 2 παρουσιάζεται στον πίνακα 5.15 και σχηματικά στο σχήμα 5.5.

Πίνακας 5-15 Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας Ξενοδοχείου 2

Μήνας	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	kWh _e	kWh _{th}	kWh _f
1	310.000	348.546	0
2	305.000	337.986	0
3	295.000	302.775	0
4	270.000	218.284	0
5	360.000	70.411	92.000
6	510.000	28.160	483.000
7	550.000	7.040	552.000
8	600.000	7.040	644.000
9	500.000	49.291	414.000
10	470.000	140.822	345.000
11	379.000	246.444	0
12	290.000	302.775	0
Σύνολο	4.839.000	2.059.574	2.530.000



Σχήμα 5-5 Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας Ξενοδοχείου 2

Στους πίνακες 5.16 και 5.17 παρουσιάζεται το προφίλ του φορτίου κάθε τυπικής ώρας για όλους τους μήνες για το ξενοδοχείο 2:

Πίνακας 5-16 Προφίλ Φορτίου Τυπικής Ωρας Ξενοδοχείου 2 (Μέρος 1)

Ωρα Ημέρας	Προφίλ 1			Προφίλ 2		
	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	%	%	%	%	%	%
1	4.26	3.20	0.00	4.44	3.70	3.21
2	4.26	3.20	0.00	3.78	3.70	3.18
3	4.26	3.20	0.00	3.78	3.70	2.80
4	4.26	3.20	0.00	3.78	3.70	2.42
5	4.26	3.20	0.00	3.78	3.70	2.39
6	4.26	3.20	0.00	3.78	3.70	2.40
7	4.05	3.20	0.00	3.67	3.70	2.80
8	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	3.60
9	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	5.46
10	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	5.32
11	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	6.53
12	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	4.65
13	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	5.43
14	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	5.46
15	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	5.42
16	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	6.67
17	4.05	4.57	0.00	4.22	4.36	5.15
18	4.26	4.57	0.00	4.33	4.36	4.29
19	4.26	4.57	0.00	4.33	4.36	3.80
20	4.26	4.57	0.00	4.33	4.36	4.03
21	4.26	4.57	0.00	4.44	4.36	4.63
22	4.26	4.57	0.00	4.44	4.36	3.57
23	4.26	4.57	0.00	4.44	4.36	3.56
24	4.26	4.57	0.00	4.44	4.36	3.21
	Μήνες όπου το κάθε προφίλ εφαρμόζεται:					
	Ιαν, Φεβ, Μαρ, Δεκ			Απρ, Νοεμ		

Πίνακας 5-17 Προφίλ Φορτίου Τυπικής Ωρας Ξενοδοχείου 2 (Μέρος 2)

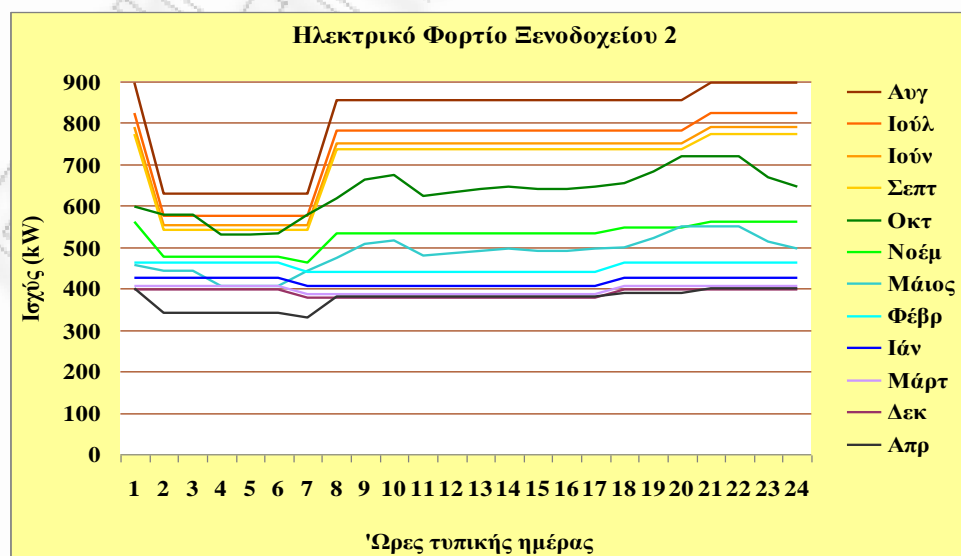
Ωρα Ημέρας	Προφίλ 3			Προφίλ 4		
	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	%	%	%	%	%	%
1	3.94	4.24	1.84	4.64	4.17	4.06
2	3.82	4.28	1.38	3.25	4.17	3.75
3	3.82	4.38	1.38	3.25	4.17	3.44
4	3.50	4.42	0.92	3.25	4.17	3.14
5	3.50	4.47	0.92	3.25	4.17	3.14
6	3.51	4.56	0.92	3.25	4.17	3.17
7	3.82	4.61	1.38	3.25	4.17	3.24
8	4.08	4.56	1.84	4.41	4.17	3.90
9	4.38	4.47	2.75	4.41	4.17	4.57
10	4.44	4.33	3.67	4.41	4.17	4.98
11	4.12	4.19	4.13	4.41	4.17	4.27
12	4.17	3.96	5.51	4.41	4.17	3.54
13	4.22	3.78	7.34	4.41	4.17	3.87
14	4.27	3.59	8.26	4.41	4.17	4.16
15	4.22	3.50	8.26	4.41	4.17	4.68
16	4.22	3.50	9.18	4.41	4.17	4.89
17	4.27	3.50	9.18	4.41	4.17	4.80
18	4.31	3.64	8.25	4.41	4.17	4.43
19	4.50	3.82	6.89	4.41	4.17	4.62
20	4.74	4.15	4.74	4.41	4.17	5.10
21	4.74	4.33	3.38	4.64	4.17	5.04
22	4.74	4.51	3.42	4.64	4.17	4.72
23	4.41	4.61	2.17	4.64	4.17	4.41
24	4.27	4.61	2.30	4.64	4.17	4.10
	Μήνες όπου το κάθε προφίλ εφαρμόζεται:					
	Μάιος, Οκτ			Ιουν, Ιουλ, Αυγ, Σεπτ		

5.2.2 Επεξεργασία Ενεργειακών Δεδομένων Ξενοδοχείου 2

Στους επόμενους πίνακες και σχήματα παρουσιάζονται τα ωριαίου ημερήσιου προφίλ του ηλεκτρικού, θερμικού, και ψυκτικού φορτίου (12 x 24) του ξενοδοχείου 2:

Πίνακας 5-18 Ηλεκτρικό φορτίο Ξενοδοχείου 2 (kW)

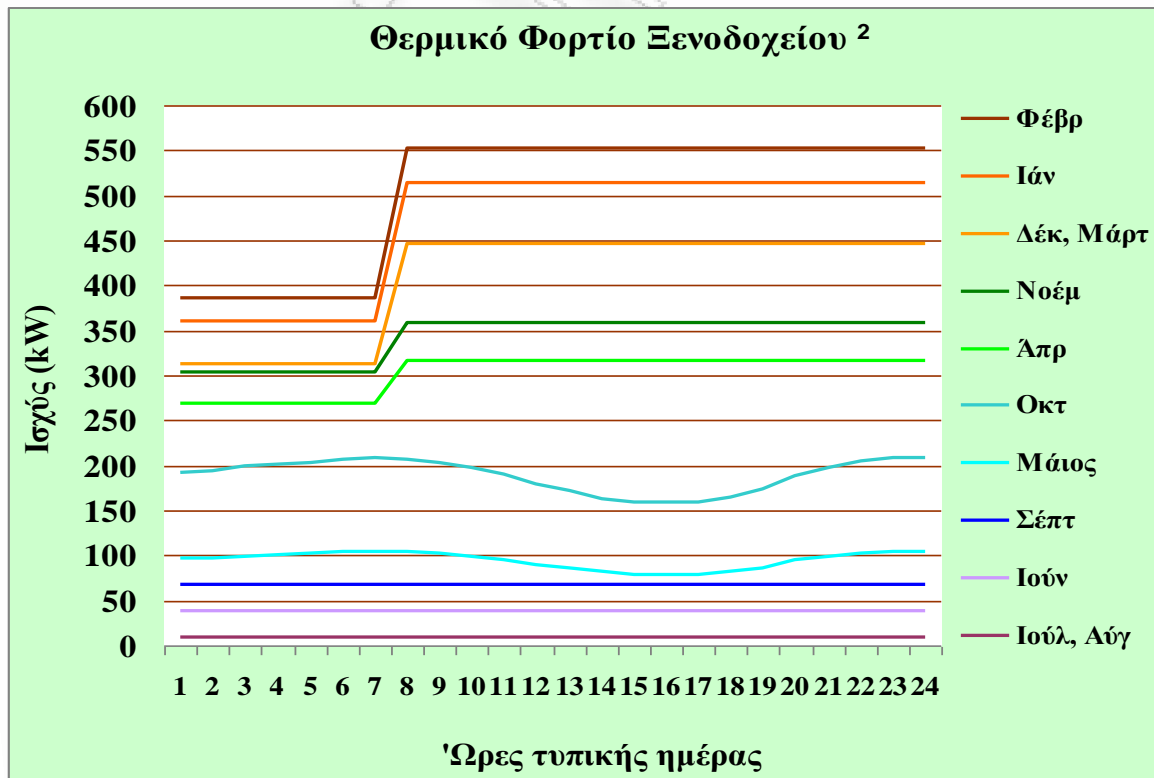
Ωρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1	426	464	405	400	458	789	823	898	773	597	561	399
2	426	464	405	340	444	553	577	629	542	579	478	399
3	426	464	405	340	444	553	577	629	542	579	478	399
4	426	464	405	340	406	553	577	629	542	531	478	399
5	426	464	405	340	406	553	577	629	542	531	478	399
6	426	464	405	340	408	553	577	629	542	532	478	399
7	405	441	385	330	444	553	577	629	542	579	464	379
8	405	441	385	380	474	750	782	854	735	619	533	379
9	405	441	385	380	509	750	782	854	735	664	533	379
10	405	441	385	380	516	750	782	854	735	673	533	379
11	405	441	385	380	478	750	782	854	735	625	533	379
12	405	441	385	380	484	750	782	854	735	632	533	379
13	405	441	385	380	490	750	782	854	735	640	533	379
14	405	441	385	380	496	750	782	854	735	647	533	379
15	405	441	385	380	490	750	782	854	735	640	533	379
16	405	441	385	380	490	750	782	854	735	640	533	379
17	405	441	385	380	496	750	782	854	735	647	533	379
18	426	464	405	390	501	750	782	854	735	653	547	399
19	426	464	405	390	523	750	782	854	735	682	547	399
20	426	464	405	390	550	750	782	854	735	719	547	399
21	426	464	405	400	550	789	823	898	773	719	561	399
22	426	464	405	400	550	789	823	898	773	719	561	399
23	426	464	405	400	512	789	823	898	773	669	561	399
24	426	464	405	400	496	789	823	898	773	647	561	399



Σχήμα 5-6 Ηλεκτρικό φορτίο Ξενοδοχείου 2

Πίνακας 5-19 Θερμικό φορτίο Ξενοδοχείου 2 (kW)

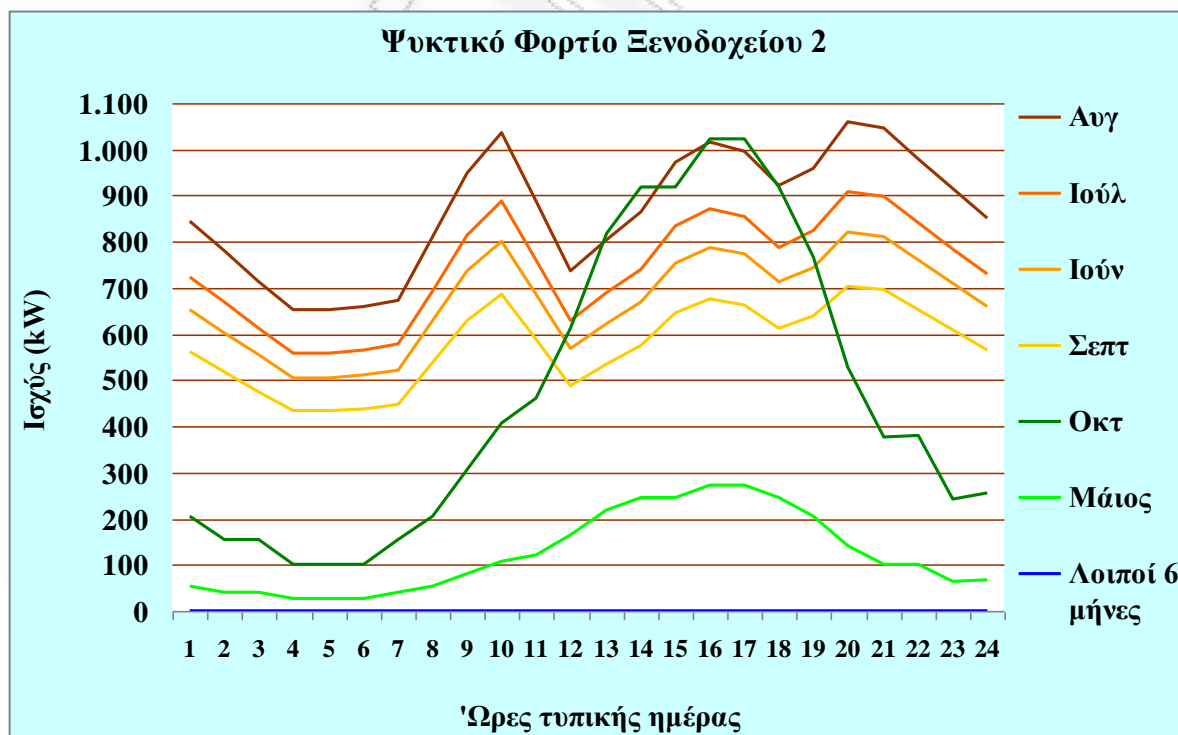
Ώρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1	360	386	313	269	96	39	9	9	69	193	304	313
2	360	386	313	269	97	39	9	9	69	194	304	313
3	360	386	313	269	99	39	9	9	69	199	304	313
4	360	386	313	269	100	39	9	9	69	201	304	313
5	360	386	313	269	102	39	9	9	69	203	304	313
6	360	386	313	269	104	39	9	9	69	207	304	313
7	360	386	313	269	105	39	9	9	69	209	304	313
8	514	552	446	317	104	39	9	9	69	207	358	446
9	514	552	446	317	102	39	9	9	69	203	358	446
10	514	552	446	317	98	39	9	9	69	197	358	446
11	514	552	446	317	95	39	9	9	69	190	358	446
12	514	552	446	317	90	39	9	9	69	180	358	446
13	514	552	446	317	86	39	9	9	69	172	358	446
14	514	552	446	317	82	39	9	9	69	163	358	446
15	514	552	446	317	79	39	9	9	69	159	358	446
16	514	552	446	317	79	39	9	9	69	159	358	446
17	514	552	446	317	79	39	9	9	69	159	358	446
18	514	552	446	317	83	39	9	9	69	165	358	446
19	514	552	446	317	87	39	9	9	69	174	358	446
20	514	552	446	317	94	39	9	9	69	189	358	446
21	514	552	446	317	98	39	9	9	69	197	358	446
22	514	552	446	317	102	39	9	9	69	205	358	446
23	514	552	446	317	105	39	9	9	69	209	358	446
24	514	552	446	317	105	39	9	9	69	209	358	446



Σχήμα 5-7 Θερμικό φορτίο Ξενοδοχείου 2

Πίνακας 5-20 Ψυκτικό φορτίο Ξενοδοχείου 2 (kW)

Ώρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1					55	654	723	843	560	205		
2					41	604	668	779	518	154		
3					41	554	613	715	475	154		
4					27	506	559	652	433	102		
5					27	506	559	652	433	102		
6					27	510	564	659	437	102		
7					41	522	577	673	447	154		
8					55	628	694	810	538	205		
9					82	736	814	949	631	306		
10					109	802	887	1035	687	408		
11					123	687	760	887	589	460		
12					164	570	630	735	489	613		
13					218	623	689	804	534	817		
14					245	670	741	864	574	919		
15					245	753	833	972	646	919		
16					272	787	871	1016	675	1022		
17					272	773	855	997	662	1022		
18					245	713	789	920	611	918		
19					204	744	823	960	638	767		
20					141	821	908	1059	704	528		
21					100	811	897	1047	696	376		
22					101	760	840	981	651	381		
23					64	710	785	916	609	242		
24					68	660	730	852	566	256		



Σχήμα 5-8 Ψυκτικό φορτίο Ξενοδοχείου 2

5.2.3 Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Ξενοδοχείου 2 με χρήση GAMS

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που εξήχθησαν για την έκφραση της Δομικής και Διαστατικής Αριστοποίησης των νέων μονάδων, ύστερα από την επίλυση των μοντέλων με τη χρήση του προγράμματος GAMS και γίνεται σύγκριση μεταξύ της συμβατικής κάλυψης και της συμπαραγωγής για την κάλυψη των ηλεκτρικών, θερμικών και ψυκτικών αναγκών του ξενοδοχείου 2.

Πίνακας 5-21 Σύγκριση συμβατικής και συμπαραγωγής ενεργειακής κάλυψης ξενοδοχείου 2

	Χρήση Τριπαραγωγής	Συμβατική Λύση	Σύγκριση
Ετήσιο κόστος (€)	592.260	597.044	- 0.8 %
Συμπαραγωγή (kW)	441	0	
Ψύξη με απορρόφηση (kW)	1.458	0	
Ψύξη με συμπίεση (kW)	733	1.271	- 42.3 %
Αγορά ηλεκτρισμού (MWh)	2.283	5.873	- 61.1 %
Πώληση ηλεκτρισμού (MWh)	0	0	
Αγορά καυσίμου (MWh)	7.889	2.424	
Εκπομπή CO₂ (t)	3.534	5.481	- 35.5 %

Παρατηρείται ότι η εξοικονόμηση είναι μικρή, 1% του ετήσιου κόστους για το ξενοδοχείο 2, ενώ η μείωση των εκπομπών CO₂ κρίνεται θετικότερη φθάνοντας το 35% περίπου σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο. Η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται ότι φτάνει στα 8,2 έτη.

Πίνακας 5-22 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της ΣΗΘ για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 2

Operation of CHP (kWe)											
243	284	212	224	201	406	431	441	415	304	256	212
243	284	212	182	202	351	385	441	441	268	206	212
243	284	212	182	203	309	338	424	441	271	206	212
243	284	212	182	204	441	293	371	413	272	206	212
243	284	212	182	205	441	293	371	413	274	206	212
243	284	212	182	207	441	297	377	416	276	206	212
243	261	212	182	207	441	308	389	424	278	206	212
347	373	301	214	207	371	407	441	441	313	242	301
347	373	301	214	205	441	441	441	394	396	242	301
347	373	301	214	212	441	441	441	441	441	242	301
347	373	301	214	201	421	441	441	377	441	242	301
347	373	301	214	199	367	353	441	441	441	242	301
347	373	301	214	242	367	403	441	441	441	242	301
347	373	301	214	262	407	441	441	377	441	242	301
347	373	301	214	260	441	441	441	407	441	242	301
347	373	301	214	283	441	441	441	431	441	242	301
347	373	301	214	283	441	441	441	420	441	242	301
347	373	301	214	263	441	441	441	377	441	242	301
347	373	301	214	231	441	441	441	400	441	242	301
347	373	301	214	246	441	441	441	441	393	242	301
347	373	301	224	246	441	441	441	441	441	256	301
347	373	301	224	246	441	441	441	415	441	256	301
347	373	301	224	208	441	441	441	415	346	256	301
347	373	301	224	207	406	437	441	415	358	256	301

Πίνακας 5-23 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Απορρόφηση για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 2

Operation of Absorption chillers (kWc)											
0	0	0	0	161	434	503	515	340	205	0	0
0	0	0	0	161	384	448	515	518	161	0	0
0	0	0	0	161	334	393	495	475	161	0	0
0	0	0	0	161	506	339	432	433	161	0	0
0	0	0	0	161	506	339	432	433	161	0	0
0	0	0	0	161	510	344	439	437	161	0	0
0	0	0	0	161	522	357	453	447	161	0	0
0	0	0	0	161	408	474	515	538	205	0	0
0	0	0	0	161	491	515	515	411	306	0	0
0	0	0	0	161	491	515	515	467	408	0	0
0	0	0	0	161	467	515	515	369	460	0	0
0	0	0	0	164	350	410	515	489	378	0	0
0	0	0	0	218	403	469	515	534	385	0	0
0	0	0	0	245	450	515	515	354	392	0	0
0	0	0	0	245	491	515	515	426	395	0	0
0	0	0	0	272	491	515	515	455	459	0	0
0	0	0	0	272	491	515	515	442	478	0	0
0	0	0	0	245	491	515	515	391	390	0	0
0	0	0	0	204	491	515	515	418	383	0	0
0	0	0	0	161	491	515	515	467	308	0	0
0	0	0	0	161	496	538	538	467	376	0	0
0	0	0	0	161	491	515	515	431	381	0	0
0	0	0	0	161	490	515	515	389	242	0	0
0	0	0	0	161	440	510	515	346	256	0	0

Πίνακας 5-24 Προφίλ φορτίου (12x24) που αγοράζεται από τη ΔΕΗ για τις ανάγκες συμπαράγωγής για το ξενοδοχείο 2

Purchases from grid (kWe)											
183	180	193	176	257	464	473	578	439	293	305	187
183	180	193	158	242	283	274	285	101	311	272	187
183	180	193	158	241	326	320	286	101	308	272	187
183	180	193	158	202	112	366	339	129	259	272	187
183	180	193	158	201	112	366	339	129	257	272	187
183	180	193	158	201	112	362	333	126	256	272	187
162	180	173	148	237	112	351	321	118	301	258	167
58	68	84	166	267	460	457	522	294	306	291	78
58	68	84	166	304	399	451	573	422	268	291	78
58	68	84	166	304	424	478	605	375	232	291	78
58	68	84	166	277	410	431	550	439	184	291	78
58	68	84	166	285	464	511	494	294	278	291	78
58	68	84	166	248	464	461	520	294	359	291	78
58	68	84	166	234	425	424	542	439	401	291	78
58	68	84	166	230	406	458	582	410	393	291	78
58	68	84	166	207	418	472	598	385	407	291	78
58	68	84	166	213	413	466	591	396	407	291	78
79	91	104	176	238	391	442	563	439	407	305	98
79	91	104	176	292	402	455	577	416	383	305	98
79	91	104	176	304	431	486	614	381	407	305	98
79	91	104	176	304	464	515	645	416	278	305	98
79	91	104	176	304	447	502	629	439	278	305	98
79	91	104	176	304	430	482	605	439	323	305	98
79	91	104	176	289	464	467	581	439	289	305	98

Πίνακας 5-25 Προφίλ φορτίου (12x24) που αγοράζεται από τη ΔΕΗ για τις ανάγκες συμβατικής κάλυψης για το ξενοδοχείο 2

Purchases from grid (kWe)											
426	464	405	400	599	1031	1091	1210	980	738	561	399
426	464	405	340	585	777	824	918	734	720	478	399
426	464	405	340	585	758	804	894	718	720	478	399
426	464	405	340	547	740	784	870	702	672	478	399
426	464	405	340	547	740	784	870	702	672	478	399
426	464	405	340	549	742	786	873	704	673	478	399
405	441	385	330	585	746	791	878	708	720	464	379
405	441	385	380	615	983	1039	1154	934	760	533	379
405	441	385	380	650	1023	1083	1205	969	805	533	379
405	441	385	380	657	1047	1111	1237	989	824	533	379
405	441	385	380	619	1004	1063	1183	953	795	533	379
405	441	385	380	625	961	1015	1126	916	859	533	379
405	441	385	380	631	981	1037	1152	933	943	533	379
405	441	385	380	637	998	1056	1174	948	987	533	379
405	441	385	380	631	1029	1091	1214	974	980	533	379
405	441	385	380	631	1041	1105	1230	985	1019	533	379
405	441	385	380	637	1036	1099	1223	980	1026	533	379
426	464	405	390	642	1014	1074	1195	961	993	547	399
426	464	405	390	664	1026	1087	1210	971	966	547	399
426	464	405	390	691	1054	1118	1246	996	915	547	399
426	464	405	400	691	1089	1155	1286	1031	860	561	399
426	464	405	400	691	1070	1134	1261	1014	860	561	399
426	464	405	400	653	1052	1114	1237	999	810	561	399
426	464	405	400	637	1033	1093	1214	983	788	561	399

Πίνακας 5-26 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Συμπύεση για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 2

Operation of Compression chillers (kWc)											
0	0	0	0	0	220	220	328	220	0	0	0
0	0	0	0	0	220	220	264	0	0	0	0
0	0	0	0	0	220	220	220	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	220	220	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	220	220	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	220	220	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	220	220	0	0	0	0
0	0	0	0	0	220	220	295	0	0	0	0
0	0	0	0	0	245	299	434	220	0	0	0
0	0	0	0	0	311	372	520	220	0	0	0
0	0	0	0	0	220	245	372	220	0	0	0
0	0	0	0	0	220	220	220	0	235	0	0
0	0	0	0	0	220	220	289	0	432	0	0
0	0	0	0	0	220	226	349	220	527	0	0
0	0	0	0	0	262	318	457	220	524	0	0
0	0	0	0	0	296	356	501	220	563	0	0
0	0	0	0	0	282	340	482	220	544	0	0
0	0	0	0	0	222	274	405	220	528	0	0
0	0	0	0	0	253	308	445	220	384	0	0
0	0	0	0	0	330	393	544	237	220	0	0
0	0	0	0	0	315	359	509	229	0	0	0
0	0	0	0	0	269	325	466	220	0	0	0
0	0	0	0	0	220	270	401	220	0	0	0
0	0	0	0	0	220	220	337	220	0	0	0

