



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ
ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (ΜΔΕ)
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΟΥ Π. ΡΟΥΜΠΟΥ

**«ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΠΟΛΛΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ
ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ»**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ ΜΠΑΤΖΙΑΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



00140656

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ, 2000.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡΧΗ	40656
COMP	27323
ΤΑΞΗ	303 793 2 ΡΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»

**«ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΠΟΛΛΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ
ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ
ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (ΜΔΕ)
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΟΥ Π. ΡΟΥΜΠΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ ΜΠΑΤΖΙΑΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στη σύζυγο μου , Κατερινα, για την αμεριστη συμπαρασταση και την ηθικη ενίσχυση που μου προσέφερε, όχι μόνο κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας , αλλά σε όλη τη διάρκεια του διετούς μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών .

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1

1. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΤΑΣΕΙΣ

3

1.1. Η εξέλιξη της βιομηχανίας ηλεκτρισμού στην Ελλάδα

3

1.2. Διεθνείς τάσεις

15

2. Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

17

3. ΔΥΝΑΤΕΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

21

4. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

27

4.1. Λιγνίτης

27

4.2. Φυσικό αέριο

38

4.3. Άνθρακας

53

4.4. Πετρέλαιο

58

5. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΛΗΨΕΩΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΥΠΟ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

5.1 Το γενικό πρόβλημα λήψης αποφάσεων

66

5.2. Η μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης στον
ενεργειακό σχεδιασμό.

67

5.3. Μέθοδοι Πολυκριτηριακού Μαθηματικού Προγραμματισμού

5.3.1. Διαμόρφωση του προβλήματος βελτιστοποίησης

74

5.3.2. Περιγραφή υποδείγματος (μοντέλου)
δυναμικού προγραμματισμού

77

6. Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ PROMETHEE

6.1. Θεωρητικό υπόβαθρο

81

6.2. Συναρτήσεις Χρησιμότητας των κριτηρίων

96

6.3. Διαμόρφωση εναλλακτικών λύσεων

107

6.4 Περιγραφή των κριτηρίων αξιολόγησης

109

6.5. Η μεθοδολογία

124

6.5.1. Περιγραφή της μεθόδου DELPHI

127

6.5.2. Πρώτο στάδιο: Καθορισμός των συντελεστών βαρύτητας

128

6.5.3. Δεύτερο στάδιο : Βαθμολόγηση των εναλλακτικών επιλογών

132

6.5.4. Τελικό στάδιο της μεθόδου DELPHI

136

7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

137

8. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

172

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

188

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ DELPHI

190

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

206

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

210

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

*Είγε, μου είτε, και ανάγνωση γνωρίζεις
Και πολλά μέλλει να μάθεις
αν το ασημαντο εμβραθύνεις*

*.....
Διάβασε και προσπάθησε και πολέμησε*

Οδυσσεας Ελύτης, Το Άξιον Εστί.

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε κατά το χρονικό διάστημα Μαΐου- Οκτωβρίου 2000 για τη μερική κάλυψη των απαιτήσεων με στόχο την απόκτηση του διπλώματος στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών με αντικείμενο την “Οργάνωση και διοίκηση βιομηχανικών συστημάτων” στην ειδικευση “Συστήματα διαχείρισης της ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος”. Το Μεταπτυχιακό αυτό Πρόγραμμα συνδιοργανώνεται από το Πανεπιστήμιο Πειραιώς και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Θέμα της εργασίας είναι «η **στοχαστική επιλογή σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πολλά κριτήρια και σε συνθήκες αβεβαιότητας**». Η εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του αναπληρωτή καθηγητή του Πανεπιστημίου Πειραιώς Φραγκίσκου Μπατζιά.

Πρωτίστως εκφράζω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Επιβλέποντα, Αναπληρωτή Καθηγητή, Φραγκίσκο Μπατζιά, για την καθοριστική συμβολή του σε όλα τα στάδια της εργασίας, από την έναρξή της έως και την ολοκλήρωσή της.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω θερμά έναν αριθμό επιστημόνων οι οποίοι συνέβαλαν με διάφορους τρόπους στην εκπόνηση της εργασίας :

Τον Επιτελικό Βοηθό Διευθυντή της Διεύθυνσης Ανάπτυξης Ορυχείων /ΔΕΗ και Επιστημονικό Συνεργάτη του ΕΜΠ, κ. Ακύλα Νικόλαο και

Τον Τομέαρχη της Διεύθυνσης Ανάπτυξης Ορυχείων /ΔΕΗ Δρα Λεοντίδη Μάρκο ,

για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους, αλλά και για τη συμπαράστασή τους καθ’ όλη τη διάρκεια του διετούς Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Τον αναλυτή συστημάτων κ. Α. Μπατζιά ο οποίος, για το υπολογιστικό μέρος της εργασίας, διέθεσε χρόνο και τμήμα του αναπτυχθέντος από τον ίδιο προγράμματος Η/Υ IPES.

Τους Εμπειρογνώμονες, ειδικούς σε ενεργειακά θέματα, που έλαβαν μέρος στην πρωτότυπη έρευνα βαθμολόγησης των κριτηρίων αξιολόγησης και των εναλλακτικών λύσεων με την τεχνική Delphi.

Τέλος , επιθυμώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού για την κάλυψη των διδάκτρων του Μεταπτυχιακού Προγράμματος, με την πεποίθηση ότι τα οφέλη είναι πολλαπλά.

Χρήστος Ρούμπος

Νοέμβριος 2000

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Άντσο», είπε ο Γουλιέλμος, «μπροστά σε ορισμένα ανεξήγητα γεγονότα πρέπει να προσπαθείς να φαντάζεσαι διάφορους γενικούς νόμους, χωρίς ακόμη να βλέπεις τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται με τα γεγονότα που σε απασχολούν ; και ξαφνικά στην απροσδόκητη σύνδεση ενός αποτελέσματος, κάποιων συνθηκών και ενός νόμου, διαγράφεται μπροστά σου μια συλλογιστική πορεία που φαίνεται πιο πειστική από τις άλλες..... Και αυτό κάνω τώρα. Συσχετίζω πολλά ασυνδεδετα στοιχεία και αποτολμώ υποθέσεις».

Ουμπέρτο Έκο, Το όνομα του Ρόδο.

Η ενέργεια θεωρείται ότι είναι ο κύριος μοχλός οικονομικής ανάπτυξης της σύγχρονης εποχής, αφού χρησιμοποιείται ως καταναλωτικό αγαθό ευρείας χρήσης ενώ παράλληλα αποτελεί βασικό συντελεστή παραγωγής σε όλες τις παραγωγικές δραστηριότητες. Ιδιαίτερα η ηλεκτρική ενέργεια, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων της (καθαρή μορφή ενέργειας, μεγάλη διαθεσιμότητα, ευκολία μεταφοράς, πολλές και ποικίλες εφαρμογές, ευκολία μέτρησης) παρουσιάζει πολύπλευρο ενδιαφέρον. Μέρος αυτού του ενδιαφέροντος αφορά τον τρόπο παραγωγής της.

Σε διεθνές επίπεδο και με βάση την έννοια της αιφόρου ανάπτυξης (sustainable development), δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η Ευρωπαϊκή Ένωση συγκεκριμένα, μέσα στα πλαίσια βασικά της προστασίας του περιβάλλοντος αλλά και της εξοικονόμησης ενέργειας, θέτει προτεραιότητες σχετικά με την οικονομικότητα αλλά και με τη φύση των πηγών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εξασφαλίζοντας όμως την ασφάλεια τροφοδοσίας και την ανταγωνιστικότητα των ενεργειακών συστημάτων.

Η λήψη, συνεπώς, αποφάσεων σχετικά με την εγκατάσταση νέων συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής απαιτεί πολύπλοκες διαδικασίες, οι οποίες παρουσιάζουν στοχαστικό χαρακτήρα λόγω των συνθηκών αβεβαιότητας που εμφανίζονται. Οι συχνά συγκρουόμενοι παράγοντες που υπεισέρχονται στη διαδικασία λήψης των σχετικών αποφάσεων, όχι μόνο δείχνουν τον πολυκριτηριακό χαρακτήρα του προβλήματος αλλά αντανακλούν και τη συμμετοχή ενός μεγάλου αριθμού ενδιαφερομένων.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του προβλήματος επιλογής ενός νέου σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και η εφαρμογή της μεθοδολογίας λήψης αποφάσεων με πολλά κριτήρια (πολυκριτηριακή ανάλυση) για τη επιλογή της βέλτιστης λύσης. Η τεχνική αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο και να καλύψει πληθώρα σχετικών προβλημάτων που παρουσιάζονται στην πράξη.

Η διάρθρωση της εργασίας έχει ως ακολούθως:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται συνοπτικά η εξέλιξη της βιομηχανίας ηλεκτρισμού στην Ελλάδα και περιγράφεται η σημερινή κατάσταση καθώς και οι διεθνείς τάσεις που επικρατούν.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναλύεται το πρόβλημα της πρόβλεψης σχετικά με τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, στην οποία τελικά βασίζεται ο σχεδιασμός της εγκατάστασης ενός νέου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται οι δυνατές επιλογές, με βάση τις διαθέσιμες τεχνολογίες, για την εγκατάσταση ενός νέου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** εξετάζεται η διαθεσιμότητα των πρωτογενών πηγών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** περιγράφεται το πρόβλημα της λήψης αποφάσεων υπό αβεβαιότητα, με τα βασικά στοιχεία που το συνθέτουν. Παράλληλα αναπτύσσεται το γενικό μοντέλο της πολυκριτηριακής ανάλυσης και οι αντίστοιχες μεθοδολογίες, ενώ περιγράφεται και ένα υπόδειγμα δυναμικού προγραμματισμού.

Στο **έκτο κεφάλαιο** περιγράφεται η μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης PROMETHEE σε συνδυασμό με την τεχνική Delphi, που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η ανάλυση /επεξεργασία των δεδομένων

Ακολουθεί (**όγδοο κεφάλαιο**) η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και η συζήτηση και τέλος, στο **ένατο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξαγονται καθώς και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στο παράρτημα παρουσιάζονται τα ερωτηματολόγια που δόθηκαν στους εμπειρογνώμονες, κατά τα τρία στάδια της τεχνικής Delphi.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνησή της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΤΑΣΕΙΣ

Μία μέρα το παρελθόν θα μας αφηνοιάσει
Με τη δύναμη της επικαιρότητας του

Οδυσσεάς Ελύτης, Άνοιχτά χαρτιά.

1.1. Η εξέλιξη της βιομηχανίας ηλεκτρισμού στην Ελλάδα

Η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον ελληνικό χώρο, ιδρύθηκε το 1889 από τη Γενική Εταιρεία Εργοληψιών.

Από το 1889 – που πρωτοφωτίστηκε το ιστορικό κέντρο της Αθήνας- έως το 1950, οι δραστηριότητες παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στον ελληνικό χώρο παρέμειναν διασπασμένες σε πολλές μικρές-κυρίως ιδιωτικές και ορισμένες δημοτικές – τοπικές ηλεκτρικές εταιρείες, με εξαίρεση την Ηλεκτρική Εταιρεία Αθηνών Πειραιώς που ανήκε σε αγγλικά συμφέροντα. Η ίδρυση της ΔΕΗ, ως Δημόσιας Επιχείρησης για την παραγωγή και διάθεση του ηλεκτρισμού σε ολόκληρο τον ελληνικό χώρο, το 1950, απετέλεσε τη μείζονα οργανωτική και θεσμική πρωτοβουλία στην ιστορία του κλάδου, που ήταν καθοριστική για την εξέλιξη της βιομηχανίας ηλεκτρισμού στην Ελλάδα.

Η ΔΕΗ ανέλαβε το ζωτικής σημασίας έργο του εξηλεκτισμού της χώρας, το οποίο προώθησε με ταχύτετους ρυθμούς και ολοκλήρωσε σχεδόν με απόλυτη επιτυχία, έως το τέλος της δεκαετίας του 1970, αφού το 1978 είχε ηλεκτροδοτηθεί το 85% των οικισμών και το 92% του πληθυσμού σε ολόκληρη την επικράτεια. Στις αρχές του 1990 είχε πλέον ηλεκτροδοτηθεί το 99,2% του πληθυσμού της Ελλάδος.

Έπειτα από μια αρχική δεκαετία συνύπαρξης της ΔΕΗ με μεμονωμένες ιδιωτικές ηλεκτρικές εταιρείες, τις οποίες απορρόφησε σταδιακά μέσω διαδικασιών εξαγοράς, η βιομηχανία ηλεκτρισμού απέκτησε το 1960 κάθετα ολοκληρωμένη διάρθρωση και περιήλθε εξολοκλήρου στο ελληνικό δημόσιο. Η περαιτέρω καθετοποίηση της βιομηχανίας ηλεκτρισμού προωθήθηκε με εντατικούς ρυθμούς στις δεκαετίες του 1970 και του 1980, με την ενσωμάτωση στη ΔΕΗ της εταιρείας των Λιγνιτωρυχείων της Πτολεμαΐδας (ΛΙΠΤΟΛ) το 1975 και την εντατική ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων.

Το σχήμα του κάθετα ολοκληρωμένου μονοπωλιακού οργανισμού, το οποίο κυριάρχησε διεθνώς για πολλές δεκαετίες, δικαιολογείται από το γεγονός ότι η παροχή ηλεκτρισμού θεωρήθηκε φυσικό μονοπώλιο, ώστε η ανάληψή της από μία μόνο επιχείρηση να είναι πιο αποδοτική από άποψη κόστους και οργάνωσης (Καλογήρου, 1998, Kunneke, 1998). Για να αξιοποιηθούν οι σημαντικές οικονομίες κλίμακας (economies of scale) απαιτείται ένα ελάχιστο μέγεθος αγοράς.

Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973/1974, παρατηρήθηκε μια γενικότερη δυναμική στροφή και στήριξη της ηλεκτροπαραγωγής στους εγχώριους λιγνίτες. Σημειώθηκε έτσι διαχρονική αύξηση της συμμετοχής του λιγνίτη στο ισοζύγιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μείωση της συμμετοχής του πετρελαίου.

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ αποτελείται από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Παραγωγής της Ηπειρωτικής Χώρας και τα ανεξάρτητα συστήματα Παραγωγής της Κρήτης, της Ρόδου και των υπόλοιπων μικρότερων νησιών.

Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ περιλαμβάνουν θερμικές και υδροηλεκτρικές μονάδες καθώς επίσης και ένα μικρό ποσοστό μονάδων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής της ΔΕΗ φτάνει τα 9385 MW στο τέλος του 1999. Η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής της ΔΕΗ και η καθαρή παραγωγή τους για το 1999 ανά τύπο καυσίμου φαίνονται στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1. Εγκατεστημένη ισχύς (31.12.1999) και καθαρή παραγωγή Η/Ε (έτος 1999) ανά τύπο μονάδων, στο διασυνδεδεμένο σύστημα.

ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ	MW	%	GWh	%
Λιγνιτικές	4900	52,3	29115	70,6
Πετρελαϊκές	856	9,1	3626	8,8
Φ. αερίου	537	5,7	3692	9,0
Υδροηλεκτρικές	3092	32,9	4798	11,6
ΣΥΝΟΛΟ	9385	100,0	41231	100,0

Η πρώτη ηλεκτροπαραγωγική μονάδα που τέθηκε σε λειτουργία από τη ΔΕΗ το έτος 1953 ήταν η θερμοηλεκτρική μονάδα του Αλιβερίου (2x40 MW) και ακολούθησε η υδροηλεκτρική του Λούρου (2x2,5 MW, το έτος 1954).

Στους πίνακες 1.2 και 1.3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά (έτος εγκατάστασης, εγκατεστημένη ισχύς, αριθμός μονάδων, περιοχή) όλων των θερμοηλεκτρικών και υδροηλεκτρικών σταθμών αντίστοιχα που ανήκουν στο διασυνδεδεμένο σύστημα της επιχείρησης και τέθηκαν σε λειτουργία έως το τέλος του 1999.

Οι θέσεις των θερμοηλεκτρικών και των υδροηλεκτρικών μονάδων στον ελλαδικό χώρο εμφανίζονται στο σχήμα 1.1.

Το διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής της ηπειρωτικής χώρας περιλαμβάνει κυρίως λιγνιτικούς σταθμούς που αποτελούν και τη βάση του συστήματος, και διαθέτει επιπλέον πετρελαϊκούς, υδροηλεκτρικούς και σταθμούς φυσικού αερίου. Τέλος υπάρχει και ένα μικρό αιολικό πάρκο στην Εύβοια. Δεκαεπτά λιγνιτικές μονάδες με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 4050 MW βρίσκονται στη Δυτική Μακεδονία και αποτελούν το κυριότερο ηλεκτροπαραγωγικό- λιγνιτικό κέντρο της χώρας. Το νότιο ηλεκτροπαραγωγικό- λιγνιτικό



Σχήμα 1.1 : Ατμοηλεκτρικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα 1-1-2000.

Πίνακας 1.2 Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής διασυνδεδεμένου συστήματος (1-1-2000)

Όνομα ΑΗΣ	Αρ. μονάδων	Εγκατ. Ισχύς (MW)	Έτος Εγκ/σης	Περιοχή
Αερ. Αργοστολίου	1	11,6	95	Κεφαλονιά
Αερ. Ζακύνθου	1	15,5	95	Ζάκυνθος
Αγ. Γεωργίου	2	360	97/98	Αττική
Αγίου Δημητρίου	5	1586,5	84/84/85/86/97	Δ. Μακεδονία
Αλιβερίου	4	380	53/53/68/69	Εύβοια
Αμυνταίου Φλώρινας	2	600	87/87	Δ. Μακεδονία
Καρδιάς	4	1200	74/75/80/81	Δ. Μακεδονία
Λαυρίου	2	450	72/73	Αττική
Αερ. Μ.Σ.Κ. Λαυρίου	2	115	96/96	Αττική
Ατλος Λαυρίου	1	62	96	Αττική
ΛΙΠΤΟΛ	2	43	59/65	Δ. Μακεδονία
Μεγαλόπολης	4	850	70/70/75/91	Πελοπόννησος
Πτολεμαΐδας	4	620	59/62/65/73	Δ. Μακεδονία
ΣΥΝΟΛΟ	34	6293,1		

Πίνακας 1.3. Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής διασυνδεδεμένου συστήματος (1-1-2000)

Όνομα ΥΗΣ	Αρ. μονάδων	Εγκατ. Ισχύς (MW)	Έτος Εγκ/σης	Περιοχή
Άγρα	3	69	54/54/69	Μακεδονία
Ασωμάτων	2	108	85/85	Μακεδονία
Βέροιας	2	1,8	29/29	Μακεδονία
Γκιώνα	1	8,5	88	Κεν. Ελλάδα
Θησαυρού	3	420	97/97/98	Θράκη
Καστρακίου	4	320	69/69/69/69	Κεντρ. Ελλάδα
Κρεμαστών	4	437	66/66/66/67	Κεντρ. Ελλάδα
Λάδωνα	2	70	55/55	Πελοπόννησος
Λούρου	3	10,3	54/54/64	Ήπειρος
Μακρυχώρι	3	10,8	92/92/92	Μακεδονία
Ν. Πλαστήρα	3	130	60/61/62	Κεντρ. Ελλάδα
Πατρών	1	1,6	27	Πελοπόννησος
Πηγές Αώου	2	244	90/91	Ήπειρος
Πλατανόβρυση	2	116	99/99	
Πολύφουτου	3	375	74/74/75	Μακεδονία
Πουρναρίου Ι	3	300	81/81/81	Ήπειρος
Πουρναρίου ΙΙ	2	32,4	98/98	Ήπειρος
Σερρών	3	0,7	31/31/31	Μακεδονία
Στράτου	4	156	88/88/89/89	Κεντρ. Ελλάδα
Σφηκιάς	3	315	85/85/86	Μακεδονία
ΣΥΝΟΛΟ	51	3092,1		

κέντρο βρίσκεται στο κέντρο της Πελοποννήσου, κοντά στην πόλη της Μεγαλόπολης και αποτελείται από τέσσερις μονάδες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 850 MW.

Οι δύο πετρελαϊκοί σταθμοί, με καύσιμο μαζούτ, του διασυνδεδεμένου συστήματος βρίσκονται στην Κεντρική Ελλάδα, σε σχετικά κοντινές προς την Αθήνα περιοχές. Ο πρώτος σταθμός, εγκατεστημένης ισχύος 380 MW βρίσκεται στο Αλιβέρι της Εύβοιας και ο δεύτερος, εγκατεστημένης ισχύος 450 MW, στο Λαύριο Αττικής. Οι μονάδες αυτές είναι είτε ατμοστροβιλικές, που καλύπτουν κυρίως ενδιάμεσα φορτία είτε αεριοστροβιλικές που καλύπτουν φορτία αιχμής.

Στο Λαύριο λειτουργεί επίσης, από το 1996, σταθμός φυσικού αερίου εγκατεστημένης ισχύος 177MW και από το έτος 2000 η νέα μονάδα, εγκατεστημένης ισχύος 570 MW.

Ο σταθμός Αγίου Γεωργίου στο Κερατσίνι είχε σταματήσει τη συνεχή λειτουργία του εδώ και πολλά χρόνια για περιβαλλοντικούς λόγους και επαναλειτούργησαν οι μονάδες 7 και 8 συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 360 MW μετά τη μετατροπή τους για καύση φυσικού αερίου.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί του συστήματος είναι διάσπαρτοι σε όλη τη χώρα και έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 3092,1 MW. Οι περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες είναι εγκατεστημένες στη Βόρεια και στη Δυτική Ελλάδα που διαθέτουν σημαντικούς υδάτινους πόρους.






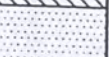
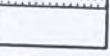
Στο διασυνδεδεμένο σύστημα ανήκουν επίσης και οι αεριοστροβιλικοί σταθμοί Αργοστολίου και Ζακύνθου, με καύσιμο ντίζελ, εγκατεστημένης ισχύος 11,6 MW και 15,5 MW αντίστοιχα.

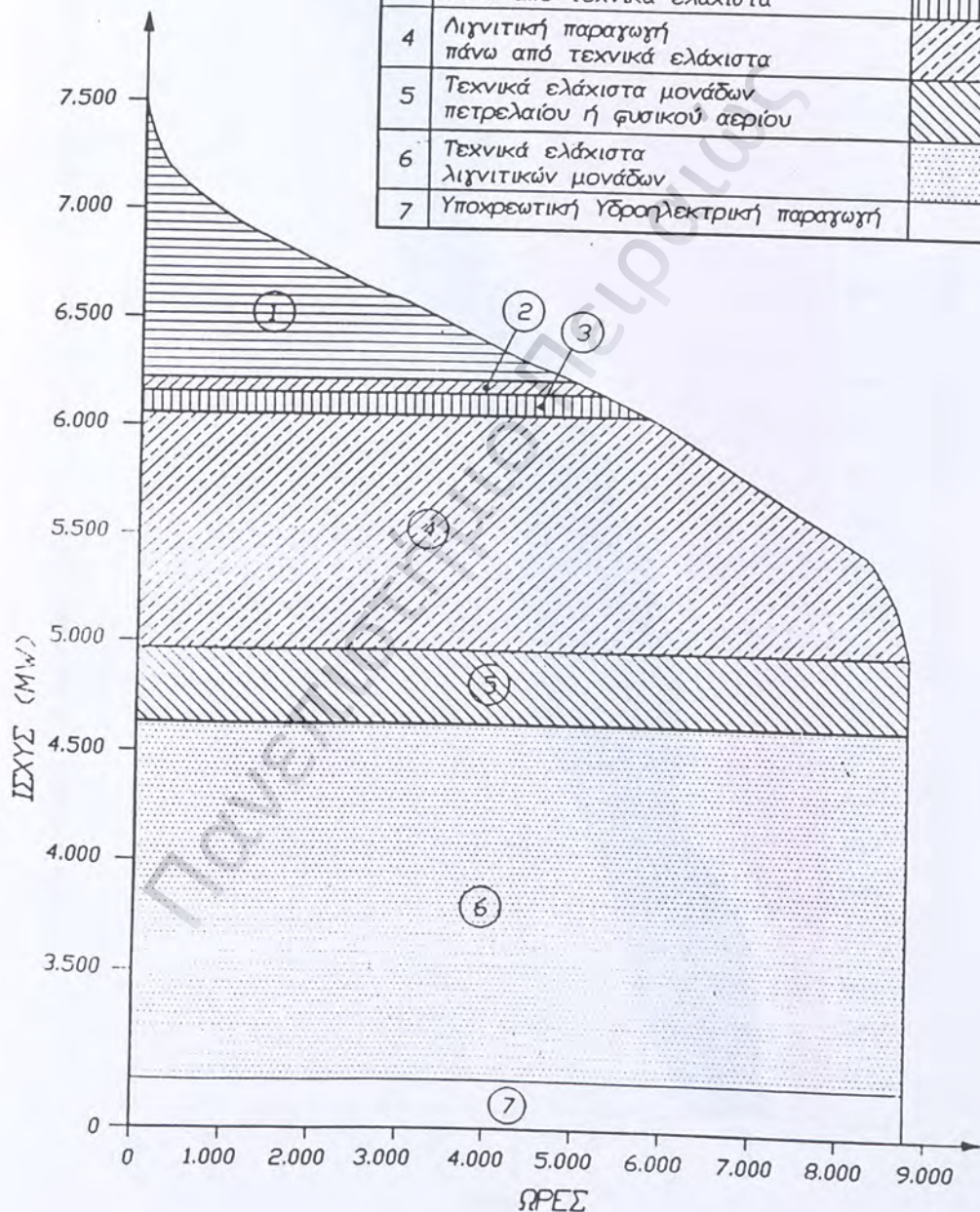
Στο σχήμα 1.2 απεικονίζεται η τυπική καμπύλη διάρκειας –φορτίου και η προτεραιότητα ένταξης των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στο σύστημα (Δρυμωνίτης κ.ά., 1999)

Στο σχήμα 1.3 εμφανίζεται η διαχρονική εξέλιξη της συμμετοχής των λιγνιτικών, υδροηλεκτρικών, πετρελαϊκών μονάδων, των Α.Π.Ε. και των μονάδων φυσικού αερίου στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και στο σχήμα 1.4 απεικονίζεται διαγραμματικά η εξέλιξη της καθαρής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (GWh) στο διασυνδεδεμένο σύστημα για τα έτη 1961- 1999.

Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζονται οι νέοι σταθμοί ή μονάδες υπό κατασκευή ή προβλεπόμενες να ενταχθούν στο σύστημα

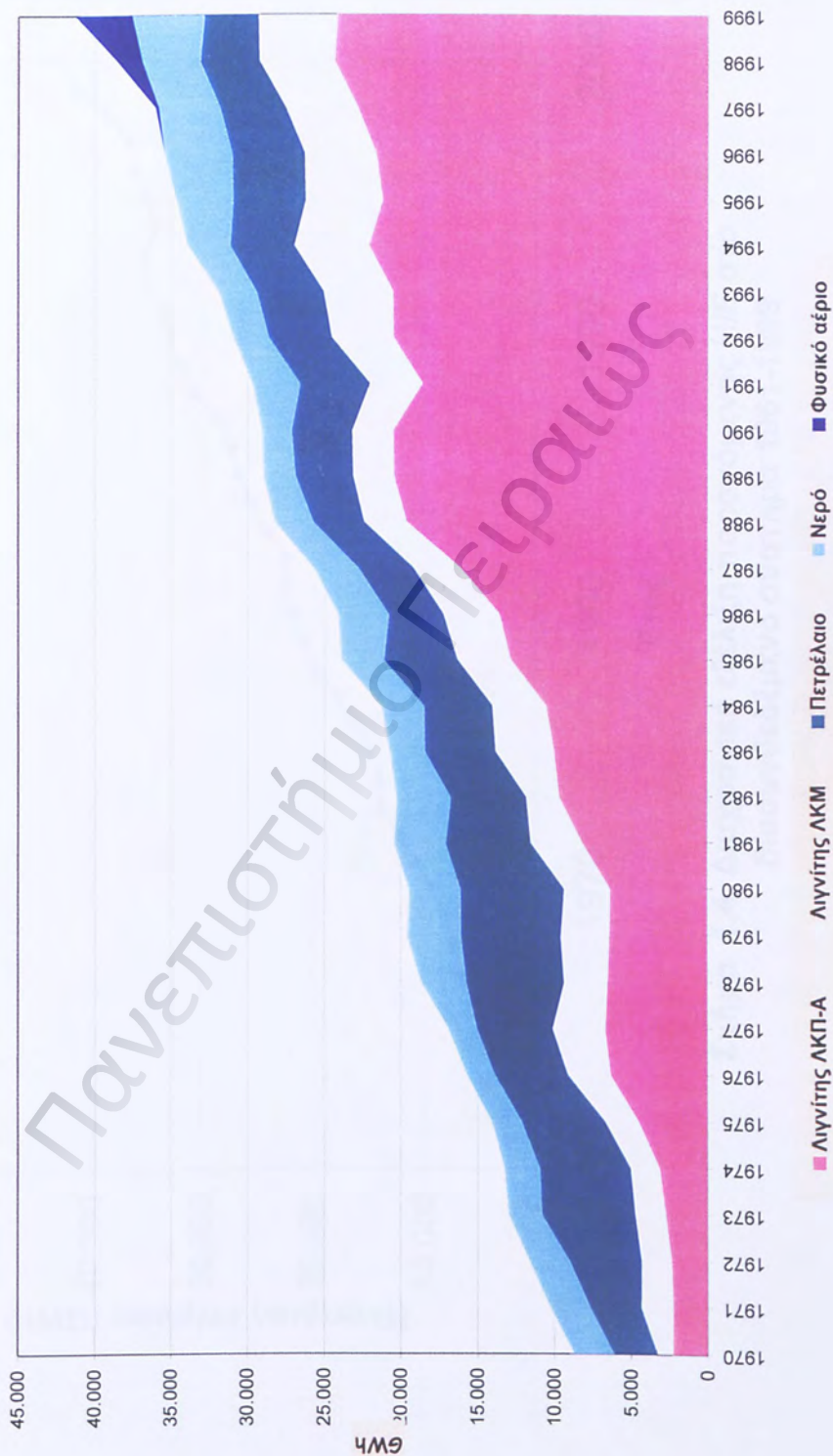
Στη χώρα μας υπάρχουν και μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ιδιωτών, “Αυτοπαραγωγοί” που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των δικών τους αναγκών και διαθέτουν την πλεονάζουσα παραγωγή τους στη ΔΕΗ. Στην Ηπειρωτική Ελλάδα η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων αυτών στο τέλος του 1998 ήταν 222 MW εκ των οποίων 130,7MW (59%) ήταν πετρελαϊκές, 39,5% MW(18%) ήταν μονάδες φυσικού αερίου και 51,8 MW (23%) χρησιμοποιούσαν διάφορα άλλα καύσιμα. Η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτές τις μονάδες ήταν 0,92 TWh για το 1998 και προήλθε κυρίως από πετρελαϊκές μονάδες (σχεδόν 75%).

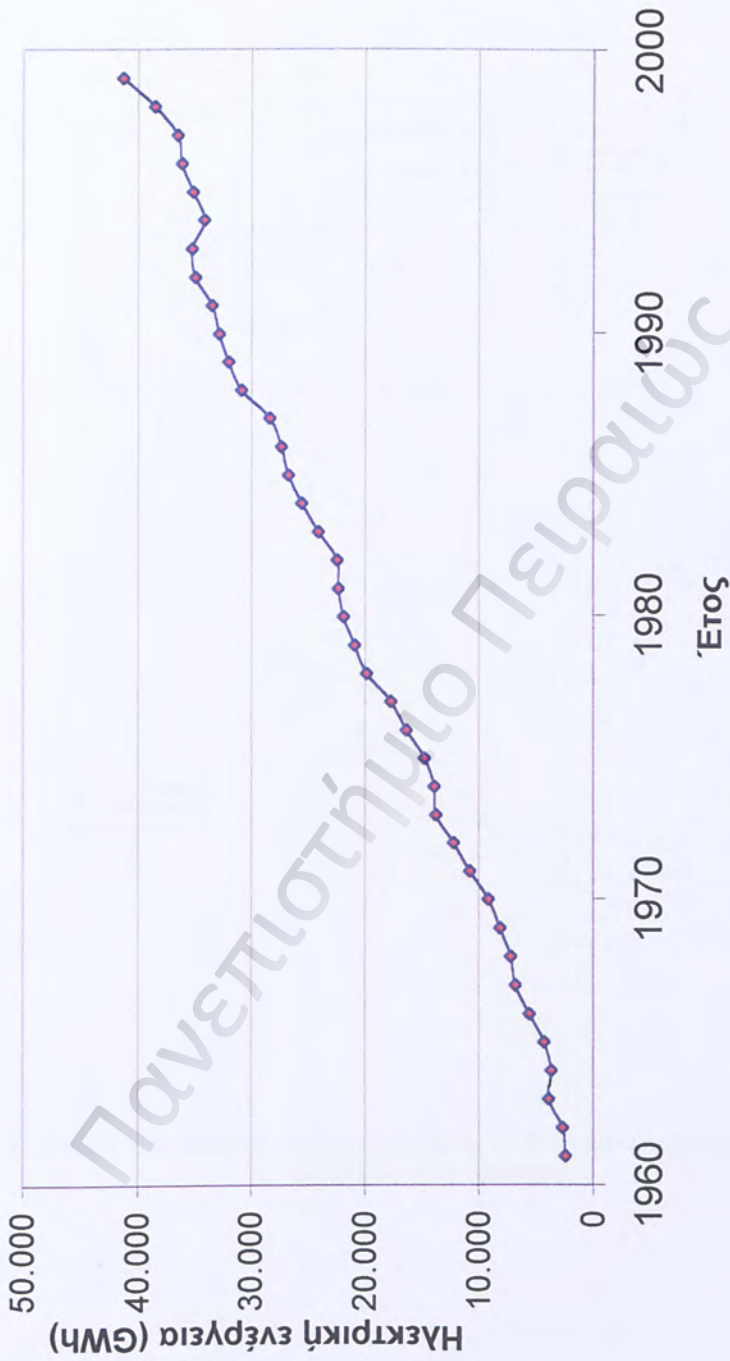
ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΕΝΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ		
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΜΒΟΛΟ
1	Αιχμή φορτίου καλυπτόμενη από Υδροηλεκτρική παραγωγή	
2	Αγορές - Ανταλλαγές	
3	Παραγωγή καλυπτόμενη από μονάδες πετρελαίου ή φυσικού αερίου πάνω από τεχνικά ελάχιστα	
4	Λιγνιτική παραγωγή πάνω από τεχνικά ελάχιστα	
5	Τεχνικά ελάχιστα μονάδων πετρελαίου ή φυσικού αερίου	
6	Τεχνικά ελάχιστα λιγνιτικών μονάδων	
7	Υποχρεωτική Υδροηλεκτρική παραγωγή	



Σχήμα 1.2. Τυπική καμπύλη διάρκειας - φορτίου

Σχήμα 1.3 Συμμετοχή διαφόρων πηγών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, 1970-1999





Σχήμα 1.4 Διαχρονική εξέλιξη παραγόμενης Η/Ε στο διασυνδεδεμένο σύστημα 1961-1999



Σχήμα 1.5. Νέοι σταθμοί, μονάδες υπό κατασκευή και μονάδες που πρόκειται να ενταχθούν στο σύστημα

Ορισμένες από τις μονάδες του διασυνδεδεμένου συστήματος έχουν εγκαταστάσεις συμπαραγωγής, δηλαδή εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν και θερμική ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση οικισμών της ευρύτερης περιοχής με τη μέθοδο της «τηλεθέρμανσης». Στον παρακάτω πίνακα 1.4 παρουσιάζονται οι υπάρχουσες μονάδες της ΔΕΗ με δυνατότητα παροχής θερμικής ενέργειας, οι προγραμματισμένες καθώς και οι προτεινόμενες μονάδες για εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής (Παπακωνσταντίνου και Καραγιάννης, 1998). Έτσι στις μονάδες με δυνατότητα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς αναφέρεται με το συμβολισμό MW_{el} και η θερμική ισχύς με MW_{th} .

Πίνακας 1.4. Μονάδες ΔΕΗ με δυνατότητα παροχής θερμικής ενέργειας.

Μονάδα	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Καθαρή Ηλεκτρική Ισχύς (MW_{el})	Θερμική Ισχύς (MW_{th})
Υπάρχουσες			
Πτολεμαίδα III	125,0	110	50
Αγ. Δημήτριος III	310,0	275	67*
Αγ. Δημήτριος IV	310,0	275	67*
Υπό κατασκευή			
Αγ. Δημήτριος V	366,5	320	70
Προγραμματισμένες			
Φλώρινα	330,0	292	70
Προτεινόμενες			
Αμύνταιο I	300,0	276	40
Αμύνταιο II	300,0	276	40
Μεγαλόπολη III	300,0	270	20

Όπου (*) εναλλακτικά από τη μονάδα III ή IV

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας αντιπροσωπεύει το 1,9% της συνολικής κατανάλωσης (2173 TWh) στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το 1998 (σχήμα 1.6).

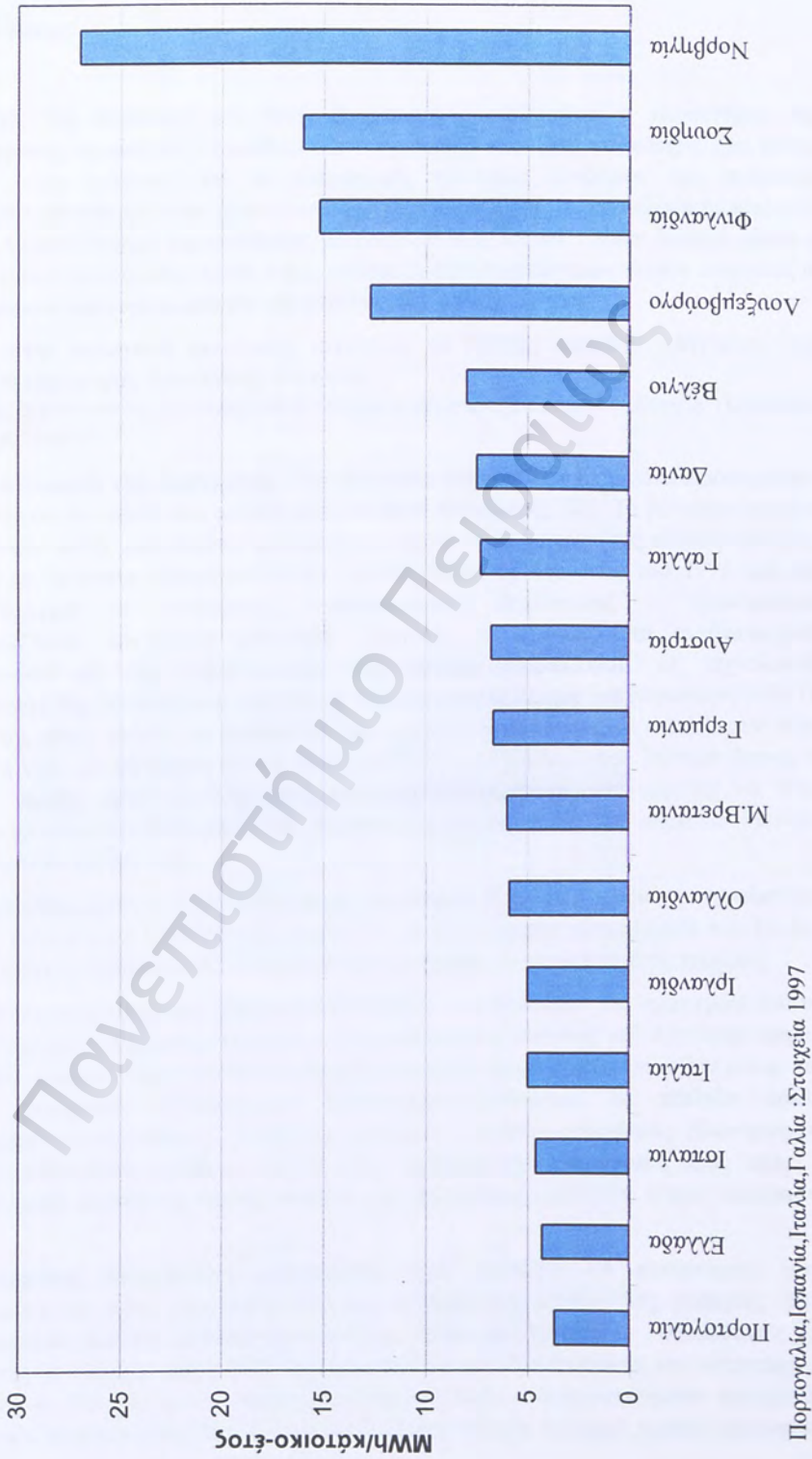
Τέλος στο σχήμα 1.7 απεικονίζεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (MWh / κάτοικο και έτος) σε διάφορες χώρες της Ευρώπης μεταξύ των οποίων και οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από τα δεδομένα του σχήματος συμπεραίνουμε ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ανά κάτοικο βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ ΤΟ 1998
2 173 TWh



Σχήμα 1.6. Ποσοστιαία κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση το έτος 1998

Σχήμα 1.7 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο και έτος (στοιχεία 1999)



1.2. Διεθνείς τάσεις

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, άρχισε να αμφισβητείται ο χαρακτήρας της ηλεκτροπαραγωγής ως φυσικό μονοπώλιο στον ευρωπαϊκό χώρο και γενικότερα στις χώρες του ΟΟΣΑ. Οι πολιτικές και οι οικονομικές συνθήκες ευνόησαν την ανάπτυξη ανταγωνιστικών συνθηκών στην ηλεκτροπαραγωγή. Παράλληλα, οι τεχνολογικές εξελίξεις διευκόλυναν το συντονισμό περισσότερων μονάδων σε ένα δίκτυο. Ήταν δυνατή πλέον η αποκέντρωση στην ηλεκτροπαραγωγή και η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες ευνοήθηκαν περαιτέρω από την περιβαλλοντική κρίση.

Οι εξελίξεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε διεθνές επίπεδο, οδήγησαν στην απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στη βιομηχανία ηλεκτρισμού περιλαμβάνουν (Kunneke, 1998, Steiner, 2000):

- **Την αποκέντρωση της παραγωγής.** Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται αξιοσημείωτη μετακίνηση σε πιο αποδοτικά μεγέθη των μονάδων παραγωγής Η/Ε. Το βέλτιστο μέγεθος των μονάδων ΑΗΣ εμφανίζεται μειωμένο σε σχέση με τα μεγέθη (της τάξεως των 600-800MW) με τα οποία κατασκευάζονταν μονάδες κατά τις δεκαετίες του 1970 και του 1980. Σήμερα τα συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας – ηλεκτρισμού κατασκευάζονται σε ακόμη μικρότερα μεγέθη και εμφανίζονται ανταγωνιστικά συγκρινόμενα με τις παραδοσιακές τεχνολογίες. Παράλληλα, οι τεχνολογίες εναλλακτικών πηγών ενέργειας αποτελούν ενδιαφέρουσες λύσεις για παραγωγή Η/Ε. Οι τεχνολογίες αυτές δίνουν τη δυνατότητα σε μικρούς παραγωγούς να συμβάλουν στην παραγωγή Η/Ε, με τη χρήση διπλής ροής (εξόδου και εισόδου) του δικτύου διανομής (bilateral energy network). Παρέχουν ευκαιρίες σε μεμονωμένους πελάτες να είναι λιγότερο εξαρτημένοι από μεγάλους παραγωγούς. Αυτό όμως δεν σημαίνει διανομή ηλεκτρισμού εκτός δικτύου.
- **Τη δυνατότητα ελέγχου του συστήματος μεταφοράς Η/Ε.** Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις προσφέρουν δυνατότητες ελέγχου της διαδρομής του ηλεκτρισμού στο δίκτυο, με την εισαγωγή διακοπών που ελέγχουν την πρόσβαση σε συγκεκριμένες γραμμές.
- **Την πολυ-λειτουργικότητα (multi-functionality) των δικτύων.** Τα ηλεκτρικά δίκτυα μπορούν τεχνικά να χρησιμοποιηθούν για περισσότερους σκοπούς απ' ό,τι είχαν αρχικά σχεδιασθεί. Σήμερα είναι τεχνικά εφικτή η μεταφορά τηλεφωνικών σημάτων μέσω των δικτύων μεταφοράς Ηλεκτρισμού. Παράλληλα βρίσκονται σε εξέλιξη πολλά προγράμματα για συνδέσεις διαδικτύου μέσω των δικτύων μεταφοράς Ηλεκτρισμού. Αφού η πολυ-λειτουργικότητα των δικτύων αυξάνει την οικονομική τους αξία, η απελευθέρωση μπορεί να δώσει κίνητρα για περαιτέρω ανάπτυξη στους παραπάνω τομείς.
- **Τις αυξημένες δυνατότητες διαχείρισης του φορτίου.** Οι καινοτομίες στην πληροφορική και στην τεχνολογία των επικοινωνιών προφέρουν νέες ευκαιρίες στην διαχείριση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, παρέχονται οι δυνατότητες για αύξηση της απόδοσης στη χρήση ηλεκτρισμού και για εξοικονόμηση της ενέργειας. Η διαχείριση, ο έλεγχος και η υποστήριξη διενεργούνται από προχωρημένα συστήματα τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών. Επιπρόσθετα, υπάρχει μεγάλο ερευνητικό

ενδιαφέρον στο πεδίο της προσωρινής αποθήκευσης ηλεκτρισμού, ιδιαίτερα σε μικρή κλίμακα. Στις επιλογές αναφέρονται οι μπαταρίες, ο συμπιεσμένος αέρας, καθώς και η παραγωγή υδρογόνου από τη διάσπαση του νερού με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Αναμένεται ότι η απελευθέρωση θα προωθήσει τέτοιες εξελίξεις.

- **Τις αυξημένες δυνατότητες για υποκατάσταση μεταξύ διαφόρων πηγών ενέργειας, ικανοποιώντας τις ίδιες απαιτήσεις ζήτησης.** Για διάφορες χρήσεις, ιδιαίτερα στη βιομηχανία, ο ηλεκτρισμός δεν είναι η μόνη πηγή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις διεργασίες παραγωγής ή κατανάλωσης. Συχνά το φυσικό αέριο, η θερμότητα ή το πετρέλαιο εμφανίζονται ως δυνατές επιλογές.

Η ψήφιση του νόμου 2244 του 1994, με τον οποίο καταργήθηκε το μονοπώλιο της ΔΕΗ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (δίνεται η δυνατότητα εισόδου στον κλάδο και ανεξάρτητων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας), σηματοδότησε την έναρξη μιας νέας εποχής στη βιομηχανία ηλεκτρισμού στην Ελλάδα, με ένα πιο ανταγωνιστικό μοντέλο οργάνωσης.

Στον ευρωπαϊκό χώρο, η πορεία προς την απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας ενεργοποιήθηκε μέσω δύο παράλληλων διεργασιών που όμως είχαν διαφορετικές ιδεολογικές αφετηρίες (Καλογήρου, 1998). Στη Μ. Βρετανία υιοθετήθηκε η νεοφιλελεύθερη προσέγγιση με έμφαση στην ιδιωτικοποίηση και στον κατακερματισμό των υπαρχόντων κρατικών επιχειρήσεων. Στις σκανδιναβικές χώρες δόθηκε έμφαση στην ενίσχυση μιας εξαρχής αποκεντρωμένης δομής (πραγματοστική – σοσιαλδημοκρατική προσέγγιση). Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έπειτα από συζητήσεις, διαβουλεύσεις και διαπραγματεύσεις οκτώ περίπου ετών, επέτυχε τελικά να εγκρίνει την οδηγία 96/92, που διαμορφώνει το νέο θεσμικό πλαίσιο της λειτουργίας της βιομηχανίας του ηλεκτρισμού στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η οδηγία, που τέθηκε σε ισχύ στις 19 Φεβρουαρίου του 1997, επιδιώκει τη δημιουργία μιας εσωτερικής αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ειδικότερα, η Οδηγία 96/92 προσδιορίζει τους κοινούς κανόνες και επιβάλλει το σταδιακό άνοιγμα της αγοράς με σημείο εκκίνησης τον Φεβρουάριο του 1999 για τις περισσότερες χώρες, με εξαίρεση το Βέλγιο και την Ιρλανδία (το 2000) καθώς και την Ελλάδα (το 2001). Η Οδηγία δεν φαίνεται να καθιερώνει ένα ενιαίο μοντέλο οργάνωσης της βιομηχανίας του ηλεκτρισμού – γεγονός που αντανακλά την πολυμορφία που επικρατεί στον ευρωπαϊκό χώρο – και δεν θέτει θέμα ιδιοκτησιακού καθεστώτος των ηλεκτρικών εταιρειών. Δημιουργεί όμως, τις προϋποθέσεις για μια νέα εποχή στην οργάνωση της παραγωγής και διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας με πιο αποκεντρωμένη και πολύμορφη διάρθρωση και οπωσδήποτε περισσότερο ανταγωνιστική λειτουργία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στη στατιστική διατύπωση το παρελθόν και το μέλλον διαδραματίζουν διαφορετικούς ρόλους.

Ilya Prigogine, Το τέλος της Βεβαιότητας

Για το σχεδιασμό ενός συστήματος ηλεκτροπαραγωγής είναι απαραίτητο το στοιχείο της μελλοντικής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Η εξέλιξη της ζήτησης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τις ενεργειακές αποφάσεις. Η βραχυχρόνια (ένα έως δύο έτη) πρόβλεψη εξέλιξης της ζήτησης έχει αποφασιστική σημασία για τον καθορισμό της οικονομικότερης λειτουργίας του συστήματος (Τσαρούχας και Βάσσος, 1994). Σχετίζεται με την ορθολογική χρήση των υπάρχουσών θερμικών και υδροηλεκτρικών μονάδων καθώς και των νέων παραγωγικών μονάδων που πρόκειται να ενταχθούν στον άμεσο χρονικό ορίζοντα αφού ληφθούν υπόψη :

- Τα αποθέματα και οι προμήθειες καυσίμων για τις θερμικές μονάδες
- Τα υδάτινα αποθέματα
- Οι προγραμματισμένες συντηρήσεις μονάδων
- Οι δυνατότητες οικονομικών ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας με άλλες χώρες

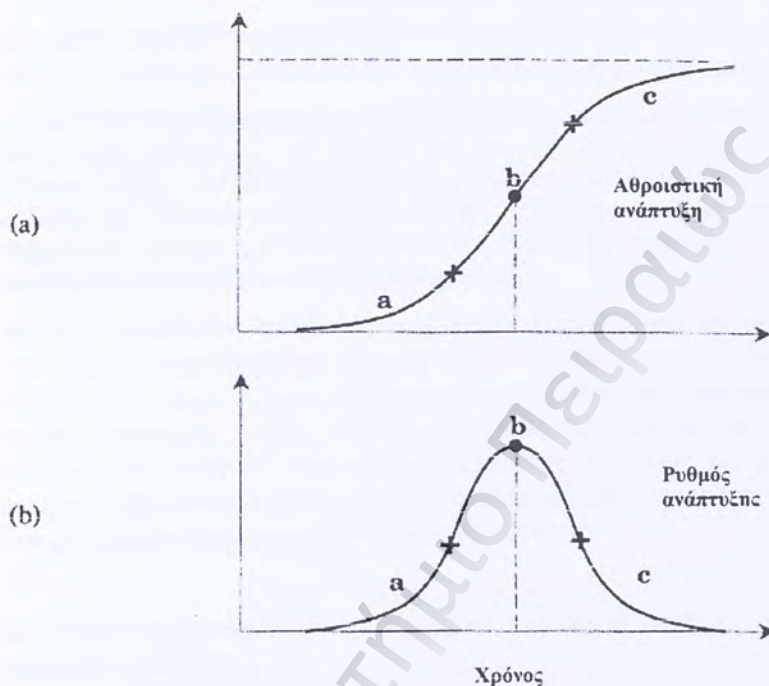
Η μακροχρόνια (πέραν των δύο ετών) πρόβλεψη της ζήτησης παρουσιάζει καθοριστική σημασία για την ένταξη νέων μονάδων στο σύστημα παραγωγής. Υπερεκτίμηση του ρυθμού αύξησης της ζήτησης μπορεί να οδηγήσει σε προγραμματισμό περιττών επενδύσεων και δεσμεύσεις μεγάλων κεφαλαίων λόγω του αυξημένου κόστους κατασκευής των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η μακροχρόνια ανάλυση και πρόβλεψη είναι απόλυτα ενδεδειγμένη λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής και απόσβεσης των μονάδων καθώς και του υψηλού κόστους απαξίωσης των μονάδων που δεν έχουν εξαντλήσει την οικονομική τους ζωή.

Η πρόβλεψη όμως της ζήτησης αποτελεί ένα δύσκολο και πολυσύνθετο πρόβλημα στο οποίο υπεισέρχονται πολλοί αβέβαιοι παράγοντες.

Κάθε προϊόν, στη συγκεκριμένη περίπτωση η ηλεκτρική ενέργεια, έχει έναν «κύκλο ανάπτυξης» ή αύξησης παραγωγής.

Πράγματι, σε σχετικά σταθερά συστήματα παρατηρείται ότι ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής ή της κατανάλωσης ενός προϊόντος που έχει σταθερά χαρακτηριστικά και δεν υποκαθίσταται από άλλα, παρουσιάζει σε γενικές γραμμές αρχικά ανοδική και στη συνέχεια καθοδική πορεία έως ότου φθάσει σε σημείο μηδενισμού (Σκιαδάς κ.α., 1989, Μόδης, 1995). Ο ρυθμός αυτός ακολουθεί μία κωδωνοειδή καμπύλη και η

αθροιστική ανάπτυξη διαγράφει τη μορφή ενός S (σιγμοειδής καμπύλη) όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1. Οι φάσεις που διακρίνονται αναφέρονται στην εισαγωγή, στην ανάπτυξη, στην ωριμότητα και, τέλος, στην παρακμή του προϊόντος.



Σχήμα 2.1 Αθροιστική ανάπτυξη (σιγμοειδής καμπύλη (a)) και ρυθμός ανάπτυξης (κωδωνοειδής καμπύλη (b))

Τα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης που βασίζονται στις παραπάνω καμπύλες αναπτύσσονται, λαμβάνοντας υπόψη τα ιστορικά δεδομένα και τις τάσεις του παρελθόντος.

Σύμφωνα με τα στοιχεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για το διασυνδεδεμένο δίκτυο προκύπτει ότι η αντίστοιχη καμπύλη έχει περάσει το σημείο καμπής. Αναμένεται, συνεπώς, αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλότερους ρυθμούς σε σύγκριση με τα προηγούμενα έτη.

Για τα επόμενα έτη, σύμφωνα με τις γενικότερες προβλέψεις αναμένεται αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα με ετήσιο ρυθμό της τάξεως των 2,8 έως 3,5% έως το 2010 και με μειούμενο ρυθμό στη συνέχεια (Mylonas & Joumard, 1999),

Αντίθετα, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη και στη Ρόδο, λόγω ιδιαίτερων συνθηκών, εμφανίζει υψηλούς ρυθμούς αύξησης. Για την επόμενη πενταετία προβλέπεται μέσος ρυθμός αύξησης 6% για τις περιοχές αυτές.

Η πρόβλεψη όμως της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας συναρτάται άμεσα με το ρυθμό οικονομικής ανάπτυξης της χώρας και με τις επιλογές των καταναλωτών. Μεσοπρόθεσμα, η εξέλιξη της ζήτησης αναμένεται να επηρεαστεί από το ρυθμό αύξησης των φορτίου κλιματισμού, από το βαθμό και το ρυθμό υποκατάστασης ηλεκτρικού φορτίου με φυσικό αέριο το οποίο θα διεισδύσει σταδιακά και αναπόφευκτα στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.

Με την υποκατάσταση των θερμικών χρήσεων της ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην οικιακή κατανάλωση και κεντρική θέρμανση, στο εμπόριο και τη βιοτεχνία θα μειωθούν οι ρυθμοί αύξησης της ζήτησης ισχύος, αλλά και δαπανηρές ενέργειας αιχμής (Τσαρούχας, 1996). Συνεπώς, θα μετατεθούν χρονικά οι απαιτούμενες εντάξεις νέων σταθμών στο σύστημα. Επομένως, οι ρυθμοί και η ένταση της εισαγωγής του φυσικού αερίου είναι ένα απαραίτητο δεδομένο για τη σύνταξη των μεσομακροπρόθεσμων αναπτυξιακών προγραμμάτων.

Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος θα επηρεαστεί επιπλέον και από τους παρακάτω παράγοντες :

- Από τα μέτρα εξοικονόμησης της ενέργειας. Τα κατάλληλα μέτρα πρέπει να είναι αποδοτικά και να εφαρμοσθούν με συνέπεια. Ιδιαίτερα σε περιφερειακό επίπεδο υπάρχει η δυνατότητα για καλύτερη θεώρηση των υφιστάμενων δυνατοτήτων για εξοικονόμηση ενέργειας.
- Από τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς (κυρίως όσον αφορά τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου).
- Από την τιμολογιακή πολιτική στην ηλεκτρική ενέργεια.
- Από την εξέλιξη των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παράταση της ζωής των παλαιών μονάδων, τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης και αξιοπιστίας τους και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης μειώνει την εξάρτηση από ενεργειακές πρώτες ύλες και ταυτόχρονα βελτιώνει την ασφάλεια εφοδιασμού, παράλληλα η αύξηση αυτή επιφέρει θετικά αποτελέσματα στην προστασία του περιβάλλοντος. Ένα σημαντικό εμπόδιο για την υλοποίηση των επενδύσεων ιδιαίτερα για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις αποτελεί η αδυναμία τους να αποκτήσουν εύκολα κεφάλαια και τεχνογνωσία. Βασικό στοιχείο αποτελεί η βελτιστοποίηση του ισοζυγίου παροχής και ζήτησης ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη και την ποιότητα διαφόρων μορφών ενέργειας.

- Από την ανάπτυξη των μονάδων συμπαραγωγής θερμότητας – ηλεκτρισμού. Η εκμετάλλευση απορριπτόμενης θερμότητας και η εφαρμογή της συμπαραγωγής σε εγκαταστάσεις μικρής ισχύος για την εξυπηρέτηση πολλών καταναλωτών θα συμβάλουν στην βελτιστοποίηση της ενεργειακής υποδομής σε τοπικό επίπεδο
- Από την ανάπτυξη των διεθνών διασυνδέσεων και διαφαινόμενες δυνατότητες για ανταλλαγή σχετικά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ της Ελλάδας και των γειτονικών χωρών.

Παράλληλα, η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τον Φεβρουάριο του 2001 και η ανάπτυξη ανταγωνισμού αναμένεται να επηρεάσουν τη βιομηχανία ηλεκτροπαραγωγής.

Για την πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον τα μεθοδολογικά εργαλεία της μακροοικονομικής και της τεχνολογικής προσέγγισης (Διακουλάκη, 1999). Η μακροοικονομική προσέγγιση βασίζεται στην πρόβλεψη των μακροοικονομικών μεγεθών και στη συσχέτισή τους με την ενεργειακή ζήτηση (οικονομετρικά μοντέλα). Χρησιμοποιεί επίσης μοντέλα γενικής ισορροπίας με τα οποία γίνεται η πρόβλεψη της συνολικής εξέλιξης της οικονομίας στη βάση της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Η τεχνολογική προσέγγιση του προβλήματος βασίζεται στην πρόβλεψη της εξέλιξης προσδιοριστικών παραμέτρων της ζήτησης και στη συνέχεια εφαρμογή των τεχνικών μοντέλων. Τα τεχνικά μοντέλα όμως παρουσιάζουν δυσκολία στη συλλογή των δεδομένων και αβεβαιότητα ως προς τις μελλοντικές εξελίξεις πολλών από τις παραμέτρους. Οι προβλέψεις με τα μοντέλα αυτά απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στα δεδομένα και κατά συνέπεια μεγάλο όγκο πληροφοριών και υπολογισμών. Τα στοιχεία όμως αυτά δεν είναι εφικτά σε ένα αβέβαιο περιβάλλον (Μόδης 1995). Από την άλλη πλευρά όμως τα μακροοικονομικά μοντέλα τα οποία εξετάζουν μακροσκοπικά τα ενεργειακά σύστημα, ενώ παράλληλα υποβαθμίζουν την τεχνολογική διάσταση, παρουσιάζουν πολλές αβεβαιότητες ως προς τις τιμές των συντελεστών συσχέτισης ενέργειας και οικονομίας. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από αδιαφάνεια και δυσκολία ελέγχου των παραμέτρων.

Γενικά τα μακροπρόθεσμα μοντέλα αύξησης παρουσιάζουν αβεβαιότητες ιδιαίτερα για μεγάλο χρονικό ορίζοντα όπως συμβαίνει με το σχεδιασμό ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΥΝΑΤΕΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Ο δικαστής συνέχισε με ένα αγνό χαμόγελο : «Αυτός ο θρασυς παλιάνθρωπος μας στάθηκε χρήσιμος. Μας υπενθύμισε έναν σπουδαίο κανόνα που πρέπει να έχει παντοτε στο νου του ο ερευνητής εγκλημάτων. Σύμφωνα μ' αυτόν, δεν πρέπει ποτέ κανείς να υποκύπτει στον πειρασμό και να προσκολλάται πεισματικά σε μία θεωρία.....Αλλά, μια και είχε την άποψή του, προσαρμόσε σε αυτήν κάθε νέο γεγονός, αντί να εξετάσει κατά πόσον αυτά τα καινούρια γεγονότα δεν πρέπει να τον κάνουν να την αναθεωρήσει»

Robert van Gulic. Το μυστηριώδες παραβάν
(μια κινέζικη ιστορία με το δικαστή TL)

Το κύριο θέμα που απασχολεί τους υπευθύνους για την ενεργειακή πολιτική σε όλες τις χώρες – μέλη της Διεθνούς Οργάνωσης Ενέργειας, είναι η οριοθέτηση των ρόλων των κυβερνήσεων στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας που απελευθερώνεται προοδευτικά. Τα δύο επιμέρους θέματα που αντιμετωπίζονται είναι η κλιματική αλλαγή και γενικότερα η περιβαλλοντική διατάραξη, για την αντιμετώπιση της οποίας πρέπει να ληφθούν μέτρα για να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ και το δεύτερο είναι η αναθεώρηση των κανονιστικών διατάξεων που αφορούν τα ενεργειακά δίκτυα, όπως είναι αυτά της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου, ώστε να ελαττωθεί ο κρατικός έλεγχος, με στόχο την ανάπτυξη του ανταγωνισμού.

Σύμφωνα με τη γενικότερη φιλοσοφία της αειφόρου ανάπτυξης (sustainable development), κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος ηλεκτροπαραγωγής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η οικονομική, η περιβαλλοντική, η κοινωνική και η γεωπολιτική διάσταση. Οι κύριοι στόχοι (core objectives) περιλαμβάνουν (European Commission, 1999):

- Την ασφάλεια τροφοδοσίας : αναφέρεται στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων και των επιπτώσεων πιθανής διακοπής (disruption) της τροφοδοσίας στην οικονομία και κοινωνία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Την ανάπτυξη ανταγωνιστικών ενεργειακών συστημάτων : εξασφάλιση χαμηλού κόστους ενέργειας για τους παραγωγούς και τους καταναλωτές και συμβολή στη βιομηχανική ανταγωνιστικότητα και στους γενικότερους στόχους (objectives) της κοινωνικής πολιτικής.
- Την προστασία του περιβάλλοντος, η οποία είναι ενσωματωμένη (integrated) στην παραγωγή αλλά και στη χρήση της ενέργειας, για να διατηρηθούν όσο είναι δυνατόν οι οικολογικές και οι γεωφυσικές ισορροπίες στη φύση.

Η προσέγγιση των παραπάνω θεμάτων διαφέρει από χώρα σε χώρα και εξαρτάται από την υπάρχουσα φυσική και θεσμική δομή της ενεργειακής βιομηχανίας, τις διαθέσιμες ενεργειακές πηγές και τις προοπτικές για την αύξηση της ζήτησης ενέργειας και τις απαιτούμενες επενδύσεις.

Οι **συμβατικοί σταθμοί παραγωγής** που θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις ηλεκτρενεργειακές ανάγκες της χώρας, με βάση τις διαθέσιμες τεχνολογίες και το επίπεδο ανάπτυξης του διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού συστήματος είναι:

- Λιγνιτικές μονάδες της τάξεως ισχύος των 300MW με καύσιμο εγχώριο λιγνίτη

Λόγω της μεγάλης σπουδαιότητας που παρουσιάζει η καύση διαφόρων ειδών άνθρακα (γαιανθράκων) έχουν αναπτυχθεί και προωθηθεί “καθαρές” και αποδοτικές τεχνολογίες για την καύση του γαιάνθρακα σε νέες μονάδες και για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις ήδη λειτουργούσες. Οι τεχνολογίες “καθαρής καύσης” χαρακτηρίζονται τόσο από υψηλότερους βαθμούς απόδοσης όσο και από περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα.

Οι νέες τεχνολογίες καύσης λιγνίτη δεν έχουν σημαντική εμπορική διείσδυση ούτε στον ευρωπαϊκό χώρο αλλά ούτε και παγκοσμίως. Με την εγκατάσταση ολοκληρωμένων συστημάτων αεριοποίησης συνδυασμένου κύκλου (Integrated Gasification Combined Cycle IGCC) ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται σε 42-45% (Γεωργούλης κ.α. 1997) , από 33-35% που είναι συνήθως και μειώνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις .

Οι κύριες κατηγορίες των τεχνολογιών αναφέρονται σε διαδικασίες προετοιμασίας του καυσίμου πριν από την καύση του, σε αποδοτικές τεχνικές καύσης με μειωμένες εκπομπές και σε συστήματα δέσμευσης των ρύπων στα καυσαέρια. Ήδη βρίσκεται σε εξέλιξη ένα παρόμοιο πρόγραμμα για αναβάθμιση μονάδων στην Τσεχία και αναμένεται εμπορική λειτουργία μετά το έτος 2005.

- Μονάδες συνδυασμένου κύκλου (αεριοστροβίλου – ατμοστροβίλου) ισχύος της τάξεως των 440-600 MW με καύσιμο φυσικό αέριο. Οι μονάδες αυτές μπορούν να δεχθούν ως καύσιμο και πετρέλαιο κατά την εκκίνηση ή σε περιπτώσεις έλλειψης φυσικού αερίου.
- Ανθρακικές μονάδες ισχύος της τάξεως των 600MW με καύσιμο εισαγόμενο λιθάνθρακα.
- Πετρελαϊκές μονάδες της τάξεως των 600 MW

Όσον αφορά την πυρηνική ενέργεια, υπάρχει συμφωνημένη δέσμευση για μη εγκατάσταση πυρηνικών μονάδων (σύμφωνα με όλες τις προβλέψεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το 2020 δεν συμμετέχει η πυρηνική ενέργεια στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα) αλλά υπάρχει και μεγάλος προβληματισμός λόγω της μεγάλης σεισμικότητας του ελληνικού χώρου.

Όσον αφορά τις **ανανεώσιμες πηγές** ενέργειας διακρίνουμε δύο κατηγορίες.

1. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις ήδη ώριμες τεχνολογίες της αιολικής ενέργειας, της υδροηλεκτρικής ενέργειας, της γεωθερμικής ενέργειας και της ενέργειας από αποτέφρωση απορριμμάτων.
2. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τη φωτοβολταϊκή ενέργεια και τη ενέργεια από τη βιομάζα για τις οποίες αναμένεται σημαντική τεχνολογική πρόοδος μετά το έτος 2015.

Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή αποτελεί στρατηγική επιλογή της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των χωρών – μελών της και η ανάπτυξη τους υποστηρίζεται με θεσμικά και οικονομικά μέτρα..

Οι ερευνητικές προσπάθειες που αναπτύχθηκαν κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες οδήγησαν σε ώριμες τεχνολογίες με ανταγωνιστικό κόστος παραγωγής, καθώς και στη δημιουργία αντίστοιχων βιομηχανιών και κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι ο διπλασιασμός της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό ισοζύγιο στο σύνολο των χωρών-μελών της κατά την προσεχή δεκαετία ώστε να φθάσει στο 12% το 2010. Στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής ο στόχος είναι υψηλότερος και εκτιμάται ότι η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να είναι της τάξης του 23,5% κατά το 2010. Η νέα Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αναμένεται να εκδοθεί σύντομα περιλαμβάνει αυτόν το φιλόδοξο στόχο.

Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά οι διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

- **Αιολικά πάρκα**

Η αιολική ενέργεια αναμένεται να καταστεί ιδιαίτερα συμφέρουσα στα νησιά. Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτει προτεραιότητες σχετικά με την ανάπτυξη και διείσδυση της αιολικής ενέργειας και η ευρωπαϊκή τεχνολογία στον τομέα αυτόν είναι πρωτοπόρος.

Το αιολικό δυναμικό της χώρας μας είναι αρκετά υψηλό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ΔΕΗ διαθέτει σήμερα αιολικά πάρκα ισχύος 24 MW (στοιχεία 1998). Για τα αμέσως επόμενα χρόνια προγραμματίζεται από τη ΔΕΗ η κατασκευή αιολικών πάρκων συνολικής ισχύος 10MW στην Κρήτη και 5 MW στην Ρόδο. Με τον Ν.2244/94 δίνεται η δυνατότητα για περαιτέρω αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τους ιδιώτες παραγωγούς το ενδιαφέρον των οποίων επικεντρώνεται κυρίως στην αιολική ενέργεια.

- **Υδροηλεκτρικά έργα ανταγωνιστικού κόστους.**

Η κατασκευή μικρών υδροηλεκτρικών έργων αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική προοπτική.

Τα ποιοτικά ενεργειακά χαρακτηριστικά των υδροηλεκτρικών έργων (Τσαρούχας και Βάσσοσ, 1994) είναι :

1. Η αυξημένη ταχύτητα απόκρισης
2. Η δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος.
3. Η δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας
4. Η αυξημένη διαθεσιμότητα

Ο αποθηκευμένος όγκος νερού στους ταμιευτήρες (ιδιαίτερα σημαντικός αν αναπτυχθεί το σύνολο του εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού) αποτελεί υποκατάστατο θερμικής στρεφόμενης και ψυχρής εφεδρείας .

Ως έργα πολλαπλών χρήσεων (άρδευση, ύδρευση , ιχθυοτροφεία, τουρισμός κ.λ.π.) και αποκεντρωτικού χαρακτήρα μπορούν να συντελέσουν κατά τον καλύτερο τρόπο στην περιφερειακή ανάπτυξη. Η τεχνολογία τους είναι ώριμη και δοκιμασμένη και υπάρχει σημαντικό δυναμικό για μικρά Υ/Η ενώ οι δυνατότητες για νέα μεγάλα Υ/Η εμφανίζονται περιορισμένες

• Γεωθερμική ενέργεια

Είναι δοκιμασμένη και ανταγωνιστική και παρουσιάζει σημαντικό δυναμικό για εφαρμογές μέσης και χαμηλής ενθαλπίας Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται στα κτήρια. Στη χρήση της όμως για ηλεκτροπαραγωγή παρουσιάζονται προβλήματα αποδοχής από το κοινό.

Το απολήψιμο γεωθερμοηλεκτρικό δυναμικό της χώρας εκτιμάται σε 200 –3000 MW η εκμετάλλευσή του στοχεύει καταρχήν στην ενίσχυση του ηλεκτρικού ισοζυγίου των Κυκλάδων, των Δωδεκανήσων και της Λέσβου. Η γεωθερμία εκτός από την παραγωγή Η/Ε μπορεί να αξιοποιηθεί και στον αγροτικό τομέα (θέρμανση θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιέργειες κ.λ.π.) υποκαθιστώντας άλλες μορφές ενέργειας.

• Φωτοβολταϊκά συστήματα

Παρουσιάζουν αυξημένο κόστος αλλά είναι ανταγωνιστικά τα απομονωμένα συστήματα. Απαιτούν τεράστιες επενδύσεις για αύξηση της παραγωγής ενώ δίνεται έμφαση στις εφαρμογές σε κτήρια. Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού παρουσιάζουν ευρεία διάδοση στη χώρα μας με καλές προοπτικές για περαιτέρω εξάπλωση. Τα φωτοβολταϊκά και τα θερμικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού έχουν περιορισμένη διάδοση και δεν αναμένεται εντυπωσιακή εξάπλωση τα επόμενα χρόνια. Η βιοκλιματική όμως αρχιτεκτονική φαίνεται ότι θα έχει σημαντική ανάπτυξη στο μέλλον.

Συνεχίζεται η έρευνα και η εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων. Βρίσκονται ήδη σε λειτουργία (στοιχεία του έτους 1998) φωτοβολταϊκές μονάδες συνολική ισχύος 220 kWp στην Κύθηνο, στα Αντικύθηρα, στη Γαύδο και σε άλλα 25 νησιά του

Αιγαίου. Ο στόχος για την περίοδο έως το 2003 είναι να εγκατασταθούν νέα φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος 1000 kWp.

• Βιομάζα

Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας αποτελεί μία σημαντική προοπτική ανανεώσιμης ενέργειας. Η αντίστοιχη τεχνολογία χρησιμοποίησης γεωργικών παραπροϊόντων και προϊόντων ενεργειακών καλλιεργειών αναπτύσσεται και αξιοποιείται για παραγωγή βιομηχανικής θερμότητας, βιοηλεκτρισμού και υγρών βιοκαυσίμων. Στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως συμπληρωματικό καύσιμο σε θερμικές μονάδες που χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε μονάδες καύσης φυσικού αερίου έπειτα από εξαερίωση.

Η ανάπτυξη της βιομάζας συνδέεται με την κοινή αγροτική πολιτική και με τις ενεργειακές καλλιέργειες, την ανάπτυξη τεχνολογιών συμπαραγωγής και τεχνολογιών παραγωγής υγρών καυσίμων. Το βασικό στοιχείο είναι το κόστος των πρώτων υλών.

Οι πιο χαρακτηριστικές και διαδεδομένες εφαρμογές εκμετάλλευσης της βιομάζας είναι οι ακόλουθες

1. Συμπαραγωγή για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης – ψύξης ή και ηλεκτρισμού γεωργικών και άλλων βιομηχανιών και τηλεθέρμανση παραπλησίον κοινοτήτων.
2. Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών
3. Θέρμανση θερμοκηπίων
4. Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή (βιοαιθανόλη)
5. Παραγωγή υγρών καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή (βιοέλαιο)
6. Παραγωγή βιοαερίου (κτηνοτροφικά λύματα, βιομηχανικά και αστικά απόβλητα)
7. Παραγωγή οργανικών λιπασμάτων.

Η ΔΕΗ μελετά τη δυνατότητα αξιοποίησης της Βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή σε νησιά του Αιγαίου (Χίος- Λέσβος) με την κατασκευή σε πρώτη φάση πιλοτικών έργων.

Η συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού ενθαρρύνεται με το νέο θεσμικό πλαίσιο του νόμου 2244/94. Η δυνατότητα αυτή ,σε συνδυασμό με τη διείσδυση του φυσικού αερίου, αναμένεται ότι θα ενθαρρύνει την ανάληψη επενδύσεων σε μονάδες συμπαραγωγής από μεγάλες επιχειρήσεις με μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (τσιμεντοβιομηχανία, μεταλλουργία κ.λ.π.). Η συμπαραγωγή αναμένεται να αυξήσει επίσης την αποδοτικότητα του ενεργειακού συστήματος της χώρας.