Πίνακας 5-27 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Συμπύεση για τις ανάγκες συμβατικής κάλυψης για το ξενοδοχείο 2

Operation of Compression chillers (kWc)											
0	0	0	0	381	654	723	843	560	381	0	0
0	0	0	0	381	604	668	779	518	381	0	0
0	0	0	0	381	554	613	715	475	381	0	0
0	0	0	0	381	506	559	652	433	381	0	0
0	0	0	0	381	506	559	652	433	381	0	0
0	0	0	0	381	510	564	659	437	381	0	0
0	0	0	0	381	522	577	673	447	381	0	0
0	0	0	0	381	628	694	810	538	381	0	0
0	0	0	0	381	736	814	949	631	381	0	0
0	0	0	0	381	802	887	1035	687	408	0	0
0	0	0	0	381	687	760	887	589	460	0	0
0	0	0	0	381	570	630	735	489	613	0	0
0	0	0	0	381	623	689	804	534	817	0	0
0	0	0	0	381	670	741	864	574	919	0	0
0	0	0	0	381	753	833	972	646	919	0	0
0	0	0	0	381	787	871	1016	675	1022	0	0
0	0	0	0	381	773	855	997	662	1022	0	0
0	0	0	0	381	713	789	920	611	918	0	0
0	0	0	0	381	744	823	960	638	767	0	0
0	0	0	0	381	821	908	1059	704	528	0	0
0	0	0	0	381	811	897	1047	696	381	0	0
0	0	0	0	381	760	840	981	651	381	0	0
0	0	0	0	381	710	785	916	609	381	0	0
0	0	0	0	381	660	730	852	566	381	0	0

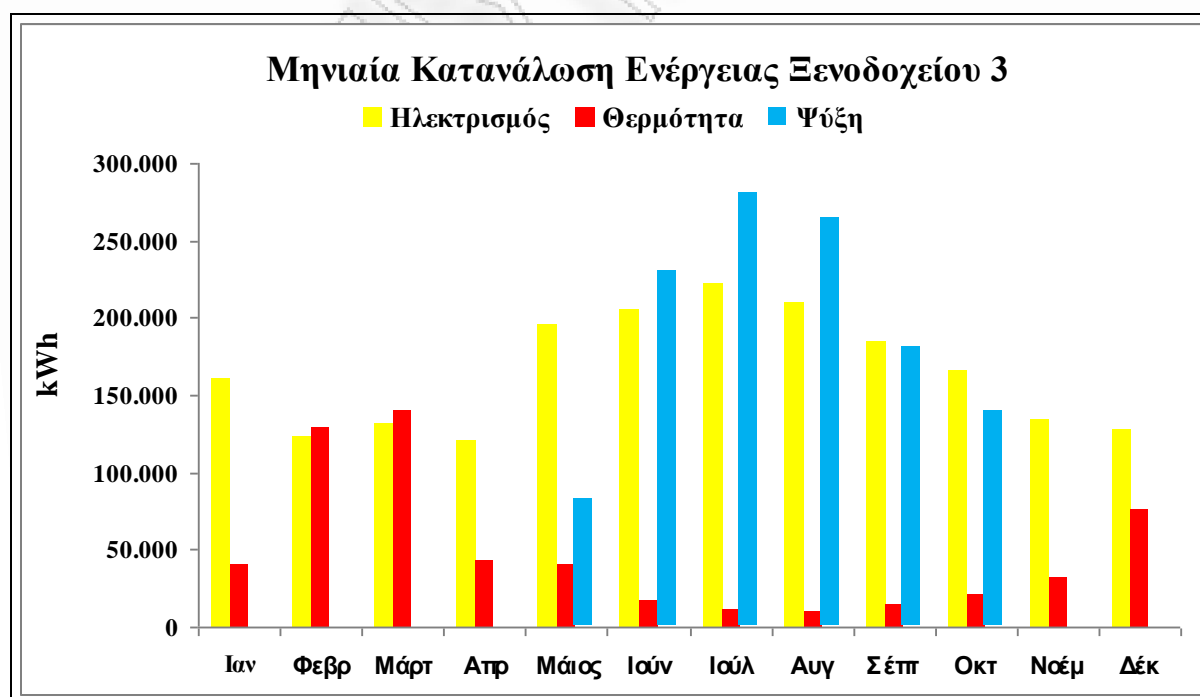
5.3. Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 3

5.3.1 Δεδομένα Ενεργειακών Απαιτήσεων Ξενοδοχείου 3

Η μηνιαία ζήτηση κατανάλωσης για ηλεκτρισμό, θερμότητα και ψύξη για το ξενοδοχείο 3 παρουσιάζεται στον πίνακα 5.28 και σχηματικά στο σχήμα 5.9.

Πίνακας 5-28 Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας Ξενοδοχείου 3

Μήνας	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	kWh _e	kWh _{th}	kWh _f
1	161.000	40.108	0
2	123.000	129.691	0
3	131.000	139.735	0
4	121.000	43.296	0
5	195.000	40.240	81.900
6	205.000	16.621	229.600
7	222.000	11.217	279.720
8	210.000	10.426	264.600
9	185.000	14.424	181.300
10	166.000	21.452	139.440
11	134.000	32.067	0
12	128.000	76.810	0
Σύνολο	1.981.000	576.088	1.176.560



Σχήμα 5-9 Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας Ξενοδοχείου 3

Στους πίνακες 5.29 και 5.30 παρουσιάζεται το προφίλ του φορτίου κάθε τυπικής ώρας για όλους τους μήνες για το ξενοδοχείο 3:

Πίνακας 5-29 Προφίλ Φορτίου Τυπικής Ωρας Ξενοδοχείου 3 (Μέρος 1)

Ωρα Ημέρας	Προφίλ 1			Προφίλ 2		
	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	%	%	%	%	%	%
1	2.32	4.69	0.00	3.94	4.24	0.00
2	2.43	4.69	0.00	3.82	4.28	0.00
3	2.61	4.69	0.00	3.82	4.38	0.00
4	2.78	4.64	0.00	3.50	4.42	0.00
5	3.01	4.64	0.00	3.50	4.47	0.00
6	3.25	4.55	0.00	3.51	4.56	0.00
7	3.48	4.50	0.00	3.82	4.61	0.00
8	3.83	4.41	0.00	4.08	4.56	0.00
9	4.29	4.36	0.00	4.38	4.47	0.00
10	4.87	4.22	0.00	4.44	4.33	0.00
11	5.22	4.03	0.00	4.12	4.19	0.00
12	5.16	3.80	0.00	4.17	3.96	0.00
13	5.04	3.61	0.00	4.22	3.78	0.00
14	4.93	3.47	0.00	4.27	3.59	0.00
15	4.81	3.38	0.00	4.22	3.50	0.00
16	4.75	3.42	0.00	4.22	3.50	0.00
17	4.81	3.47	0.00	4.27	3.50	0.00
18	4.93	3.66	0.00	4.31	3.64	0.00
19	5.22	3.80	0.00	4.50	3.82	0.00
20	5.57	4.08	0.00	4.74	4.15	0.00
21	5.80	4.27	0.00	4.74	4.33	0.00
22	4.64	4.45	0.00	4.74	4.51	0.00
23	3.48	4.55	0.00	4.41	4.61	0.00
24	2.78	4.64	0.00	4.27	4.61	0.00
	Μήνες όπου το κάθε προφίλ εφαρμόζεται:					
	Ιαν, Φεβ, Μαρ, Δεκ			Απρ, Νοεμ		

Πίνακας 5-30 Προφίλ Φορτίου Τυπικής Ωρας Ξενοδοχείου 3 (Μέρος 2)

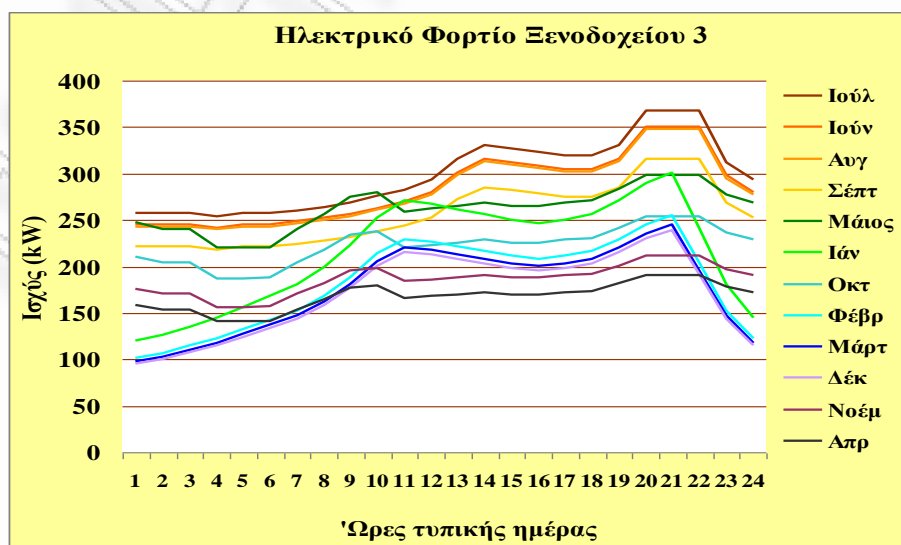
Ωρα Ημέρας	Προφίλ 1			Προφίλ 2		
	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	%	%	%	%	%	%
1	3.94	4.24	1.84	3.59	0.00	1.28
2	3.82	4.28	1.38	3.59	0.53	1.93
3	3.82	4.38	1.38	3.59	1.35	1.96
4	3.50	4.42	0.92	3.54	2.34	1.84
5	3.50	4.47	0.92	3.59	3.16	1.96
6	3.51	4.56	0.92	3.59	4.34	1.97
7	3.82	4.61	1.38	3.64	5.33	2.10
8	4.08	4.56	1.84	3.69	5.86	2.56
9	4.38	4.47	2.75	3.75	5.86	3.33
10	4.44	4.33	3.67	3.85	5.80	3.95
11	4.12	4.19	4.13	3.95	5.62	4.53
12	4.17	3.96	5.51	4.10	5.33	4.87
13	4.22	3.78	7.34	4.41	5.21	5.56
14	4.27	3.59	8.26	4.62	4.86	6.00
15	4.22	3.50	8.26	4.57	4.51	6.54
16	4.22	3.50	9.18	4.52	4.16	6.40
17	4.27	3.50	9.18	4.46	3.87	6.29
18	4.31	3.64	8.25	4.46	3.69	6.28
19	4.50	3.82	6.89	4.62	4.04	6.26
20	4.74	4.15	4.74	5.13	4.69	6.96
21	4.74	4.33	3.38	5.13	5.04	6.53
22	4.74	4.51	3.42	5.13	5.21	5.57
23	4.41	4.61	2.17	4.36	5.04	2.96
24	4.27	4.61	2.30	4.10	4.16	2.38
	Μήνες όπου το κάθε προφίλ εφαρμόζεται:					
	Μάιος, Οκτ			Ιουν, Ιουλ, Αυγ, Σεπτ		

5.3.2 Επεξεργασία Ενεργειακών Δεδομένων Ξενοδοχείου 3

Στους επόμενους πίνακες και σχήματα παρουσιάζονται τα ωριαίου ημερήσιου προφίλ του ηλεκτρικού, θερμικού, και ψυκτικού φορτίου (12 x 24) του ξενοδοχείου 3:

Πίνακας 5-31 Ηλεκτρικό φορτίο Ξενοδοχείου 3 (kW)

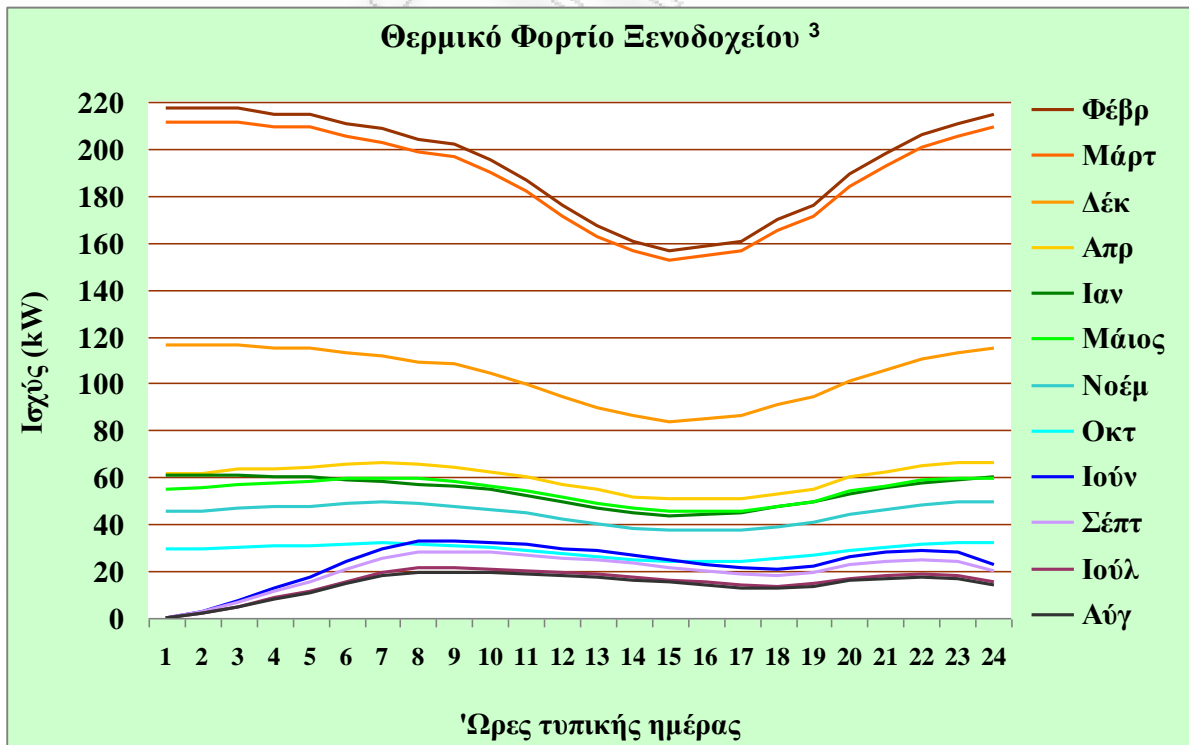
Ωρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1	120	102	98	159	248	245	257	243	221	211	176	96
2	126	107	103	154	240	245	257	243	221	205	171	100
3	136	115	110	154	240	245	257	243	221	205	171	108
4	144	122	117	141	220	242	254	240	218	187	156	115
5	156	132	127	141	220	245	257	243	221	187	156	124
6	169	143	137	142	221	245	257	243	221	188	157	134
7	181	153	147	154	240	249	261	247	224	205	171	144
8	199	168	162	165	257	252	264	250	228	218	182	158
9	223	188	181	177	276	256	269	254	231	235	196	177
10	253	214	206	179	279	263	276	261	237	238	198	201
11	271	229	221	166	259	270	283	268	244	221	184	216
12	268	227	218	168	262	280	294	278	253	223	186	213
13	262	221	213	170	265	301	316	299	272	226	188	208
14	256	217	208	172	269	316	331	313	285	229	191	204
15	250	211	203	170	265	312	327	310	282	226	188	199
16	247	209	201	170	265	309	324	306	279	226	188	196
17	250	211	203	172	269	305	319	302	275	229	191	199
18	256	217	208	174	271	305	319	302	275	231	193	204
19	271	229	221	182	283	316	331	313	285	241	201	216
20	289	245	235	191	298	351	367	348	316	254	212	230
21	301	255	245	191	298	351	367	348	316	254	212	239
22	241	204	196	191	298	351	367	348	316	254	212	192
23	181	153	147	178	277	298	312	295	269	236	197	144
24	144	122	117	172	269	280	294	278	253	229	191	115



Σχήμα 5-10 Ηλεκτρικό φορτίο Ξενοδοχείου 3

Πίνακας 5-32 Θερμικό φορτίο Ξενοδοχείου 3 (kW)

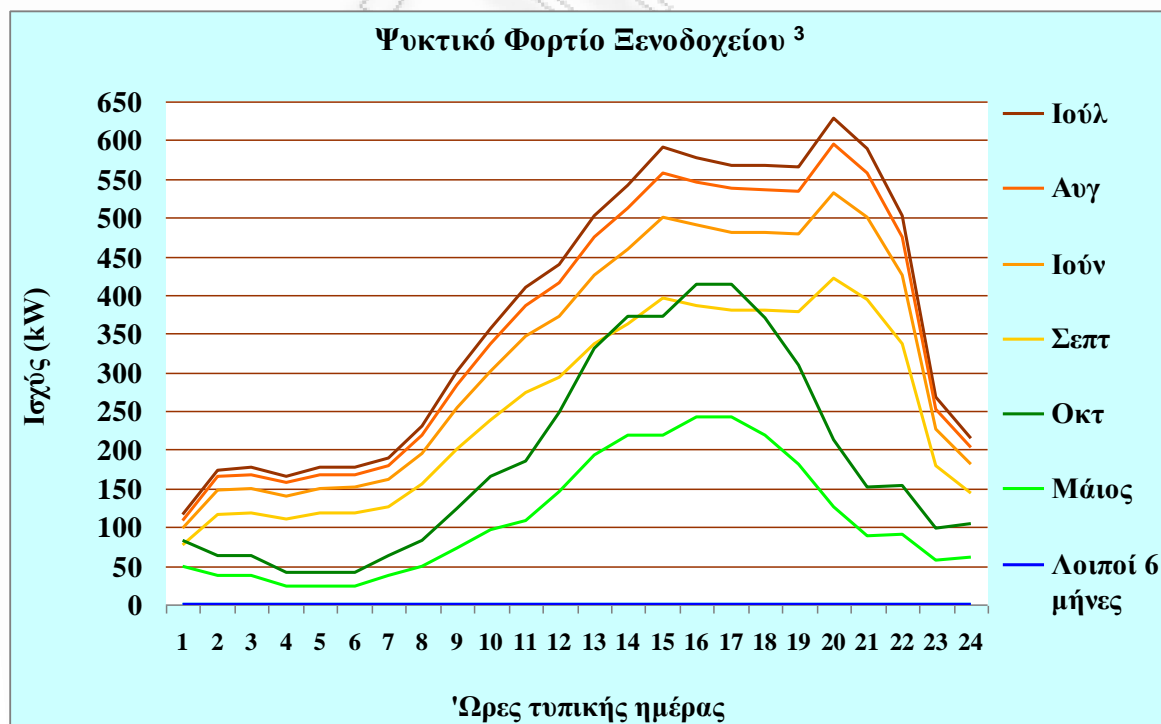
Ώρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1	61	217	211	61	55	0	0	0	0	29	45	116
2	61	217	211	62	56	3	2	2	3	30	46	116
3	61	217	211	63	57	7	5	5	6	30	47	116
4	60	215	209	64	57	13	8	8	11	31	47	115
5	60	215	209	65	58	18	11	11	15	31	48	115
6	59	211	205	66	59	24	16	15	21	32	49	113
7	58	208	203	67	60	30	19	18	26	32	49	111
8	57	204	199	66	59	32	21	20	28	32	49	109
9	56	202	197	65	58	32	21	20	28	31	48	108
10	55	195	190	62	56	32	21	20	28	30	46	105
11	52	187	182	60	54	31	20	19	27	29	45	100
12	49	176	171	57	51	30	19	18	26	27	42	94
13	47	167	163	55	49	29	19	18	25	26	40	89
14	45	161	156	52	47	27	18	16	23	25	38	86
15	44	157	152	51	45	25	16	15	22	24	37	84
16	44	158	154	51	45	23	15	14	20	24	37	85
17	45	161	156	51	45	21	14	13	19	24	37	86
18	47	170	165	53	47	20	13	12	18	25	39	91
19	49	176	171	55	50	22	15	14	19	26	41	94
20	53	189	184	60	54	26	17	16	23	29	44	101
21	55	198	192	62	56	28	18	17	24	30	46	106
22	58	206	201	65	59	29	19	18	25	31	48	110
23	59	211	205	67	60	28	18	17	24	32	49	113
24	60	215	209	67	60	23	15	14	20	32	49	115



Σχήμα 5-11 Θερμικό φορτίο Ξενοδοχείου 3

Πίνακας 5-33 Ψυκτικό φορτίο Ξενοδοχείου 3 (kW)

Ώρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1					49	98	115	109	77	83		
2					36	148	174	165	117	62		
3					36	150	177	167	118	62		
4					24	141	166	157	111	41		
5					24	150	177	167	118	41		
6					24	151	178	168	119	41		
7					36	161	189	179	127	62		
8					49	196	231	219	155	83		
9					73	255	300	284	201	124		
10					97	302	356	337	239	165		
11					109	347	409	387	274	186		
12					146	373	439	416	294	248		
13					194	426	502	475	336	330		
14					218	459	541	512	363	372		
15					218	501	590	558	395	372		
16					243	490	577	546	387	413		
17					243	481	568	537	380	413		
18					218	481	567	536	380	371		
19					182	479	565	534	378	310		
20					125	533	628	594	421	213		
21					89	500	589	557	395	152		
22					90	426	503	475	337	154		
23					57	227	267	253	179	98		
24					61	182	215	203	144	103		



Σχήμα 5-12 Ψυκτικό φορτίο Ξενοδοχείου 3

5.3.3 Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Ξενοδοχείου 3 με χρήση GAMS

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που εξήχθησαν για την έκφραση της Δομικής και Διαστατικής Αριστοποίησης των νέων μονάδων, ύστερα από την επίλυση των μοντέλων με τη χρήση του προγράμματος GAMS και γίνεται σύγκριση μεταξύ της συμβατικής κάλυψης και της συμπαραγωγής για την κάλυψη των ηλεκτρικών, θερμικών και ψυκτικών αναγκών του ξενοδοχείου 3.

Πίνακας 5-34 Σύγκριση συμβατικής και συμπαραγωγής ενεργειακής κάλυψης ξενοδοχείου 3

	Χρήση Τριπαραγωγής	Συμβατική Λύση	Σύγκριση
Ετήσιο κόστος (€)	250.312	250.312	-
Συμπαραγωγή (kW)	0	0	
Ψύξη με απορρόφηση (kW)	0	0	
Ψύξη με συμπίεση (kW)	754	754	
Αγορά ηλεκτρισμού (MWh)	2.501	2.501	-
Πώληση ηλεκτρισμού (MWh)	0	0	
Αγορά καυσίμου (MWh)	678	678	
Εκπομπή CO₂ (t)	2.263	2.263	-

Παρατηρείται από τον πίνακα 5.34 ότι για το ξενοδοχείο 3 δεν κρίνεται σκόπιμη η εισαγωγή μονάδας συμπαραγωγής και μονάδας ψύξης με απορρόφηση καθώς η δυναμικότητα του ξενοδοχείου αλλά και η ζήτηση φορτίων του αποδείχθηκε μικρή για την εισαγωγή των νέων μονάδων..