Στις μελλοντικές προοπτικές περιλαμβάνονται οι ηλιοθερμικοί σταθμοί, η παλιρροιακή ενέργεια και η ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα.

Τέλος, οι μακροπρόθεσμες επιλογές (σήμερα βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης) περιλαμβάνουν την κυματική ενέργεια, τα θερμά –ξηρά πετρώματα, την αεριοποίηση και πυρόλυση βιομάζας, την παραγωγή υδρογόνου ή και άλλων καυσίμων από βιομάζα. και τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ωκεανών

Η ανάπτυξη εντασσόμενη στο γενικό προγραμματισμό ενεργειακής πολιτικής δεν πρέπει να βασίζεται μόνο σε οικονομικά κριτήρια αλλά εκτός από την ελαχιστοποίηση του κόστους ανάπτυξης θα πρέπει να έχει στόχο την ταυτόχρονη ικανοποίηση των κριτηρίων της αξιοπιστίας και της επάρκειας του συστήματος. Παράλληλα πρέπει να εξασφαλίζεται η σταθερότητα του συστήματος, η ελαχιστοποίηση των απωλειών και η παροχή υψηλής ποιότητας ενέργειας στους καταναλωτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Φαίνεται ότι η αγορά απομακρύνεται από μια ορισμένη πηγή ενέργειας πολύ προτού εξαντληθούν τα αποθέματα τουλάχιστον σε παγκόσμιο επίπεδο.

Θ. Μόδης, Προβλέψεις

4.1 ΛΙΓΝΙΤΗΣ

Οι λιγνίτες είναι γαιάνθρακες που σχηματίζονται στα πρώτα στάδια ενανθράκωσης, αμέσως μετά την τυρφογένεση (οι γαιάνθρακες ταξινομούνται ως προς τα στάδια σχηματισμού τους από τα πρώτα έως τα τελευταία με την παρακάτω σειρά : τύρφη, λιγνίτης, υποβιτουμενιούχος άνθρακας, βιτουμενιούχος άνθρακας και ανθρακίτης). Γενικά, ο όρος «ορυκτοί άνθρακες» στην ευρύτερή του έννοια, περιλαμβάνει μία μεγάλη σειρά μεταμορφωσιγενών στερεών ενεργειακών ορυκτών, από την τύρφη μέχρι τον ανθρακίτη, που καλύπτουν κάθε δυνατή παραλλαγή και συνδυασμό βαθμού ενανθράκωσης και γεωλογικών συνθηκών απόθεσης – εξέλιξης, οργανοχουμικών ιζημάτων που προέρχονται από τη συγκέντρωση ποσοτήτων νεκρής φυτικής ύλης. Όταν τα αρχικά βιογενή ιζήματα είναι κυρίως ζωικά (μικροοργανισμοί που συνιστούν το πλαγκτόν) τότε η εξέλιξη οδηγεί σε υγρά ή αέρια ενεργειακά ορυκτά που δεν είναι άλλα από τους υδρογονάνθρακες (πετρέλαιο και φυσικό αέριο) (Ακύλας, 1990).

Η τύρφη, ο λιγνίτης και οι υποβιτουμενιούχοι άνθρακες χαρακτηρίζονται ως ορυκτοί άνθρακες χαμηλής ποιοτικής στάθμης (lower ranks), ενώ οι βιτουμενιούχοι άνθρακες και ο ανθρακίτης θεωρούνται ορυκτοί άνθρακες υψηλής ποιοτικής στάθμης (hard coals). Τα βασικά συστατικά των γαιανθράκων είναι η οργανική ή καύσιμη ύλη, η οποία περιλαμβάνει τα πτητικά συστατικά και τον μόνιμο άνθρακα, η υγρασία και η τέφρα που αποτελείται από τα ανόργανα γαιώδη συστατικά των λιγνιτών.

Από όλα τα πρωτογενή καύσιμα ο λιγνίτης ξεχωρίζει για το μεγάλο μέγεθος των βεβαιωμένων αλλά και εκμεταλλεύσιμων παγκόσμιων αποθεμάτων, σε αντίθεση με τον ανθρακίτη, του οποίου τα αποθέματα είναι μεν τεράστια, αλλά σε μεγάλα κυρίως βάθη που δημιουργούν ερωτηματικά ως προς την εκμεταλλευσιμότητά τους.

Παρουσιάζει επίσης μεγαλύτερη γεωγραφική εξάπλωση σε σχέση με τα άλλα συμβατικά καύσιμα, ενώ από γεωλογική άποψη εντοπίζεται κυρίως στα ανώτερα στρώματα του στερεού φλοιού της γης. Για τον λόγο αυτόν, τα αποτελέσματα των κοιτασματολογικών ερευνών παρουσιάζουν μικρότερο επιχειρηματικό ρίσκο και μεγαλύτερη αξιοπιστία, σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη τα οποία προκύπτουν από τις έρευνες που διεξάγονται για τον εντοπισμό κοιτασμάτων των υπόλοιπων συμβατικών ενεργειακών ορυκτών (π.χ. υδρογονάνθρακες)

Στον πίνακα 4.1 καταγράφονται τα παγκόσμια εκμεταλλεύσιμα αποθέματα γαιανθράκων κατά κατηγορίες στο τέλος του έτους 1999, μεταξύ των οποίων και οι λιγνίτες (πηγή Β.Ρ.,2000). Όπως θα δούμε παρακάτω, τα αποθέματα που δίνονται για τους ελληνικούς λιγνίτες, είναι υποεκτιμημένα. Τα μεγαλύτερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα υποβιτουμενιούχων ανθράκων και λιγνιτών βρίσκονται στις ΗΠΑ και ακολουθούν οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, η Κίνα, η Δυτική Ευρώπη και η Αυστραλία.

Στα σχήματα 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες κατανομές των ευρωπαϊκών και των παγκόσμιων αποθεμάτων λιγνίτη αντίστοιχα (Μπούσιος 1997).

Πρώτη λιγνιτοπαραγωγός χώρα είναι η ενοποιημένη πλέον Γερμανία, η οποία το 1999 παρήγαγε 161,3 εκατομμύρια τόνους, το ένα πέμπτο περίπου της παγκόσμιας παραγωγής.

Με βάση τα στοιχεία της εξορυκτικής δραστηριότητας του έτους 1996 τα βεβαιωμένα αποθέματα επαρκούν με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης για περισσότερο από 500 έτη ενώ, συγκριτικά, τα εκτιμώμενα αποθέματα πετρελαίου επαρκούν για 43 έτη, του φυσικού αερίου για 65 έτη και του άνθρακα για 150 έτη περίπου (Φώσκολος 1998). Τα παραπάνω δεδομένα δεν έχουν μεταβληθεί με τις σημερινές εκτιμήσεις.

Από το σύνολο της παραγωγής λιγνίτη, σύμφωνα με στοιχεία του 1996, το 90% περίπου καταναλώνεται σε ΑΗΣ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, το 4% από τη βιομηχανία, το 3% διατίθεται για οικιακή κατανάλωση και το υπόλοιπο 3% σε άλλες χρήσεις.

Το έτος 1996 η ποσοστιαία συμμετοχή λιγνίτη στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 4%, που αντιστοιχεί σε 13 τρις KWh. Στις κυρίως λιγνιτοπαραγωγούς χώρες, η συμμετοχή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι φυσικά πολύ μεγαλύτερη.

Η Ελλάδα είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη παγκοσμίως συμμετοχή του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία κυμάνθηκε την τελευταία πενταετία σε ποσοστά 70 έως 75%. Ακολουθούν η Τσεχία, η Πολωνία, η Βουλγαρία και η Ρουμανία. Στη Γερμανία, η οποία είναι η μεγαλύτερη λιγνιτοπαραγωγός χώρα, η ηλεκτρική ενέργεια που παρήχθη από λιγνίτη το έτος 1999 ήταν 135 T Wh (ποσοστό 24%).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Παγκόσμια αποθέματα άνθρακα στο τέλος του 1999 (εκατ. τόνοι)

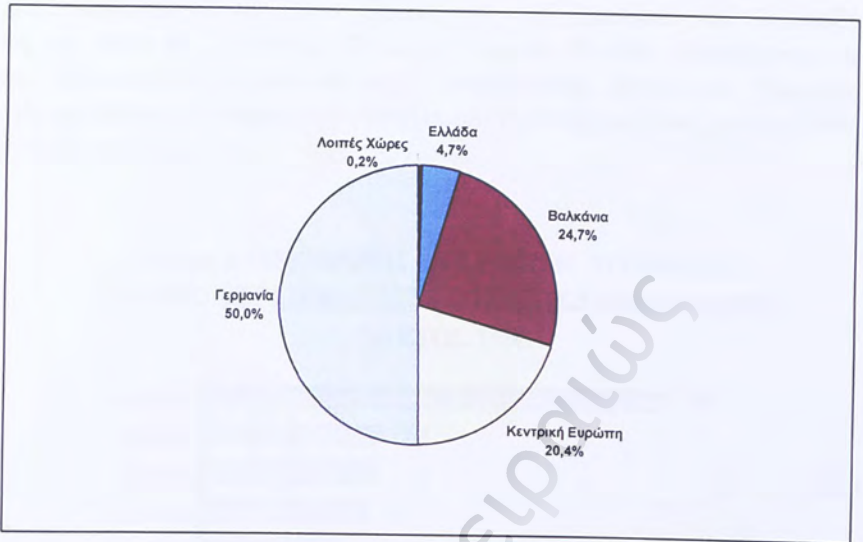
	Ανθρακίτες και Υποβιτουμενιούχοι		Σύνολο	Ποσοστό	Σχέση R/P
	Βιτουμενιούχοι	και λιγνίτες			
ΗΠΑ	111338	135305	246643	25,1%	249
Καναδάς	4509	4114	8623	0,9%	119
Μεξικό	860	351	1211	0,1%	135
Συν. Βόρειας Αμερικής	116707	139770	256477	26,1%	239
Βραζιλία	-	11950	11950	1,2%	*
Κολομβία	6368	381	6749	0,7%	206
Βενεζουέλα	479	-	479	0,1%	76
Λοιπές χώρες Νότ&Κεντρ. Αμερικ.	992	1404	2396	0,2%	*
Σύνολ. Νότ&Κεντρ. Αμερικ.	7839	13735	21574	2,2%	474
Βουλγαρία	13	2698	2711	0,3%	100
Τσεχία	2613	3564	6177	0,6%	105
Γαλλία	95	21	116	†	22
Γερμανία	24000	43000	67000	6,8%	329
Ελλάδα	-	2874	2874	0,3%	47
Ουγγαρία	596	3865	4461	0,4%	307
Πολωνία	12113	2196	14309	1,4%	83
Ρουμανία	1	3610	3611	0,4%	158
Ισπανία	200	460	660	0,1%	26
Τουρκία	449	626	1075	0,1%	16
Μ.Βρετανία	1000	500	1500	0,2%	40
Λοιπή Ευρώπη	584	16954	17538	1,8%	278
Σύνολο Ευρώπης	41664	80368	122032	12,4%	161
Καζακστάν	31000	3000	34000	3,5%	*
Ρωσία	49088	107922	157010	15,9%	*
Ουκρανία	16388	17968	34356	3,5%	421
Λοιπές πρώην Σοβ. Ένωσης	1000	3812	4812	0,5%	*
Σύνολο πρώην Σοβ. Ένωσης	97476	132702	230178	23,4%	*
Νότια Αφρική	55333	-	55333	5,6%	251
Ζιμπάμπουε	734	-	734	0,1%	131
Λοιπή Αφρική	5095	250	5345	0,5%	*
Μέση Ανατολή	193	-	193	†	175
Σύνολο Αφρικής & Μ. Ανατολής	61355	250	61605	6,2%	268
Αυστραλία	47300	43100	90400	9,2%	307
Κίνα	62200	52300	114500	11,6%	111
Ινδία	72733	2000	74733	7,6%	238
Ινδονησία	770	4450	5220	0,5%	80
Ιαπωνία	785	-	785	0,1%	197
Νέα Ζηλανδία	29	542	571	0,1%	187
Βόρεια Κορέα	300	300	600	0,1%	21
Πακιστάν	-	2928	2928	0,3%	*
Νότια Κορέα	82	-	82	†	20
Λοιπά Ασίας - Ειρηνικού	251	2275	2526	0,2%	76
Σύνολο Ασίας-Ειρηνικού	184450	107895	292345	29,7%	164
Σύνολο	509491	474720	984211	100,0%	230
Από αυτά: ΟΟΣΑ	206483	240617	447100	45,4%	221
Υπόλοιπα ΕΜΕΣ ‡	205448	78238	283686	28,8%	162

* Περισσότερα από 500 έτη.

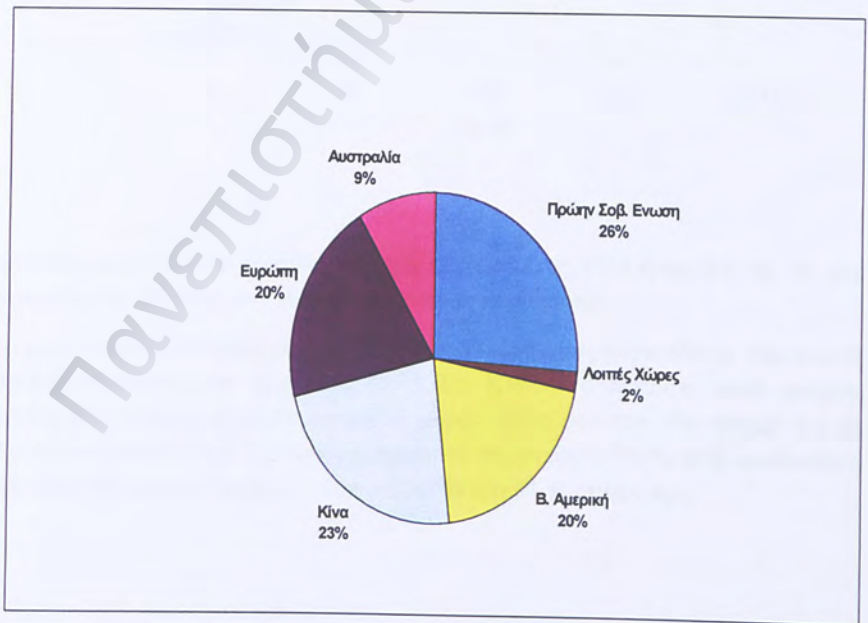
† Μικρότερο από 0.05.

‡ Εκτός από την κεντρική Ευρώπη

και τις χώρες της πρώην Σοβ. Ένωσης



Σχήμα 4.1. Ποσοστιαία κατανομή των ευρωπαϊκών αποθεμάτων λιγνίτη

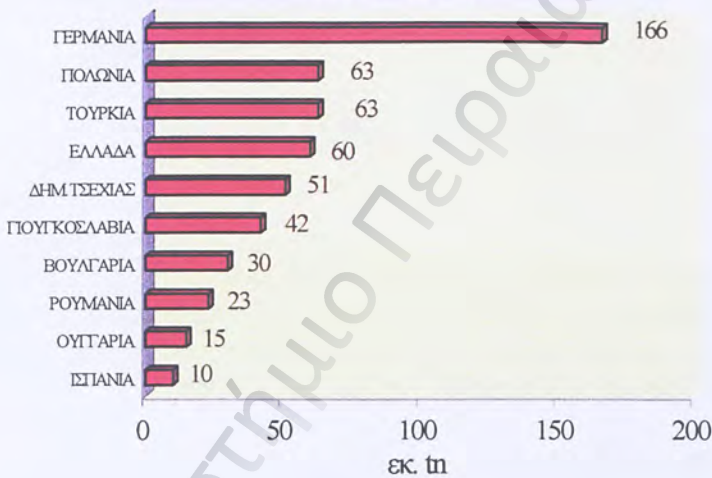


Σχήμα 4.2. Ποσοστιαία κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων λιγνίτη

Ο λιγνίτης στον ευρωπαϊκό χώρο

Οι κύριες λιγνιτοπαραγωγές χώρες βρίσκονται στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη και είναι οι: Γερμανία, Πολωνία, Τουρκία, Ελλάδα, Δημοκρατία της Τσεχίας, Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Γιουγκοσλαβίας, Βουλγαρία, Ρουμανία, Ουγγαρία και Ισπανία. Η παραγωγή λιγνίτη (εκ. tn) για αυτές τις χώρες, το έτος 1998, απεικονίζεται στο σχήμα 4.3.

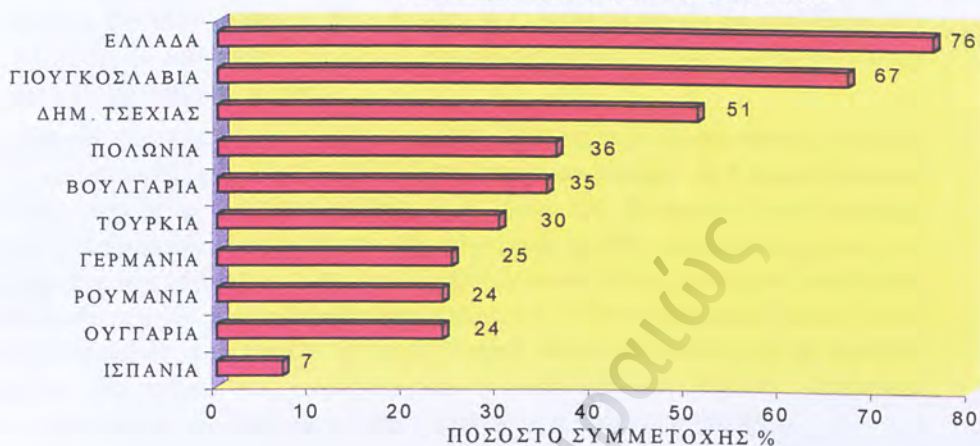
Σχήμα 4.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΙΓΝΙΤΗ (ΕΚ. ΤΟΝΟΙ)ΣΤΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΛΙΓΝΙΤΟΠΑΡΑΓΩΓΟΥΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΧΩΡΕΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 1998



Η παραγωγή λιγνίτη στον ευρωπαϊκό χώρο κατά το έτος 1998 ήταν 550 εκ. tn, που ισοδυναμεί με το 57% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής.

Η παραγωγή αυτή εξασφαλίζει το 13 % του συνόλου της ευρωπαϊκής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που πλησιάζει τα 3 δις KWh. Το ποσοστό αυτό αυξάνει σημαντικά στις κύριες λιγνιτοπαραγωγούς χώρες, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4 με την Ελλάδα να κατέχει την 1η θέση με ποσοστό συμμετοχής 76 %, ενώ ακολουθούν η Γιουγκοσλαβία και η Τσεχία με ποσοστά 67 % και 51 % αντίστοιχα.

Σχήμα 4.4 ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΛΙΓΝΙΤΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ Η/Ε ΤΟ ΕΤΟΣ 1998



Η εξόρυξη του λιγνίτη διενεργείται κυρίως με εκτεταμένες επιφανειακές εκμεταλλεύσεις και στις περισσότερες χώρες ακολουθείται η γερμανότυπη μέθοδος της υπαίθριας εκμετάλλευσης συνεχούς λειτουργίας (terrace mining), με βάση τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στη Γερμανία, όσον αφορά τη διακίνηση των εξορυσσόμενων υλικών.

Ο λιγνίτης, λόγω του χαμηλού θερμικού περιεχομένου του, καταναλώνεται σε ΑΗΣ πλησίον των χώρων εξόρυξης και η διακίνησή του σε μεγάλες αποστάσεις κρίνεται οικονομικώς ασύμφορη, σε αντίθεση με τα άλλα πρωτογενή καύσιμα.

Ο ΛΙΓΝΙΤΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο λιγνίτης αποτελεί σήμερα τη σημαντικότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα. Η ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε με μεγάλους ρυθμούς τα τελευταία 25 χρόνια. Το 1967 το ποσοστό συμμετοχής του ήταν 34%, το 1985 έφτασε στο 65%, το 1989 άγγιξε το 80% ενώ την τελευταία πενταετία κάλυψε το 70 - 75,5% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά τα τελευταία 40 χρόνια η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα γνώρισε πολύ μεγάλη ανάπτυξη. Η πρώτη προσπάθεια εκμετάλλευσης λιγνιτικού κοιτάσματος πραγματοποιήθηκε στο Αλιβέρι το 1873, αλλά δυστυχώς το 1897 καταστράφηκαν όλες οι υπόγειες εγκαταστάσεις από μια καταστροφική πλημμύρα και η εκμετάλλευση ξεκίνησε πάλι μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Στη χώρα μας οι λιγνίτες έχουν σχετικά μικρή ηλικία και εντοπίζονται μέσα σε τριτογενή, κυρίως λιμναία ή ποτάμια, ιζήματα που, στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, αποτελούνται από μάργες και αργίλους. Η γεωγραφική τους εξάπλωση είναι αρκετά μεγάλη, δεδομένου ότι σε όλες σχεδόν τις περιοχές της χώρας υπάρχει κάποια έστω και μικρή λιγνιτική εμφάνιση. Στον πίνακα 4.2, καταγράφονται τα αποθέματα των πιο αξιόλογων ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων από 1.1.2000, με τα αντίστοιχα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

Τα βέβαια εκμεταλλεύσιμα – σύμφωνα με τις παρούσες τεχνικοοικονομικές συνθήκες – λιγνιτικά αποθέματα σε όλη την Ελλάδα ανέρχονται περίπου σε 4 δισεκατομμύρια τόνους. Από αυτά, τα 2,5 δισεκατομμύρια τόνοι, που βρίσκονται στην ευρύτερη λεκάνη Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου - Φλώρινας και τα 300 εκατομμύρια τόνοι, που βρίσκονται στη Μεγαλόπολη είναι υπό εκμετάλλευση. Επίσης, υπάρχουν αποθέματα 900 εκατομμυρίων τόνων λιγνίτη στη Δράμα και 150 εκατομμυρίων τόνων ξυλίτη στην Ελασσόνα, των οποίων η εκμετάλλευση θεωρείται εφικτή για τα επόμενα χρόνια. Στο σχήμα 4.5, απεικονίζεται η κατανομή των κύριων λιγνιτικών κοιτασμάτων και των υπόλοιπων ενεργειακών πηγών στον ελληνικό χώρο.

Από την αρχή της εκμετάλλευσης των λιγνιτωρυχείων έως το τέλος του 1999 έχουν παραχθεί 768 εκ.τν λιγνίτη και έχουν διακινηθεί 2,99 δις m^3 προϊόντων συνολικών εκσκαφών (αγόνων και λιγνίτη), ενώ σύμφωνα με τα υπολογιζόμενα προς εξόρυξη εκμεταλλεύσιμα αποθέματα η λειτουργία των ελληνικών λιγνιτωρυχείων θα διαρκέσει τουλάχιστον για τα επόμενα 50 χρόνια.

Η ΔΕΗ είναι σήμερα ο δημόσιος φορέας του κράτους για την παραγωγή Η/Ε. Στο δίκτυο της ΔΕΗ λειτουργούν 20 λιγνιτικές μονάδες συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 4900 MW, που αποτελεί το 53,5 % της συνολικής εγκαταστημένης ισχύος για ηλεκτροπαραγωγή της χώρας. Η τροφοδοσία των μονάδων προέρχεται κυρίως από δύο λιγνιτικά κέντρα, της **Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου** στη Β. Ελλάδα και της **Μεγαλόπολης** στην Πελοπόννησο από όπου παράγονται συνολικά **60 εκ. τν λιγνίτη ανά έτος**, ενώ οι συνολικές εκσκαφές ανέρχονται περίπου σε **275 εκ. m^3** . Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των συνολικών εκσκαφών και της παραγωγής λιγνίτη για τα δύο μεγάλα λιγνιτικά κέντρα.

Για τα κοιτάσματα της **Ελασσόνας** και της **Δράμας** διερευνάται η δυνατότητα για την αξιοποίηση των λιγνιτικών αποθεμάτων.

Τα αποθέματα της **Ελασσόνας** υπολογίζονται σε 146 εκ. τν λιγνίτη με Μέση Τέφρα Επί Ξηρού 34,9 %, Μέση Υγρασία ως έχει 40,3 %, Μέση Καθαρή Θερμογόνο Ικανότητα 1932 Kcal/Kg και Γενική Σχέση Εκμετάλλευσης 5,6 : 1 m^3 /tn.

Τα αποθέματα της **Δράμας** υπολογίζονται σε 900 εκ. τν λιγνίτη με Μέση Τέφρα Επί Ξηρού 39 %, Μέση Υγρασία ως έχει 57,8 %, Μέση Κατωτέρα Θερμογόνο Ικανότητα 1045 Kcal/Kg και Γενική Σχέση Εκμετάλλευσης 6,9 : 1 m^3 /tn.

Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα του λιγνιτικού κοιτάσματος **Κομνηνών** εκτιμώνται σε 100 εκ. τν με Μέση Τέφρα Επί Ξηρού 30,4 %, Μέση Υγρασία ως έχει 41,4 %, Μέση

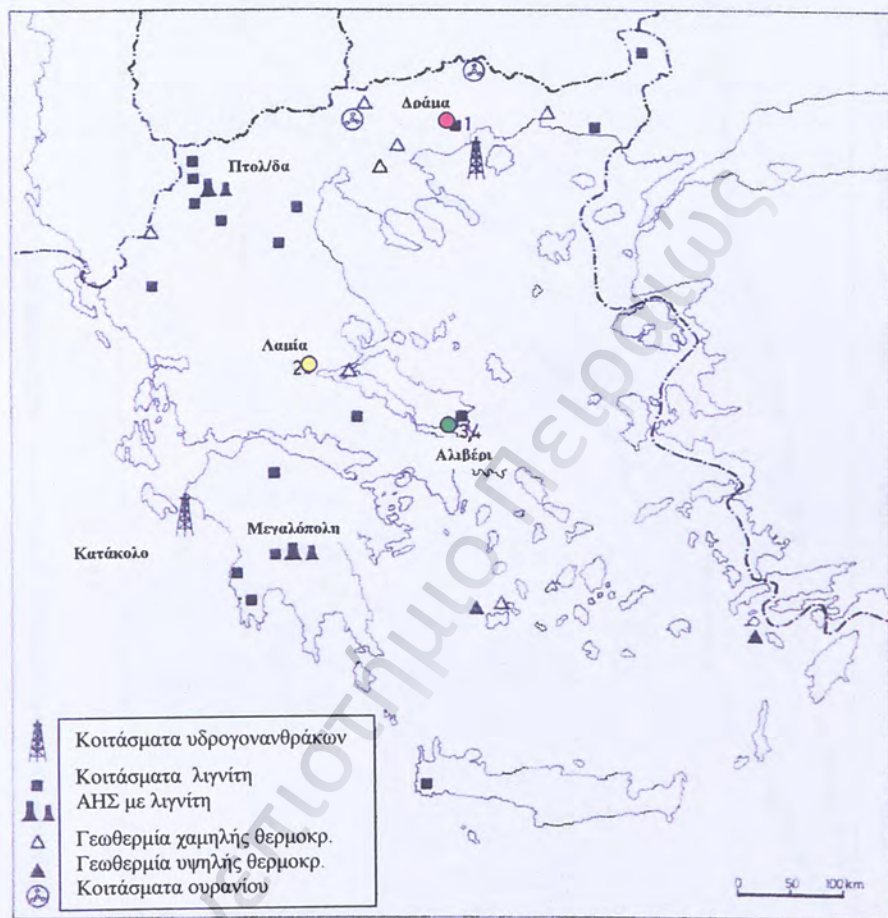
Πίνακας 4.2 (1) ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΙΟ ΔΕΙΟΛΟΓΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ 1.1.2000

ΛΙΓΝΙΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	ΕΚΣΚΑΦΕΣ $m^3 \times 10^6$			ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ $Tn \times 10^6$			ΓΕΝΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΟΝΤΑ m^3/tn	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ ΛΙΓΝΙΤΗ		
	ΑΡΧΙΚΑ ΕΞΟΡΙΘΕΝΤΑ	ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ 1.1.00	ΑΡΧΙΚΑ ΕΞΟΡΙΘΕΝΤΑ	ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ 1.1.00	ΑΡΧΙΚΑ ΕΞΟΡΙΘΕΝΤΑ	ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ 1.1.00		ΤΕΦΡΑ ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ %	ΥΓΡΑΣΙΑ ΩΣ ΕΧΕΙ %	Κ.Ο.Ι. kcal/kg
ΚΥΡΙΟ ΠΕΔΙΟ	376,0	0,0	125,0	124,7	0,0	-	-	-	-	-
ΒΟΡΕΙΟ ΠΕΔΙΟ	365,0	318,6	93,5	73,9	19,6	1,5	32,0	54,0	1330	1330
ΠΕΔΙΟ ΚΟΜΑΝΟΥ	430,7	304,8	88,1	65,4	21,7	5,0	27,6	57,5	1296	1296
ΑΝ. ΕΠ. ΚΟΜΑΝΟΥ	69,0	0,0	14,0	0,0	14,0	4,1	28,0	57,4	1296	1296
ΠΕΔΙΟ ΚΑΡΔΙΑΣ	466,0	0,0	180,0	180,0	0,0	-	-	-	-	-
ΠΕΔΙΟ Α.Ο.Κ.	139,8	139,8	32,0	32,0	0,0	-	-	-	-	-
ΠΕΔΙΟ ΤΟΜΕΑ 6	560,9	335,3	176,3	80,7	95,6	1,5	26,7	57,5	1368	1368
ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ	715,0	0,0	178,0	0,0	178,0	3,2	29,2	56,5	1297	1297
Ν.Δ. ΠΕΔΙΟ	1570,0	0,0	290,0	0,0	290,0	4,6	34,0	53,0	1300	1300
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	730,0	0,0	140,0	0,0	140,0	4,4	34,0	53,0	1300	1300
ΠΡΟΑΣΤΕΙΟ	2015,0	0,0	236,0	0,0	236,0	7,7	39,0	48,0	1350	1350
ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ (ΧΑΡΑΓΓΗ-ΚΛΕΙΤΟΣ)	337,0	0,0	61,0	0,0	61,0	4,7	32,0	53,0	1300	1300
ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ (ΚΥΡΙΩΣ ΠΕΔΙΟ)	4326,0	917,9	890,0	199,2	690,8	4,1	32,0	53,0	1300	1300
ΣΑΡΙΓΚΙΩΛ	1453,0	0,0	125,0	0,0	125,0	10,8	32,0	53,0	1300	1300
ΑΜΥΝΤΑΙΟ	2186,0	477,9	269,0	52,5	216,5	7,1	42,0	52,0	1096	1096
ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ	207,0	149,8	46,4	41,7	4,7	11,3	42,0	52,0	1096	1096
ΛΑΚΚΙΑ	497,0	0,0	48,0	0,0	48,0	9,5	42,0	52,0	1096	1096
ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	803,0	0,0	80,0	0,0	80,0	6,7	35,0	54,0	1200	1200
ΚΟΜΗΝΗ Ι	188,0	0,0	32,0	0,0	32,0	5,0	28,5	43,1	1880	1880
ΚΟΜΗΝΗ ΙΙ	599,0	0,0	68,0	0,0	68,0	8,0	31,3	40,6	2030	2030
ΚΟΜΗΝΗ ΙΙΙ	2023,0	0,0	82,0	0,0	82,0	23,8	25,3	39,2	2270	2270
ΣΥΝΟΛΟ ΛΚΠΑ	18615,7	2486,7	2933,7	586,1	2347,6	6,0	33,5	52	1344	1344
%	100%	13%	100%	20%	80%					
ΚΟΜΗΝΗ Ι	986,8	363,5	360,5	123,6	236,9	1,8	38,3	59,6	1033	1033
ΜΑΡΑΘΟΥΣΑ	138,0	56,1	32,0	10,9	21,1	3,0	38,4	57,3	1120	1120
ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ	123,6	47,6	67,0	28,8	38,2	1,2	37,7	64,2	860	860
ΘΩΚΙΑ	150,4	150,4	69,3	69,3	0,0	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ ΛΚΜ	1248,3	467,1	489,5	163,3	286,2	1,8	38,2	60,0	1017	1017
%	100%	37%	100%	36%	64%					

ΑΚΡΑ

Πίνακας 4.2(2). ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΙΟ ΔΕΙΞΟΛΟΓΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ 1.1.2000

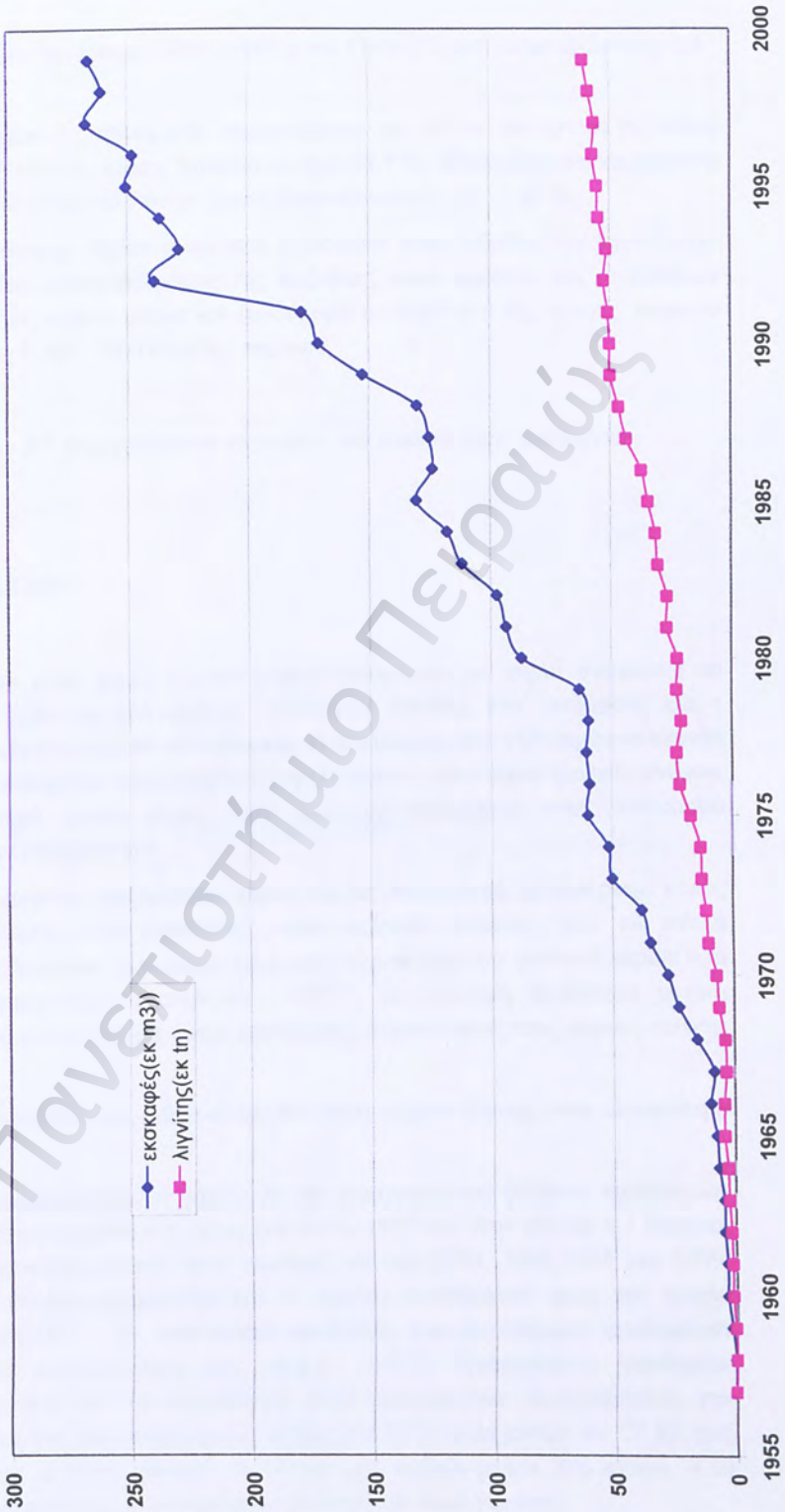
ΦΑΡΜΑ ΕΜΣ ΖΩΝΑ	ΛΙΓΝΙΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ		ΕΚΣΚΑΦΕΣ $m^3 \times 10^6$				ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ $Tn \times 10^6$		ΓΕΝΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ ΛΙΓΝΙΤΗ		
			ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ 1.1.00		ΑΡΧΙΚΑ ΕΞΟΡΙΘΕΝΤΑ	ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ 1.1.00		ΑΡΧΙΚΑ ΕΞΟΡΙΘΕΝΤΑ	ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ m^2/tn		ΤΕΦΡΑ ΕΠΙ ΞΗΡΟΥ %	ΥΓΡΑΣΙΑ ΩΣ ΕΧΕΙ %	Κ.Θ.Ι. kcal/kg
			ΑΡΧΙΚΑ	ΕΞΟΡΙΘΕΝΤΑ		ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ 1.1.00	ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ 1.1.00		ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ m^2/tn	ΑΠΟΜΕΝΟΝΤΑ m^2/tn			
	2027	0	2027	256	0	256	7.1:1	39,48	37,3	1970			
ΒΕΥΗ + ΑΧΛΑΔΑ	294	0	294	35	0	35	7.6:1	40,1	42,1	1660			
ΚΛΕΙΔΙ	495	0	495	42	0	42	11.0:1	42,3	43,2	1660			
ΛΟΦΟΙ - ΜΕΛΙΤΗ	543	0	543	24	0	24	22.0:1	46,8	41,1	1600			
ΜΕΛΙΤΗ - ΑΧΛΑΔΑ	3359	0	3359	357	0	357	8.6:1	40,4	38,7	1878			
	Σ Υ Ν Ο Λ Ο Φ Α Δ Ρ Ι Ν Α Σ												
	734	0	734	130	0	130	4.8:1	32,8	40,9	1984			
ΔΟΜΕΝΙΚΟ	201	0	201	15,5	0	15,5	12.1:1	52,7	35,5	1500			
ΑΜΟΥΡΙΟ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΟ	935	0	935	145,5	0	145,5	5.6:1	34,9	40,3	1932			
	Σ Υ Ν Ο Λ Ο Ε Λ Α Σ Σ Ω Ν Α Σ												
	6992	0	6992	900	0	900	6.9:1	39,0	57,8	1045			
ΔΡΑΜΑ	39,5	39,5	0	18,6	18,6	0	-	-	-	-			
ΑΙΒΕΡΙ													
	31189,5	2993,3	28196,2	4814,3	768,0	4046,3	5.9:1	35,8	52,3	1317			
	Σ Υ Ν Ο Λ Ο Λ Ι Γ Ν Ι Τ Ι Κ Ω Ν Κ Ο Ι Τ Α Σ Μ Α Τ Ω Ν												
	ΑΠΟΘΕΜΑ "Καύσιμης τύρφης" : 1×10^8 τόννοι (πυροερχόμενο από αεροξείδραση 4 διο m^3 τύρφης insitu)												
											40	1900	
	ΤΥΡΦΗ ΦΙΛΙΠΠΩΝ												



Σχήμα 4.5 Κύρια κοιτάσματα ελληνικών ενεργειακών υλών και οι θέσεις των εναλλακτικών επιλογών

- 1. Λιγνιτικός σταθμός, 2 X 300 MW, στην περιοχή της Δράμας
- 2. Σταθμός φυσικού αερίου, 1 X 600 MW, στην περιοχή της Λαμίας
- 3. Ανθρακικός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι
- 4. Πετρελαϊκός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι

Σχήμα 4.6. :Εξέλιξη συνολικών εκσκαφών (εκ m³)-παραγωγής λιγνίτη (εκ tn) ΛΚΠΑ+ΛΚΜ 1957-1999



Καθαρή Θερμογόνο Ικανότητα 1980 Kcal/Kg και Γενική Σχέση Εκμετάλλευσης 6,8 : 1 m³/tn.

Τέλος τα αποθέματα της **Φλώρινας** υπολογίζονται σε 357 εκ. tn λιγνίτη με Μέση Τέφρα Επί Ξηρού 40,4 %, Μέση Υγρασία ως έχει 38,7 %, Μέση Καθαρή Θερμογόνο Ικανότητα 1878 Kcal/Kg και Γενική Σχέση Εκμετάλλευσης 8,6 : 1 m³/tn.

Τα κοιτάσματα τύρφης έχουν μικρότερη εξάπλωση στην Ελλάδα. Το μεγαλύτερο από αυτά βρίσκεται στους Φιλιππούς της Καβάλας, είναι τεράστιο και το απόθεμά του ξεπερνά τα 4 δις κυβικά μέτρα που ισοδυναμεί με περίπου 1 δις. τόνους στερεού καυσίμου με μέση Κ.Θ.Ι 1900 Kcal/kg περίπου.

Τέλος στο σχήμα 4.7 περιγράφονται τα στάδια του κύκλου ζωής του λιγνίτη.

4.2 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

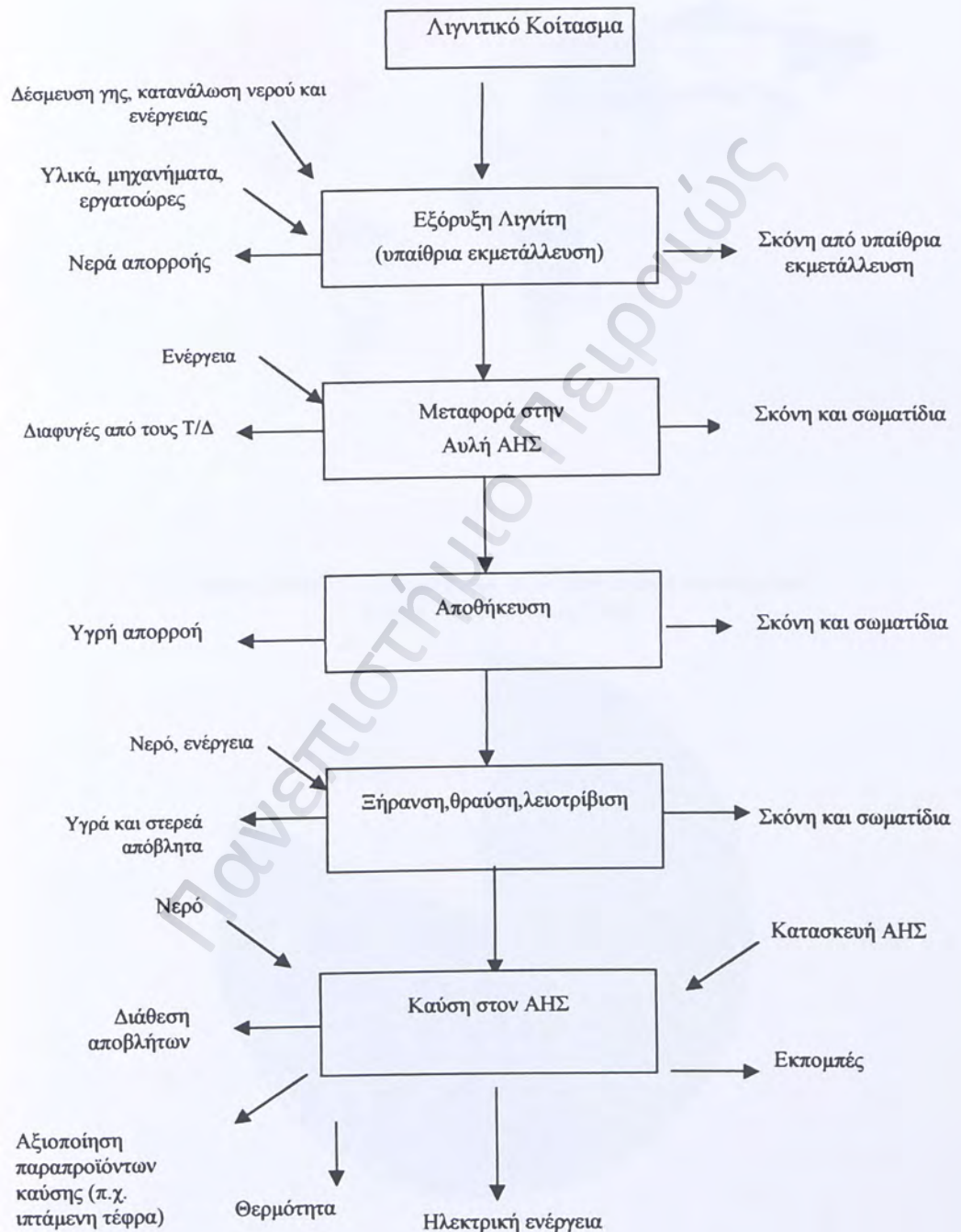
Το φυσικό αέριο είναι μίγμα αέριων υδρογονανθράκων με κύριο συστατικό το μεθάνιο (CH₄). Εξάγεται από φυσικά γεωλογικά έγκοιλα του υπεδάφους και η ανόρυξή του διενεργείται μέσω γεωτρήσεων. Ο εντοπισμός των κοιτασμάτων απαιτεί μακροχρόνιες έρευνες που παρουσιάζουν μεγάλο κόστος και επιχειρηματικό κίνδυνο, καθώς ένα μικρό μόνο μέρος των ερευνών καταλήγει στον εντοπισμό εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων.

Έπειτα από πρωτογενή επεξεργασία στους τόπους παραγωγής, μεταφέρεται στους τόπους κατανάλωσης είτε απευθείας, μέσω ειδικών αγωγών, είτε με ειδικά δεξαμενόπλοια (θαλάσσια μεταφορά) σε μορφή υγροποιημένου φυσικού αερίου υπό ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία -162°C. Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται επαναεριοποίηση και μεταφορά μέσω συστήματος αγωγών προς τους χώρους τελικής κατανάλωσης.

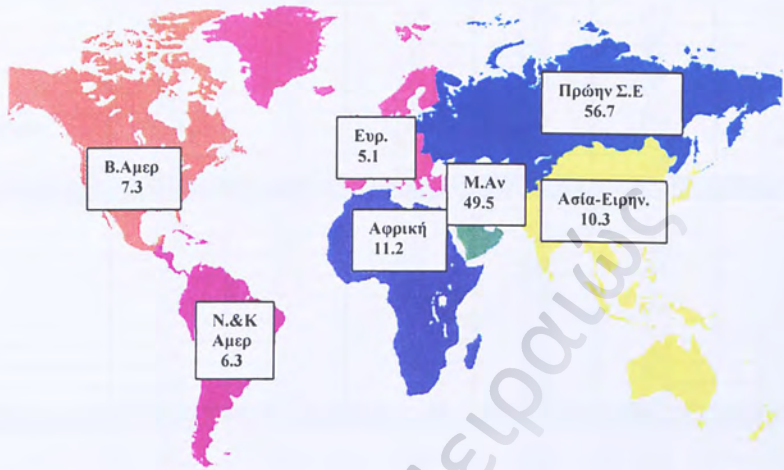
Δεν περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα και δεν είναι τοξικό. Επίσης είναι ελαφρότερο από τον αέρα.