Πίνακας 5-35 Προφίλ φορτίου (12x24) που αγοράζεται από τη ΔΕΗ για τις ανάγκες συμπαράγωγής για το ξενοδοχείο 3

Purchases from grid (kWe)											
120	102	98	159	332	329	341	327	305	295	176	96
126	107	103	154	324	329	341	327	305	289	171	100
136	115	110	154	324	329	341	327	305	289	171	108
144	122	117	141	304	326	338	324	302	271	156	115
156	132	127	141	304	329	341	327	305	271	156	124
169	143	137	142	305	329	341	327	305	272	157	134
181	153	147	154	324	333	345	331	308	289	171	144
199	168	162	165	341	336	350	334	312	302	182	158
223	188	181	177	360	350	380	359	315	319	196	177
253	214	206	179	363	375	408	386	326	322	198	201
271	229	221	166	343	399	434	411	345	305	184	216
268	227	218	168	346	418	457	432	362	315	186	213
262	221	213	170	349	459	502	475	396	348	188	208
256	217	208	172	353	486	531	503	419	367	191	204
250	211	203	170	349	498	546	517	428	364	188	199
247	209	201	170	355	490	538	508	422	379	188	196
250	211	203	172	359	483	529	501	416	382	191	199
256	217	208	174	355	483	529	501	416	368	193	204
271	229	221	182	367	493	540	511	425	356	201	216
289	245	235	191	382	548	600	568	472	338	212	230
301	255	245	191	382	536	585	554	462	338	212	239
241	204	196	191	382	509	553	524	441	338	212	192
181	153	147	178	361	382	411	389	353	320	197	144
144	122	117	172	353	364	378	362	337	313	191	115

Πίνακας 5-36 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Συμπύεση για τις ανάγκες συμπαράγωγής για το ξενοδοχείο 3

Operation of Compression chillers (kWc)											
0	0	0	0	226	226	226	226	226	226	0	0
0	0	0	0	226	226	226	226	226	226	0	0
0	0	0	0	226	226	226	226	226	226	0	0
0	0	0	0	226	226	226	226	226	226	0	0
0	0	0	0	226	226	226	226	226	226	0	0
0	0	0	0	226	226	226	226	226	226	0	0
0	0	0	0	226	226	226	226	226	226	0	0
0	0	0	0	226	226	231	226	226	226	0	0
0	0	0	0	226	255	300	284	226	226	0	0
0	0	0	0	226	302	356	337	239	226	0	0
0	0	0	0	226	347	409	387	274	226	0	0
0	0	0	0	226	373	439	416	294	248	0	0
0	0	0	0	226	426	502	475	336	330	0	0
0	0	0	0	226	459	541	512	363	372	0	0
0	0	0	0	226	501	590	558	395	372	0	0
0	0	0	0	243	490	577	546	387	413	0	0
0	0	0	0	243	481	568	537	380	413	0	0
0	0	0	0	226	481	567	536	380	371	0	0
0	0	0	0	226	479	565	534	378	310	0	0
0	0	0	0	226	533	628	594	421	226	0	0
0	0	0	0	226	500	589	557	395	226	0	0
0	0	0	0	226	426	503	475	337	226	0	0
0	0	0	0	226	227	267	253	226	226	0	0
0	0	0	0	226	226	226	226	226	226	0	0

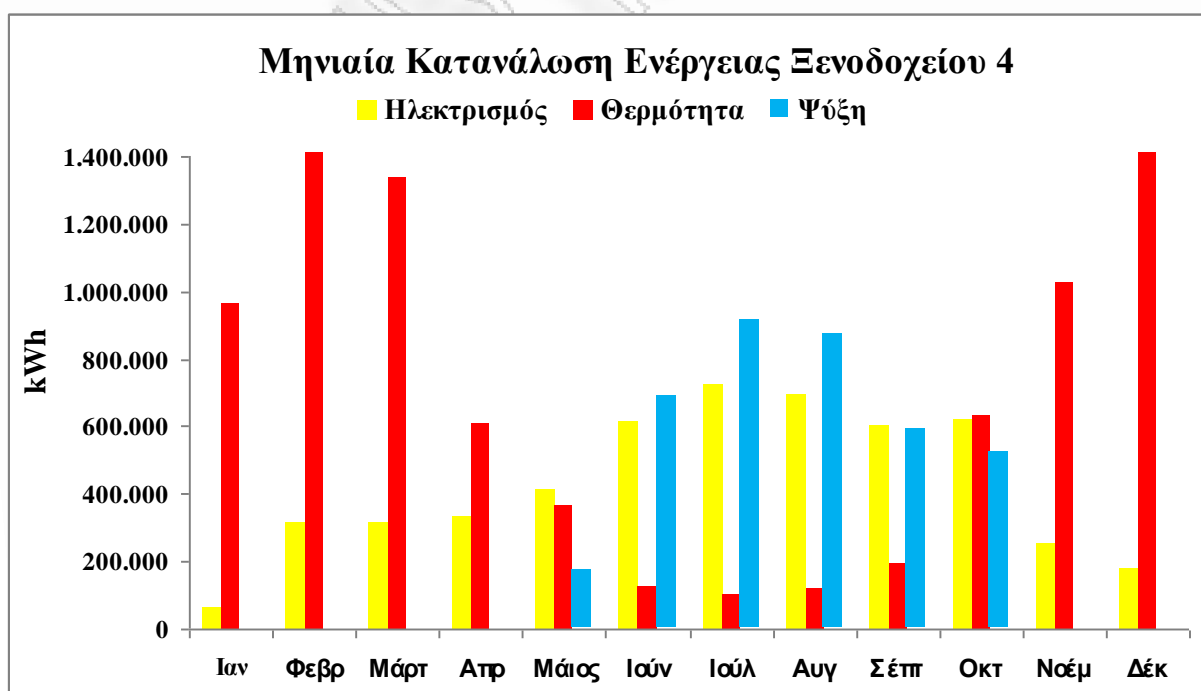
5.4. Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 4

5.4.1 Δεδομένα Ενεργειακών Απαιτήσεων Ξενοδοχείου 4

Η μηνιαία ζήτηση κατανάλωσης για ηλεκτρισμό, θερμότητα και ψύξη για το ξενοδοχείο 4 παρουσιάζεται στον πίνακα 5.37 και σχηματικά στο σχήμα 5.13.

Πίνακας 5-37 Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας Ξενοδοχείου 4

Μήνας	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	kWh _e	kWh _{th}	kWh _f
1	64.520	963.510	0
2	316.455	1.419.427	0
3	315.089	1.336.787	0
4	334.103	609.041	0
5	412.588	365.614	173.287
6	614.629	125.842	688.384
7	725.219	105.138	913.776
8	693.318	121.126	873.581
9	603.995	195.691	591.915
10	622.029	633.500	522.504
11	254.787	1.026.548	0
12	175.126	1.419.427	0
Σύνολο	5.131.858	8.321.651	3.763.447



Σχήμα 5-13 Μηνιαία Κατανάλωση Ενέργειας Ξενοδοχείου 4

Στους πίνακες 5.38 και 5.39 παρουσιάζεται το προφίλ του φορτίου κάθε τυπικής ώρας για όλους τους μήνες για το ξενοδοχείο 4:

Πίνακας 5-38 Προφίλ Φορτίου Τυπικής Ωρας Ξενοδοχείου 4 (Μέρος 1)

Ωρα Ημέρας	Προφίλ 1			Προφίλ 2		
	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	%	%	%	%	%	%
1	2.32	4.69	0.00	4.01	4.24	0.00
2	2.43	4.69	0.00	4.01	4.28	0.00
3	2.61	4.69	0.00	4.01	4.38	0.00
4	2.78	4.64	0.00	4.01	4.42	0.00
5	3.01	4.64	0.00	4.01	4.47	0.00
6	3.25	4.55	0.00	4.01	4.56	0.00
7	3.48	4.50	0.00	4.01	4.61	0.00
8	3.83	4.41	0.00	4.01	4.56	0.00
9	4.29	4.36	0.00	4.05	4.47	0.00
10	4.87	4.22	0.00	4.05	4.33	0.00
11	5.22	4.03	0.00	4.05	4.19	0.00
12	5.16	3.80	0.00	4.10	3.96	0.00
13	5.04	3.61	0.00	4.15	3.78	0.00
14	4.93	3.47	0.00	4.19	3.59	0.00
15	4.81	3.38	0.00	4.15	3.50	0.00
16	4.75	3.42	0.00	4.15	3.50	0.00
17	4.81	3.47	0.00	4.19	3.50	0.00
18	4.93	3.66	0.00	4.24	3.64	0.00
19	5.22	3.80	0.00	4.33	3.82	0.00
20	5.57	4.08	0.00	4.52	4.15	0.00
21	5.80	4.27	0.00	4.66	4.33	0.00
22	4.64	4.45	0.00	4.61	4.51	0.00
23	3.48	4.55	0.00	4.33	4.61	0.00
24	2.78	4.64	0.00	4.19	4.61	0.00
Μήνες όπου το κάθε προφίλ εφαρμόζεται:						
Ιαν, Φεβ, Δεκ				Μαρτ, Απρ, Νοεμ		

Πίνακας 5-39 Προφίλ Φορτίου Τυπικής Ωρας Ξενοδοχείου 4 (Μέρος 2)

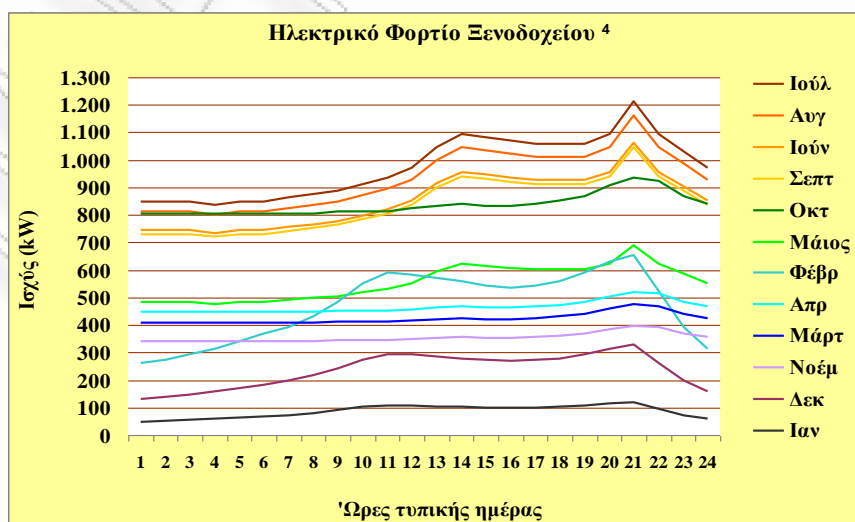
Ωρα Ημέρας	Προφίλ 1			Προφίλ 2		
	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη	Ηλεκτρισμός	Θερμότητα	Ψύξη
	%	%	%	%	%	%
1	4.01	4.24	1.84	3.63	0.00	1.28
2	4.01	4.28	1.38	3.63	0.53	1.93
3	4.01	4.38	1.38	3.63	1.35	1.96
4	4.01	4.42	0.92	3.58	2.34	1.84
5	4.01	4.47	0.92	3.63	3.16	1.96
6	4.01	4.56	0.92	3.63	4.34	1.97
7	4.01	4.61	1.38	3.69	5.33	2.10
8	4.01	4.56	1.84	3.74	5.86	2.56
9	4.05	4.47	2.75	3.79	5.86	3.33
10	4.05	4.33	3.67	3.89	5.80	3.95
11	4.05	4.19	4.13	4.00	5.62	4.53
12	4.10	3.96	5.51	4.15	5.33	4.87
13	4.15	3.78	7.34	4.47	5.21	5.56
14	4.19	3.59	8.26	4.67	4.86	6.00
15	4.15	3.50	8.26	4.62	4.51	6.54
16	4.15	3.50	9.18	4.57	4.16	6.40
17	4.19	3.50	9.18	4.52	3.87	6.29
18	4.24	3.64	8.25	4.52	3.69	6.28
19	4.33	3.82	6.89	4.52	4.04	6.26
20	4.52	4.15	4.74	4.67	4.69	6.96
21	4.66	4.33	3.38	5.19	5.04	6.53
22	4.61	4.51	3.42	4.67	5.21	5.57
23	4.33	4.61	2.17	4.41	5.04	2.96
24	4.19	4.61	2.30	4.15	4.16	2.38
	Μήνες όπου το κάθε προφίλ εφαρμόζεται:					
	Οκτ			Μάιος, Ιουν, Ιουλ, Αυγ, Σεπτ		

5.4.2 Επεξεργασία Ενεργειακών Δεδομένων Ξενοδοχείου 4

Στους επόμενους πίνακες και σχήματα παρουσιάζονται τα ωριαίου ημερήσιου προφίλ του ηλεκτρικού, θερμικού, και ψυκτικού φορτίου (12 x 24) του ξενοδοχείου 4:

Πίνακας 5-40 Ηλεκτρικό φορτίο Ξενοδοχείου 4 (kW)

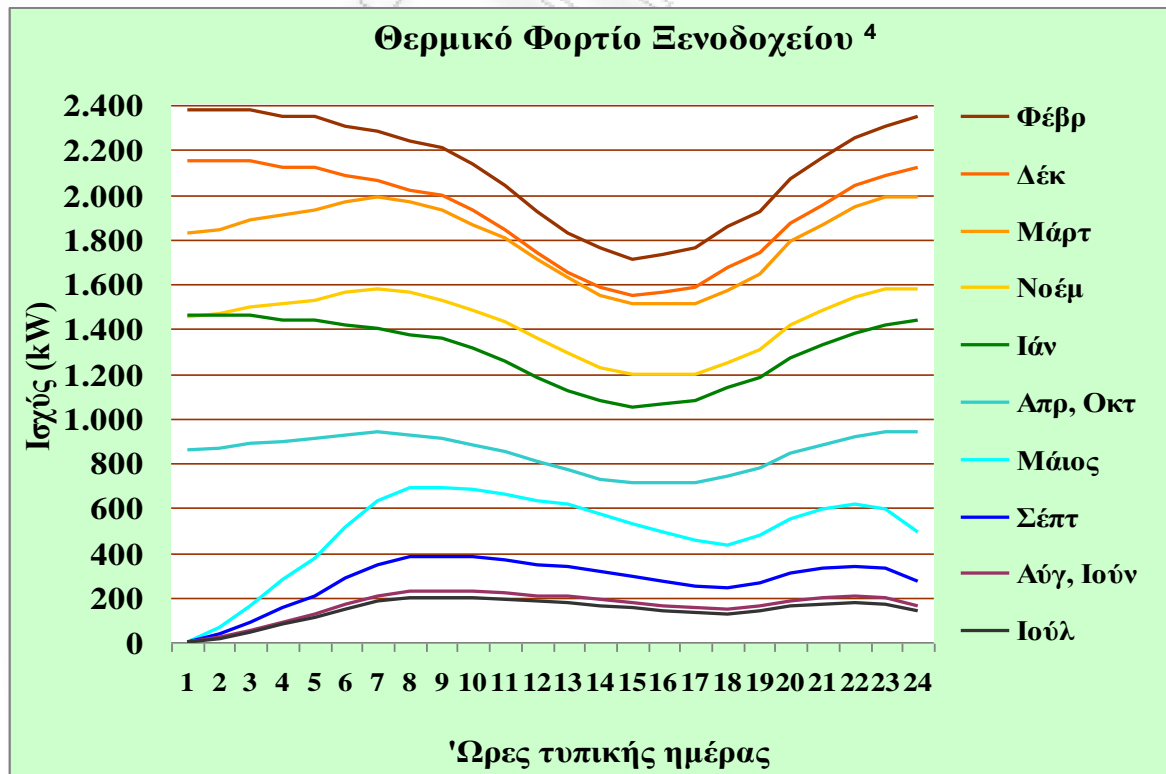
Ωρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1	48	262	408	447	483	744	849	812	731	805	341	131
2	51	275	408	447	483	744	849	812	731	805	341	137
3	54	295	408	447	483	744	849	812	731	805	341	147
4	58	314	408	447	476	733	838	801	721	805	341	157
5	63	340	408	447	483	744	849	812	731	805	341	170
6	68	367	408	447	483	744	849	812	731	805	341	184
7	72	393	408	447	491	756	863	825	743	805	341	197
8	80	433	408	447	498	766	875	836	753	805	341	216
9	89	485	412	451	504	776	887	848	763	813	344	242
10	101	550	412	451	518	797	910	870	783	813	344	275
11	109	590	412	451	532	820	936	895	805	813	344	295
12	107	583	417	457	552	850	971	928	836	823	348	292
13	105	570	422	462	595	916	1046	1000	900	833	352	285
14	103	557	426	467	622	957	1093	1044	940	841	356	279
15	100	544	422	462	615	947	1081	1033	930	833	352	272
16	99	537	422	462	608	936	1069	1022	920	833	352	268
17	100	544	426	467	602	926	1057	1011	910	841	356	272
18	103	557	431	472	602	926	1057	1011	910	851	360	279
19	109	590	440	482	602	926	1057	1011	910	869	368	295
20	116	630	459	503	622	957	1093	1044	940	907	384	315
21	121	656	474	519	691	1063	1214	1161	1045	935	396	328
22	97	524	469	513	622	957	1093	1044	940	925	392	262
23	72	393	440	482	587	904	1032	986	888	869	368	197
24	58	314	426	467	552	850	971	928	836	841	356	157



Σχήμα 5-14 Ηλεκτρικό φορτίο Ξενοδοχείου 4

Πίνακας 5-41 Θερμικό φορτίο Ξενοδοχείου 4 (kW)

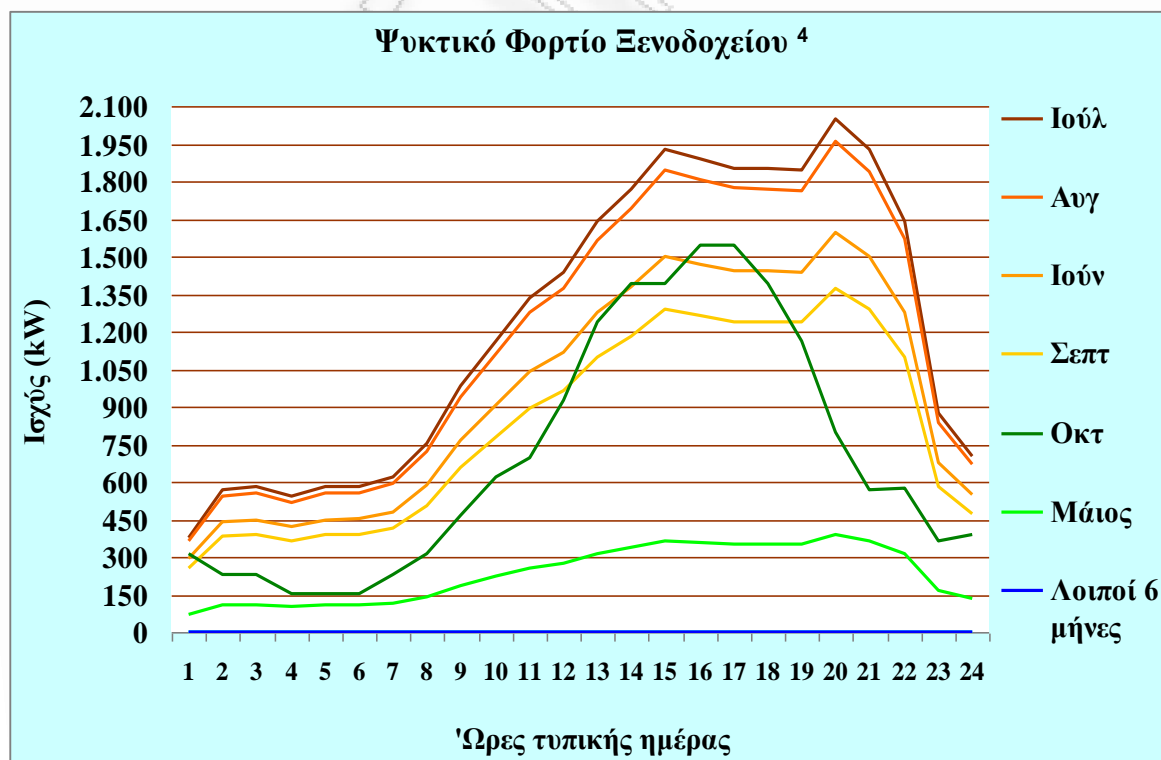
Ώρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1	1458	2378	1828	861	0	0	0	0	0	866	1451	2147
2	1458	2378	1846	869	63	22	18	21	35	875	1465	2147
3	1458	2378	1889	889	159	57	46	53	88	895	1499	2147
4	1442	2352	1906	897	276	98	79	91	153	903	1512	2125
5	1442	2352	1928	907	373	133	107	123	206	913	1530	2125
6	1414	2307	1966	926	512	182	147	170	283	932	1560	2083
7	1399	2281	1988	936	629	224	181	208	348	942	1577	2060
8	1371	2236	1966	926	691	246	199	229	382	932	1560	2019
9	1355	2210	1928	907	691	246	199	229	382	913	1530	1996
10	1312	2139	1867	879	684	243	197	227	378	885	1482	1932
11	1253	2043	1807	851	663	236	191	220	367	856	1434	1845
12	1181	1926	1708	804	629	224	181	208	348	809	1355	1740
13	1122	1830	1630	767	614	219	177	204	340	772	1293	1653
14	1079	1759	1548	729	573	204	165	190	317	734	1228	1589
15	1051	1713	1509	711	532	189	153	176	294	715	1198	1548
16	1063	1734	1509	711	491	175	141	163	271	715	1198	1566
17	1079	1759	1509	711	456	162	131	151	252	715	1198	1589
18	1138	1855	1570	739	435	155	125	144	241	744	1246	1676
19	1181	1926	1647	776	476	169	137	158	264	781	1307	1740
20	1268	2068	1790	843	553	197	159	183	306	848	1420	1868
21	1327	2165	1867	879	594	211	171	197	329	885	1482	1955
22	1383	2256	1945	916	614	219	177	204	340	922	1543	2038
23	1414	2307	1988	936	594	211	171	197	329	942	1577	2083
24	1442	2352	1988	936	491	175	141	163	271	942	1577	2125



Σχήμα 5-15 Θερμικό φορτίο Ξενοδοχείου 4

Πίνακας 5-42 Ψυκτικό φορτίο Ξενοδοχείου 4 (kW)

Ώρες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1					72	294	377	361	253	310		
2					108	443	569	544	381	233		
3					110	450	578	552	387	233		
4					103	422	542	519	363	155		
5					110	450	578	552	387	155		
6					110	452	581	555	389	155		
7					117	482	619	592	414	233		
8					143	587	755	721	505	310		
9					186	764	982	938	657	464		
10					221	906	1164	1113	779	619		
11					253	1039	1335	1277	894	696		
12					272	1117	1436	1372	961	929		
13					311	1276	1639	1567	1097	1237		
14					335	1377	1769	1691	1184	1392		
15					366	1501	1928	1843	1290	1392		
16					358	1469	1887	1804	1263	1547		
17					352	1443	1854	1773	1241	1547		
18					351	1441	1851	1770	1239	1391		
19					350	1436	1845	1764	1235	1161		
20					389	1597	2052	1961	1373	799		
21					365	1498	1925	1840	1288	570		
22					311	1278	1642	1570	1099	576		
23					165	679	873	834	584	366		
24					133	546	702	671	470	388		



Σχήμα 5-16 Ψυκτικό φορτίο Ξενοδοχείου 4

5.4.3 Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Ξενοδοχείου 4 με χρήση GAMS

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που εξήχθησαν για την έκφραση της Δομικής και Διαστατικής Αριστοποίησης των νέων μονάδων, ύστερα από την επίλυση των μοντέλων με τη χρήση του προγράμματος GAMS και γίνεται σύγκριση μεταξύ της συμβατικής κάλυψης και της συμπαραγωγής για την κάλυψη των ηλεκτρικών, θερμικών και ψυκτικών αναγκών του ξενοδοχείου 4.

Πίνακας 5-43 Σύγκριση συμβατικής και συμπαραγωγής ενεργειακής κάλυψης ξενοδοχείου 4

	Χρήση Τριπαραγωγής	Συμβατική Λύση	Σύγκριση
Ετήσιο κόστος (€)	956.757	976.187	- 2 %
Συμπαραγωγή (kW)	514	0	
Ψύξη με απορρόφηση (kW)	1.274	0	
Ψύξη με συμπίεση (kW)	1.992	2.462	- 19.1 %
Αγορά ηλεκτρισμού (MWh)	3.203	6.830	- 53.1 %
Πώληση ηλεκτρισμού (MWh)	54	0	
Αγορά καυσίμου (MWh)	14.224	9.792	
Εκπομπή CO₂ (t)	6.051	8.097	- 25.3 %

Παρατηρείται ότι η εξοικονόμηση είναι μικρή, 2% του ετήσιου κόστους για το ξενοδοχείο 4, ενώ η μείωση των εκπομπών CO₂ κρίνεται θετικότερη φθάνοντας το 25% περίπου σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο. Η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται ότι φτάνει στα 7,5 έτη.

Πίνακας 5-44 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της ΣΗΘ για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 4

Operation of CHP (kWe)											
154	262	408	447	306	0	0	305	0	514	341	154
154	275	408	447	306	389	154	154	346	514	341	154
154	295	408	447	306	419	154	154	387	514	341	154
154	314	408	447	306	154	154	154	410	514	341	154
154	340	408	447	371	470	154	154	466	514	341	170
154	367	408	442	465	154	154	154	514	514	341	184
154	393	406	442	491	154	154	154	235	514	336	195
154	433	403	442	498	166	154	155	258	514	336	211
154	485	407	446	504	166	154	155	258	514	339	237
154	514	407	446	514	283	154	154	256	514	339	270
154	514	407	446	514	279	248	268	367	514	339	290
154	514	412	452	514	271	242	260	354	514	343	287
154	514	417	457	514	339	324	338	398	514	347	280
154	514	421	462	514	391	388	398	444	504	351	274
154	514	417	457	514	413	418	426	460	496	347	267
154	514	417	457	514	394	397	406	441	514	347	263
154	514	421	462	514	378	378	388	424	514	351	267
154	514	426	467	514	376	376	386	422	514	355	274
154	514	435	477	514	377	377	387	425	514	363	290
154	514	454	498	514	446	460	466	490	514	379	310
154	514	469	514	514	497	514	514	514	514	391	323
154	514	464	513	514	368	358	370	427	514	387	257
154	393	435	477	514	262	154	154	275	514	363	192
154	314	421	462	451	154	154	154	514	514	351	154

Πίνακας 5-45 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Απορρόφηση για τις ανάγκες συμπαραγωγής για το ξενοδοχείο 4

Operation of Absorption chillers (kWc)											
0	0	0	0	141	141	0	361	253	310	0	0
0	0	0	0	141	443	0	0	381	233	0	0
0	0	0	0	141	450	0	0	387	233	0	0
0	0	0	0	141	0	0	0	363	155	0	0
0	0	0	0	141	450	0	0	387	155	0	0
0	0	0	0	141	0	0	0	389	155	0	0
0	0	0	0	141	0	0	0	0	233	0	0
0	0	0	0	143	0	0	0	0	310	0	0
0	0	0	0	186	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	221	141	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	253	141	141	141	141	0	0	0
0	0	0	0	272	141	141	141	141	0	0	0
0	0	0	0	311	226	242	237	200	0	0	0
0	0	0	0	335	299	327	319	272	0	0	0
0	0	0	0	366	337	373	364	309	0	0	0
0	0	0	0	358	326	357	350	305	141	0	0
0	0	0	0	352	317	342	338	301	141	0	0
0	0	0	0	351	321	345	341	306	0	0	0
0	0	0	0	350	311	336	332	292	0	0	0
0	0	0	0	389	370	417	405	335	0	0	0
0	0	0	0	365	419	470	470	470	0	0	0
0	0	0	0	311	261	282	274	233	141	0	0
0	0	0	0	165	141	0	0	0	366	0	0
0	0	0	0	141	0	0	0	470	0	0	0

Πίνακας 5-46 Προφίλ φορτίου (12x24) που αγοράζεται από τη ΔΕΗ για τις ανάγκες συμπαράγωγής για το ξενοδοχείο 4

Purchases from grid (kWe)											
5	0	0	0	177	965	1070	507	731	291	0	0
5	0	0	0	177	355	916	879	385	291	0	0
5	0	0	0	177	325	916	879	344	291	0	0
5	0	0	0	170	800	905	868	311	291	0	3
0	0	0	0	112	274	916	879	265	291	0	0
0	0	0	5	18	811	916	879	217	291	0	0
0	0	2	5	0	823	938	892	729	291	5	2
0	0	5	5	0	821	1000	948	716	291	5	5
0	0	5	5	0	893	1097	1041	748	520	5	5
0	36	5	5	4	797	1187	1128	816	528	5	5
2	76	5	5	18	874	1130	1048	717	557	5	5
5	69	5	5	38	941	1209	1124	785	653	5	5
5	56	5	5	81	965	1239	1154	834	777	5	5
5	43	5	5	108	965	1239	1154	834	852	5	5
5	30	5	5	101	965	1239	1154	834	852	5	5
5	23	5	5	94	965	1239	1154	834	840	5	5
5	30	5	5	88	965	1239	1154	834	848	5	5
5	43	5	5	88	965	1239	1154	834	852	5	5
5	76	5	5	88	965	1239	1154	834	785	5	5
5	116	5	5	108	965	1239	1154	834	689	5	5
5	142	5	5	177	965	1239	1154	834	642	5	5
5	10	5	0	108	965	1239	1154	834	632	5	5
5	0	5	5	73	864	1201	1141	834	355	5	5
5	0	5	5	101	917	1077	1022	322	548	5	3

Πίνακας 5-47 Προφίλ φορτίου (12x24) που αγοράζεται από τη ΔΕΗ για τις ανάγκες συμβατικής κάλυψης για το ξενοδοχείο 4

Purchases from grid (kWe)											
48	262	408	447	757	1018	1123	1086	1005	1079	341	131
51	275	408	447	757	1018	1123	1086	1005	1079	341	137
54	295	408	447	757	1018	1123	1086	1005	1079	341	147
58	314	408	447	750	1007	1112	1075	995	1079	341	157
63	340	408	447	757	1018	1123	1086	1005	1079	341	170
68	367	408	447	757	1018	1123	1086	1005	1079	341	184
72	393	408	447	765	1030	1137	1099	1017	1079	341	197
80	433	408	447	772	1040	1155	1110	1027	1079	341	216
89	485	412	451	778	1059	1251	1195	1037	1087	344	242
101	550	412	451	792	1133	1341	1282	1072	1087	344	275
109	590	412	451	806	1205	1430	1368	1136	1087	344	295
107	583	417	457	826	1264	1503	1436	1192	1167	348	292
105	570	422	462	869	1389	1653	1580	1306	1291	352	285
103	557	426	467	896	1467	1748	1670	1379	1357	356	279
100	544	422	462	889	1503	1795	1716	1408	1349	352	272
99	537	422	462	882	1480	1768	1690	1388	1406	352	268
100	544	426	467	876	1460	1744	1668	1370	1414	356	272
103	557	431	472	876	1460	1743	1667	1369	1366	360	279
109	590	440	482	876	1458	1740	1664	1367	1299	368	295
116	630	459	503	896	1548	1853	1770	1449	1203	384	315
121	656	474	519	965	1618	1927	1842	1522	1209	396	328
97	524	469	513	896	1430	1701	1625	1347	1199	392	262
72	393	440	482	861	1178	1355	1295	1162	1143	368	197
58	314	426	467	826	1124	1245	1202	1110	1115	356	157

Πίνακας 5-48 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Συμπύεση για τις ανάγκες συμπαγωγής για το ξενοδοχείο 4

Operation of Compression chillers (kWc)											
0	0	0	0	0	598	598	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	598	598	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	598	598	0	0	0	0
0	0	0	0	0	598	598	598	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	598	598	0	0	0	0
0	0	0	0	0	598	598	598	0	0	0	0
0	0	0	0	0	598	619	598	598	0	0	0
0	0	0	0	0	598	755	721	598	0	0	0
0	0	0	0	0	764	982	938	657	598	0	0
0	0	0	0	0	765	1164	1113	779	619	0	0
0	0	0	0	0	898	1194	1136	753	696	0	0
0	0	0	0	0	976	1295	1231	820	929	0	0
0	0	0	0	0	1050	1397	1330	897	1237	0	0
0	0	0	0	0	1078	1442	1372	912	1392	0	0
0	0	0	0	0	1164	1555	1479	981	1392	0	0
0	0	0	0	0	1143	1530	1454	958	1406	0	0
0	0	0	0	0	1126	1512	1435	940	1406	0	0
0	0	0	0	0	1120	1506	1429	933	1391	0	0
0	0	0	0	0	1125	1509	1432	943	1161	0	0
0	0	0	0	0	1227	1635	1556	1038	799	0	0
0	0	0	0	0	1079	1455	1370	818	598	0	0
0	0	0	0	0	1017	1360	1296	866	598	0	0
0	0	0	0	0	598	873	834	598	0	0	0
0	0	0	0	0	598	702	671	0	598	0	0

Πίνακας 5-49 Προφίλ φορτίου (12x24) λειτουργίας της Ψύξης με Συμπύεση για τις ανάγκες συμβατικής κάλυψης για το ξενοδοχείο 4

Operation of Compression chillers (kWc)											
0	0	0	0	739	739	739	739	739	739	0	0
0	0	0	0	739	739	739	739	739	739	0	0
0	0	0	0	739	739	739	739	739	739	0	0
0	0	0	0	739	739	739	739	739	739	0	0
0	0	0	0	739	739	739	739	739	739	0	0
0	0	0	0	739	739	739	739	739	739	0	0
0	0	0	0	739	739	739	739	739	739	0	0
0	0	0	0	739	739	755	739	739	739	0	0
0	0	0	0	739	764	982	938	739	739	0	0
0	0	0	0	739	906	1164	1113	779	739	0	0
0	0	0	0	739	1039	1335	1277	894	739	0	0
0	0	0	0	739	1117	1436	1372	961	929	0	0
0	0	0	0	739	1276	1639	1567	1097	1237	0	0
0	0	0	0	739	1377	1769	1691	1184	1392	0	0
0	0	0	0	739	1501	1928	1843	1290	1392	0	0
0	0	0	0	739	1469	1887	1804	1263	1547	0	0
0	0	0	0	739	1443	1854	1773	1241	1547	0	0
0	0	0	0	739	1441	1851	1770	1239	1391	0	0
0	0	0	0	739	1436	1845	1764	1235	1161	0	0
0	0	0	0	739	1597	2052	1961	1373	799	0	0
0	0	0	0	739	1498	1925	1840	1288	739	0	0
0	0	0	0	739	1278	1642	1570	1099	739	0	0
0	0	0	0	739	739	873	834	739	739	0	0
0	0	0	0	739	739	739	739	739	739	0	0

5.5. Εφαρμογή Δικριτηριακού Μοντέλου

5.5.1 Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 1

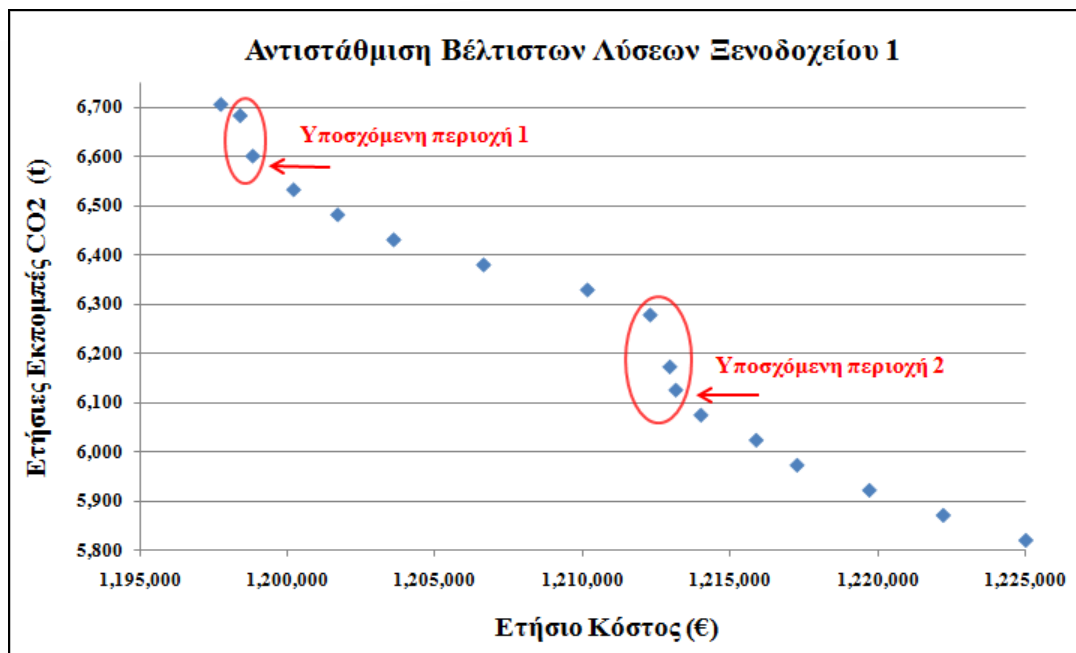
Στη συνέχεια παρατίθενται ο πίνακας πληρωμών, οι βέλτιστες τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων και των μεταβλητών απόφασης καθώς και το διάγραμμα αντιστάθμισης των βέλτιστων λύσεων που προέκυψαν για το Ξενοδοχείο 1 με τη μέθοδο περιορισμών και επίλυσης του Δικριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού:

Πίνακας 5-50 Πίνακας Πληρωμών Ξενοδοχείου 1

Επίλυση ως προς	Βέλτιστη Λύση για το Κόστος	Βέλτιστη Λύση για τις Εκπομπές CO ₂
Ελαχιστοποίηση Κόστους (€)	1.198.657	6.838
Ελαχιστοποίηση Εκπομπών (tCO ₂)	1.347.675	5.822

Πίνακας 5-51 Σάρωση διαστημάτων για τη Βελτιστοποίηση των κριτηρίων απόφασης για το Ξενοδοχείο 1

ANNUAL_COST_€	CO2	CHP	ABS	CMP	elppc	elsold	ngsup
1198381.18	6683.30	1409	3894	3194	2786	334	20550
1197725.09	6706.03	1413	3973	3165	2873	336	20306
1199655.99	6647.26	1445	4252	3062	2716	353	20659
1199437.13	6601.41	1446	4447	2990	2567	353	21045
1198807.18	6601.21	1458	4447	2990	2587	360	20961
1200912.13	6574.25	1458	4783	2866	2479	360	21273
1200189.56	6533.01	1486	3973	3165	2364	375	21542
1201683.61	6482.19	1500	4252	3062	2205	383	21944
1203579.66	6431.37	1500	4621	2926	2057	377	22299
1206627.50	6380.55	1500	4447	2990	1946	263	22509
1210143.75	6329.73	1500	4621	2926	1748	296	23064
1212268.51	6278.92	1748	4252	3062	1502	524	23819
1212936.06	6173.61	1834	4447	2990	1386	286	23788
1213554.21	6177.28	1920	4621	2926	1222	629	24468
1213137.87	6126.46	1898	4447	2990	1286	273	23969
1213987.49	6075.64	1982	4509	2967	1117	353	24409
1215862.35	6024.82	2026	4783	2866	964	358	24787
1217244.97	5974.00	2097	4897	2824	828	358	25097
1219694.86	5923.18	2148	4942	2807	658	384	25541
1222198.66	5872.36	2148	4942	2807	495	384	25962
1224993.90	5821.54	2200	5000	2786	351	405	26303



Σχήμα 5-17 Αντιστάθμιση Βέλτιστων Λύσεων για το Ξενοδοχείο 1

Γενικά ως συμφέρουσες περιοχές λύσεων είναι εκείνες για τις οποίες για μικρή αύξηση του κόστους έχουμε σχετικά μεγάλη μείωση των εκπομπών CO₂ (απότομη κλίση της κατά Pareto καμπύλης). Στο Σχήμα 5-17 δύο τέτοιες περιοχές αναγνωρίζονται στο διάγραμμα των κατά Pareto άριστων λύσεων: γύρω στα 1.199.000 €/έτος με 6.600 tCO₂/έτος καθώς και 1.213.000 €/έτος με 6.120 tCO₂/έτος για το Ξενοδοχείο 1.

5.5.2 Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 2

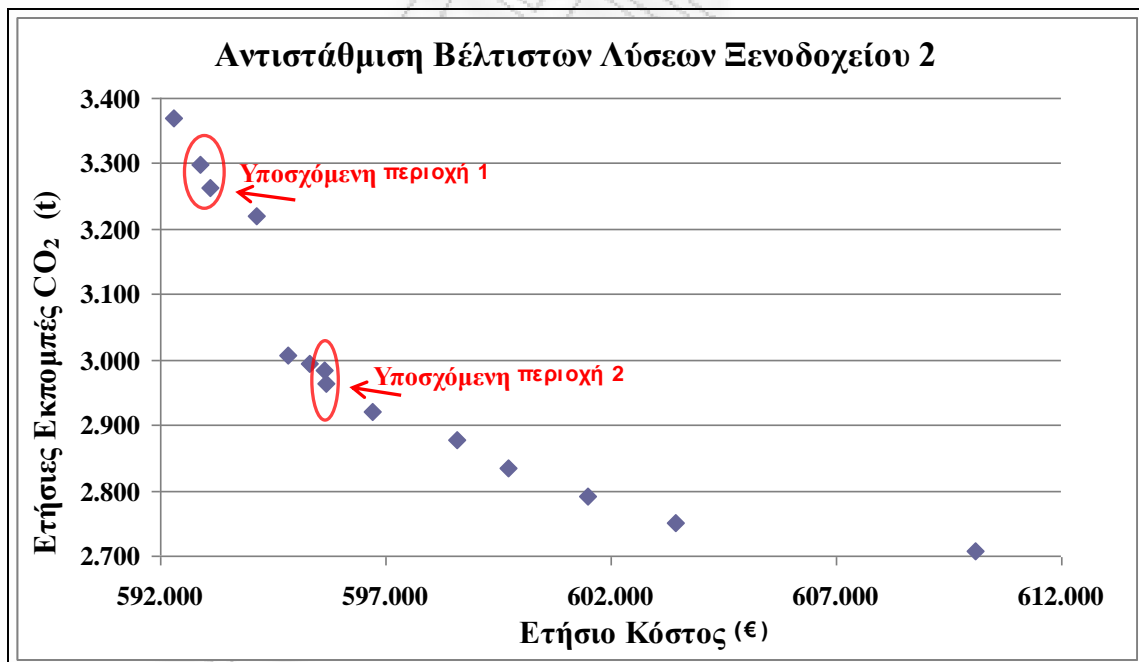
Στη συνέχεια παρατίθενται ο πίνακας πληρωμών, οι βέλτιστες τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων και των μεταβλητών απόφασης καθώς και το διάγραμμα αντιστάθμισης των βέλτιστων λύσεων που προέκυψαν για το Ξενοδοχείο 2 με τη μέθοδο περιορισμών και επίλυσης του Δικριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού:

Πίνακας 5-52 Πίνακας Πληρωμών Ξενοδοχείου 2

Επίλυση ως προς	Βέλτιστη Λύση για το Κόστος	Βέλτιστη Λύση για τις Εκπομπές CO ₂
Ελαχιστοποίηση Κόστους (€)	592.718	3.561
Ελαχιστοποίηση Εκπομπών (tCO ₂)	616.576	2.707

Πίνακας 5-53 Σάρωση διαστημάτων για τη Βελτιστοποίηση των κριτηρίων απόφασης για το Ξενοδοχείο 2

ANNUAL COST €	CO2	CHP	ABS	CMP	elppc	elsold	ngsup
593184.57	3343.23	559	2008	530	1689	0	9082
592311.86	3370.44	545	1886	575	1762	0	8919
592878.30	3298.14	582	2060	511	1592	0	9262
592888.83	3388.11	535	1959	548	1798	0	8857
592375.56	3390.37	537	1824	598	1805	0	8838
592886.26	3318.55	571	2016	527	1636	0	9182
592996.06	3304.95	577	1938	556	1584	0	9328
593097.88	3262.24	601	1992	536	1484	0	9529
594144.29	3219.53	629	2062	510	1372	0	9779
596142.09	3176.82	639	2089	500	1227	0	10161
595650.64	2984.79	800	2285	500	922	0	10481
595321.11	2993.15	800	2230	500	940	0	10446
596366.56	3007.93	800	2095	500	943	0	10508
594813.58	3005.98	800	2095	500	948	0	10476
595658.18	2963.27	800	2138	500	817	0	10804
596711.19	2920.56	800	2206	500	692	0	11107
598562.56	2877.85	801	2198	500	542	0	11511
599726.24	2835.15	800	2285	500	423	0	11790
601474.38	2792.44	800	2285	500	278	0	12170
603432.10	2749.73	800	2360	500	144	0	12511
610070.92	2707.02	868	2493	500	18	0	12817



Σχήμα 5-18 Αντιστάθμιση Βέλτιστων Λύσεων για το Ξενοδοχείο 2

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι συμφέρουσες περιοχές λύσεων είναι γύρω στα 593.500 €/έτος με 3.250 tCO₂/έτος καθώς και 596.000 €/έτος με 2.950 tCO₂/έτος για το Ξενοδοχείο 2.

5.5.3 Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 3

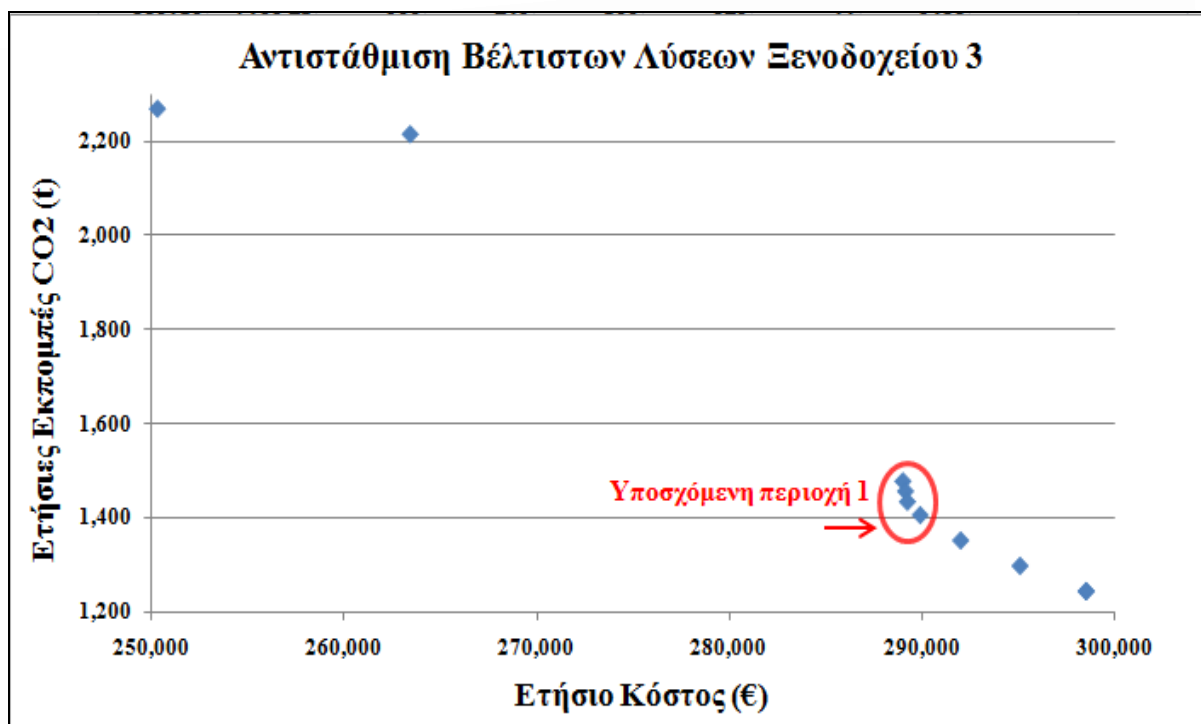
Στη συνέχεια παρατίθενται ο πίνακας πληρωμών, οι βέλτιστες τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων και των μεταβλητών απόφασης καθώς και το διάγραμμα αντιστάθμισης των βέλτιστων λύσεων που προέκυψαν για το Ξενοδοχείο 3 με τη μέθοδο περιορισμών και επίλυσης του Δικριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού:

Πίνακας 5-54 Πίνακας Πληρωμών Ξενοδοχείου 3

Επίλυση ως προς	Βέλτιστη Λύση για το Κόστος	Βέλτιστη Λύση για τις Εκπομπές CO ₂
Ελαχιστοποίηση Κόστους (€)	250.311	2.268
Ελαχιστοποίηση Εκπομπών (tCO ₂)	382.558	1.191

Πίνακας 5-55 Σάρωση διαστημάτων για τη Βελτιστοποίηση των κριτηρίων απόφασης για το Ξενοδοχείο 3

ANNUAL_COST €	CO2	CHP	ABS	CMP	elppc	elsold	ngsup
250311.83	2267.97	0	0	754	2501	0	678
263427.74	2214.14	0	586	537	2401	0	824
289113.10	1457.19	300	770	500	858	11	3467
289359.94	1458.80	300	770	500	858	11	3473
289435.59	1483.72	300	691	500	921	11	3339
289447.40	1476.17	300	724	500	900	11	3387
289398.97	1461.24	300	770	500	868	11	3445
289402.39	1452.31	300	818	500	850	11	3474
289159.01	1466.75	300	743	500	879	11	3428
289832.88	1448.34	300	743	500	815	11	3599
288982.45	1478.25	300	691	500	905	11	3375
289215.26	1434.92	300	840	500	808	13	3564
289831.29	1474.01	300	724	500	881	11	3454
289234.17	1497.19	300	724	500	955	11	3264
289149.17	1479.24	300	691	500	905	11	3379
290052.21	1460.52	300	743	500	852	0	3506
289879.67	1406.70	300	913	500	736	0	3721
291985.69	1352.87	300	913	500	543	0	4243
295060.35	1299.04	300	913	500	344	0	4795
298489.48	1245.21	317	1030	500	174	0	5227
298489.48	1245.21	317	1030	500	174	0	5227



Σχήμα 5-19 Αντιστάθμιση Βέλτιστων Λύσεων για το Ξενοδοχείο 3

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι συμφέρουσες περιοχές λύσεων είναι γύρω στα 290.000 €/έτος με 1.400 tCO₂/έτος για το Ξενοδοχείο 3.

5.5.4 Εφαρμογή στο Ξενοδοχείο 4

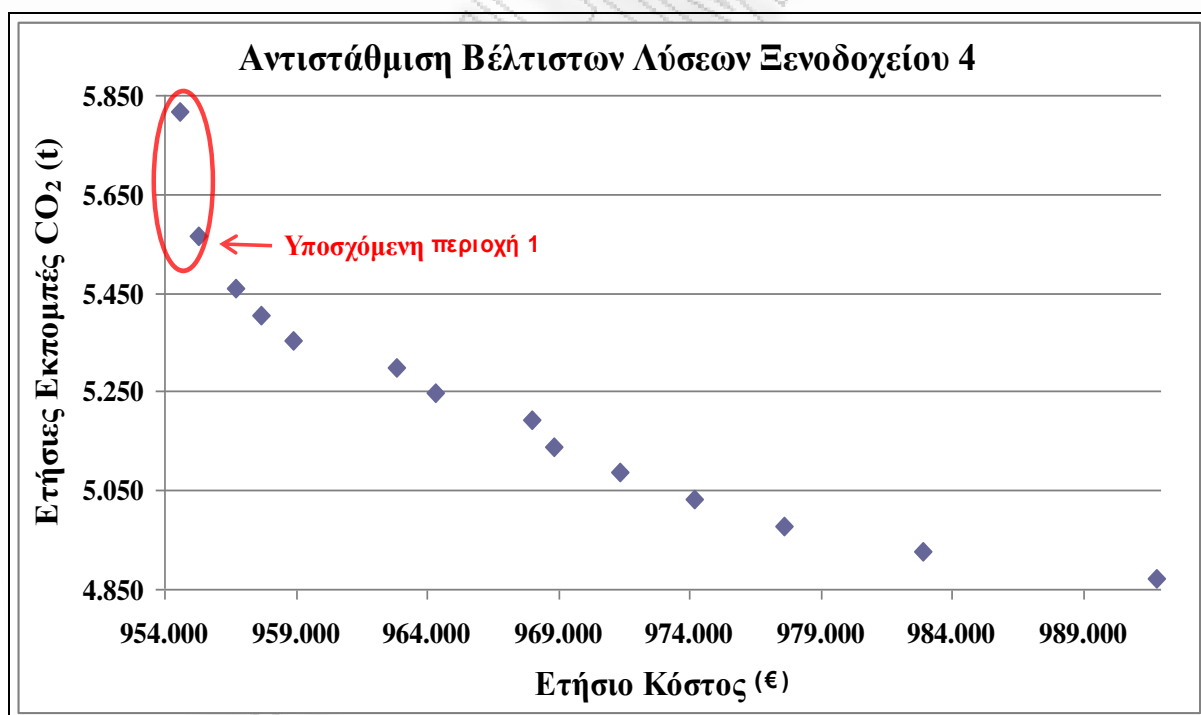
Στη συνέχεια παρατίθενται ο πίνακας πληρωμών, οι βέλτιστες τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων και των μεταβλητών απόφασης καθώς και το διάγραμμα αντιστάθμισης των βέλτιστων λύσεων που προέκυψαν για το Ξενοδοχείο 4 με τη μέθοδο περιορισμών και επίλυσης του Δικριτηριακού Γραμμικού Προγραμματισμού:

Πίνακας 5-56 Πίνακας Πληρωμών Ξενοδοχείου 4

Επίλυση ως προς	Βέλτιστη Λύση για το Κόστος	Βέλτιστη Λύση για τις Εκπομπές CO ₂
Ελαχιστοποίηση Κόστους (€)	957.308	5.940
Ελαχιστοποίηση Εκπομπών (tCO ₂)	1.055.097	4.873

Πίνακας 5-57 Σάρωση διαστημάτων για τη Βελτιστοποίηση των κριτηρίων απόφασης για το Ξενοδοχείο 4

ANNUAL COST €	CO2	CHP	ABS	CMP	elppc	elsold	ngsup
957994.39	5939.77	554	1575	1881	2943	65	14695
956924.91	5886.42	559	1566	1884	2827	66	14886
954603.71	5817.60	580	1542	1893	2690	72	15091
957105.32	5779.72	590	1678	1843	2571	75	15360
958104.02	5726.37	590	1818	1791	2433	75	15634
958216.79	5660.94	608	1954	1741	2274	80	15931
955422.23	5619.67	611	1566	1884	2212	81	15980
955300.39	5566.32	630	1604	1870	2083	86	16222
957833.05	5512.97	686	1954	1741	1930	103	16548
956706.76	5459.62	688	1822	1790	1816	103	16736
957705.29	5406.27	717	1921	1753	1689	100	16968
958885.76	5352.92	754	2035	1712	1541	124	17276
962818.46	5299.57	780	2455	1556	1369	132	17674
964300.08	5246.22	800	2269	1625	1245	124	17897
967994.61	5192.87	895	2200	1651	1043	170	18402
968856.24	5139.52	928	2366	1589	914	175	18643
971369.75	5086.17	1002	2532	1528	748	214	19017
974166.91	5032.82	1049	2679	1474	609	185	19296
977644.53	4979.47	1117	2892	1395	452	180	19637
982920.15	4926.12	1176	3093	1321	268	200	20078
991798.87	4872.77	1253	3897	1025	83	175	20523



Σχήμα 5-20 Αντιστάθμιση Βέλτιστων Λύσεων για το Ξενοδοχείο 4

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι συμφέρουσες περιοχές λύσεων είναι γύρω στα 956.000 €/έτος με 5.550 tCO₂/έτος για το Ξενοδοχείο 4.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική εκπόνηση της παρούσης εργασίας, προέκυψαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους και μπορούν να αξιοποιηθούν σε μελλοντικές σχετικές μελέτες.