Στο σχήμα 4.8 απεικονίζεται ο χάρτης με την κατανομή των βέβαιων παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου στο τέλος του έτους 1999 και στον πίνακα 4.3 δίνονται τα αποθέματα φυσικού αερίου κατά περιοχή, τα έτη 1979, 1989, 1998 και 1999, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά και οι σχέσεις αποθεμάτων προς την ετήσια παραγωγή (Πηγή BP) . Η ποσοστιαία κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου παρουσιάζεται στο σχήμα 4.9. Τα διαπιστωμένα αποθέματα αυξάνονται διαρκώς, με την ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων. Συγκεκριμένα, την τελευταία εικοσαετία διπλασιάστηκαν, καθώς το 1979 ανέρχονταν σε 72,89 τρις κυβικά μέτρα και το 1999 έφθασαν τα 146,43 τρις κυβικά μέτρα. Στο σχήμα 4.10 δίνεται η διαχρονική εξέλιξη των βέβαιων αποθεμάτων κατά περιοχή

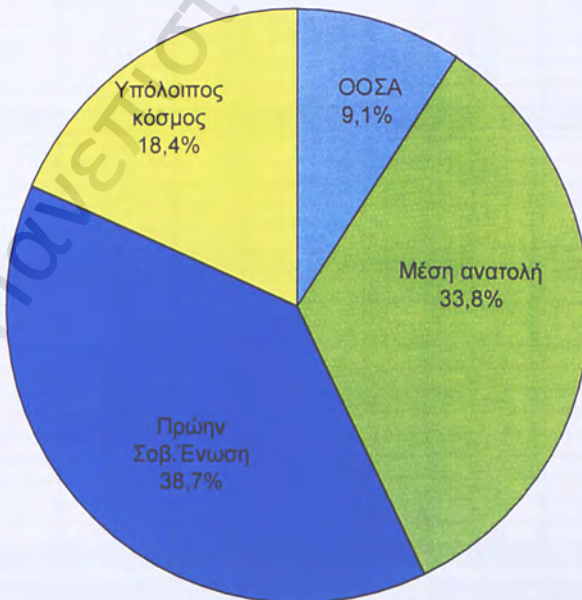
Σχήμα 4.7. Απλοποιημένο διάγραμμα ανάλυσης κύκλου ζωής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο λιγνίτη



Σχήμα 4.8 Κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου(τρεις κυβικά μέτρα), στο τέλος του έτους 1999 (πηγή BP)



Σχήμα 4.9 Ποσοστιαία κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου (τέλος 1999)



Πίνακας 4.3 Βεβαιωμένα αποθέματα Φυσικού Αερίου

Στο τέλος 1979 Στο τέλος 1989 Στο τέλος 1998 Στο τέλος 1999 Στο τέλος 1999 Στο τέλος 1999 Στο τέλος 1999

	Τρις κυβικά μέτρα	Τρις κυβικά μέτρα	Τρις κυβικά μέτρα	Τρις κυβικά μέτρα	Τρις κυβικά πόδια	Ποσοστό	Σχέση R/P
ΗΠΑ	5,49	4,67	4,74	4,65	164,0	3,2%	8,8
Καναδάς	2,42	2,67	1,81	1,81	63,9	1,2%	11,1
Μεξικό	1,67	2,08	1,80	0,85	30,1	0,6%	22,8
Συν. Βόρειας Αμερικής	9,58	9,42	8,35	7,31	258,0	5,0%	10,0
Αργεντινή	0,43	0,77	0,68	0,69	24,2	0,5%	20,4
Βολιβία	0,15	0,16	0,12	0,12	4,3	0,1%	29,8
Βραζιλία	0,04	0,11	0,23	0,23	8,0	0,1%	33,8
Κολομβία	0,14	0,11	0,20	0,20	6,9	0,1%	37,9
Ισημερινός	0,11	0,11	0,10	0,10	3,7	0,1%	*
Τρινιτάτ και Τομπάγκο	0,23	0,28	0,52	0,56	19,8	0,4%	51,5
Βενεζουέλα	1,21	2,86	4,04	4,04	142,5	2,8%	*
Λοιπές γίες Νότ&Κεντρ. Αμερ	0,11	0,14	0,32	0,37	13,2	0,2%	*
Σύνολο Νότ&Κεντρ. Αμερικ.	2,42	4,54	6,21	6,31	222,6	4,3%	66,2
Δανία	0,08	0,13	0,11	0,10	3,4	0,1%	12,4
Γερμανία	0,18	0,19	0,35	0,34	12,0	0,2%	19,0
Ουγγαρία	n/a	n/a	0,09	0,08	2,9	0,1%	26,1
Ιταλία	0,10	0,33	0,23	0,23	8,1	0,2%	13,0
Ολλανδία	1,68	1,73	1,79	1,77	62,5	1,2%	25,6
Νορβηγία	0,67	2,33	1,17	1,17	41,4	0,8%	23,0
Ρουμανία	n/a	n/a	0,37	0,37	13,2	0,2%	27,1
Μ.Βρετανία	0,71	0,59	0,77	0,76	26,7	0,5%	7,6
Λοιπή Ευρώπη	0,71	0,88	0,33	0,33	11,5	0,2%	27,6
Σύνολο Ευρώπης	4,13	6,18	5,21	5,15	181,7	3,5%	17,6
Αζερμπαϊτζάν	n/a	n/a	0,85	0,85	30,0	0,6%	*
Καζακστάν	n/a	n/a	1,84	1,84	65,0	1,2%	*
Ρωσία	n/a	n/a	48,14	48,14	1700,0	32,9%	82,7
Τουρκμενιστάν	n/a	n/a	2,86	2,86	101,0	1,9%	*
Ουκρανία	n/a	n/a	1,12	1,12	39,6	0,8%	63,2
Ουζμπεκιστάν	n/a	n/a	1,87	1,87	66,2	1,3%	34,2
Λοιπές πρώην Σοβ. Ένωσης	n/a	n/a	0,02	0,02	0,8	+	51,1
Σύνολο πρώην Σοβ. Ένωσης	25,48	42,47	56,70	56,70	2002,6	38,7%	81,8
Μπαχρέιν	0,25	0,18	0,12	0,11	3,9	0,1%	12,9
Ιράν	13,88	14,16	23,00	23,00	812,3	15,7%	*
Ιράκ	0,78	2,69	3,11	3,11	109,8	2,1%	*
Κουβέιτ	0,95	1,55	1,49	1,49	52,7	1,0%	*
Ομάν	0,06	0,26	0,80	0,80	28,4	0,5%	*
Κατάρ	1,70	4,62	8,49	8,49	300,0	5,8%	*
Συδική Αραβία	2,71	5,30	5,79	5,79	204,5	4,0%	*
Ενωμένα Αραβικά Εμιράτα	0,58	5,69	6,00	6,00	212,0	4,1%	*
Υεμένη	-	0,16	0,48	0,48	16,9	0,3%	*
Λοιπές Κεντρ. Ανατολής	0,04	0,11	0,25	0,25	8,8	0,2%	*
Σύνολο Μέσης Ανατολής	20,95	34,72	49,53	49,52	1749,3	33,8%	*
Αλγερία	3,74	3,23	3,69	4,52	159,7	3,1%	55,0
Αίγυπτος	0,09	0,33	0,89	1,00	35,2	0,7%	67,9
Λιβία	0,68	0,72	1,31	1,31	46,4	0,9%	*
Νιγηρία	1,17	2,47	3,51	3,51	124,0	2,4%	*
Λοιπή Αφρική	0,28	0,80	0,82	0,82	28,9	0,6%	*
Σύνολο Αφρικής	5,96	7,55	10,22	11,16	394,2	7,7%	98,2
Αυστραλία	0,88	0,47	1,26	1,26	44,6	0,9%	41,3
Μπαγγλαντές	0,23	0,35	0,30	0,30	10,6	0,2%	37,1
Μπρουνάι	0,22	0,32	0,39	0,39	13,8	0,3%	34,7
Κίνα	0,71	1,00	1,37	1,37	48,3	0,9%	56,3
Ινδία	0,26	0,65	0,54	0,65	22,9	0,4%	26,0
Ινδονησία	0,68	2,46	2,05	2,05	72,3	1,4%	30,8
Μαλαισία	0,48	1,17	2,31	2,31	81,7	1,6%	53,8
Πακιστάν	0,45	0,51	0,61	0,61	21,6	0,4%	34,3
Παπούα Νέα Γουινέα	-	0,13	0,15	0,15	5,4	0,1%	*
Ταϊλάνδη	0,23	0,20	0,35	0,35	12,5	0,2%	20,7
Βιετνάμ	-	-	0,19	0,19	6,8	0,1%	*
Λοιπά Ασίας-Ειρηνικού	0,21	0,47	0,65	0,65	22,9	0,5%	65,6
Σύνολο Ασίας-Ειρηνικού	4,35	8,03	10,17	10,28	363,4	7,0%	40,4
Σύνολο κόσμου	72,97	112,91	146,39	146,43	5171,8	100,0%	61,0
Από αυτά: ΟΟΣΑ#	14,47	15,45	14,44	13,34	471,2	9,1%	12,8
Ευρωπαϊκή Ένωση 15	3,14	3,04	3,31	3,25	114,9	2,2%	15,0

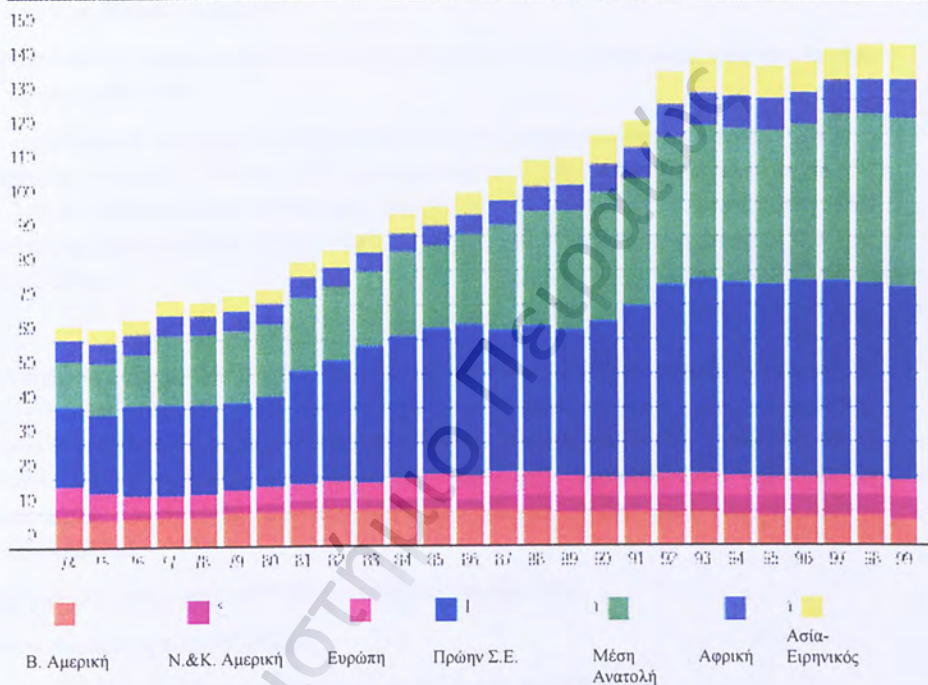
* Περισσότερα από 500 έτη.

† Μικρότερο από 0,05.

#1978 & 1988 δεν περιλαμβάνουν μέλη της Κεντρικής Ευρώπης

n/a όχι διαθέσιμα

Σχήμα 4.10 Διαχρονική εξέλιξη των βέβαιων αποθεμάτων Φυσικού Αερίου κατά περιοχή (τρεις κυβικά μέτρα)



Οι μεγαλύτερες πηγές φυσικού αερίου βρίσκονται στη Ρωσία (ποσοστό περίπου 39% επί του συνόλου των παγκόσμιων αποθεμάτων) ακολουθούν οι χώρες του Περσικού Κόλπου (Ιράν, Κατάρ, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα), οι Η.Π.Α., η Αλγερία και η Νιγηρία.

Από τα μέσα της δεκαετίας 1960 η παραγωγή και η κατανάλωση φυσικού αερίου παρουσιάζουν σταθερές αυξητικές τάσεις σε όλες τις περιοχές του κόσμου, με εξαίρεση τη Βόρεια Αμερική.

Στον πίνακα 4.4 παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής φυσικού αερίου για τα έτη 1989-1999.

Τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου έχουν η Ρωσία και οι Η.Π.Α. Το έτος 1999 η παραγωγή στις δύο αυτές χώρες ανήλθε σε 550 και 540 δις κυβικά μέτρα αντίστοιχα. Δηλαδή από τις δύο αυτές χώρες το έτος 1999 παρήχθη το μισό περίπου της παγκόσμιας παραγωγής η οποία ανερχόταν σε 2,3 τρις κυβικά μέτρα.

Υπολογίζεται ότι, με βάση την κατανάλωση του έτους 1999, τα αποθέματα επαρκούν για 63 έτη περίπου, με δυνατότητες παράτασης καθώς νέα κοιτάσματα ανακαλύπτονται ενώ οι έρευνες επεκτείνονται σε νέες περιοχές. Επιπρόσθετα, η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει την περαιτέρω εκμετάλλευση υπαρχόντων κοιτασμάτων που κατά το παρελθόν είχαν θεωρηθεί ως μη εμπορικά εκμεταλλεύσιμα ή εξαντληθέντα.

Ο ρυθμός αύξησης των αποθεμάτων υπολογίζεται με βάση

- (α) την ανακάλυψη νέων πεδίων
- (β) την ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων εντός γνωστών πεδίων και
- (γ) την σταδιακή αύξηση του βαθμού ανάκτησης των αποθεμάτων κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης.

Σε κάθε μία από τις παραπάνω φάσεις αντιστοιχεί ένας «ρυθμός εύρεσης» (finding rate) που εξαρτάται από τον τύπο του καυσίμου και από την περιοχή της έρευνας. Βέβαια οι ανακαλύψεις δεν αναφέρονται μόνον σε βεβαιωμένα αποθέματα (proved reserves) αλλά και σε μεγάλη ποσότητα δυνατών αποθεμάτων (inferred reserves). Τα δεύτερα απαιτούν επιπλέον έρευνα μέσω των γεωτρήσεων για να καταταγούν στα βεβαιωμένα. Η εκτίμηση της σχέσης των δυνατών προς τα βεβαιωμένα αποθέματα βασίζεται κυρίως σε στατιστικά δεδομένα. Τα αποθέματα στο τέλος του έτους t για τον τύπο καυσίμου k και για την περιοχή r δίνονται από τη σχέση (Oostvoorn & Boots, 2000):

$$R_{r,k,t} = R_{r,k,t-1} - Q_{r,k,t} + RA_{r,k,t} \quad (4.1)$$

Όπου $R_{r,k,t}$ Τα αποθέματα στο τέλος του έτους t

$Q_{r,k,t}$ Η παραγωγή το έτος t

$RA_{r,k,t}$ Η αύξηση των αποθεμάτων (reserves addition) τη χρονική περίοδο t

Η σχέση της ετήσιας παραγωγής προς τα αποθέματα P/R (production to reserves ratio) δίνει ένα σχετικό μέτρο του ρυθμού μείωσης των αποθεμάτων και αντιπροσωπεύει το ρυθμό εξόρυξης για δεδομένο κοιτάσμα. Για κάθε έτος t η σχέση P/R υπολογίζεται ως εξής :

$$PR_t = \frac{Q_t}{R_t - 1} \quad (4.2)$$

Όπου:

PR_t η σχέση παραγωγής προς τα αποθέματα το έτος t

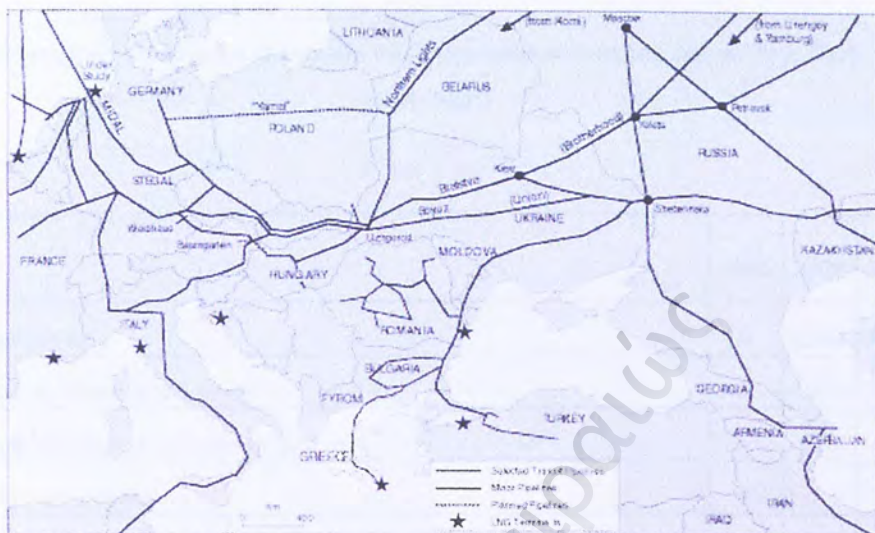
Q_t η παραγωγή το έτος t

R_{t-1} τα αποθέματα στο τέλος του έτους $t-1$ (ή ισοδύναμα στην αρχή του έτους t)

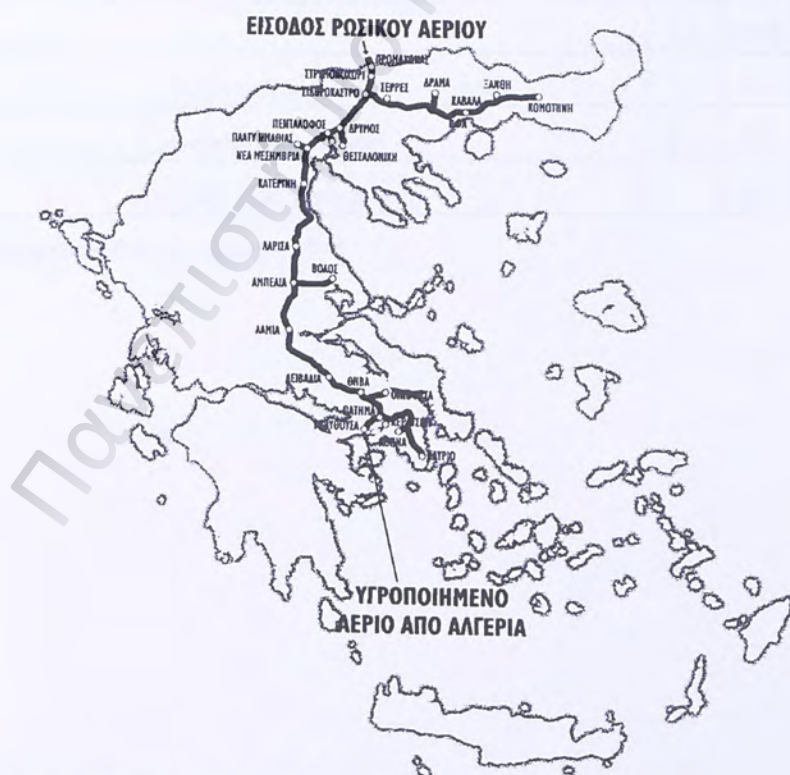
Στην Ευρώπη ένα μεγάλο ποσοστό της κατανάλωσης φυσικού αερίου καλύπτεται από την εγχώρια παραγωγή. Η αύξηση όμως της ζήτησης στις χώρες που ανήκουν στον ΟΟΣΑ, η οποία αναμένεται να είναι μεγαλύτερη από την αύξηση της εγχώριας παραγωγής, θα έχει ως συνέπεια την αύξηση των εισαγωγών φυσικού αερίου. Σήμερα, η Ευρώπη προμηθεύεται το 20% περίπου της απαιτούμενης ποσότητας φυσικού αερίου από τη Ρωσία και το 10% από την Αλγερία. Στον Ευρωπαϊκό χώρο υπάρχουν αρκετοί αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11. Η πρόσβαση όμως σε αυτούς είναι περιορισμένη και απαιτείται επέκταση του δικτύου για τη δημιουργία ευρύτερης αγοράς φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση που θα διευκολύνει τις αγορές και τις πωλήσεις.

Στο ελληνικό χώρο, το κοιτάσμα φυσικού αερίου στη Νότια Καβάλα έχει δώσει 640 εκατ. κυβικά μέτρα. Υπολογίζεται ότι στο κοιτάσμα αυτό υπάρχουν άλλα 300 εκατ. κυβικά μέτρα εκμεταλλεύσιμοι φυσικού αερίου (Φώσκολος 1998).

Η Ελλάδα προμηθεύεται φυσικό αέριο από τη Ρωσία μέσω αγωγών και από την Αλγερία με ειδικά δεξαμενόπλοια σε υγροποιημένη μορφή. Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζεται το ελληνικό σύστημα μεταφοράς του φυσικού αερίου. Στον πίνακα 4.5 δίνονται οι προβλεπόμενες ποσότητες φυσικού αερίου που θα εισάγονται στην Ελλάδα ετησίως έως το 2010 ανά χώρα προέλευσης και ανά τομέα κατανάλωσης. Στη πλήρη ανάπτυξη της ελληνικής αγοράς φυσικού αερίου οι συνολικές ποσότητες αναμένεται να φθάσουν τα 4 δις. κυβικά μέτρα περίπου ετησίως.



Σχήμα 4.11. Δίκτυο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ευρώπη.



Σχήμα 4.12 Το ελληνικό σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου.

Πίνακας 4.5 Πρόβλεψη ελληνικού ισοζυγίου φυσικού αερίου έως το έτος 2010.
(εκατ. Nm³)

	1996	2000	2005	2010
Εισαγωγές	9	2340	3830	4120
Από τη Ρωσία μέσω αγωγού	9	1830	2800	2800
Υγροποιημένο Φ.Α. απότ ην Αλγερία	-	510	680	680
Άλλες ποσότητες	-	-	350	640
Απώλειες (μεταφοράς – διανομής)	4.9	20	40	50
Ηλεκτροπαραγωγή	-	1300	1600	1600
Άλλες χρήσεις	4.1	1020	2190	2470
Παραγωγή αμμωνίας	-	235	265	265
Βιομηχανική χρήση	4.1	550	965	975
Οικιακή/ εμπορική χρήση	-	235	960	1230

Πηγή International Energy Agency, 1998

Πίνακας 4.6 . Κύριοι ελληνικοί καταναλωτές Φ.Α.

Σταθμός	Χρήση	Ετήσια κατανάλωση (bcm)	Μέγεθος (MWe)	Έτος έναρξης
ΑΗΣ				
ΑΗΣ Αγ. Γεωργίου(Κερατσίνι) ΔΕΗ	ΑΗΣ	0.48	360	1998
Λαύριο (μικρό) ΔΕΗ	ΑΗΣ CCGT	0.23	180	1998
Λαύριο (μεγάλο) ΔΕΗ	ΑΗΣ CCGT	0.59	570	1999
Κομοτηνή ΔΕΗ	ΑΗΣ CCGT	0,51	492	2001
Βιομηχανία και χημικά				
ΕΚΟ και VFL χημικά	Παραγωγή αμμωνίας	0.23		1997, 1998
Βιομηχανικοί καταναλωτές Θεσσαλονίκης		0.07		1997
Βιομηχανικοί καταναλωτές Λάρισας		0.04		1996
Βιομηχανικοί καταναλωτές Οινοφύτων		0.03		1998
Βιομηχανικοί καταναλωτές στο Πλατύ		0.03		1998

Πηγή : Πηγή International Energy Agency, 1998

Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι κύριοι καταναλωτές φυσικού αερίου στην Ελλάδα και οι αντίστοιχες καταναλισκόμενες ποσότητες.

Το φυσικό αέριο έχει εισαχθεί στο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα της Ελλάδας, με προβλεπόμενο ποσοστό συμμετοχής έως 18%, το οποίο αναμένεται να μειωθεί σταδιακά εφόσον δεν ενταχθούν άλλες νέες μονάδες με καύσιμο φυσικό αέριο (Παπακωνσταντίνου 1999).

Το έτος 1999 η ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου από τη ΔΕΗ για ηλεκτροπαραγωγή ήταν 995.709 Nm³.

Στον πίνακα 4.7 δίνονται η χημική σύσταση και οι ιδιότητες των δύο τύπων φυσικού αερίου που προμηθεύεται η χώρα μας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7 Σύσταση και ιδιότητες ρωσικού και αλγερινού φυσικού αερίου.

ΣΥΣΤΑΣΗ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΡΩΣΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΑΛΓΕΡΙΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ
Περιεκτικότητα (% κ.ο.)		
Μεθάνιο	min 85%	85,6-96,6%
Αιθάνιο	max 7%	3,2 – 8,5%
Προπάνιο	max 3%	0 – 3%
Βουτάνιο	max 2%	0-1,2%
Πεντάνιο και βαρύτερα	max 1%	0-0,7%
Άζωτο	max 5%	0,2-1,4%
Διοξείδιο του άνθρακα	max 3%	
Θειούχες ενώσεις		
Υδρόθειο	max 5 mg/m ³	max 0,5 ppm
Μερκαπτάνες	max 15 mg/m ³	max 2,3 mg/m ³
Σύνολο θείου	max 60 mg/m ³	max 30 mg/m ³
Πυκνότητα	0,685 kg/m ³	0,74 – 0,82 kg/m ³
Μέση Α.Θ.Δ.	9.524 kcal/Nm ³	9.982 kcal/Nm ³
Μέση Κ.Θ.Δ.	8.686 kcal/Nm ³	9.016 kcal/Nm ³

Πηγή ΔΕΠΑ.

Στον πίνακα 4.8 δίνονται οι ποσότητες φυσικού αερίου τις οποίες θα προμηθεύεται η Ελλάδα σύμφωνα με τα συμβόλαια που έχουν υπογραφεί.

Πίνακας 4.8 Συμβόλαια τροφοδοσίας αερίου

	Φυσικό αέριο Ρωσίας	Φυσικό αέριο Αλγερίας
Ετήσια ονομαστική ποσότητα (bcm)	2.4 ± 0.6 ^α	0.57
Ελάχιστη ετήσια αγορά (bcm)	80% της ονομαστικής	0.51
Έτος έναρξης παραδόσεων	1997	1999
Τέλος συμβολαίου	2016	2020 ^β
Συνθήκη Take-or-pay	Ναι	Ναι

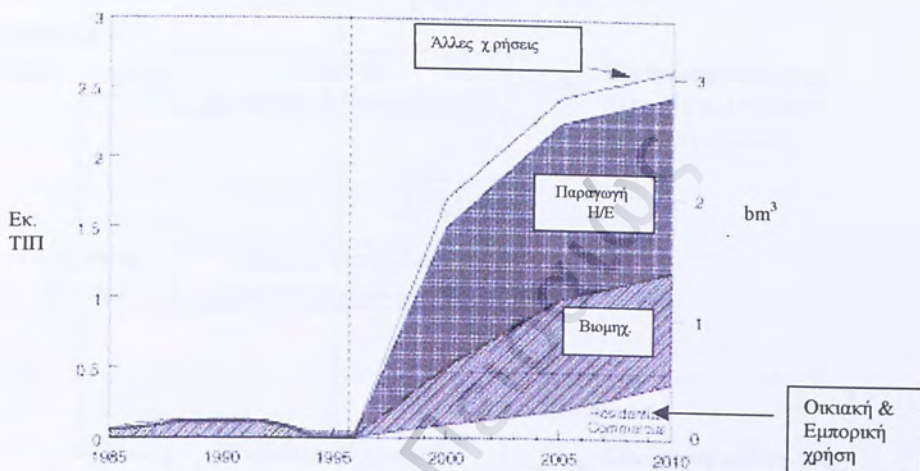
Σημειώσεις: α. Οι ποσότητες φυσικού αερίου από τη Ρωσία εκφράζονται σε δις. Κυβικά μέτρα στους 20⁰C και σε πίεση 1.013 bar . Οι ποσότητες αυξάνουν με την πάροδο του χρόνου έως μία μέγιστη τιμή. β. Η διανομή δεν είναι εξασφαλισμένη μετά το έτος 2015.