6.1. Αξιολόγηση χρήσης Μαθηματικού Προγραμματισμού

Η ενεργειακή βελτιστοποίηση μονάδων του τριτογενούς τομέα μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά με τη βοήθεια του Μαθηματικού Προγραμματισμού. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση της έννοιας της Υπερδομής στην οποία συμμετέχουν όλες οι εναλλακτικές τεχνολογίες, η μοντελοποίηση της με Μικτό Ακέραιο Γραμμικό Προγραμματισμό και η επίλυση του σχετικού μοντέλου παρέχει τη δομική, διαστατική και λειτουργική βελτιστοποίηση του συστήματος. Το μοντέλο Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού μπορεί να προσομοιάσει με τον επιθυμητό βαθμό ακρίβειας το εξεταζόμενο σύστημα.

Το πλεονέκτημα της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι ότι από τη στιγμή που θα αναπτυχθεί το μοντέλο Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού, που παριστάνει την υπερδομή του ενεργειακού συστήματος, μετά εύκολα εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε περίπτωση, αλλάζοντας μόνο τα δεδομένα της ζήτησης ή και τα διάφορα κόστη. Η μεγαλύτερη δυσκολία στην εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι η εύρεση των απαιτούμενων δεδομένων ζήτησης υπό την μορφή των ωριαίων προφίλ για τα τρία φορτία (ηλεκτρικό, θερμικό και ψυκτικό).

6.2. Αξιολόγηση εφαρμογών Συμπαραγωγής

Η εγκατάσταση των μονάδων Τριπαραγωγής αποτελεί εδώ και αρκετά χρόνια μία πραγματικότητα στην Ευρώπη, συνδυάζονται υψηλότερους βαθμούς ενεργειακής απόδοσης, αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας με ελκυστικά οικονομικά στοιχεία, αλλάζοντας σημαντικά την δομή των παραδοσιακών Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Η μεγάλη σημασία που έχει η συμπαραγωγή στην εξοικονόμηση φυσικών και οικονομικών πόρων καθώς και το γεγονός ότι η λειτουργία των συστημάτων έχει άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στο σύστημα ηλεκτρισμού μιας χώρας, είναι μερικές από τις αιτίες, ώστε η συμπαραγωγή να αποτελεί αντικείμενο νομοθετικών, οικονομικών, και άλλων ρυθμίσεων εκ μέρους της πολιτείας.

Από την άλλη πλευρά, η εξεύρεση πόρων για σχετικές επενδύσεις και οι οικονομικές συνθήκες, κάτω από τις οποίες θα λειτουργήσει μια μονάδα συμπαραγωγής, είναι κρίσιμη σημασίας για την οικονομική βιωσιμότητα μιας επένδυσης.

Σε ό,τι αφορά το θεσμικό μέρος στη χώρα μας, επισημαίνεται ότι η δημιουργία ενός ευέλικτου και ολοκληρωμένου νομοθετικού πλαισίου, το οποίο θα επιτρέπει και θα ευνοεί την ανάπτυξη της συμπαραγωγής στην Ελλάδα, συνεχίζει να αποτελεί πάγιο και μακροχρόνιο αίτημα μιας μεγάλης ποικιλίας ενδιαφερόμενων φορέων.

6.3. Αποτίμηση της χρήσης του εργαλείου GAMS

Όσον αφορά την λειτουργικότητα και τις δυνατότητες του GAMS, το πρόγραμμα είναι ένα εργαλείο με πάρα πολλές εφαρμογές. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από μία πλούσια βιβλιοθήκη έτοιμων μοντέλων για να κατασκευάσει το δικό του πρόγραμμα προσαρμοσμένο στις ανάγκες της δικής του εφαρμογής. Τα είδη των προβλημάτων ανάλογα με το μαθηματικό μοντέλο, που καλείται να λύσει ανάγονται σε εφαρμογές με γραμμικό και μη γραμμικό προγραμματισμό με περιορισμούς, σε μικτό προγραμματισμό ακεραίων αριθμών, σε πολυκριτηριακό προγραμματισμό και παρόμοια τέτοια προβλήματα. Η γλώσσα, που χρησιμοποιεί το GAMS, είναι τυπικά παρόμοια με τις συνήθως χρησιμοποιημένες γλώσσες προγραμματισμού, καθιστώντας την οικία, σύγχρονη, γρήγορη, αποτελεσματική και αξιόπιστη σε οποιονδήποτε έχει κάποια επαφή με τον προγραμματισμό.

Το GAMS χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για τεχνοοικονομικά ζητήματα, αν και οι δυνατότητές του δεν περιορίζονται μόνο σε αυτά. Μπορεί να αναλύσει προβλήματα βελτιστοποίησης, όπως μελέτες για την εκπομπή ρύπων, παραγωγής και ζήτησης και γενικότερα όλα τα ενεργειακά θέματα. Δέχοντας σαν είσοδο τις καμπύλες φορτίου και τα δεδομένα των τιμών της αγοράς των ενεργειακών πόρων, ελαχιστοποιεί το κόστος της παραγόμενης ισχύος ή την εκπομπή ρύπων και εξάγει τις συνθήκες λειτουργικής βελτιστοποίησης των μονάδων εφαρμογής.

Στα προβλήματα που εφαρμόστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, το GAMS εκτέλεσε γραμμικές εφαρμογές Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού με την ύπαρξη περιορισμών έχοντας σαν αντικειμενική συνάρτηση την Ελαχιστοποίηση του Ετήσιου Κόστους των μονάδων Τριπαραγωγής καθώς και την Ελαχιστοποίηση των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα. Η αποτίμηση των αποτελεσμάτων, που εξήχθησαν με τη χρήση του GAMS περιγράφεται συνοπτικά στην επόμενη παράγραφο.

6.4. Αποτίμηση των αποτελεσμάτων στις μελέτες των ξενοδοχείων

Στον επόμενο πίνακα 6.1 παρατίθεται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, με τα οποία καθίσταται δυνατή η αποτίμηση της εφαρμογής μονάδων Τριπαραγωγής στο κάθε ένα από τα τέσσερα ξενοδοχειακά συγκροτήματα, τα οποία βρίσκονται σε πόλεις της Ελλάδας και διαθέτουν διαφορετικές δυναμικότητες φιλοξενίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή ποσοστών ετήσιας εξοικονόμησης, η οποία επιτυγχάνεται από την προτεινόμενη εφαρμογή σε σχέση με την κλασσική εφαρμογή ('no action scenario' - χωρίς την εγκατάσταση Συμπαραγωγής και Ψύξης με απορρόφηση). Στη συμβατική αυτή περίπτωση, προμηθεύεται ηλεκτρισμός μόνο από το δίκτυο, η θέρμανση γίνεται μόνο από τον υπάρχων λέβητα καυσίμου και η ψύξη μόνο από μονάδες συμπίεσης.

Πίνακας 6-1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εξοικονόμησης στα τέσσερα ξενοδοχεία

Ποσοστιαίες Εξοικονομήσεις	Ξενοδοχείο 1	Ξενοδοχείο 2	Ξενοδοχείο 3	Ξενοδοχείο 4
Ετήσια Εξοικονόμηση Κόστους	7.5 %	0.8 %	-	2 %
Ετήσια Μείωση Εκπομπών CO ₂	43.5 %	35.5 %	-	25.3 %
Ετήσια Μείωση Προμήθειας Ηλεκτρισμού από Δ.Ε.Η.	78.7 %	61.1 %	-	53.1 %
Ετήσια Μείωση Ψύξης με Συμπίεση	31.7 %	42.3 %	-	19.1 %
Περίοδος Αποπληρωμής	5,9 έτη	8,2 έτη	-	7,5 έτη

- Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από το Ξενοδοχείο 3, είναι σκόπιμη η εισαγωγή μονάδας Συμπαραγωγής και μονάδας Ψύξης με απορρόφηση. Μία πιθανή εξήγηση είναι ότι το Ξενοδοχείο 3 έχει μικρή δυναμικότητα δωματιών και η ζήτηση για τα φορτία του είναι χαμηλή ώστε να δικαιολογήσει την ένταξη των νέων μονάδων.
- Όσον αφορά την ετήσια εξοικονόμηση κόστους, αυτή φτάνει ως το 7.5% για το Ξενοδοχείο 1, ενώ στα υπόλοιπα ξενοδοχεία η αντίστοιχη εξοικονόμηση είναι εμφανώς μικρότερη. Ένας σημαντικός παράγοντας, που θα μπορέσει να δώσει ακόμα ισχυρότερη ώθηση για επίτευξη μεγαλύτερου οικονομικού οφέλους και δυνατότητα αποπληρωμής σε

συντομότερο χρονικό ορίζοντα, είναι η εξασφάλιση Επιδότησης για την επένδυση των νέων μονάδων, η οποία για την παρούσα εργασία θεωρήθηκε μηδενική.

- Επίσης, διαπιστώνεται σημαντική αποφόρτιση του δικτύου της ΔΕΗ, καθώς το ποσοστό ετήσιας προμήθειας ηλεκτρισμού για τις ανάγκες των ξενοδοχείων από το δίκτυο της ΔΕΗ μειώνεται εντυπωσιακά (50–80% σε σχέση με τη υπάρχουσα κατάσταση).
- Αξιοσημείωτη κρίνεται η ετήσια εξοικονόμηση, που επιτυγχάνεται από τον περιορισμό της Ψύξης από το συμβατικό σύστημα συμπίεσης, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 20–40%.
- Όσον αφορά το περιβαλλοντικό όφελος, το οποίο προσδιορίζεται από την ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, κρίνεται πολύ ενθαρρυντικό και φτάνει σε σημαντικά ποσοστά εξοικονόμησης (25–45%).
- Όσον αφορά τα αποτελέσματα από την επίλυση του Δικριτηριακού Μοντέλου, ο αποφασίζων μπορεί να εστιάσει τη μελέτη του στην αντιστάθμιση μεταξύ των ικανών λύσεων των κριτηρίων απόφασης και να επιλέξει τις πιο συμφέρουσες και υποσχόμενες μεταξύ αυτών, κρίνοντας με βάση τον προσανατολισμό (οικονομικό – περιβαλλοντικό) προς τον οποίο κατευθύνεται η νέα επένδυση για το κάθε ξενοδοχείο. Μπορεί δηλαδή να δει περιοχές όπου με μια μικρή παραχώρηση στο κόστος μπορεί να έχει εντυπωσιακή μείωση των εκπομπών CO₂. Τέτοιες λύσεις δεν αναδεικνύονται με τη μονοκριτηριακή βελτιστοποίηση (ελαχιστοποίηση κόστους).

Αν στην εφαρμογή Συμπαράγωγής και Ψύξης με απορρόφηση, προσθέσει κάποιος ενεργειακός μελετητής επιπρόσθετες εναλλακτικές και σύγχρονες λύσεις για παροχή ηλεκτρισμού κι από άλλες μορφές ενέργειας με αξιοποίηση φυσικών πόρων, τότε τα παραπάνω αποτελέσματα θα γίνουν ακόμα θετικότερα, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει έδαφος για τη διείσδυση νέων ενεργειακών τεχνολογιών στον ξενοδοχειακό τομέα.

Η απεξάρτηση των αναγκών ηλεκτρισμού των μονάδων του κτιριακού τομέα από το ήδη υπερφορτωμένο δίκτυο της ΔΕΗ μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερη, δίνοντας σημαντική ανάσα στο ενεργειακό σύστημα της χώρας. Επιπρόσθετα, η αξιοποίηση καθαρότερων μορφών ενέργειας, θα δώσει μία ανάσα ζωής στο ήδη επιβαρυνόμενο περιβάλλον, βάζοντας ακόμα ένα λιθαράκι στην ανθρώπινη δράση προς την Κλιματική Αλλαγή.

РАНЕЕ НЕ ПЕРПА

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7.1. Για τη Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

1. Ασημακόπουλος Δ., Αραμπατζής Γ., *‘Ενεργειακή Ανάλυση Βιομηχανικών Συστημάτων’*, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), Αθήνα Φεβρουάριος 2008, σελ. 385-426.
2. Παπαδόπουλος Α., *‘Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων’*, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εκδόσεις Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2002, Κεφάλαιο 7.1-7.36.
3. Φούντη Μ., Κολαίτης Δ., Γιαννόπουλος Δ., *‘Εξοικονόμηση & Αποθήκευση Ενέργειας’*, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2007, σελ. 10-21.
4. Φραγκόπουλος Χ., Καρυδογιάννης Η., Καραλής Γ., *‘Συμπαραγωγή Θερμότητας & Ηλεκτρισμού’*, Εκδόσεις Ελληνικού Κέντρου Παραγωγικότητας, Αθήνα 1994.
5. *‘Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας’*, (ΕΣΣΗΘ).
<http://www.hachp.gr/>
6. *‘Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας’*, Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
7. Περδικέας Ν., Ασημακόπουλος Δ., *‘Σχεδιασμός Συστήματος Συμπαραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας & Θερμότητας σε Νοσοκομειακή Μονάδα’*, Διπλωματική εργασία σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα Ιούλιος 2008.
8. Μπαλάνου Ε., Μπούρκας Π., *‘Εφαρμογή της Συμπαραγωγής στο γενικό νοσοκομείο Αθηνών «Σισμανόγλειο»’*, Διπλωματική εργασία σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ, Αθήνα Ιούλιος 2007.
9. Μουζακίτης Π., Μπούρκας Π., *‘Μελέτη σκοπιμότητας εγκατάστασης Συστήματος Συμπαραγωγής στο Νοσοκομείο ΚΑΤ’*, Διπλωματική εργασία σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ, Αθήνα Μάρτιος 2005.
10. Educogen, *‘The European Educational Tool on Cogeneration’*, Second Edition, December 2001.

7.2. Για το Γραμμικό Προγραμματισμό

11. Σίσκος Γ., *Γραμμικός Προγραμματισμός – Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων, Πολυκριτήρια Βελτιστοποίηση, 40 Προβλήματα Επιχειρήσεων, Πάκετα Λογισμικού και Επίλυση στο Excel*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα 1998.
12. Βλάχου Δ., Μαυρωτάς Γ., *Ενεργειακός Σχεδιασμός Νοσοκομείου σε Περιβάλλον Οικονομικής Αβεβαιότητας με συνδυασμό χρήσης Μικτού Ακέραιου Προγραμματισμού και Τεχνικών Monte Carlo* Διπλωματική εργασία σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2008.
13. Μαυρωτάς Γ., *Πολυκριτηριακός Προγραμματισμός σε Συνθήκες Αβεβαιότητας – Κατασκευή Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων και Εφαρμογή στον Ενεργειακό Σχεδιασμό*, Διδακτορική Διατριβή σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2000.
14. Mavrotas G. (2009), *Effective implementation of the e-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems*, Applied Mathematics and Computation, Volume 213, Issue 2, Pages 455-465.

7.3. Για τη Μεθοδολογία

15. Mavrotas G., Demertzis H., Meintani A., Diakoulaki D. (2003), *Energy Planning in Buildings under uncertainty in fuel costs: The case of a hotel unit in Greece*, Energy Conversion and Management, Volume 44, Issue 8, May 2003, Pages 1303-1321.
16. Mavrotas G., Diakoulaki D., Florios K., Georgiou P. (2008), *A mathematical programming framework for energy planning in services sector buildings under uncertainty in load demand: The case of a hospital in Athens*, Energy Policy, Volume 36, Issue 7, July 2008, Pages 2415-2429.
17. Mavrotas G., Florios K., Georgiou P., Diakoulaki, D. (2006), *A Multi Objective Mixed Integer Linear Programming model for hospitals energy rehabilitation handling uncertainty in load profiles*, Mini EURO Conference Operational Research Models and Methods in the Energy Sector (ORMMES 06), Coimbra, Portugal, 6-8 September 2006.

18. Iyer RR., Grossmann IE. (1998), '*Synthesis and operational planning of utility systems for multiperiod operation*', Computers & Chemical Engineering 22, Pages 979-993.
19. European Commission, SAVE II project, '*Assessment of CHP implementation possibilities in the tourist sector. Final report*', June 2001.

7.4. Για το Εργαλείο GAMS

20. Rosenthal R.E., '*GAMS - A User's Guide*', GAMS Development Corporation, Washington DC USA 2008,
21. Rosenthal R.E., '*A GAMS Tutorial*', Naval Postgraduate School, Monterey, California USA,
22. McCarl B.A., '*Expanded GAMS User Guide - Version 22.9*', GAMS Development Corporation, Texas A&M University, USA November 2008,
23. Παναγιωτίδης Χ., Χρισοβιτσάνος Κ., Χατζηαργυρίου Ν., '*Βελτιστοποίηση Ικανοποίησης Ενεργειακών Αναγκών με Ανάπτυξη Διεσπαρμένης Παραγωγής*', Διπλωματική εργασία σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2008.
24. GAMS Development Corporation, <http://www.gams.com/>

РАНЕЕЗНАМО ПЕРПАА

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΚΩΔΙΚΑΣ GAMS

8.1. Εισαγωγή στη γλώσσα GAMS

Το Γενικό Αλγεβρικό Σύστημα Μοντέλου GAMS (General Algebraic Modeling System) σχεδιάζεται για την ανάλυση γραμμικών, μη γραμμικών εφαρμογών αλλά και μικτών προβλημάτων βελτιστοποίησης ακέραιων αριθμών. Το σύστημα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για μεγάλα και πολυσύνθετα προβλήματα, ενώ επιτρέπει στο χρήστη να επικεντρωθεί στο πρόβλημα του μοντέλου με το να καταστήσει την οργάνωσή του απλή. Ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τη διατύπωση γρήγορα και εύκολα μετατρέποντας ένα γραμμικό πρόβλημα σε μη γραμμικό χωρίς μεγάλη δυσκολία. Η γλώσσα, που χρησιμοποιεί το GAMS, είναι τυπικά παρόμοια με τις συνήθως χρησιμοποιημένες γλώσσες προγραμματισμού, καθιστώντας την οικία σε οποιονδήποτε, που έχει κάποια επαφή με τον προγραμματισμό.

Χρησιμοποιώντας το GAMS, τα στοιχεία εισάγονται μόνο μια φορά με τη γνωστή μορφή καταλόγων και πινάκων. Όλοι οι περιορισμοί του προβλήματος εισάγονται σε μια δήλωση και το GAMS παράγει αυτόματα περιορισμό για κάθε εξίσωση και αφήνει το χρήστη να κάνει τις εξαιρέσεις σε περιπτώσεις όπου η γενικότητα δεν επιδιώκεται.

Ο σχεδιασμός στο GAMS έχει ενσωματώσει τις έννοιες, που προέρχονται από τη θεωρία βάσεων δεδομένων και το μαθηματικό προγραμματισμό και προσπαθεί να συγχωνεύσει αυτές τις ιδέες να ανταποκριθούν στις ανάγκες των σχεδιασμών των μοντέλων. Η σχετική θεωρία βάσεων δεδομένων παρέχει ένα δομημένο πλαίσιο για τις γενικές ικανότητες οργάνωσης και μετασχηματισμού των στοιχείων του μοντέλου και σε συνδυασμό με το μαθηματικό προγραμματισμό που προσφέρει ποικίλες μεθόδους βοηθούν στην επίλυση δύσκολων προβλημάτων. (Rosenthal 2008).

Ο κώδικας GAMS είναι σχεδιασμένος ώστε να:

- ✓ Παρέχει μια αλγεβρικά βασισμένη και υψηλού επιπέδου γλώσσα για την παρουσίαση μεγάλων και πολύπλοκων μοντέλων,
- ✓ Επιτρέπει αλλαγές στο μοντέλο σχεδιασμού με απλότητα και ασφάλεια,
- ✓ Δηλώνονται σαφώς οι αλγεβρικών σχέσεις,
- ✓ Παρέχει ένα περιβάλλον, όπου ο χρήστης να μπορεί να αναπτύξει το μοντέλο του με ένα μικρό σύνολο δεδομένων και στη συνέχεια την επέκτασή του σε ένα ευρύτερο και ορθό πλαίσιο,
- ✓ Επιτρέπει τη χρήση περισσότερων μεταβλητών, εξισώσεων, ονόματα δεικτών, σχολίων και ορισμών δεδομένων, τα οποία συνοδεύονται από υπολογισμούς δημιουργώντας ένα τεκμηριωμένο και αυτόνομο αρχείο,
- ✓ Ενημερώνεται με τις νεότερες και αποτελεσματικότερες εκδόσεις επιλυτών,
- ✓ Αυτοματοποιεί τη μοντελοποίηση με τους υπολογισμούς δεδομένων, την ορθή διόρθωση των δηλώσεων, τον έλεγχο των λαθών, την διασύνδεση με επιλυτές και την αποθήκευση λύσεων,
- ✓ Επιτρέπει τη φορητότητα του μοντέλου σε διαφορετικούς υπολογιστές,
- ✓ Μετατρέπει εύκολα το μοντέλο από γραμμικό σε μη γραμμικό,
- ✓ Διευκολύνει την εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων από και προς διαφορετικά πακέτα υπολογιστών,
- ✓ Επιτρέπει τη χρήση από άτομα ή ομάδες διαφορετικής εμπειρίας,
- ✓ Παρέχει πρότυπα μοντέλα, τα οποία βοηθούν το χρήστη, μέσω βιβλιοθήκης πληροφοριών. (Mc Carl 2008).

8.2. Δομή ενός μοντέλου στο GAMS

Στις επόμενες παραγράφους εξηγούνται τα βασικά συστατικά που αποτελούν τη δομή οποιουδήποτε μοντέλου του GAMS, τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 8.1.

Πίνακας 8-1 Τα βασικά συστατικά του συστήματος GAMS

Inputs (Είσοδος Δεδομένων):	
• Sets – (Σύνολα)	
	Declaration - (Δήλωση τους)
	Assignment of members - (Καθορισμός των μελών τους)
• Data (Parameters, Tables, Scalars) – Δεδομένα (Παράμετροι, Πίνακες, Πίνακες στοιχείων)	
	Declaration - (Δήλωση τους)
	Assignment of values - (Καθορισμός των τιμών τους)
• Variables - (Μεταβλητές)	
	Declaration - (Δήλωση τους)
	Assignment of type - (Καθορισμός του τύπου τους)
• Assignment of bounds and/or initial values (optional) - (Καθορισμός των ορίων ή των αρχικών τιμών)	
• Equations – (Εξισώσεις)	
	Declaration - (Δήλωση τους)
	Definition - (Ορισμός τους)
• Model and Solve statements – (Δήλωση Μοντέλου και Επίλυσης)	
• Display statement (optional) – (προαιρετική Εμφάνιση δήλωσης)	
Outputs (Εξοδος Αποτελεσμάτων):	
• Echo Print – (Αποτύπωση προγράμματος)	
• Symbol Reference Maps – (Χάρτες Αναφοράς Συμβόλων)	
• Equation Listings – (Λίστα Εξισώσεων)	
• Status Reports – (Αναφορά Κατάστασης)	
• Results – (Αποτελέσματα)	

[Πηγή: Rosenthal 2008]

Σε αυτό το σημείο, είναι απαραίτητο να επισημανθούν κάποιες απαραίτητες παρατηρήσεις που αποτελούν και απαραίτους κανόνες του προγράμματος GAMS:

- ✓ Ένα μοντέλο στο GAMS είναι μια συλλογή των δηλώσεων στη γλώσσα GAMS. Κάθε οντότητα (εξαρτημένη ή ανεξάρτητη, μεταβλητή ή σταθερή) στο μοντέλο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν δεν έχει δηλωθεί προηγουμένως.
- ✓ Οι οντότητες στο GAMS μπορούν να δηλωθούν σχεδόν με οποιοδήποτε τρόπο επιθυμεί ο χρήστης. Έτσι, επιτρέπονται οι δηλώσεις σε πολλαπλές γραμμές, οι κενές γραμμές μεταξύ των δηλώσεων όπως και οι πολλαπλές δηλώσεις ανά γραμμή.
- ✓ Η ολοκλήρωση κάθε δήλωσης πρέπει να συνοδεύεται με το σύμβολο ελληνικού ερωτηματικού «;» ('semicolon'). Ο μεταγλωττιστής ('compiler') GAMS δεν διακρίνει κεφαλαία και πεζά γράμματα, έτσι είναι και τα δύο είδη αποδεκτά.
- ✓ Τα επεξηγηματικά σχόλια είναι χρήσιμα για την τεκμηρίωση των μαθηματικών μοντέλων. Είναι καλύτερο να ενσωματώνονται μέσα στο ίδιο το μοντέλο παρά να παρουσιάζονται ξεχωριστά. Υπάρχουν δύο τρόποι να παρεμβληθεί η επεξήγηση μέσα σε μια εφαρμογή του GAMS. Καταρχήν, οποιαδήποτε γραμμή που αρχίζει με έναν αστερίσκο (*) στη πρώτη στήλη λαμβάνεται ως γραμμή σχολίου από το μεταγλωττιστή GAMS. Δεύτερον, ίσως το σημαντικότερο, τα σχόλια μπορούν να παρεμβληθούν μετά από τις δηλώσεις των οντοτήτων του GAMS.
- ✓ Η δημιουργία οντοτήτων στο GAMS περιλαμβάνει δύο βήματα: μια δήλωση ('declaration') και μια ανάθεση ή καθορισμός ('assignment'). Η δήλωση περιλαμβάνει την ύπαρξη της οντότητας στο πρόγραμμα δίνοντας ένα όνομα. Η ανάθεση ή καθορισμός δίνει μια συγκεκριμένη τιμή ή μια μορφή. Στην περίπτωση των εξισώσεων, πρέπει να γίνεται δήλωση και ανάθεση σε ξεχωριστές δηλώσεις στο GAMS. Για όλες τις άλλες οντότητες του GAMS, ωστόσο, υπάρχει η επιλογή των δηλώσεων και αναθέσεων στην ίδια δήλωση ή χωριστά.
- ✓ Τα ονόματα που δίνονται στις οντότητες του μοντέλου πρέπει να αρχίζουν με γράμμα και μπορούν να ακολουθηθούν μέχρι 31 οποιοδήποτε χαρακτήρες ή ψηφία.
- ✓ Όλες οι γραμμές δεν είναι μέρος της γλώσσας GAMS. Δύο ειδικά σύμβολα, ο αστερίσκος «*» και το σύμβολο δολαρίου «\$» μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πρώτη θέση σε μια γραμμή για να δείξει μια μη-γλωσσική γραμμή.

Σχόλια

Ένα σχόλιο ('comment') είναι ένα επεξηγηματικό κείμενο, που δεν υποβάλλεται σε επεξεργασία και δεν διατηρείται από τον υπολογιστή. Υπάρχουν τρεις τρόποι να συμπεριληφθούν τα σχόλια σε ένα πρόγραμμα GAMS, η επιλογή μεταξύ των οποίων είναι ένα θέμα μεμονωμένης προτίμησης ή χρησιμότητας.

Ο πρώτος, αναφέρθηκε ήδη παραπάνω, πρόκειται να αρχίσει μια γραμμή με έναν αστερίσκο "*" στην πρώτη θέση χαρακτήρα. Οι υπόλοιποι χαρακτήρες στη γραμμή αγνοούνται αλλά τυπώνονται στο αρχείο output.

Δεύτερον, τα σχόλια μπορούν να παρεμβληθούν μετά από τις δηλώσεις των οντοτήτων του GAMS

Ο τρίτος τρόπος πρόκειται να χρησιμοποιήσει τους ειδικούς οριοθέτες ('blocks'), που αναγκάζουν το GAMS να αγνοήσει ένα ολόκληρο τμήμα του προγράμματος. Το σύμβολο δολαρίου '\$' πρέπει να είναι στην πρώτη θέση. Η αρχή ενός σχολίου πρέπει να ξεκινάει στην πρώτη γραμμή με τη φράση '\$ontext' και να καταλήγει με τη φράση '\$offtext'. (Rosenthal 2008).

8.3. Σύνολα

Τα Σύνολα ('SETS') είναι θεμελιώδεις δομικές μονάδες για οποιοδήποτε μοντέλο του GAMS και του επιτρέπουν να δηλωθεί και να διαβάζεται εύκολα και λειτουργικά.

Το σύνολο S που περιλαμβάνει τα στοιχεία a , b και c γράφεται με μαθηματική αναπαράσταση $S = \{ a, b, c \}$. Στο GAMS, λόγω των περιορισμών των χαρακτήρων, το ίδιο σύνολο γράφεται: `set S / a, b, c /`. Η δήλωση του συνόλου αρχίζει με τη λέξη κλειδί `set` (ή `sets`), όπου S το όνομα του συνόλου, και τα μέλη ή στοιχεία του είναι τα a , b , c .

Γενικά, η σύνταξη στο GAMS για τα απλά σύνολα είναι η ακόλουθη:

SET	Set Name	Optional Explanatory Text
	/ first Set Element Name	Optional Explanatory Text
	second Set Element Name	Optional Explanatory Text
	...	
	/;	

Το Όνομα Συνόλου ('Set Name') είναι το εσωτερικό όνομα του συνόλου (επίσης αποκαλούμενου αναγνωριστής) στο GAMS, που πρέπει να αρχίζει με ένα γράμμα που ακολουθείται από περισσότερα γράμματα ή ψηφία. Μπορεί μόνο να περιέχει τους αλφαριθμητικούς χαρακτήρες, και μπορεί να είναι μέχρι 31 χαρακτήρες. Το συνοδευτικό κείμενο χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σύνολο ή το στοιχείο που προηγείται.

Το Όνομα κάθε Συνόλου Στοιχείου ('Set Element Name') μπορεί να είναι μέχρι 10 χαρακτήρες. Όπως και στις δηλώσεις έτσι και εδώ ισχύουν τα ίδια σχετικά με τα συνοδευτικά κείμενα (είτε μέσα σε αποστρόφους είτε χωρίς). Κάθε στοιχείο σε ένα σύνολο πρέπει να χωριστεί από τα άλλα στοιχεία με ένα κόμμα ή με ένα τέλος γραμμής. Αντίθετα, κάθε στοιχείο χωρίζεται από οποιοδήποτε σχετικό κείμενο με κενό.

Το Επεξηγηματικό Κείμενο ('Explanatory Text') δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 254 χαρακτήρες και πρέπει για κάθε στοιχείο που περιγράφει να βρίσκεται στην ίδια γραμμή. Το κείμενο μπορεί να περιέχει ειδικούς χαρακτήρες όπως κάθετους, κόμματα ή ελληνικά ερωτηματικά με την προϋπόθεση ότι βρίσκεται μέσα σε αποστρόφους.

Ο αστερίσκος «*» παίζει έναν ειδικό ρόλο στους ορισμούς συνόλων. Χρησιμοποιείται για την αποφυγή επίπονης δακτυλογράφησης μιας ακολουθίας στοιχείων ενός συνόλου. Παραδείγματος χάριν, για να γράψουμε δέκα χρονολογίες στη σειρά από το 1991 έως το 2000 μπορούμε να γράψουμε: `set t "time" /1991 * 2000 /;`, όπου μέσα το σύνολο περιλαμβάνει τα δέκα στοιχεία το 1991, 1992... , 2000. Ο αριθμός αριστερά από το αστερίσκο πρέπει να είναι μικρότερος από τον αριθμό στα δεξιά.

Οποιοσδήποτε μη αριθμητικές διαφορές ή άλλες ασυνέπειες προκαλούν λάθη, ενώ είναι εφικτό δύο ή και παραπάνω σύνολα να δηλωθούν από κοινού.

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, ορίστηκαν με δείκτες (i, j, ivl) τα εξής διαφορετικά σύνολα: οι 24 ώρες της ημέρας, οι 12 μήνες του χρόνου και τα 3 πιθανά διαστήματα δυναμικότητας των μονάδων συμπαραγωγής

Πίνακας 8-2 Καθορισμός Συνόλων παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

SETS	
I	Period of Day / 1*24 /
J	Month / 1*12 /
IVL	Approximation Intervals of CHP Size 1: 300-800, 2: 800-1500, 3: 1500-2200 / 1*3 /
	;

8.4. Εισαγωγή Δεδομένων

Ένα από τα κλασσικά πρότυπα σχεδιασμού της γλώσσας GAMS είναι η χρήση δεδομένων στη πιο βασική μορφή, η οποία μπορεί να είναι Πίνακας - Στοιχείο, Παράμετροι και Πίνακες δύο ή περισσότερων διαστάσεων. Με βάση αυτό το κριτήριο, τρεις τύποι στοιχείων εισάγονται σε αυτή τη παράγραφο:

8.4.1 Πίνακες

Τα στοιχεία μπορούν να δηλωθούν και να αρχικοποιηθούν στο GAMS χρησιμοποιώντας μια δήλωση Πίνακα ('Table'). Για δύο ή περισσότερες διαστάσεις προτιμώνται οι πίνακες από τις παραμέτρους για την εισαγωγή δεδομένων.

Γενικά, η σύνταξη για μια δήλωση πίνακα είναι:

Table	Table Name (Set i, Set j ...)	Optional Explanatory Text
	set_j_element_1	set_j_element_2
set_i_element_1	value_11	value_12
set_i_element_2	value_21	value_22;

Το Όνομα του Πίνακα ('Table Name') είναι το εσωτερικό όνομα του πίνακα (επίσης αποκαλούμενο και ως αναγνωριστής) στο GAMS. Οι ετικέτες σειρών προέρχονται από το σύνολο i, και οι ετικέτες των στηλών από το σύνολο j.

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, ορίστηκαν οι πίνακες του Θερμικού, Ηλεκτρικού και Ψυκτικού φορτίου για τις 24 ώρες (i) μιας τυπικής ημέρας καθενός από τους 12 μήνες (j) του έτους καθώς και ο αριθμός των ημερών του κάθε μήνα.

Πίνακας 8-3 Καθορισμός Πινάκων παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

TABLE htdm(I,J) Heat Demand in i-th period of day in j-th month (kW) (Πίνακας 5.6)
;
TABLE eldm(I,J) Electricity Demand in i-th period of day in j-th month (kW) (Πίνακας 5.5)
;
TABLE cldm(I,J) Cooling Demand in i-th period of day in j-th (kW) (Πίνακας 5.7)
;
TABLE hours(I,J) Hours in i-th period of day in j-th month
;

8.4.2 Πίνακες Στοιχείου

Η δήλωση του Πίνακα Στοιχείου ('Scalars') χρησιμοποιείται για να δηλώσει και να εισάγει τις αρχικές συνθήκες σε μια παράμετρο του GAMS με μηδενική διάσταση. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ακριβώς ένας αριθμός που συνδέεται με την παράμετρο.

Γενικά, η σύνταξη στο GAMS για μια δήλωση πίνακα στοιχείο είναι:

Scalars

Scalar 1 Name Optional Explanatory Text / Numerical Value /

Scalar 2 Name Optional Explanatory Text / Numerical Value /

... ;

Το Όνομα του Πίνακα Στοιχείου ('Scalar Name') είναι το εσωτερικό όνομα του πίνακα στοιχείου (επίσης αποκαλούμενο αναγνωριστής – 'identifier'). Το Συνοδευτικό Κείμενο περιγράφει το στοιχείο και ακολουθεί η Τιμή του ('Numerical Value').

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, ορίστηκαν τιμές για τεχνικά και οικονομικά στοιχεία των μονάδων Συμπαράγωγής, Απορρόφησης και Συμπίεσης (Τεχνικά ελάχιστα, άνω και κάτω όρια δυναμικότητας, κλίση και αποτέμνουσα της συνάρτησης κόστους ως προς τη δυναμικότητα). Επίσης, ορίστηκαν οι τιμές αγοράς και πώλησης του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου καθώς και οι συντελεστές εκπομπής CO₂ των καυσίμων (Πίνακας 8.4):

Πίνακας 8-4 Καθορισμός Πινάκων - Στοιχείων παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

SCALARS	
techminchp	Technical Minimum of CHP production as percentage of capacity / 0.3 /
techminabs	Technical Minimum of ABS production as percentage of capacity / 0.3 /
techmincmp	Technical Minimum of CMP production as percentage of capacity / 0.3 /
clmargin	Margin above peak maximum Cooling Demand
ngsup	Parameter for calculating the sum of NG Supply in GWh
elgrid	Parameter for calculating the sum of Electricity from the Grid (kWe)
ngcost	Cost of Natural Gas in euros per MWh / 30 /
*elcost	Cost of Electricity in euros per MWh / 102 /
*elcostof	Reduced Cost (off peak) of Electricity in euros per MWh / 34 /
elsellprice	Price of excess Electricity from CHP in euros per MWh / -48 /
absintcpt	Intercept of annual investment cost for Absorption unit (euros) / 15446 /
absslope	Slope of annual investment cost for Absorption unit (euros/kWf) / 10 /
abscoef	Coefficient that multiplies nominal capacity of Abs.chiller due to lower T / 0.369 /
upabs	Upper bound for Absorption chillers nominal capacity (kwf) / 5000 /
loabs	Lower bound for Absorption chillers nominal capacity (kwf) / 500 /
cmpintcpt	Intercept of annual investment cost for Compression unit (euros) / 868 /
cmpslope	Slope of annual investment cost for Compression unit (euros/kWf) / 19 /
*cmpintcpt	Intercept of annual investment cost for Compression unit (euros) / 0 /
*cmpslope	Slope of annual investment cost for Compression unit (euros/kWf) / 0 /
upcmp	Upper bound for Compression chillers nominal capacity / 5000 /
locmp	Lower bound for Compression chillers nominal capacity / 500 /
ngCO2	Emission Coefficient for NG tCO2 per MWh / 0.21 /
elCO2	Emission Coefficient for Electricity tCO2 per MWh / 0.85 /

8.4.3 Παράμετροι

Γενικά, η σύνταξη στο GAMS για μια δήλωση Παραμέτρου ('Parameter') είναι:

Parameters

```
Parameter Name (set dependency)  Optional Explanatory Text
/  first Set Element Name  Associated Value,
  second Set Element Name  Associated Value,
  ... /;
```

Το Όνομα της Παραμέτρου ('Parameter Name') είναι το εσωτερικό όνομα της παραμέτρου (επίσης αποκαλούμενο ως αναγνωριστής). Η αρχικοποίηση μιας παραμέτρου απαιτεί έναν κατάλογο στοιχείων ('data element'), κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από μια ετικέτα και μια τιμή. Οι κάθετοι '/' πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην αρχή και στο τέλος του καταλόγου, και τα κόμματα πρέπει να χωρίζουν τα στοιχεία που εισήχθησαν σε μια γραμμή. Το σύμβολο '=' ή το 'κένό' μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χωρίσει τις ετικέτες από τις αντίστοιχες τιμές τους.

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, ορίστηκαν τιμές για τεχνικά και οικονομικά στοιχεία παραμέτρων των μονάδων Συμπαραγωγής ανάλογα με τη δυναμικότητα της κάθε μονάδας. (συντελεστές εκπομπής ρύπων CO₂, ετησιοποιημένα κόστη, λόγοι ηλεκτρισμού προς θερμότητα, κάτω και άνω όρια δυναμικότητας μονάδων, βαθμοί θερμικής και ηλεκτρικής απόδοσης,):

Πίνακας 8-5 Καθορισμός Παραμέτρων παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

PARAMETERS

*modeling of CHP with 4 points - 3 line segments

*	X	Y	INTERCEPT	SLOPE	n_e	n_th
*points A	300	54147				
* B	800	77609	40070	46.92	0.365	0.54
* C	1500	101222	50623	33.73	0.380	0.505
* D	2200	120000	60983	26.83	0.389	0.455

chpintcpt(IVL) Intercept of CHP for interval ILV (euros) / 1: 40070, 2: 50623, 3: 60983 /

chpslope(IVL) Slope of CHP for interval ILV (euros/kWe) / 1: 46.93, 2: 33.73, 3: 26.83 /

elhtrt(IVL) Electricity to Heat Ratio for each CHP subinterval / 1: 0.676, 2: 0.752, 3: 0.855 /

lochp(IVL) Lower bound for each interval in CHP size / 1: 300, 2: 800, 3: 1500 /

upchp(IVL) Upper bound for each interval in CHP size / 1: 800, 2: 1500, 3: 2200 /

effchp(IVL) Electrical Efficiency for each interval in CHP size / 1: 0.365, 2: 0.38, 3: 0.389 /

8.5. Μεταβλητές

Ο όρος Μεταβλητές ('Variables') αναφέρεται στις ενδογενείς μεταβλητές σύμφωνα με τους οικονομολόγους και στις μεταβλητές απόφασης σύμφωνα με συμβούλους επιχειρήσεων. Είναι οι οντότητες, των οποίων οι τιμές είναι γενικά άγνωστες μέχρι να λυθεί το μοντέλο. Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δηλώσεων μεταβλητής και παραμέτρου είναι ότι στη δήλωση μεταβλητής δεν μπορούν να δηλωθούν αρχικές τιμές. Έτσι, τα πολύ μεγάλα μοντέλα μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας έναν μικρό αριθμό μεταβλητών. Είναι σημαντικό ότι οι δηλώσεις μεταβλητών περιλαμβάνουν ένα επεξηγηματικό κείμενο το οποίο είναι όσο το δυνατόν περιγραφικότερο για να σχολιάσει την λύση.

Γενικά, η σύνταξη στο GAMS για μια δήλωση Μεταβλητών είναι:

Variable type

first Variable Name (set dependency)	Optional Explanatory Text
second Variable Name (set dependency)	Optional Explanatory Text
...	

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

Τα όρια είναι πολύ σημαντικά και αν επιβάλλεται να αλλαχθούν πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται π.χ. διαιρέσεις με το μηδέν γιατί το GAMS θα βγάλει λάθος. Ο τύπος προεπιλογής είναι ελεύθερος, που σημαίνει ότι εάν ο τύπος της μεταβλητής δεν διευκρινίζεται, αυτό δεν θα έχει όρια καθόλου. Οι πιο συχνά χρησιμοποιημένοι τύποι είναι οι ελεύθεροι και οι θετικοί για τις περιγραφές των μεταβλητών για τις οποίες οι αρνητικές τιμές είναι χωρίς νόημα, όπως οι χωρητικότητες, οι ποσότητες και οι τιμές πώλησης. Ο πιο δημοφιλής τρόπος δήλωσης των μεταβλητών είναι η απαρίθμηση κατά ομάδες ανάλογα με τον τύπο.

Ένα πρόσθετο σύνολο λέξεων κλειδιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διευκρινίσει τις διάφορες ιδιότητες των μεταβλητών. Μια μεταβλητή στο GAMS, έχει επτά προθέματα:

- ✓ **.lo** Το χαμηλότερο όριο της μεταβλητής.
- ✓ **.up** Το υψηλότερο όριο της μεταβλητής.
- ✓ **.fx** Η σταθερή τιμή της μεταβλητής, η οποία έχει άνω και κάτω όριο το ίδιο. Μία μεταβλητή σταθερής τιμής μπορεί να πάρει αργότερα περισσότερες τιμές, αν επαναπροσδιοριστούν τα όριά της.
- ✓ **.l** Το επίπεδο δραστηριότητας για τη μεταβλητή. Είναι ισοδύναμο με την τρέχουσα αξία της μεταβλητής. Λαμβάνει τις νέες τιμές όταν λύνεται ένα μοντέλο.
- ✓ **.m** Η οριακή τιμή της μεταβλητής. Λαμβάνει τις νέες τιμές όταν λύνεται ένα μοντέλο.
- ✓ **.scale** Ο κλιμακωτός παράγοντας της μεταβλητής σε μη γραμμικό προγραμματισμό.
- ✓ **.prior** Η διακλαδισμένη τιμή προτεραιότητας μιας μεταβλητής χρησιμοποιείται σε προγραμματιστικά μοντέλα με μικτούς ακέραιους αριθμούς.

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, δηλώθηκαν Θετικές, Δυαδικές και Ελεύθερες μεταβλητές για διάφορα λειτουργικά και οικονομικά στοιχεία των μονάδων Συμπαράγωγής, Απορρόφησης, Συμπίεσης, Λέβητα που σχετίζονται με τη Ζήτηση, Αγορά και Πώληση στο δίκτυο της ΔΕΗ για την κάλυψη Ηλεκτρικού, Θερμικού και Ψυκτικού φορτίου των ξενοδοχείων και παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα 8.6:

Πίνακας 8-6 Καθορισμός Μεταβλητών παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

POSITIVE VARIABLES

ELCG(I,J)	Electricity from CHP in period i month j (kW)
ELCGDM(I,J)	Electricity from CHP to Demand period i month j (kW)
ELCGCM(I,J)	Electricity from CHP to Compression units in period i month j (kW)
ELCGSL(I,J)	Electricity from CHP Sold to Grid in period i month j (kW)
ELPCDM(I,J)	Electricity from Grid to Demand in period i month j (kW)
ELPCCM(I,J)	Electricity from Grid to Compression in period i month j (kW)
HTCG(I,J,IVL)	Heat from CHP in period i month j of k-th subinterval (kW)
HTCGDM(I,J)	Heat from CHP to Demand in period i month j (kW)
HTCGAB(I,J)	Heat from CHP to Absorption unit period i month j (kW)
HTCGXS(I,J)	Heat from CHP Rejected in period i month j (kW)
HTBLDM(I,J)	Heat from Boiler to Demand in period i month j (kW)
HTBLAB(I,J)	Heat from Boiler to Absorption unit in period i month j (kW)
CLAB(I,J)	Cooling Load from Absorption unit in period i month j (kW)
CLCMP(I,J)	Cooling Load from Compression unit in period i month j (kW)
CHPC(IVL)	Auxiliary variable for linearization
CAPCHP	Nominal Capacity of CHP (kW)
CAPABS	Nominal Capacity of Absorption unit (kW)
CAPCMP	Nominal Capacity of Compression unit (kW)
ENELCG	Annual Electric Energy produced by CHP (MWh)
ENHTBL	Annual Heating Energy produced by Boiler (MWh)
ENELCGSL	Annual Electric Energy produced by CHP Sold to Grid (MWh)
ENELPC	Annual Electric Energy purchased from Grid (MWh)
ENELPCOF	Annual Electric Energy purchased from Grid with reduced cost-Offpeak (MWh)
ENCLAB	Annual Cooling Energy produced by Absorption column (MWh)
ENNGCG(IVL)	Annual Natural Gas amount for CHP (MWh)
ENNGBL	Annual Natural Gas amount for Boiler (MWh)
COST1(J)	Cost of purchased electricity in case $MAXP_i \leq 5kW$ (euros)
COST2(J)	Cost of purchased electricity in case $MAXP_i > 5kW$ (euros)
COST(J)	Cost of purchased electricity (combined COST1(I) and COST2(I)) (euros)
MAXP(J)	Maximum Power purchased in month j (kW)
ELENRG(J)	Electric Energy purchased in month j (MWh)
LAMDA	Tolerance in Demand

BINARY VARIABLES

YCHP(I,J)	Binary variable indicating if CHP is operating in period i month j
YABS(I,J)	Binary variable indicating if Absorption unit is operating in period i month j
YCMP(I,J)	Binary variable indicating if Compression unit is operating in period i month j
S(IVL)	Binary variables indicating CHP Size Interval
BABS	Binary variable indicating the existence of Absorption unit
BCMP	Binary variable indicating the existence of Compression unit
D(J)	Logical variable indicating if power in month j is $\leq 5kW$ ($D=1$) or not ($D=0$)
ACO2	Annual CO2 Emissions

FREE VARIABLES

ACOST	Objective Function variables
-------	------------------------------

8.6. Εξισώσεις

Με τον όρο Εξισώσεις ('Equations'), το GAMS εννοεί τις συμβολικές αλγεβρικές σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν για να παράγουν τους περιορισμούς στο μοντέλο. Όπως με τις μεταβλητές, μια εξίσωση στο GAMS θα συνδέσει αυθαίρετα πολλούς περιορισμούς, ανάλογα με την ιδιότητα των καθορισμένων συνόλων.

Γενικά, η σύνταξη στο GAMS για μια δήλωση Εξισώσεων είναι:

Equations

First Equation Name (set dependency)	Optional Explanatory Text
Second Equation Name (set dependency)	Optional Explanatory Text
...	;

Το όνομα των Εξισώσεων ('Equation name') είναι το εσωτερικό όνομα της εξίσωσης στο GAMS και ακολουθείται από το επεξηγηματικό κείμενο καταλήγοντας με το ελληνικό ερωτηματικό σύμβολο.

Όσον αφορά τον Ορισμό των Τύπων των Εξισώσεων, αυτός γίνεται αφότου έχει δηλωθεί από πριν το όνομα της κάθε εξίσωσης και εν συνεχεία ορίζεται ο τύπος της εξίσωσης ως εξής:

Equation Name (set dependency)	\$Optional Logical Condition . .	
Left Equation Terms	Equation Type	Right Equation Terms;

Δηλώνεται εκ νέου το όνομα της Εξίσωσης ακολουθούμενο πάντα από δύο τελείες ".." πριν την έναρξη της άλγεβρας. Το Αριστερό μέλος της εξίσωσης ('Left Term') αποτελεί τον αλγεβρικό τύπο της, ενώ το Δεξιό ('Right Term') αποτελεί την τελική τιμή, την οποία επιζητείται να λάβει ο αλγεβρικός τύπος.