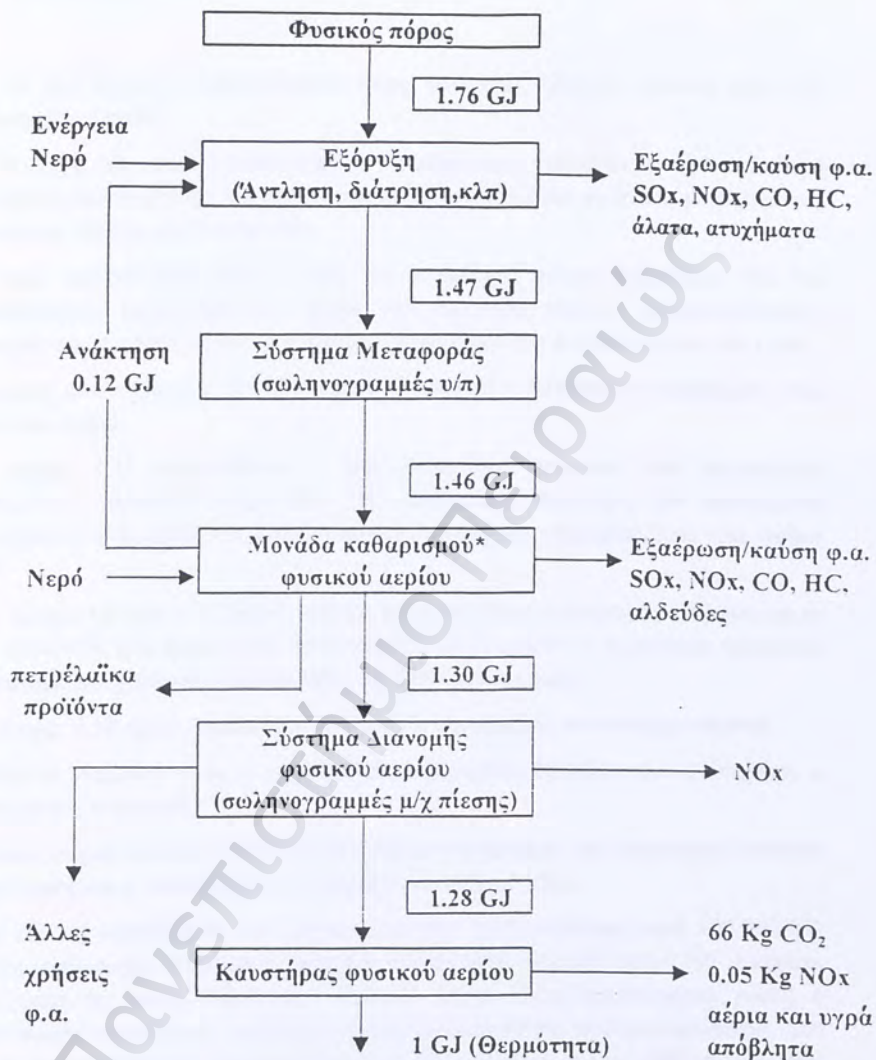
Πηγή : ΔΕΠΑ

Στο σχήμα 4.13 παρουσιάζεται διαγραμματικά η πρόβλεψη για την κατανάλωση φυσικού αερίου έως το έτος 2010 ανά τομέα κατανάλωσης.

Τέλος στο σχήμα 4.14 περιγράφονται τα στάδια του κύκλου ζωής του φυσικού αερίου.

Σχήμα 4.13 Πρόβλεψη για την κατανάλωση φυσικού αερίου έως το έτος 2010 ανά τομέα κατανάλωσης. (Πηγή International Energy Agency, 1998)





Για την παραγωγή 1 GJ από φ.α. η χρήση της AKZ δείχνει ότι η αποδοτικότητα είναι ύψους 56.8 %

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 1GJ θερμότητας από φυσικό αέριο

(Σχήμα 4.14.)

4.3. ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Με τον όρο άνθρακας αναφερόμαστε στους ορυκτούς άνθρακες υψηλής ποιοτικής στάθμης (hard coals).

Ο άνθρακας, παγκοσμίως, αποτελεί το σπουδαιότερο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποθέματά του είναι πολλαπλάσια σε σχέση με εκείνα του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Οι πηγές τροφοδοσίας είναι πολλές και η διεθνής αγορά διακρίνεται για τον ανταγωνιστικό χαρακτήρα της, χωρίς την εμφάνιση τάσεων συγκεντρωτισμού. Συνέπεια των παραπάνω είναι η ασφάλεια εφοδιασμού και η σταθερότητα των τιμών.

Οι χώρες που παράγουν τον άνθρακα είναι και οι μεγαλύτεροι καταναλωτές του καυσίμου αυτού.

Στο σχήμα 4.15 απεικονίζεται ο χάρτης με την κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων άνθρακα (Πηγή BP) . Η ποσοστιαία κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων ανθρακίτη και βιτουμινούχων ανθράκων παρουσιάζεται στο σχήμα 4.16.

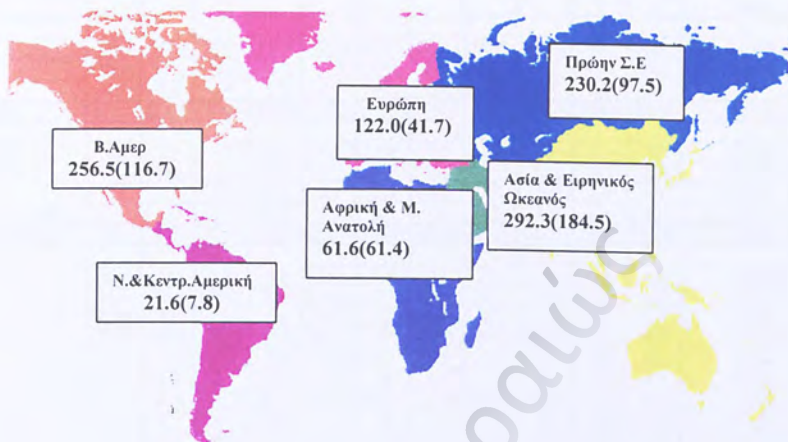
Στον πίνακα 4.9 παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής άνθρακα για τα έτη 1989-1999. Στο σχήμα 4.17 απεικονίζεται διαγραμματικά η παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση άνθρακα τα έτη 1989 και 1999 κατά περιοχή.

Στο σχήμα 4.18 έχουν σημειωθεί οι κύριες οδοί μεταφοράς του άνθρακα διεθνώς.

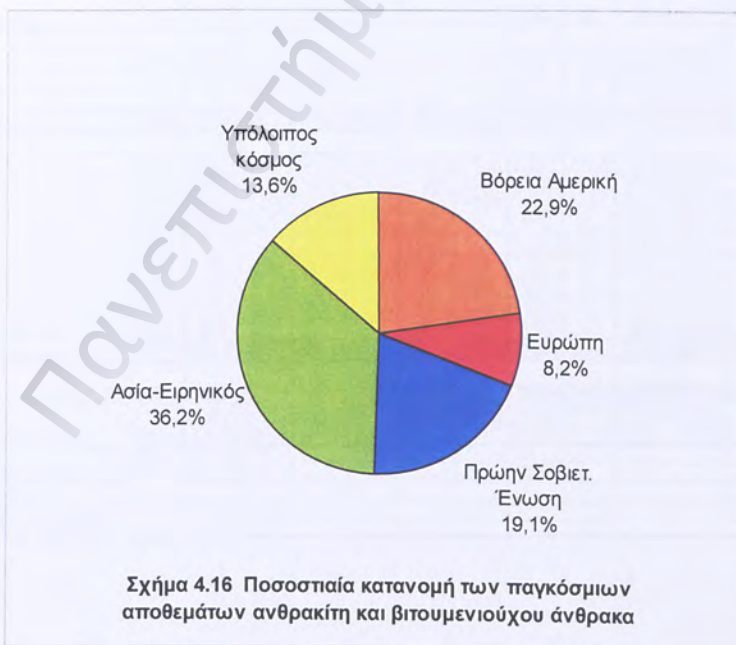
Η Βόρεια Αμερική είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας άνθρακα και η Ευρώπη ο μεγαλύτερος εισαγωγέας

Ανοδικά κινείται και η Ασιατική αγορά άνθρακα στην οποία την περασμένη δεκαετία η παραγωγή και η κατανάλωση αυξήθηκαν από 15% σε 50%.

Στην Κίνα η κατανάλωση του άνθρακα το έτος 1999 μειώθηκε κατά 100.000.000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου σε σχέση με το 1998, δηλαδή κατά 17%. Αντίθετα στις χώρες της πρώην ΕΣΣΔ, στον Καναδά και σε άλλες ανεπτυγμένες χώρες, η κατανάλωση του άνθρακα αυξήθηκε κυρίως στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Στη Γερμανία η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια από άνθρακα το έτος 1999 ανήλθε στις 144 T Wh με ποσοστό συμμετοχής 26%.



Σχήμα 4.15. Κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων ορυκτών ανθράκων (δισ τόνοι), στο τέλος του έτους 1999 (οι παρενθέσεις αναφέρονται στους ανθρακίτες και βιτουμειούχους άνθρακες) (πηγή BP)



Σχήμα 4.16 Ποσοστιαία κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων ανθρακίτη και βιτουμειούχου άνθρακα

Πίνακας 4.9 : Παραγωγή άνθρακα (εκατ. τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου) 1989-1999

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Μεταβολή 1999 σε σχέση με το 1998	1999
ΗΠΑ	533,7	561,4	539,9	540,7	506,2	552,8	550,7	567,1	580,3	593,0	580,5	-2.1%	27,6%
Καναδάς	39,4	38,2	40,0	35,3	37,7	39,6	41,0	41,8	43,3	41,1	39,3	-4.3%	1,9%
Μεξίκο	3,6	3,6	3,4	3,2	3,5	4,7	4,7	5,1	4,9	4,7	4,7	-	0,2%
Συν. Βόρειας Αμερικής	576,7	603,2	583,3	579,2	547,4	597,1	596,4	614,0	628,5	638,8	624,5	-2.2%	29,7%
Βραζιλία	3,8	2,6	2,9	2,7	2,6	2,9	2,9	2,7	3,2	3,1	3,1	-2.2%	0,2%
Κολομβία	14,4	14,8	15,3	17,0	15,7	16,4	18,6	21,7	23,3	21,7	23,6	8,6%	1,1%
Βενεζουέλα	1,4	1,5	1,6	1,6	2,6	2,9	2,8	2,7	3,6	3,8	4,1	6,4%	0,2%
Λοιπές χώρες Νότ&Κεντρ. Αμερικής	1,9	2,0	1,9	1,4	1,2	1,4	1,2	1,2	1,2	0,6	0,7	25,9%	†
Σύνολο Νότ&Κεντρ. Αμερικής	21,5	20,9	21,7	22,7	22,1	23,6	25,5	28,3	31,3	29,2	31,5	7,5%	1,5%
Βουλγαρία	5,9	5,4	4,9	5,2	5,0	4,9	5,3	5,3	5,1	5,2	4,6	-10,8%	0,2%
Τσεχία	40,4	36,4	33,6	30,5	30,0	27,4	26,6	26,3	26,0	24,3	21,3	-12,2%	1,0%
Γαλλία	8,4	7,8	7,4	6,8	6,3	5,5	5,1	5,1	4,2	3,5	3,3	-6,3%	0,2%
Γερμανία	133,6	121,2	102,2	92,5	83,4	76,8	74,3	69,7	66,8	61,3	59,6	-2,7%	2,8%
Ελλάδα	7,1	7,1	7,2	7,5	7,5	7,8	7,9	8,2	8,1	8,3	8,4	0,7%	0,4%
Ουγγαρία	5,6	4,9	4,7	4,4	3,5	3,8	3,4	4,1	4,3	4,0	4,0	0,2%	0,2%
Πολωνία	111,7	94,4	90,7	85,3	85,0	86,6	87,8	88,2	88,0	75,8	73,1	-3,6%	3,5%
Ρουμανία	11,7	7,1	6,1	7,1	7,3	7,6	7,7	7,9	6,4	4,9	4,3	-13,5%	0,2%
Ισπανία	16,4	16,3	15,4	15,3	14,7	13,8	13,4	13,0	12,7	12,2	11,6	-5,4%	0,5%
Τουρκία	19,3	17,5	17,0	18,9	17,9	20,0	20,0	20,6	21,8	24,3	24,4	0,1%	1,2%
Μ.Βρετανία	60,7	56,4	57,3	51,4	41,5	29,8	32,3	30,5	29,5	25,2	22,8	-9,6%	1,1%
Λοιπή Ευρώπη	24,6	24,7	21,7	20,3	18,7	15,6	16,2	15,5	16,7	17,0	17,0	0,5%	0,8%
Σύνολο Ευρώπης	445,4	399,2	368,2	345,2	320,8	299,6	300,0	294,4	289,6	266,0	254,4	-4,4%	12,1%
Καζακστάν	71,4	67,7	66,9	65,0	57,3	53,5	42,6	39,3	37,3	35,9	29,9	-16,8%	1,4%
Ρωσία	183,1	176,2	154,8	148,5	135,1	121,3	118,5	114,4	109,0	103,8	112,6	8,5%	5,4%
Ουκρανία	91,7	83,9	69,1	68,4	59,4	48,5	44,2	39,1	39,8	39,9	42,3	5,9%	2,0%
Λοιπές πρώην Σοβ. Ένωσης	4,3	4,2	3,7	2,5	2,0	1,8	1,3	1,2	1,3	1,1	1,1	-	0,1%
Σύνολο πρώην Σοβ. Ένωσης	350,5	332,0	294,5	284,4	253,8	225,1	206,6	194,0	187,4	180,7	185,9	2,8%	8,9%
Σύνολο Μ. Ανατολής	0,9	1,0	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	5,8%	†
Νότια Αφρική	93,4	92,6	94,5	92,4	96,6	103,8	109,3	109,3	116,5	119,1	116,7	-2,0%	5,5%
Ζιμπάμπουε	3,2	3,5	3,5	3,5	3,3	3,4	3,5	3,3	3,3	3,4	3,5	2,4%	0,2%
Λοιπή Αφρική	1,4	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,7	1,9	6,1%	0,1%
Σύνολο Αφρικής	98,0	97,5	99,5	97,4	101,3	108,7	114,3	114,0	121,3	124,2	122,1	-1,8%	5,8%
Αυστραλία	98,9	106,6	110,7	117,0	117,7	119,1	125,0	130,3	141,8	147,5	149,8	1,5%	7,1%
Κίνα	530,2	542,3	545,1	559,9	580,7	619,4	650,9	691,5	665,5	625,7	512,1	-18,1%	24,3%
Ινδία	99,8	103,3	110,9	117,3	121,5	124,7	132,6	143,1	146,9	147,6	144,1	-2,4%	6,9%
Ινδονησία	5,7	6,4	8,7	14,2	17,0	19,1	25,5	31,0	33,7	37,1	40,1	8,2%	1,9%
Ιαπωνία	6,8	5,5	5,4	5,1	4,8	4,6	4,2	4,3	2,8	2,4	2,6	6,8%	0,1%
Νέα Ζηλανδία	1,8	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,3	2,4	2,2	2,2	2,0	-7,8%	0,1%
Πακιστάν	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5	1,7	1,5	1,6	1,5	-3,6%	0,1%
Νότια Κορέα	11,1	9,2	8,0	6,4	5,0	4,0	3,0	2,6	2,4	2,3	2,2	-3,7%	0,1%
Λοιπά Ασίας - Ειρηνικού	40,2	39,0	37,7	36,7	35,5	33,4	32,7	33,1	34,2	32,8	29,9	-8,7%	1,4%
Σύνολο Ασίας-Ειρηνικού	795,8	815,3	829,7	859,9	885,7	927,7	977,7	1040,0	1031,0	999,2	884,3	-11,5%	42,0%
Σύνολο	2288,8	2269,1	2197,6	2189,5	2131,8	2182,8	2221,4	2285,6	2289,8	2238,9	2103,5	-6,1%	100,0%
Από αυτά: ΟΟΣΑ	1101,1	1090,4	1046,5	1023,6	967,7	998,9	1002,3	1019,9	1039,8	1032,8	1010,2	-2,2%	48,0%
Υπόλοιπα ΕΜΕΣ ‡	797,6	811,7	825,7	850,4	880,3	931,2	983,9	1043,5	1035,2	999,1	882,2	-11,7%	41,9%

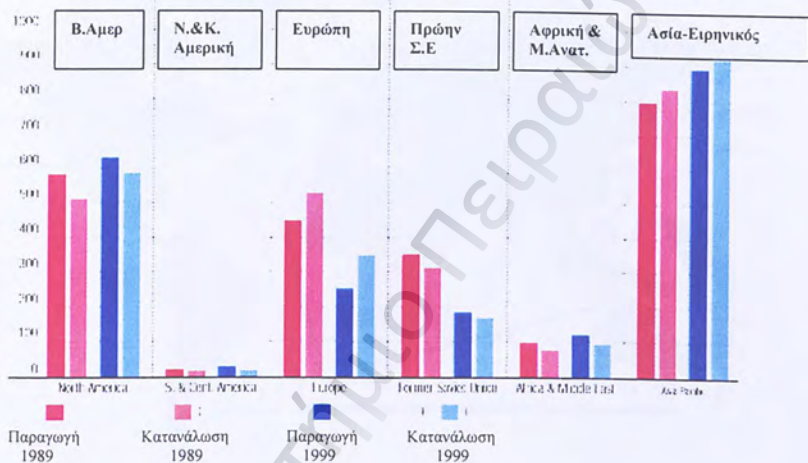
* εμπορικά στερεά καύσιμα μόνο

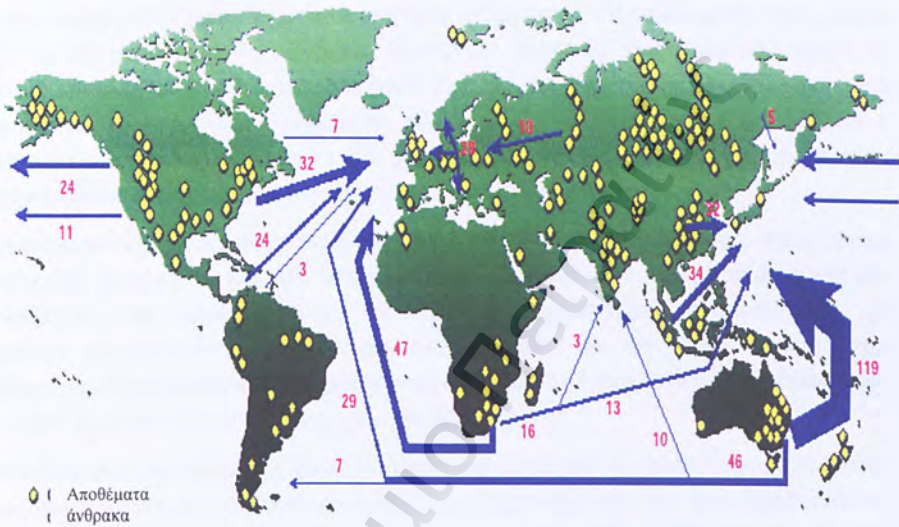
† Μικρότερο από 0.05

‡ Εκτός από την κεντρική Ευρώπη

και τις χώρες της πρώην Σοβ. Ένωσης

Σχήμα 4.17. Παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση άνθρακα 1989 και 1999 κατά περιοχή (εκ. τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου)





Σχήμα 4.18 . Κύριες οδοί διεθνούς μεταφοράς του άνθρακα
 (πηγή world coal institute 2000)

4.4. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

Το πετρέλαιο είναι μίγμα υγρών υδρογονανθράκων, στους οποίους είναι διαλυμένοι στερεοί και αέριοι. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί μπορεί να είναι κορεσμένοι αλειφατικοί (παραφινικοί), κορεσμένοι κυκλικοί (ναφθενικοί) ή αρωματικοί.

Το αργό πετρέλαιο δεν βρίσκεται μέσα στη γη εντός τεράστιων κοιλοτήτων όπως το φυσικό αέριο, αλλά εμποτισμένο σε πορώδη πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά πρέπει να είναι όχι μόνο πορώδη αλλά και διαπερατά, ώστε το πετρέλαιο να μπορεί να κινείται εύκολα μέσα σε αυτά. Μητρικά πετρώματα στα οποία μπορεί αρχικά να σχηματιστεί το πετρέλαιο θεωρούνται τα αργιλώδη ιζήματα και οι ασβεστόλιθοι. Περιέχουν σταγονίδια πετρελαίου που χαρακτηρίζονται ως μικρονάφθα, σε χαμηλές συγκεντρώσεις κυμαινόμενες στην περιοχή των 5-500γρ/τόννο.

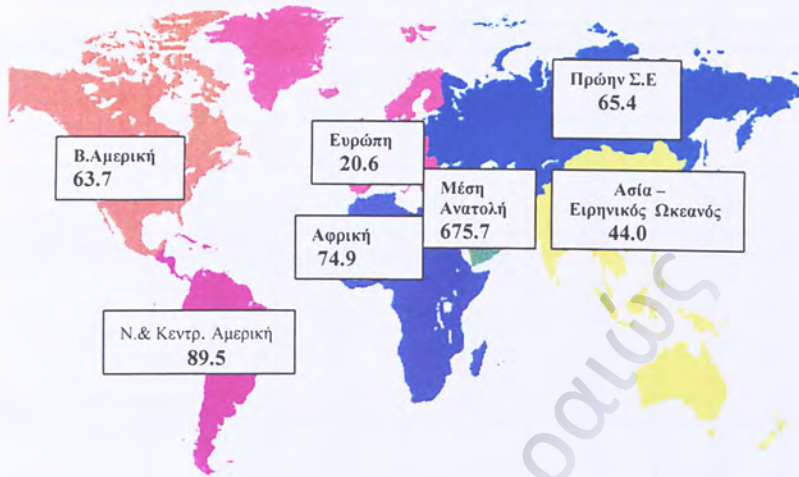
Θερμοκρασιακές μεταβολές, κινήσεις του υπεδάφους και διαφορά πυκνότητας μεταξύ του πετρελαίου και του αλμυρού νερού, προκάλεσαν την μετανάστευση και συσσώρευση του πετρελαίου σε κατάλληλους γεωλογικούς σχηματισμούς. Οι πορώδεις γεωλογικοί ορίζοντες που συσσωρεύουν το πετρέλαιο ονομάζονται ταμιευτήρες. Περικλείονται από αδιαπέρατα πετρώματα ή σχηματισμούς πετρωμάτων που εμποδίζουν τη διαφυγή πετρελαίου και του αερίου.

Η απόδοση ενός κοιτάσματος σε πετρέλαιο εξαρτάται από το ενεργό πορώδες και τη διαπερατότητα του πετρώματος, το ιξώδες του πετρελαίου και την υφιστάμενη πίεση. Η πετροφυσική έρευνα δίνει πληροφορίες για τα μεγέθη αυτά, καθώς και για το είδος των παγιδευμένων υδρογονανθράκων. Η πιθανότητα επιτυχίας των ερευνητικών γεωτρήσεων είναι πολύ μικρή, της τάξεως του 1%. Στο σχήμα 4.19 εμφανίζεται η κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου (δix βαρέλια), στο τέλος του έτους 1999 (πηγή BP) στον πίνακα 4.10 δίνονται τα αποθέματα πετρελαίου κατά περιοχή, τα έτη 1979, 1989, 1998 και 1999, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά και οι σχέσεις αποθεμάτων προς την ετήσια παραγωγή (Πηγή BP). Η ποσοστιαία κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου παρουσιάζεται στο σχήμα 4.20. Στο σχήμα 4.21 δίνεται η διαχρονική εξέλιξη των βέβαιων αποθεμάτων πετρελαίου κατά περιοχή.

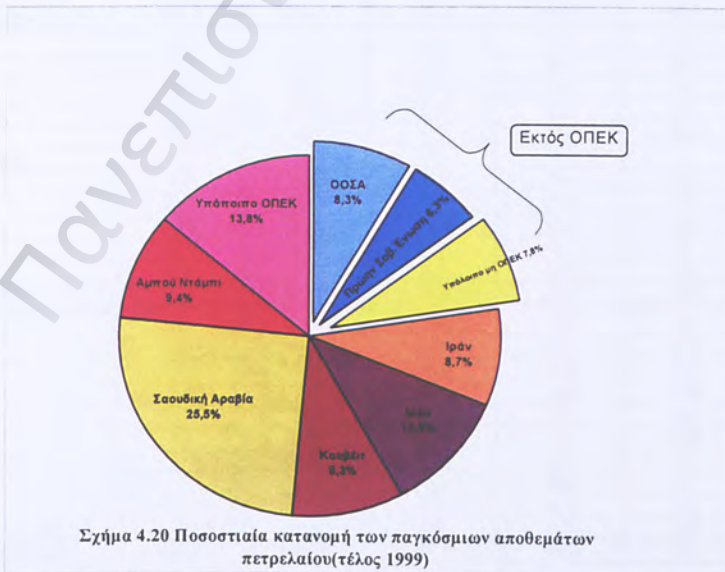
Στον πίνακα 4.11 παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου για τα έτη 1989-1999.

Στο σχήμα 4.22 έχουν σημειωθεί οι κύριες οδοί μεταφοράς του πετρελαίου διεθνώς. Ο κυριότερος δίαυλος μεταφοράς είναι η θάλασσα.