Το Είδος της Εξίσωσης ('Equation Type') αναφέρεται στο σύμβολο μεταξύ των δύο εκφράσεων που διαμορφώνουν την εξίσωση, και μπορεί να είναι κάποιος από τους ακόλουθους τύπους:

- ✓ =E= ('Equality'): το αριστερό μέρος πρέπει να είναι ίσο με το δεξί,
- ✓ =G= ('Greater or equal'): το αριστερό μέρος πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το δεξί,
- ✓ =L= ('Lower or equal'): το αριστερό μέρος πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο από το δεξί,
- ✓ =N= καμία σχέση δεν επιβάλλεται μεταξύ αριστερού και δεξιού μέρους. Αυτός ο τύπος εξίσωσης χρησιμοποιείται σπάνια.

8.6.1 Εκφράσεις με δείκτες

Το GAMS παρέχει τις ακόλουθες τρεις διαδικασίες με δείκτες ('Indexed Operations'):

- ✓ sum : Άθροισμα με χρήση δεικτών ελέγχου
- ✓ smin : Ελάχιστη τιμή με χρήση δεικτών ελέγχου
- ✓ smax : Μέγιστη τιμή με χρήση δεικτών ελέγχου

Αυτές οι τρεις διαδικασίες εκτελούνται σε έναν ή περισσότερους δείκτες ελέγχου. Η σύνταξη στο GAMS για αυτές τις διαδικασίες είναι,

Indexed Operations ((Controlling Indices), Expression)

- ✓ Η πιο κοινή από όλες τις τέσσερις διαδικασίες είναι το '**SUM**' ('summation-άθροισμα'), το οποίο χρησιμοποιείται για να υπολογίσει το άθροισμα για μια περιοχή ενός συνόλου. Το πεδίο του ελέγχου είναι το ζευγάρι των παρενθέσεων () που αρχίζει αμέσως μετά από sum και στο οποίο περιέχονται οι Δείκτες Ελέγχου ('Controlling Indices') με τις αντίστοιχες εκφράσεις των μεταβλητών.

Για παράδειγμα, το πιο απλό μαθηματικό άθροισμα $\sum_i x_{ij}$, εκφράζεται στο GAMS ως: sum(i, x(i,j)).

Ενώ, ένα πιο πολύπλοκο μαθηματικό άθροισμα $\sum_{ij} c_{ij} x_{ij}$, εκφράζεται στο GAMS ως: sum((i,j), c(i,j)*x(i,j)).

✓ Οι εκφράσεις ‘**smin**’ και ‘**smax**’ αποτελούν διαδικασίες, που χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι μικρότερες και μεγαλύτερες τιμές αντίστοιχα σε μια περιοχή του συνόλου. Οι δείκτες ‘smin’ και ‘smax’ διευκρινίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως στο δείκτη για το sum.

✓ Ο συμβολισμός ‘**card**’ χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τον αριθμό των στοιχείων ενός συνόλου.

Για παράδειγμα στο σύνολο, που εκφράζεται από τη δήλωση των χρονικών ετών μεταξύ 1985 και 1995: set t time periods / 1985*1995 /

Τότε με τη χρήση της έκφρασης ‘card(t)’, θα ληφθεί σαν αποτέλεσμα ο αριθμός 11, που ισοδυναμεί με τα έτη, που περιέχονται στο χρονικό διάστημα 1985 έως 1995. (Mc Carl, 2008).

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, δηλώθηκαν αρχικά (Πίνακας 8.7) και ορίστηκαν εν συνεχεία (Πίνακας 8.8) οι Εξισώσεις για διάφορα λειτουργικά και οικονομικά στοιχεία των μονάδων Συμπαραγωγής, Απορρόφησης, Συμπίεσης, Λέβητα που σχετίζονται με τη Αγορά και Πώληση Ηλεκτρισμού από και προς το δίκτυο της ΔΕΗ για την κάλυψη Ηλεκτρικού, Θερμικού και Ψυκτικού φορτίου των ξενοδοχείων.

Μεταξύ των εξισώσεων αυτών, αναγράφονται οι περιορισμοί του μοντέλου (ενεργειακά ισοζύγια ροών, ικανοποίηση ζήτησης φορτίων, τεχνικά ελάχιστα και μέγιστες επιτρεπτές δυναμικότητες μονάδων, μετατροπή ισχύος σε ενέργεια).

Στο τέλος, ορίζεται η αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου, δηλαδή η συνάρτηση του Ετήσιου Κόστους (‘Objective Function: Annual Cost’) για την εγκατάσταση ή μη και λειτουργία της μονάδας Τριπαραγωγής, ενώ προσδιορίζεται με τη μορφή περιορισμού η συνάρτηση υπολογισμού της Ετήσιας Ποσότητας Εκπομπής Διοξειδίου του άνθρακα (‘Annual Emission CO₂’), που προέρχεται από την εγκατάσταση.

Πίνακας 8-7 Δήλωση Εξισώσεων παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

EQUATIONS

EQELHTCG(I,J)	Electricity related to Heat produced by CHP in each sub period
EQSLAUX(IVL)	Auxiliary relations for Slacks
EQELCGBL(I,J)	CHP Electricity Balance
EQHTCGBL(I,J)	CHP Heat Balance
EQABBL(I,J)	Absorption unit Balance
EQCMPBL(I,J)	Compression unit Balance
EQELDM(I,J)	Electricity to Demand
EQHTDM(I,J)	Heat to Demand
EQCLDM(I,J)	Cooling Load to Demand
EQCGMAX1(I,J)	Limiting power by Capacity for CHP
EQCGMAX2(I,J)	Connecting power to YCHPij
EQCGMIN(I,J)	Min power for CHP
EQABMAX1(I,J)	Limiting power by capacity for Absorption unit
EQABMAX2(I,J)	Connecting power to YABSij
EQABMIN(I,J)	Technical Minimum for Absorption unit
EQCMPMAX1(I,J)	Limiting power by capacity for Compression unit
EQCMPMAX2(I,J)	Connecting power to YABSij
EQCMPMIN(I,J)	Technical Minimum for Compression unit
EQENELCG	Annual amount of Electricity from CHP (MWh)
EQENELSL	Annual amount of Electricity Sold to grid (MWh)
EQENHTBL	Annual amount of Heat from Boiler (MWh)
EQENELPC	Annual amount of Electricity Purchased from grid (MWh)
EQENCLAB	Annual amount of Cooling Load from Absorption column (MWh)

EQCGEFF	Efficiency of CHP
EQCGAUX(IVL)	Auxiliary constraints for efficiency
EQBLEFF	Efficiency of Boiler
EQABLO	Minimum size of Absorption unit
EQABUP	Maximum size of Absorption unit
EQCMPLO	Minimum size of Compression unit
EQCMPUP	Maximum size of Compression unit
EQ_CLMARG	Cooling capacity 20% higher than max cooling demand
EQCGLO(IVL)	Minimum size of CHP unit
EQCGUP(IVL)	Maximum size of CHP unit
EQCGEQ	Definition of CAPCHP
EQBIN1	Mutually exclusive alternatives
EQMAXP(I,J)	Calculation of Maximum Power for month I
EQ5KWUP(J)	First Equation to check if MAXPi is more than 5 kW
EQ5KWLO(J)	Second Equation to check if MAXPi is less than 5 kW
EQENRG(J)	Calculation of Electric Energy purchases in month I (kWh)
EQCOST1a(J)	Modeling min Function for MAXPi \leq 5 kW equation 1
EQCOST1b(J)	Modeling min Function for MAXPi \leq 5 kW equation 2
EQCOST2a(J)	Modeling min Function for MAXPi $>$ 5 kW equation 1
EQCOST2b(J)	Modeling min Function for MAXPi $>$ 5 kW equation 2
EQCOST1(J)	Choose one of two COST1 or COST2 if MAXPi \leq 5 kW or MAXPi $>$ 5 kW
EQCOST2(J)	Choose one of two COST1 or COST2 if MAXPi \leq 5 kW or MAXPi $>$ 5 kW
OBJF	Objective function
ANNUALCO2	Calculation of annual CO2 emissions (t)
;	

Πίνακας 8-8 Καθορισμός Εξισώσεων παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

EQELHTCG(I,J).. ELCG(I,J)-SUM(IVL,elhtrt(IVL)*HTCG(I,J,IVL))=E=0 ;
 EQSLAUX(IVL).. SUM((I,J),HTCG(I,J,IVL)) - 2.5*upchp(IVL)*card(I)*card(J)*S(IVL)=
 =L= 0 ;
 EQELCGBL(I,J).. ELCG(I,J)-ELCGDM(I,J)-ELCGCM(I,J)-ELCGSL(I,J)=E=0 ;
 EQHTCGBL(I,J).. SUM(IVL,HTCG(I,J,IVL))-HTCGDM(I,J)-HTCGAB(I,J)-
 -HTCGXS(I,J)=E=0 ;
 EQABBL(I,J).. 0.8*HTCGAB(I,J)+0.8*HTBLAB(I,J)-CLAB(I,J)=E=0 ;
 EQCMPBL(I,J).. 2.7*ELCGCM(I,J)+ 2.7*ELPCCM(I,J)- CLCMP(I,J) =E= 0 ;
 EQELDM(I,J).. ELCGDM(I,J) + ELPCDM(I,J) =G=
 =0.9*eldm(I,J)+0.2*eldm(I,J)*LAMDA ;
 EQHTDM(I,J).. HTCGDM(I,J) + HTBLDM(I,J) =G=
 =0.9*htdm(I,J)+0.2*htdm(I,J)*LAMDA ;
 EQCLDM(I,J).. CLCMP(I,J) + CLAB(I,J)=G= 0.9*cldm(I,J)+0.2*cldm(I,J)*LAMDA ;
 EQCGMAX1(I,J).. ELCG(I,J)-CAPCHP =L= 0 ;
 EQCGMAX2(I,J).. ELCG(I,J)-upchp('3')*YCHP(I,J) =L= 0 ;
 EQCGMIN(I,J).. -ELCG(I,J)+techminchp*CAPCHP+techminchp*upchp('3')*YCHP(I,J)
 =L= techminchp*upchp('3') ;
 EQABMAX1(I,J).. CLAB(I,J)-abscoef*CAPABS =L=0 ;
 EQABMAX2(I,J).. CLAB(I,J)-upabs*YABS(I,J) =L= 0 ;
 EQABMIN(I,J).. CLAB(I,J)+techminabs*abscoef*CAPABS+techminabs*upabs*YABS(I,J)
 =L= techminabs*upabs ;
 EQCMPMAX1(I,J).. CLCMP(I,J)-CAPCMP =L=0 ;
 EQCMPMAX2(I,J).. CLCMP(I,J)-upcmp*YCMP(I,J) =L= 0 ;
 EQCMPMIN(I,J).. CLCMP(I,J)+techmincmp*CAPCMP+techmincmp*upcmp*YCMP(I,J)
 =L=techmincmp*upcmp ;
 EQENELCG.. 1000*ENELCG -SUM((I,J),hours(I,J)*ELCG(I,J)) =E= 0 ;
 EQENELSL.. 1000*ENELCGSL -SUM((I,J),hours(I,J)*ELCGSL(I,J)) =E= 0 ;
 EQENHTBL.. 1000*ENHTBL - SUM((I,J),hours(I,J)*(HTBLDM(I,J)+HTBLAB(I,J))) =E=
 = 0 ;
 EQENELPC.. 1000*ENELPC - SUM((I,J),hours(I,J)*(ELPCDM(I,J)+ELPCCM(I,J)))
 =E= 0 ;
 EQENCLAB.. 1000*ENCLAB -SUM((I,J),hours(I,J)*CLAB(I,J)) =E= 0 ;
 EQCGEFF.. ENELCG - SUM(IVL, effchp(IVL)*ENNGCG(IVL)) =E= 0 ;
 EQCGAUX(IVL).. ENNGCG(IVL) - 1000000*S(IVL) =L= 0 ;
 EQBLEFF.. ENHTBL - 0.85*ENNGBL =E= 0 ;

EQABLO.. CAPABS - loabs*BABS =G= 0 ;
 EQABUP.. CAPABS - upabs*BABS =L= 0 ;
 EQCMPLO.. CAPCMP - locmp*BCMP =G= 0 ;
 EQCMPUP.. CAPCMP - upcmp*BCMP =L= 0 ;
 EQ_CLMARG.. CAPCMP + abscoef*CAPABS =G= clmargin ;

 EQCGLO(IVL).. CHPC(IVL) - lochp(IVL)*S(IVL) =G= 0 ;
 EQCGUP(IVL).. CHPC(IVL) - upchp(IVL)*S(IVL) =L= 0 ;
 EQCGEQ.. CAPCHP-SUM(IVL,CHPC(IVL)) =E= 0;
 EQBIN1.. SUM(IVL, S(IVL)) =L= 1 ;

 EQMAXP(I,J).. MAXP(J)=G= ELPCDM(I,J)+ELPCCM(I,J);
 EQ5KWUP(J).. MAXP(J)=L= 5 + 5000*(1-D(J));
 EQ5KWLO(J).. MAXP(J)=G= 5 - 5*D(J);
 EQENRG(J).. ELENRG(J)=E= sum(I,hours(I,J)*(ELPCDM(I,J)+ELPCCM(I,J)))/1000;

 EQCOST1a(J).. COST1(J)=G= 233.26;
 EQCOST1b(J).. COST1(J)=G= 3.671*MAXP(J)+79.44*ELENRG(J);
 EQCOST2a(J).. COST2(J)=G= 233.26+2.3272*(MAXP(J)-5);
 EQCOST2b(J).. COST2(J)=G= 3.671*MAXP(J)+79.44*ELENRG(J);

 EQCOST1(J).. COST(J) =G= COST1(J)-(1-D(J))*200000;
 EQCOST2(J).. COST(J)=G= COST2(J) -D(J)*200000;

 OBJF.. ngcost*SUM(IVL, ENNGCG(IVL))+ ngcost*ENNGBL + sum(J,COST(J)) +
 + sum(IVL, chpintcpt(IVL)*S(IVL)) + sum(IVL, chpslope(IVL)*CHPC(IVL)) +
 + 17.6*ENELCG + absintcpt*BABS + absslope*CAPABS + 2*ENCLAB +
 + cmpintcpt*BCMP+cmpslope*CAPCMP+ elsellprice*ENELCGSL=E= ACOST ;

 ANNUALCO2.. =E= emmfact('gas')*(SUM(IVL, ENNGCG(IVL))+ ENNGBL) +
 + emmfact('elec')*SUM(J,ELENRG(J)) ;

8.7. Δήλωση Μοντέλου

Η Δήλωση Μοντέλου ('Model Statement') χρησιμοποιείται για να οργανώσει τις εξισώσεις σε ομάδες και να τις ονομάσει έτσι ώστε αυτές να μπορούν να επιλυθούν. Γενικά η σύνταξη στο GAMS για ένα μοντέλο απλής δήλωσης είναι:

Model Model Name Optional Explanatory Text / Model Contents / ;
--

Το Όνομα του Μοντέλου ('Model Name') είναι η εσωτερική ονομασία στο μοντέλο του GAMS, που πρέπει να ξεκινά με γράμμα και μπορεί να περιέχει μέχρι 10 αλφαριθμητικούς χαρακτήρες στο μήκος. Το κείμενο επεξήγησης χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σύνολο ή το στοιχείο που προηγείται από αυτό και δε πρέπει να ξεπερνά τους 80 χαρακτήρες και όλοι να περιλαμβάνονται στην ίδια γραμμή.

Τα Περιεχόμενα του Μοντέλου ('Model Contents') μπορούν να περιλαμβάνουν όλες τις δηλωμένες εξισώσεις, οπότε αρκεί ο συμβολισμός 'all' για να εφαρμοστεί το μοντέλο σε όλες τις εξισώσεις. Σε διαφορετική περίπτωση, πρέπει να οριστούν οι ονομασίες των συγκεκριμένων εξισώσεων, που πρόκειται να μοντελοποιηθούν.

8.7.1 Χαρακτηριστικά Μοντέλου

Σε κάθε μοντέλο είναι δυνατό να δηλωθούν από το χρήστη κάποια χαρακτηριστικά για το μοντέλο με τη μορφή αριθμητικών τιμών. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τα αποτελέσματα που θα δώσει ο επιλυτής, είτε για κάποιες επιλογές που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία επίλυσης. Υπάρχει ένας αρκετά αξιόλογος αριθμός χαρακτηριστικών που μπορούν να εισαχθούν. Παρακάτω θα γίνει μια μικρή αναφορά μόνο σε όσα από αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη:

- ✓ Με την επιλογή '**iterlim**' (iteration limit) εννοείται το όριο των επαναλήψεων, που μπορούν να πραγματοποιηθούν για την επίλυση του μοντέλου.
- ✓ 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 0.1 (10%), αλλά όσο μικρότερη τιμή λάβει, τόσο ακριβέστερο αποτέλεσμα θα δώσει η επίλυση.

- ✓ Με την επιλογή 'bratio' ('basis acceptance test') ρυθμίζεται το ελάχιστο ποσοστό στοιχείων που οφείλει να εντοπίσει ο επιλυτής στο GAMS από τη βάση δεδομένων. Δηλαδή με τιμή προεπιλογής το 0.25 (25%), σε μοντέλο 1000 εξισώσεων, τότε το GAMS δεν θα προτείνει κάποια βάση πληροφοριών αν δεν έχει εντοπίσει πρώτα το 25%, δηλαδή 250 στοιχεία να συμπεριλάβει. Όσο πιο κοντά στο 1 επιλεγεί η τιμή του 'bratio' τόσο πιο δύσκολα θα εντοπιστεί βάση πληροφοριών, ενώ όσο πιο κοντά στο 0 τότε τόσο πιο πολλές πληροφορίες θα επιλεγθούν από το GAMS. (Mc Carl, 2008)

Στην παρούσα μελέτη, δηλώθηκε το όνομα του μοντέλου για το κάθε ξενοδοχείο ('HOT1', HOT2 κλπ), το οποίο περιλαμβάνει όλες ('all') τις προ-δηλωμένες εξισώσεις με όριο επαναλήψεων τις 100.000, τιμή απόκλισης από τη βέλτιστη λύση 0.01 και ποσοστό κάλυψης βάσης πληροφοριών 25%.

Παράλληλα, δηλώθηκε το Όνομα και του δεύτερου αρχείου εξόδου ('hot1_b2_ no action.out' κλπ), το οποίο παρουσιάζει τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την περίπτωση της μη εγκατάστασης μονάδων συμπαραγωγής και ψύξης με απορρόφηση στις ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις (capchp.fx = 0, capabs.fx = 0). Τέλος, ορίστηκε το περιθώριο ασφαλείας του συστήματος ψύξης ('clmargin'), η ικανοποίηση της ζήτησης ('lamda.fx = 0.5'):

Πίνακας 8-9 Ορισμός Μοντέλου παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

```
MODEL HOT1 /ALL/ ;
OPTION ITERLIM = 100000;
OPTION OPTCR = 0.01;
*option bratio = 0.25;

clmargin=1.2*smax((I,J),cldm(i,j));
LAMDA.FX=0.5;
*CAPCHP.FX=0;
*CAPABS.FX=0;
*FILE payofile /hot1_B2_ noaction.out/;
```

8.7.2 Ταξινόμηση των μοντέλων

Με το GAMS μπορούν να λυθούν διάφοροι τύποι προβλημάτων. Οι τύποι αυτοί παρουσιάζονται στο πίνακα 8.10. Σημαντικό είναι να υπάρχει ξεκάθαρη γνώση για τον τύπο του προβλήματος προτού επιχειρηθεί η λύση. Το GAMS έχει τη δυνατότητα να ελέγχει το μοντέλο στην επιλογή του τύπου του προβλήματος που σκέφτεται να χρησιμοποιήσει ο χρήστης και εμφανίζει επεξηγηματικά μηνύματα εάν ανακαλύπτει κακό συνδυασμό στην εφαρμογή των τύπων (π.χ., όταν ένα γραμμικό μοντέλο περιέχει μη γραμμικούς όρους). Αυτό συμβαίνει επειδή μερικά προβλήματα μπορούν να λυθούν με περισσότερους από έναν τρόπους, και ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ποιο τρόπο θέλει να χρησιμοποιήσει.

Πίνακας 8-10 Τύποι προβλημάτων που επιλύονται μέσω του GAMS

LP	Linear Programming - Γραμμικός Προγραμματισμός. Δεν περιλαμβάνει μη γραμμικοί όροι ή διακριτές (δυναδικές ή ακέραιες) μεταβλητές στο μοντέλο.
NLP	Non-Linear Programming - Μη Γραμμικός Προγραμματισμός. Περιλαμβάνει μη γραμμικούς όρους, που περιέχουν μόνο τις ομαλές συναρτήσεις του μοντέλου, αλλά χωρίς διακριτές μεταβλητές.
DNLP	Discontinuous Non-Linear Programming – Ασυνεχής Μη Γραμμικός Προγραμματισμός. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μη-ομαλοί μη-γραμμικοί όροι, όχι όμως οι διακριτές μεταβλητές.
MIP	Mixed Integer Programming – Μικτός Ακέραιος Προγραμματισμός Περιλαμβάνει διακριτές μεταβλητές, όχι όμως μη-γραμμικούς όρους.
RMIP	Relaxed Mixed Integer Programming - Χαλαρός Μικτός Ακέραιος Προγραμματισμός. Περιέχουν δυναδικές και ακέραιες μεταβλητές υπό τον όρο να παίρνουν τιμές μεταξύ των ορίων τους.
MINLP	Mixed Integer Nonlinear Programming - Μικτός Ακέραιος Μη Γραμμικός Προγραμματισμός. Περιέχουν μη-ομαλούς μη-γραμμικούς όρους και διακριτές μεταβλητές.
RMINLP	Relaxed Mixed Integer Nonlinear Programming - Χαλαρός Μικτός Ακέραιος Μη Γραμμικός Προγραμματισμός. Σε σχέση με το MINLP, περιέχει δυναδικές και ακέραιες υπό περιορισμούς.
MPEC	Mathematical Programs with Equilibrium Constraints - Μαθηματικά Προγράμματα με Περιορισμούς Ισορροπίας.
MCP	Mixed Complementarity Problem - Μικτό Πρόβλημα Συμπληρωματικότητας.
CNS	Constrained Nonlinear System - Μη γραμμικό σύστημα με περιορισμούς.

[Πηγή: Mc Carl, 2008]

8.8. Δήλωση Επίλυσης

Ύστερα από τη δήλωση του μοντέλου, το επόμενο βήμα είναι η επίλυση του χρησιμοποιώντας τη Δήλωση Επίλυσης ('Solve Statement'). Όταν το GAMS δει αυτή την εντολή ψάχνει τον κατάλληλο Επιλυτή ('Solver') από τη βιβλιοθήκη του, ώστε να βρει τον τύπο που ταιριάζει στην εφαρμογή. Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι το GAMS από μόνο του δε μπορεί να λύσει το κάθε πρόβλημα, αλλά περνά το πρόβλημα σε ένα από τους επιλυτές. Με λίγα λόγια το GAMS παίζει το ρόλο του μεσολαβητή στο πρόβλημα.

Γενικά η σύνταξη στο GAMS για ένα μοντέλο απλής δήλωσης είναι:

```
Solve Model Name Using Model Type Maximizing or Minimizing Equation Name;
```

Το Όνομα του Μοντέλου καθορίζεται από την πρότυπη δήλωση, το οποίο και επιλύεται Χρησιμοποιώντας ('Using') έναν από τους Τύπους του Μοντέλου ('Model Type'), που περιγράφονται στο πίνακα 8.10, Μεγιστοποιώντας ή Ελαχιστοποιώντας την Αντικειμενική Συνάρτηση.

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, δηλώνεται η επίλυση χρησιμοποιώντας Μικτό Ακέραιο Προγραμματισμό για την Ελαχιστοποίηση του Ετήσιου Κόστους του Συστήματος Τριπαραγωγής ενώ ζητείται και ο προσδιορισμός της συνολικής προμήθειας φυσικού αερίου για τις ανάγκες της μονάδας συμπαραγωγής και λέβητα:

Πίνακας 8-11 Δήλωσης Επιλύσεων Μοντέλου παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

```
SOLVE HOT1 USING MIP MINIMIZING ACOST ;  
ngsup=SUM(IVL, ENNGCG.L(IVL))+ENNGBL.L ;
```

8.9. Δήλωση για την Εμφάνιση Αποτελεσμάτων στο αρχείο εξόδου

Το GAMS επιτρέπει να εμφανιστούν όλες οι πληροφορίες του κώδικα του προβλήματος σε ένα αρχείο κειμένου, δηλαδή σε μορφή “.txt”. Επιπλέον δημιουργείται και το αρχείο της μορφής ‘model_name.OUT’. Για την επίδειξη περαιτέρω πληροφοριών χρησιμοποιείται η εντολή Εμφάνισης (‘Display’). Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν επιπλέον αρχεία εξόδου με τη παρακάτω πλήρη σύνταξη:

FILE Local File Identifier / External File Location / ;
PUT Local File Identifier ;
PUT ‘Item(s)’ ;

- ✓ ‘**FILE**’ είναι η εντολή, που χρησιμοποιείται για τη δήλωση αρχείων. ‘External File Location’ είναι το Όνομα του Εξωτερικού Αρχείου, όπου θα αποθηκευτούν τα αποτελέσματα,
- ✓ ‘**PUT**’ είναι η εντολή, που χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει το εξωτερικό αρχείο. Με το συμβολισμό ‘Local File Identifier’, εντοπίζεται το μέρος (εσωτερικό όνομα), που χρησιμοποιείται από το GAMS και όπου το αρχείο εξόδου θα οδηγηθεί. ‘Item(s)’ είναι το όνομα κάθε οντότητας, η οποία θα εισαχθεί στο αρχείο εξόδου, όπως επεξηγηματικά κείμενα, ετικέτες, παράμετροι, τιμές μεταβλητών ή εξισώσεων και οι οποίες αναγράφονται με πορτοκαλοκόκκινο χρωματισμό γραμμάτων.
- ✓ Με την εντολή ‘**PUT**’, μπορούν επίσης να δοθούν οι αριθμητικές τιμές στις οντότητες, που θα εισαχθούν στο αρχείο εξόδου, σύμφωνα με την σύνταξη:

PUT item 1: width: decimals, item 2: width: decimals, ... / ;
--

- Σύμφωνα με την παραπάνω σύνταξη, δηλώνεται αρχικά το όνομα της οντότητας.
- Στη συνέχεια, μετά το σύμβολο της άνω-κάτω τελείας (:), δηλώνεται το μέγιστο μήκος (‘width’) του πεδίου, όπου μπορούν να αναγραφούν οι αριθμητικοί χαρακτήρες της τιμής της οντότητας μαζί με τα ενδεχόμενα κενά διαστήματα διαχωρισμού.
- Τέλος, μετά το σύμβολο της άνω-κάτω τελείας (:), δηλώνεται ο αριθμός των δεκαδικών ψηφίων (‘decimals’), τα οποία θα μπορεί να λάβει η οντότητα. Στην περίπτωση που η

τιμή αυτή οριστεί μηδέν (0), προφανώς η τιμή της οντότητας θα είναι ακέραιος αριθμός.

Για παράδειγμα, με την εντολή: `put CAPCHP.L:9:2, CAPABS.L:5:0 /;` στο αρχείο εξόδου στην αρχή κάποιας γραμμής θα αναγραφούν οι τιμές των δύο μεταβλητών ως εξής:

- Οι 9 πρώτοι χαρακτήρες (μαζί με τα ενδεχόμενα κενά) θα δοθούν στην αριθμητική τιμή της οντότητας CAPCHP.L, εκ των οποίων οι δύο χαρακτήρες θα είναι δεκαδικά ψηφία, ενώ ένας χαρακτήρας θα είναι το σύμβολο του διαχωρισμού των δεκαδικών ψηφίων.
 - Στη συνέχεια οι επόμενοι 5 χαρακτήρες της γραμμής (μαζί με τα κενά) θα δοθούν στην αριθμητική τιμή της οντότητας CAPABS.L, η οποία είναι ακέραιος αριθμός με μηδενικά δεκαδικά ψηφία.
- ✓ Η εντολή 'Put close' χρησιμοποιείται για να ορίσει το κλείσιμο ενός αρχείου, και αναφέρεται στο τέλος της εκτέλεσης του προγράμματος GAMS. Η σύνταξη της είναι η ακόλουθη:

Put close Local File Identifier ;
--

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, δηλώθηκε το Όνομα του αρχείου εξόδου για το κάθε ξενοδοχείο (hot1_b2_.out, hot2_b2_.out κλπ), η Ονομασία και η Αριθμητική Τιμή των μεταβλητών απόφασης (όπως το ετήσιο κόστος, βέλτιστη δυναμικότητα μονάδας συμπαραγωγής, απορρόφησης και συμπίεσης, προμήθεια καυσίμου, εκπομπές CO₂ κλπ). Οι τιμές των μεταβλητών αυτών ουσιαστικά εκφράζουν τη Δομική και Διαστατική Αριστοποίηση των νέων μονάδων, που εισάγονται.

Πίνακας 8-12 Δήλωση Εμφάνισης Αποτελεσμάτων στο Αρχείο Εξόδου παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

<pre>FILE payofile /hot1_B2.out/; PUT payofile ; put ' ANNUAL_COST_€ CHP ABS CMP elppc elsold ngsup CO2(t)'; PUT ' ', ACOST.L:12:0 ; put CAPCHP.L:9:0, CAPABS.L:9:0, CAPCMP.L:9:0, ENELPC.L:11:0, ENELCGSL.L:11:0, ngsup:11:0, CO2.L:11:0 /; put /;</pre>

8.10. Δήλωση για υπολογισμούς σε βρόγχους

Το GAMS μπορεί να πραγματοποιήσει μια σειρά υπολογισμών και να ληφθούν αποτελέσματα, τα οποία θα εμφανιστούν στο αρχείο εξόδου σε μορφή πίνακα στοιχείων. Με τη χρήση της εντολής **LOOP** ('βρόγχος'), καθίσταται δυνατή η εκτέλεση μιας σειράς υπολογισμών για τα στοιχεία ενός συνόλου. Η σύνταξη της εντολής στο GAMS είναι η ακόλουθη:

```
Loop ( (sets_to_vary),  
Statements to execute  
);
```

Με την εντολή αυτή καθορίζονται τα σύνολα των στοιχείων ('sets to vary') και με βάση τους δείκτες ('indices') τους, θα γίνουν οι επαναλαμβανόμενοι υπολογισμοί βασιζόμενοι στην εντολή ('statement to execute') που ακολουθεί στην επόμενη γραμμή.

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, δηλώθηκαν 4 βρόγχοι επαναλαμβανόμενων υπολογισμών (λειτουργία μονάδας συμπαραγωγής, δύο μονάδων ψύξης και η αγορά ηλεκτρισμού από το δίκτυο για κάθε περίοδο (I,J)). Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στο αρχείο εξόδου σε πίνακες 12x24 και εκφράζουν τη Λειτουργική Βελτιστοποίηση των νέων μονάδων (πόσο θα δουλεύει η κάθε μονάδα στη διάρκεια μιας τυπικής μέρας του μήνα).

Πίνακας 8-13 Δήλωση Βρόγχων για την εμφάνιση τους στο αρχείο εξόδου παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

```

$ontext
  put / ;
  put 'Operation of CHP (kWe)'/;
  LOOP (I,
    LOOP (J,
      PUT ELCG.I(I,J):5:0;
    );
    put '/';
  ) ;
  put /;
  put 'Purchases from grid (kWe)'/;
  LOOP (I,
    LOOP (J,
      elgrid=ELPCDM.L(I,J)+ELPCCM.L(I,J);
      PUT elgrid:5:0;
    );
    put '/';
  ) ;
  put /;
  put 'Operation of Compression chillers (kWc)'/;
  LOOP (I,
    LOOP (J,
      PUT CLCMP.I(I,J):5:0;
    );
    put '/';
  ) ;
  put /;
  put 'Operation of Absorption chillers (kWc)'/;
  LOOP (I,
    LOOP (J,
      PUT CLAB.I(I,J):5:0;
    );
    put '/';
  ) ;
  put /;
$offtext
);

putclose payofile;
*$offtext

```

8.11. Δηλώσεις για το Δικριτηριακό Μοντέλο

Όσον αφορά την προέκταση της επίλυσης του Μοντέλο με Δικριτηριακό Γραμμικό Προγραμματισμό, χρειάστηκε να δηλωθούν επιπρόσθετα οι παρακάτω οντότητες στο αρχείο εισόδου του GAMS σε σχέση με τον προηγούμενο Μονοκριτηριακό Μοντέλο:

Στην παρούσα εργασία, δηλώθηκε το Δεξί Μέρος ('Right Hand Side' – RHS) στην ανίσωση του περιορισμού των εκπομπών CO₂, ο αριθμός των διαστημάτων ('Number of Grid points' – numg2) στα οποία θα χωριστούν οι ακραίες βέλτιστες λύσεις για την αντιστάθμιση, το βήμα μεταβολής των διαστημάτων (g2) καθώς και οι τιμές του πίνακα πληρωμών (p11, ..., p22). Επίσης, δηλώθηκε ως δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση οι Ετήσιες Εκπομπές CO₂ αρκεί να είναι μικρότερες κάθε φορά από το δεξί σταθερό μέλος το οποίο αρχικά ορίστηκε στα 1.000.000.

Πίνακας 8-14 Δηλώσεις Επιπλέον Οντοτήτων για το Δικριτηριακό Μοντέλο παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

SCALARS	
rhsCO2	Right Hand Side of the CO2 constraint in e-constraint
g2	Counter for e-constraint
numg2	Number of grid points / 20 /
p11,p12,p21,p22	Payoff Table Entries
FREE VARIABLES	
ACO2	Annual CO2 Emissions
EQUATIONS	
CONCO2	Inequality for e-constraint (CO2 amount)
EQ_CO2	CO2 equation
EQ_CO2..	ngCO2*(SUM(IVL,ENNGCG(IVL)) + ENNGBL)+ + eICO2*ENELPC=e=ACO2;
CONCO2..	ACO2 =l= rhsCO2;
MODEL	
rhsCO2=1000000;	

Στη συνέχεια, αντικαταστάθηκαν οι δηλώσεις επίλυσης στο Μονοκριτηριακό μοντέλο με τις παρακάτω δηλώσεις επίλυσης για το Δικριτηριακό μοντέλο. Αρχικά, δηλώνεται η πρώτη επίλυση χρησιμοποιώντας Μικτό Ακέραιο Προγραμματισμό για την Ελαχιστοποίηση του Ετήσιου Κόστους του Συστήματος Τριπαραγωγής και στη συνέχεια υπολογίζεται η αντίστοιχη εκπομπή CO₂. Στη συνέχεια, δηλώνεται και η δεύτερη επίλυση της Ελαχιστοποίησης των Εκπομπών CO₂ και ακολούθως υπολογίζεται το αντίστοιχο κόστος. Οι βέλτιστες τιμές αυτές αποτελούν τα στοιχεία του πίνακα πληρωμών, που αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.7.4.7.

Τέλος, δηλώθηκαν τα αποτελέσματα που θα εμφανιστούν στο αρχείο εξόδου, με τη προσθήκη της δήλωσης βρόγχου ('for') με την οποία θα γίνουν ($\text{numg}_2 + 1$) επαναλαμβανόμενοι υπολογισμοί με διαφορετική κάθε φορά τιμή του δεξιού μέλους (rhs_{CO_2}), η οποία προκύπτει από το βήμα μεταβολής (g_2) και τις τιμές του πίνακα πληρωμών για τις εκπομπές CO₂ σύμφωνα με τη μέθοδο των περιορισμών, που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.7.4.13 και 4.10.2.

Η Γενική σύνταξη μιας δήλωσης βρόγχου 'for' είναι η εξής:

```
for (scalar name = startvalue to endvalue,  
statements;  
);
```

Όπου:

- ✓ 'scalarname' είναι το όνομα της παραμέτρου, της οποίας η τιμή θα αλλάζει συνεχώς με σταθερό βήμα,
- ✓ 'startvalue' είναι η αρχική τιμή που θα λάβει η παράμετρος,
- ✓ 'endvalue' είναι η τελική της τιμή και όπου θα σταματήσουν οι υπολογισμοί,
- ✓ 'statements' είναι οι δηλώσεις στις οποίες εμπεριέχεται η εκάστοτε τιμή της παραμέτρου.

Πίνακας 8-15 Δηλώσεις Επίλυσης και Αρχείου Εξόδου για το Δικριτηριακό Μοντέλο παρούσης εργασίας στη γλώσσα GAMS

```

SOLVE HOT1 USING MIP MINIMIZING ACOST ;
p11=ACOST.L;
p12=ACO2.L;

SOLVE HOT1 USING MIP MINIMIZING ACO2 ;
p21=ACOST.L;
p22=ACO2.L;

FILE payofile /hot1_B2_CO2.out/;
PUT payofile ;
PUT 'payoff table'/;
put p11:15:2, p12:15:2 /;
put p21:15:2, p22:15:2 /;
put /;

put ' ANNUAL_COST_€ CO2 CHP ABS CMP elppc elsold
ngsup'/;

for (g2=0 to numg2,
  rhsCO2=p12-g2*(p12-p22)/numg2;
  SOLVE HOT1 USING MIP MINIMIZING ACOST ;
  ngsup=SUM(IVL, ENNGCG.L(IVL))+ENNGBL.L ;
  PUT ' ', ACOST.L:12:2, ACO2.L:9:2 ;
  put CAPCHP.L:9:0, CAPABS.L:9:0, CAPCMP.L:9:0, ENELPC.L:11:0,
  ENELCGSL.L:11:0, ngsup:11:0 /;

```

8.12. Έξοδος στο GAMS

Η Έξοδος ('Output') στο GAMS περιέχει πολλές επιλογές για τον έλεγχο και την κατανόηση ενός μοντέλου. Η έξοδος από μια εφαρμογή του GAMS παράγεται σε ένα αρχείο το οποίο μπορεί να διαβαστεί χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε συντάκτη κειμένων. Η έξοδος, που δημιουργείται κατά τη διάρκεια του αρχικού ελέγχου του προγράμματος, καλείται σύνταξη ('Compilation'). Περιέχει τα εξής μέρη:

8.12.1 Αποτύπωση του προγράμματος

Η Αποτύπωση ('Echo Print') του προγράμματος εισάγεται στο πρώτο μέρος του αρχείου εξόδου και ουσιαστικά αποτελεί ένα αντίγραφο του αρχείου εισόδου, όπου απαριθμούνται οι γραμμές του αρχείου εισόδου, τοποθετώντας στην αρχή κάθε γραμμής το αντίστοιχο νούμερο της. Οι αριθμοί γραμμών αναφέρονται πάντα στο φυσικό αριθμό των γραμμών στο αρχείο εισαγωγής. Για παράδειγμα, στην αποτύπωση της παρούσης εργασίας, φαίνεται η αρίθμηση τριών γραμμών με τον αριθμό τους στο αριστερό μέρος:

```
11 TABLE htdm(I,J) heat demand in i-th period of day in j-th month (kW)
180 ngcost cost of natural gas in euro per MWh / 30 /
381 SOLVE HOT3 USING MIP MINIMIZING ACOST ;
```

8.12.2 Αναφορά σφαλμάτων

Η αποτελεσματική ανίχνευση και αποκατάσταση των σφαλμάτων ('Error Report') αποτελούν σημαντικά μέρη οποιουδήποτε συστήματος διαμόρφωσης. Η εμπειρία δείχνει ότι στις περισσότερες εντολές σύνταξης κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων ανάπτυξης του μοντέλου ανιχνεύονται τα περισσότερα λάθη. Πολλά από τα χαρακτηριστικά λάθη που γίνονται με τις συμβατικές γλώσσες προγραμματισμού συνδέονται με έννοιες που δεν υπάρχουν στο GAMS και δημιουργούν προβλήματα στο χρόνο εκτέλεσης και είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Στο GAMS, τα λάθη επισημαίνονται πολύ νωρίς και αναφέρονται με τρόπο κατανοητό προς στο χρήστη συμπεριλαμβανομένων σαφών προτάσεων για το πώς να διορθώσει το πρόβλημα, και να βρει τη προέλευση του λάθους.

Όλα τα λάθη σημειώνονται με τέσσερις αστερίσκους «****» στην αρχή κάθε γραμμής στη λίστα εξόδου. Μετά την ανίχνευση του λάθους, πρέπει να γίνει η διόρθωση του και στην συνέχεια να γίνει η επανάληψη για την επίλυση του μοντέλου. Δεν μπορεί να λυθεί ένα μοντέλο ή να αποθηκευτεί ένα αρχείο εάν τα λάθη που έχουν ανιχνευθεί δεν έχουν λυθεί. Τα λάθη ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις στο GAMS: στη σύνταξη, εκτέλεση και επίλυση του μοντέλου. Στο τέλος, από την αποτύπωση του προγράμματος, ένας κατάλογος με αριθμημένα όλα τα λάθη που υπάρχουν, μαζί με μια περιγραφή της πιθανής αιτίας κάθε λάθους, θα τυπωθούν στο αρχείο εξόδου.

8.12.3 Χάρτης αναφοράς συμβόλων

Ο Χάρτης Αναφοράς Συμβόλων ('Symbol Reference Map') απαριθμεί όλες τις εντολές δηλώσεων (σύνολα, παράμετροι, πίνακες, μεταβλητές, εξισώσεις, μοντέλα, αρχεία εξόδου κλπ) σε αλφαβητική σειρά, τα ομαδοποιεί ανάλογα με τον τύπο τους, απεικονίζει τον αριθμό της γραμμής όπου εμφανίζονται και κατηγοριοποιεί την κάθε τους εμφάνιση.

Ο χάρτης αυτός είναι μια χρήσιμη παράμετρος του προγράμματος με πρακτική σημασία για εκείνους τους χρήστες, που εξετάζουν ένα μοντέλο που είναι φτιαγμένο από άλλον και θέλει να κάνει αλλαγές σε αυτό. Ο χάρτης αναφοράς συμβόλων μπορεί να εισαχθεί με την είσοδο μιας γραμμής που περιέχει το σύμβολο '\$onsymxref' στην αρχή του προγράμματος.

Στον επόμενο πίνακα 8.11 παρουσιάζονται οι τύποι των συμβόλων με την κωδικοποιημένη τους μορφή, ενώ στον πίνακα 8.12 επεξηγείται το είδος της δήλωσης για το κάθε σύμβολο:

Πίνακας 8-16 Τύποι συμβόλων, που εισάγονται στο χάρτη αναφοράς συμβόλων

Συντομογραφία συμβόλων στον χάρτη αναφοράς	Τύποι συμβόλων στο GAMS
EQU	Equation (εξίσωση)
MODEL	Model (μοντέλο)
FILE	Put file (δήλωση αρχείου)
PARAM	Parameter (παράμετρος, πίνακας, πίνακας στοιχείο)
SET	Set (σύνολο)
VAR	Variable (μεταβλητή)

[Πηγή: Mc Carl, 2008]

Πίνακας 8-17 Είδος δήλωσης του κάθε συμβόλου στο χάρτη αναφοράς συμβόλων

DECLARED	Δηλώνεται για πρώτη φορά κάποιο στοιχείο
DEFINED	Ορίζεται η εξίσωση, όπου περιέχεται κάποιο στοιχείο
ASSIGNED	Το στοιχείο εμφανίζεται στο αριστερό μέρος μιας δήλωσης
IMPL - ASN	Μία εξίσωση ή μεταβλητή θα ενημερωθεί ως αποτέλεσμα μιας δήλωσης επίλυσης
CONTROL	Ένα σύνολο χρησιμοποιείται ως δείκτης καθοδήγησης σε μια εντολή ανάθεσης, εξίσωση, βρόχο ή άλλη λειτουργία (sum, smax, smin).
REF	Το σύμβολο χρησιμοποιείται στο δεξί μέρος μιας εντολής ανάθεσης (εμφάνισης – εξίσωσης – δήλωση μοντέλου ή επίλυσης)

[Πηγή: Mc Carl, 2008]

8.12.4 Λίστα Εξισώσεων

Η Λίστα Εξισώσεων ('Equation Listing') παρέχει εξαιρετική χρησιμότητα στο πρόγραμμα. Παρουσιάζει με τρόπο αναλυτικό όλες τις εξισώσεις οι οποίες έχουν δηλωθεί στο αρχείο εισαγωγής. Συνήθως αναγράφονται σε μορφή μπλοκ, δηλαδή, σε κάθε μπλοκ αναγράφονται οι εξισώσεις υπολογισμού μιας συγκεκριμένης οντότητας για κάθε χρονική στιγμή ή κάθε διαφορετικό διάστημα. Όλοι οι όροι που εξαρτώνται από τις μεταβλητές οι οποίες περιέχονται στην εκάστοτε εξίσωση πηγαινούν στο αριστερό μέρος ('Left Hand Side' – LHS), και οι σταθεροί όροι στο δεξί μέρος ('Right Hand Side' – RHS) της κάθε εξίσωσης.

Συνήθως, οι πρώτες τρεις εξισώσεις παρουσιάζονται σε κάθε μπλοκ. Αν είναι παραπάνω από τρεις, τότε παραλείπονται οι υπόλοιπες και απλώς επισημαίνεται ο ακριβής αριθμός τους. Υπάρχει, φυσικά, η δυνατότητα ο χρήστης να ορίσει τον ελάχιστο αριθμό αναγραφής εξισώσεων για κάθε μπλοκ με χρήση της εντολής: Option limrow = r ; (με r, τον ελάχιστο επιθυμητό αριθμό εξισώσεων μπλοκ).

Για παράδειγμα, στην παρούσα εργασία, ένα μπλοκ στη λίστα εξισώσεων είναι το ακόλουθο, όπου οι 3 πρώτες εξισώσεις του μπλοκ του ισοζυγίου ανά χρονική περίοδο (I,J) στη μονάδα απορρόφησης αναγράφονται, ενώ οι υπόλοιπες παρόμοιες 285 παραλείπονται:

```

---- EQABBL =E= absorption unit balance
EQABBL(1,1).. 0.8*HTCGAB(1,1) + 0.8*HTBLAB(1,1) - CLAB(1,1) =E= 0 ; (LHS = 0)
EQABBL(1,2).. 0.8*HTCGAB(1,2) + 0.8*HTBLAB(1,2) - CLAB(1,2) =E= 0 ; (LHS = 0)
EQABBL(1,3).. 0.8*HTCGAB(1,3) + 0.8*HTBLAB(1,3) - CLAB(1,3) =E= 0 ; (LHS = 0)
REMAINING 285 ENTRIES SKIPPED
    
```

8.12.5 Λίστα Μεταβλητών

Το επόμενο τμήμα του αρχείου λίστας είναι η Λίστα Μεταβλητών ('Column Listing'). Παρουσιάζει την αριθμητική τιμή των συντελεστών της κάθε μεταβλητής που εμφανίζεται σε κάθε περιορισμό-εξίσωση και ταξινομούνται κατά στήλη μπροστά από το όνομα της εξίσωσης όπου η εκάστοτε μεταβλητή εμφανίζεται. Σε κάθε μπλοκ μεταβλητών αναγράφονται οι τρεις πρώτες καταχωρήσεις για κάθε μεταβλητή, μαζί με τα όρια και τα επίπεδα τιμών. Υπάρχει, φυσικά, η δυνατότητα ο χρήστης να ορίσει τον ελάχιστο αριθμό αναγραφής στηλών για κάθε μπλοκ μεταβλητών με χρήση της εντολής: Option limcol = c ; (με c, τον ελάχιστο επιθυμητό αριθμό εξισώσεων μπλοκ). Επίσης αναγράφεται και το εύρος τιμών τις οποίες μπορεί να λάβει η κάθε μεταβλητή οι οποίες μπορεί να κυμαίνονται από απείρως αρνητικό ('- Minus Infinity'), μηδέν (0), γύρω από το μηδέν ('eps') έως και απείρως θετικό ('+ Plus Infinity') ή να είναι απροσδιόριστες ('Undefined'), μη διαθέσιμες ('Not Available') κλπ.

Για παράδειγμα, στην παρούσα εργασία, ένα μπλοκ στη λίστα μεταβλητών είναι το ακόλουθο, όπου οι 3 πρώτες μεταβλητές του μπλοκ της πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο ανά χρονική περίοδο (I,J) αναγράφονται, ενώ οι υπόλοιπες παρόμοιες 285 παραλείπονται:

```
---- ELCGSL electricity from CHP sold to grid in month i period j
ELCGSL(1,1)
      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-1   EQELCGBL(1,1)
-31  EQENELSL
ELCGSL(1,2)
      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-1   EQELCGBL(1,2)
-28  EQENELSL
ELCGSL(1,3)
      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-1   EQELCGBL(1,3)
-31  EQENELSL
REMAINING 285 ENTRIES SKIPPED
```

8.12.6 Στατιστικά Μοντέλου

Τα Στατιστικά του Μοντέλου ('Model Statistics') παρέχουν πληροφορίες για το μέγεθος και τη γραμμικότητα του μοντέλου. Στην παρούσα μελέτη, υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός των μπλοκ των εξισώσεων και μεταβλητών, ο αντίστοιχος αριθμός των μονών εξισώσεων και μεταβλητών, ο αριθμός των μη μηδενικών στοιχείων και τέλος ο αριθμός των διακριτών μεταβλητών:

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	48	SINGLE EQUATIONS	5,321
BLOCKS OF VARIABLES	40	SINGLE VARIABLES	5,567
NON ZERO ELEMENTS	18,898	DISCRETE VARIABLES	881

8.12.7 Περίληψη Επίλυσης

Το GAMS παρουσιάζει μια σύντομη Περίληψη της Επίλυσης ('Solve Summary'), όπου αναγράφονται:

- ✓ το Όνομα του Μοντέλου και των Μεταβλητών Απόφασης,
- ✓ το Είδος και την Κατεύθυνση της Επίλυσης,
- ✓ το Όνομα της Επίλυσης και τον αριθμό της γραμμής όπου ξεκινά η επίλυση,
- ✓ η Βέλτιστη τιμή της Αντικειμενικής Συνάρτησης,
- ✓ ο Πραγματικός Χρόνος Επίλυσης και ο Μέγιστος Επιτρεπτός Χρόνος Επίλυσης ο οποίος ορίζεται συνήθως στα 1.000 δευτερόλεπτα,
- ✓ ο Πραγματικός Αριθμός Επαναλήψεων Επίλυσης και ο Μέγιστος Επιτρεπτός Αριθμός Επαναλήψεων ο οποίος ορίζεται συνήθως σε 1.000 επαναλήψεις,
- ✓ η Κατάσταση της Επίλυσης ('Solver Status'), δηλαδή αν η επίλυση ολοκληρώθηκε κανονικά ('normal completion'), αν οι επαναλήψεις διακόπηκαν (iteration interrupted), αν ο χρόνος επίλυσης τελείωσε, αν ο επιλυτής δεν είναι ικανός να βρει λύσεις ('non carable'), αν η επίλυση διεκόπη από το χρήστη κλπ,
- ✓ η Κατάσταση του Μοντέλου ('Model Status'), δηλαδή αν οι τιμές που προέκυψαν είναι βέλτιστες ('optimal'), τοπικά βέλτιστες, απεριόριστες ('unbounded'), ακατόρθωτες (infeasible'), τοπικά ακατόρθωτες, ενδιάμεσα ακατόρθωτες, ακέραιες, ενδιάμεσα μη ακέραιες, άγνωστες λόγω κάποιου λάθους ('unknown'), καμία λύση δεν προέκυψε ('non optimized'), είναι μοναδική κλπ. (Mc Carl, 2008).