Από τη στιγμή που το αργό πετρέλαιο φτάσει στον προορισμό του, που δεν είναι άλλος από το διυλιστήριο, τότε αρχίζουν όλες οι διεργασίες. Κάθε διυλιστήριο αρχίζει από τον διαχωρισμό του αργού σε διαφορετικά κλάσματα με τη διαδικασία της διύλισης. Τα κλάσματα υπόκεινται και περαιτέρω «επεξεργασία», έτσι ώστε να μετατραπούν σε «χρήσιμα» μίγματα. Η «επεξεργασία», αυτή περιλαμβάνει



Σχήμα 4.19. Κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου (δισ βαρέλια), στο τέλος του έτους 1999 (πηγή BP)



Σχήμα 4.20 Ποσοστιαία κατανομή των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου(τέλος 1999)

Πίνακας 4.10. Παγκόσμια Αποθέματα Πετρελαίου

	Στο τέλος 1979	Στο τέλος 1989	Στο τέλος 1998	Στο τέλος 1999	Στο τέλος 1999	Στο τέλος 1999	Στο τέλος 1999
	Δις βαρέλια	Δις βαρέλια	Δις βαρέλια	Δις βαρέλια	Δις τόνοι	Ποσοστό	Σύγκριση R/P
ΗΠΑ	33,7	33,6	30,1	28,6	3,5	2,8%	10,0
Καναδάς	8,1	8,4	6,8	6,8	0,8	0,7%	9,3
Μεξικό	31,3	56,4	47,8	28,4	4,1	2,7%	24,5
Συν. Βόρειας Αμερικής	73,0	98,4	84,7	63,7	7,3	6,2%	13,8
Αργεντινή	2,4	2,3	2,6	2,7	0,4	0,3%	9,1
Βραζιλία	1,2	2,8	7,1	7,3	1,0	0,7%	18,1
Κολομβία	0,7	2,1	2,6	2,6	0,4	0,2%	8,5
Ισημερινός	1,1	1,5	2,1	2,1	0,3	0,2%	15,3
Περου	0,7	0,4	0,3	0,4	+	+	8,9
Τρινιάντ και Τομπάγκο	0,7	0,5	0,5	0,6	0,1	0,1%	12,9
Βενεζουέλα	17,9	58,5	72,6	72,6	10,5	7,0%	65,2
Λοιπές χώρες Νότ&Κεντρ. Αμερ	0,6	0,6	1,2	1,2	0,2	0,1%	25,0
Σύνολ. Νότ&Κεντρ. Αμερικ.	25,2	68,7	89,0	89,5	12,9	8,6%	37,7
Δανία	0,4	0,8	0,9	1,1	0,1	0,1%	9,7
Ιταλία	0,6	0,7	0,6	0,6	0,1	0,1%	15,8
Νορβηγία	5,8	11,5	10,9	10,8	1,4	1,0%	9,3
Ρουμανία	n/a	n/a	1,4	1,4	0,2	0,1%	30,4
Μ.Βρετανία	15,4	4,3	5,2	5,2	0,7	0,5%	5,0
Λοιπή Ευρώπη	4,4	3,2	1,7	1,6	0,2	0,2%	13,3
Σύνολο Ευρώπης	26,6	20,5	20,8	20,6	2,7	2,0%	8,3
Αζερμπαϊτζάν	n/a	n/a	7,0	7,0	1,0	0,7%	69,5
Καζακστάν	n/a	n/a	8,0	8,0	1,1	0,8%	36,5
Ρωσία	n/a	n/a	48,6	48,6	6,7	4,7%	21,8
Τουρκμενιστάν	n/a	n/a	0,5	0,5	0,1	+	10,2
Ουζμπεκιστάν	n/a	n/a	0,6	0,6	0,1	+	10,0
Λοιπές πρώην Σοβ. Ένωσης	n/a	n/a	0,7	0,7	0,1	0,1%	15,8
Σύνολο πρώην Σοβ. Ένωσης	67,0	58,4	65,4	65,4	9,0	6,3%	24,2
Ιράν	58,0	92,9	89,7	89,7	12,3	8,7%	69,9
Ιράκ	31,0	100,0	112,5	112,5	15,1	10,9%	*
Κουβέιτ	68,5	97,1	96,5	96,5	13,3	9,3%	*
Ομάν	2,4	4,3	5,3	5,3	0,7	0,5%	15,9
Κατάρ	3,8	4,5	3,7	3,7	0,5	0,4%	14,7
Σουδική Αραβία	166,5	257,6	261,5	263,5	36,0	25,5%	87,5
Συρία	2,0	1,7	2,5	2,5	0,4	0,3%	12,3
Ενωμένα Αραβικά Εμιράτα	29,4	98,1	97,8	97,8	12,6	9,4%	*
Υεμένη	-	4,0	4,0	4,0	0,5	0,4%	27,9
Λοιπές Κεντρ. Ανατολής	0,2	0,1	0,2	0,1	+	+	9,1
Σύνολο Μέσης Ανατολής	361,8	660,3	673,6	675,7	91,5	65,4%	87,0
Άλγερια	8,4	9,2	9,2	9,2	1,2	0,9%	20,6
Αγκόλα	1,2	2,0	5,4	5,4	0,7	0,5%	19,0
Καμερούν	0,1	0,4	0,4	0,4	0,1	+	11,6
Δημ. του Κονγκό	0,4	0,8	1,5	1,5	0,2	0,1%	14,1
Αιθιοπία	3,1	4,5	3,5	2,9	0,4	0,3%	10,0
Γουινέα (Ισημερινός)	-	-	+	+	+	+	0,3
Γκαμπόν	0,5	0,7	2,5	2,5	0,3	0,2%	20,1
Λιβύη	23,5	22,8	29,5	29,5	3,9	2,9%	57,4
Νιγηρία	17,4	16,0	22,5	22,5	3,1	2,2%	30,6
Τυνησία	2,3	1,8	0,3	0,3	+	+	10,1
Λοιπά Αφρικής	0,1	0,6	0,6	0,6	0,1	0,1%	8,1
Σύνολο Αφρικής	57,1	58,8	75,4	74,9	10,0	7,2%	28,2
Αυστραλία	2,1	1,7	2,9	2,9	0,4	0,3%	15,0
Μπρουνάι	1,8	1,4	1,4	1,4	0,2	0,1%	20,8
Κίνα	20,0	24,0	24,0	24,0	3,3	2,3%	20,6
Ινδία	2,6	7,5	4,0	4,8	0,6	0,5%	17,8
Ινδονησία	9,6	8,2	5,0	5,0	0,7	0,5%	9,7
Μαλαισία	2,8	3,0	3,9	3,9	0,5	0,4%	14,0
Παπούα Νέα Γουινέα	-	0,2	0,3	0,3	+	+	9,4
Ταϊλάνδη	-	0,2	0,3	0,3	+	+	8,6
Βιετνάμ	-	-	0,6	0,6	0,1	0,1%	5,7
Λοιπά Ασίας - Ειρηνικού	0,4	0,4	0,7	0,8	0,1	0,1%	12,9
Σύνολο Ασίας-Ειρηνικού	39,4	46,6	43,1	44,0	5,9	4,3%	16,3
Σύνολο κόσμου	650,1	1011,7	1052,0	1033,8	140,4	100,0%	41,0
Από αυτά: ΟΟΣΑ#	98,6	119,1	106,7	85,6	11,3	8,3%	11,8
ΟΠΕΚ	434,0	764,9	800,5	802,5	109,1	77,6%	77,4
εκτός-ΟΠΕΚ**	149,1	188,4	186,1	165,9	22,3	16,0%	13,6

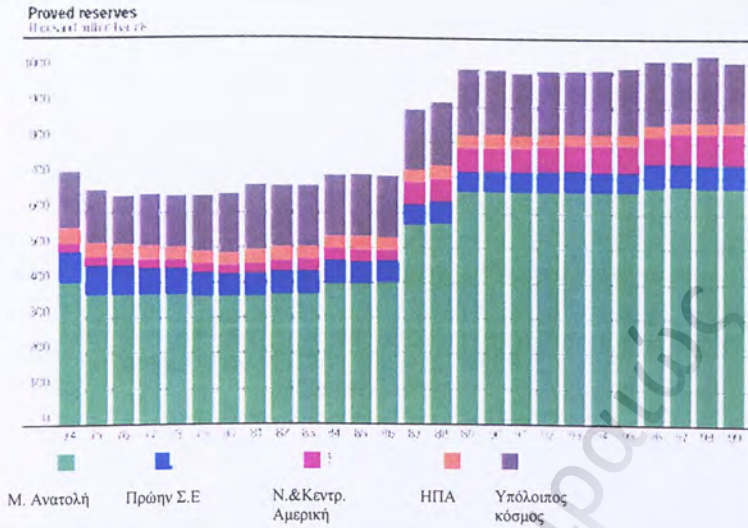
* Περισσότερα από 500 έτη.

† Μικρότερο από 0,05.

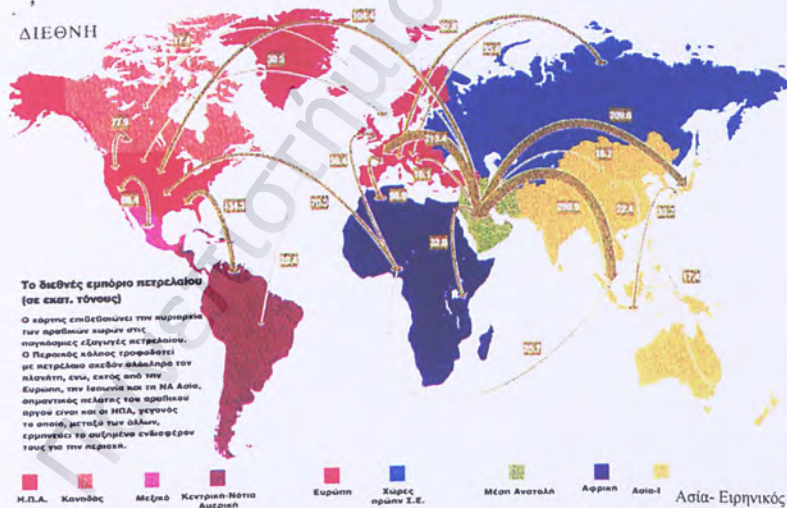
1979 & 1989 δεν περιλαμβάνουν μέλη της Κεντρικής Ευρώπης.

** δεν περιλαμβάνει τις χώρες της πρώην Σ. Ένωσης.

n/a όχι διαθέσιμα



Σχήμα 4.21 Διαχρονική εξέλιξη των βέβαιων παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου 1974-1999 (πηγή BP) (δις βαρέλια) κατά περιοχή 1974-1999



Σχήμα 4.22 Κύριες οδοί διεθνούς μεταφοράς πετρελαίου

Σχήμα 4.23: Προϊόντα Διύλισης για Διεργασίες που εφαρμόζονται μετά το 1996



διαδικασίες όπως η αναμόρφωση, η πυρόλυση, η ισομερίωση, η αλκυλίωση και ο πολυμερισμός. Στο σχήμα: 4.23 περιγράφονται τα προϊόντα Διύλισης για Διεργασίες που εφαρμόζονται μετά το 1996

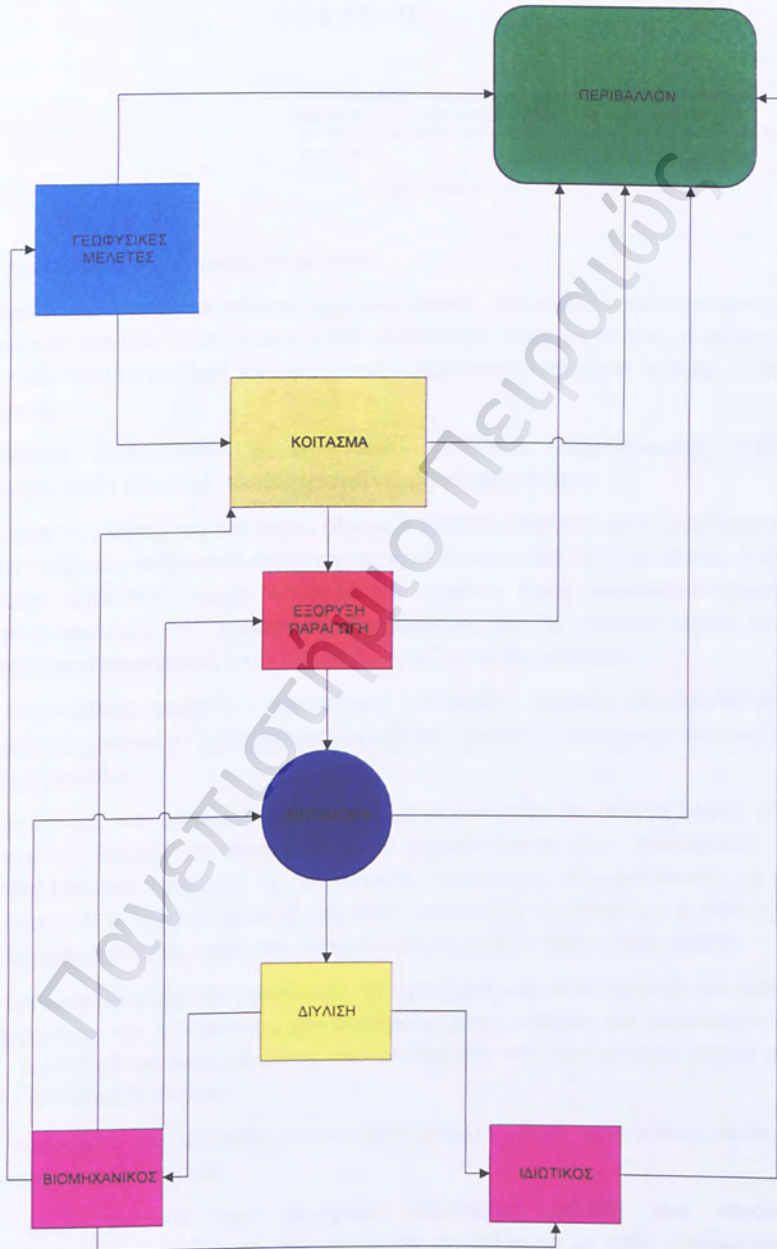
Το μεγαλύτερο μέρος παραγωγής πετρελαίου από τις Ευρωπαϊκές χώρες που ανήκουν στον ΟΟΣΑ συγκεντρώνεται στη Βόρεια Θάλασσα. Στην Αγγλία και τη Νορβηγία αντλούνται οι μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαίου

Εκτιμάται ότι η Νορβηγία θα παραμείνει η μεγαλύτερη πετρελαιοπαραγωγός χώρα του ΟΟΣΑ. Η παραγωγή της Αγγλίας αναμένεται να αυξηθεί τα προσεχή έτη και να προσεγγίσει την παραγωγή της Νορβηγίας. Επίσης η Δανία, η Ολλανδία και η Γερμανία εκμεταλλεύονται κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας.

Στον ελληνικό χώρο το κοιτάσμα αργού πετρελαίου στον Πρίνο έχει δώσει μέχρι στιγμής 90 εκατ. βαρέλια (Φώσκολος 1998) . Υπολογίζεται ότι με μεθόδους δευτερογενούς απόληψης είναι δυνατόν να αντληθούν άλλα 12 έως 13 εκατ. βαρέλια αργού πετρελαίου. Επίσης εκτιμάται ότι επιπλέον 15 εκατ. βαρέλια απολήψιμου αργού πετρελαίου βρίσκονται στο κοιτάσμα του Β Πρίνου. Τα πιθανά αποθέματα απολήψιμου αργού πετρελαίου στο Β. Αιγαίο, που εντοπίζονται στις 6 δομές ανατολικά της Θάσου, εκτιμώνται σε περισσότερα από 1 δις βαρέλια. Καλές ενδείξεις υπάρχουν για άλλα 3-4 κοιτάσματα Β.Δ. της Θάσου εντός των χωρικών υδάτων της Ελλάδος. Στη Δυτική Ελλάδα επίσης και συγκεκριμένα στις περιοχές Παξοί - Πάργα, Πατραϊκός Κόλπος - Κατάκολο, Β.Δ. Πελοπόννησος (ξηρά) Αιτωλοκαρνανία και Ιωάννινα υπάρχουν πιθανά απολήψιμα αποθέματα πάνω από 2 δις βαρέλια αργού πετρελαίου.

Τέλος στο σχήμα 4.24 απεικονίζεται το Διάγραμμα Ροής του « Κύκλου Ζωής» του Πετρελαίου.

Σχήμα 4.24. Διάγραμμα Ροής του «Κύκλου Ζωής» του Πετρελαίου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΥΠΟ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η μαθηματική φαντασία και οι παραστάσεις της, στενά συνδεδεμένες, μας εξοπλίζουν με μια ιδιαίτερη όραση, η οποία μας επιτρέπει να δούμε την κρυμμένη αλλά εξαιρετικά δομή που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια.

Robert Osserman, Η Ποίηση του Σόμερμαντος.

5.1 Το γενικό πρόβλημα λήψης αποφάσεων

Κάθε διαδικασία λήψης αποφάσεων έχει αντικείμενο την επιλογή από ένα φάσμα εναλλακτικών λύσεων. Όταν η υπάρχουσα πληροφορία είναι μη πλήρης ή αβέβαιη τότε γίνεται λόγος για λήψη απόφασης υπό αβεβαιότητα (decision making under uncertainty).

Το πρόβλημα περιγράφεται με ένα γενικό υπόδειγμα (Λαμπρόπουλος 1985, Διακουλάκη 1999) στο οποίο υπεισέρχονται τα ακόλουθα στοιχεία .

- Ο υπεύθυνος λήψης της απόφασης (decision maker) μπορεί να είναι μεμονωμένο άτομο ή φορέας στον οποίο συμμετέχουν περισσότεροι από ένας υπεύθυνοι. Στην δεύτερη περίπτωση γίνεται αναφορά για ομαδική λήψη αποφάσεων (group decision making). Η προσωπική συμπεριφορά και το σύστημα αξιών του υπευθύνου αντικατοπτρίζονται στη διαδικασία λήψης της απόφασης.
- Οι εναλλακτικές επιλογές – στρατηγικές (alternative actions). Θεωρούνται ως μεταβλητές απόφασης ή ελεγχόμενες μεταβλητές μπορεί να αποτελούν διακριτό ή συνεχές σύνολο
- Οι επιδιώξεις και αντικειμενικοί στόχοι (objectives) του υπευθύνου λήψης της απόφασης. Μπορεί να αναφέρονται σε μεγιστοποίηση (π.χ. οικονομικού ή περιβαλλοντικού οφέλους ή κοινωνικής αποδοχής) ελαχιστοποίηση (π.χ. οικονομικού ή περιβαλλοντικού κόστους, κοινωνικής αντίδρασης) ή επίτευξη ενδιάμεσης βέλτιστης τιμής (π.χ. θερμοκρασιακό επίπεδο εσωτερικού χώρου).
- Τα κριτήρια (criteria) που επιτρέπουν την ιεράρχηση των εναλλακτικών επιλογών, σύμφωνα με την ικανοποίηση που επιφέρουν στους στόχους του αποφασίζοντα και αποτελούν τα μέσα μέτρησης των επιδιώξεων του. Τα κριτήρια μπορεί να είναι ποσοτικά ή ποιοτικά.
- Οι περιορισμοί της απόφασης (constraints) μπορεί να είναι οικονομικοί, νομικοί, κοινωνικοί, πολιτικοί κτλ
- Τα χαρακτηριστικά των κριτηρίων (attributes) δηλαδή ένα σύνολο αποτελεσμάτων ή επιδόσεων των κριτηρίων συνδεδεμένο με κάθε εναλλακτική επιλογή.

- ένας αριθμός καταστάσεων της φύσης (states of nature, events) του περιβάλλοντος που η εμφάνισή τους προσδιορίζει ποιο από τα πολλά δυνατά αποτελέσματα της κάθε επιλογής θα πραγματοποιηθεί τελικά. Οι καταστάσεις αυτές δεν βρίσκονται υπό τον έλεγχο του αναλυτή.

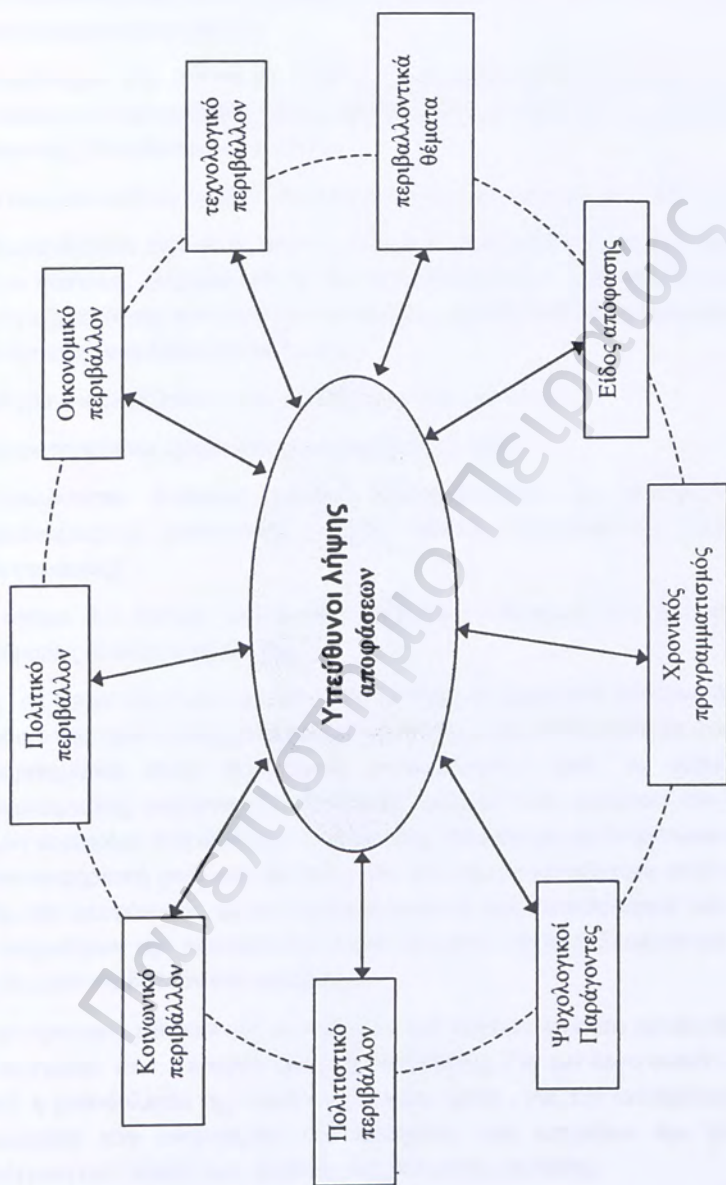
Στο σχήμα 5.1 απεικονίζεται παραστατικά η θέση του υπεύθυνου λήψης των αποφάσεων σε σχέση με το γενικότερο περιβάλλον και οι παράγοντες που υπεισέρχονται στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων (Guitouni & Martel, 1998, Vale, 1998).

Το ουσιαστικό στοιχείο των προβλημάτων σχετικά με τη λήψη αποφάσεων είναι η σύγκρουση (conflict) των στόχων. Η προσέγγιση ενός στόχου μπορεί να οδηγήσει στην απομάκρυνση από έναν ή περισσότερους άλλους στόχους, δηλαδή δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη ικανοποίηση όλων των στόχων. Επομένως, η λήψη της απόφασης για την επιλογή μιας από τις δυνατές λύσεις προϋποθέτει τον συμβιβασμό (compromise) των επιδιώξεων του υπευθύνου ως προς τα κριτήρια που θέτει. Απαιτείται, συνεπώς, η απομάκρυνση από την ικανοποίηση ενός στόχου έτσι ώστε ο αναλυτής να επιτύχει καλύτερη επίδοση σε έναν άλλο (trade-offs). Στην ομαδική λήψη αποφάσεων συχνά οι συμμετέχοντες καταλήγουν σε διαφορετικές λύσεις. Τότε είναι αναγκαίος ο συμβιβασμός (consensus) έτσι ώστε να υπάρχει σύγκλιση μεταξύ των υπευθύνων.

5.2 Η μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης στον ενεργειακό σχεδιασμό.

Γενικά, η μελέτη μιας επένδυσης μπορεί να διαιρεθεί στα ακόλουθα στάδια (Λαμπρόπουλος 1985):

1. Αναγνώριση του προβλήματος και προσπάθεια καθορισμού των ορίων διερεύνησής του. Στο στάδιο αυτό παρουσιάζονται δυσκολίες αναφορικά με τον προσδιορισμό των εναλλακτικών λύσεων ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μακροχρόνιο σχεδιασμό, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της ηλεκτροπαραγωγής.
2. Προσδιορισμός των επιδιώξεων και των αντικειμενικών στόχων του λήπτη της απόφασης. Στο στάδιο αυτό είναι δυνατό να υπάρχουν διαφορετικοί και συχνά αντικρουόμενοι στόχοι.
3. Αναζήτηση πληροφοριών ώστε να προσδιοριστούν οι παράγοντες που επιδρούν στην επένδυση και οι εναλλακτικές επιλογές που πραγματικά υφίστανται.
4. Εκλογή των κριτηρίων αξιολόγησης των εναλλακτικών λύσεων. Το ιδανικό κριτήριο οδηγεί σε μια προτιμησιακή διαβάθμιση των εναλλακτικών επιλογών που αντανακλά με ακρίβεια την ιεραρχία των επιδιώξεων του λήπτη της απόφασης.



Σχήμα 5.1 Γενική θεώρηση των παραγόντων που υπεισέρχονται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων

5. Κατασκευή υποδειγμάτων (μοντέλων) για όλες τις εναλλακτικές επιλογές, δηλαδή ανάπτυξη- για κάθε δυνατή επιλογή – υποθέσεων σχετικά με τις αλληλοεπιδράσεις των μεταβλητών, τις πιθανές καταστάσεις της φύσης, και τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Το πρόβλημα της επέκτασης του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος καθίσταται πολύπλοκο και παρουσιάζει πολλές αβεβαιότητες, αν λάβουμε υπόψη τους παρακάτω παράγοντες (Conzelman et al,1996):

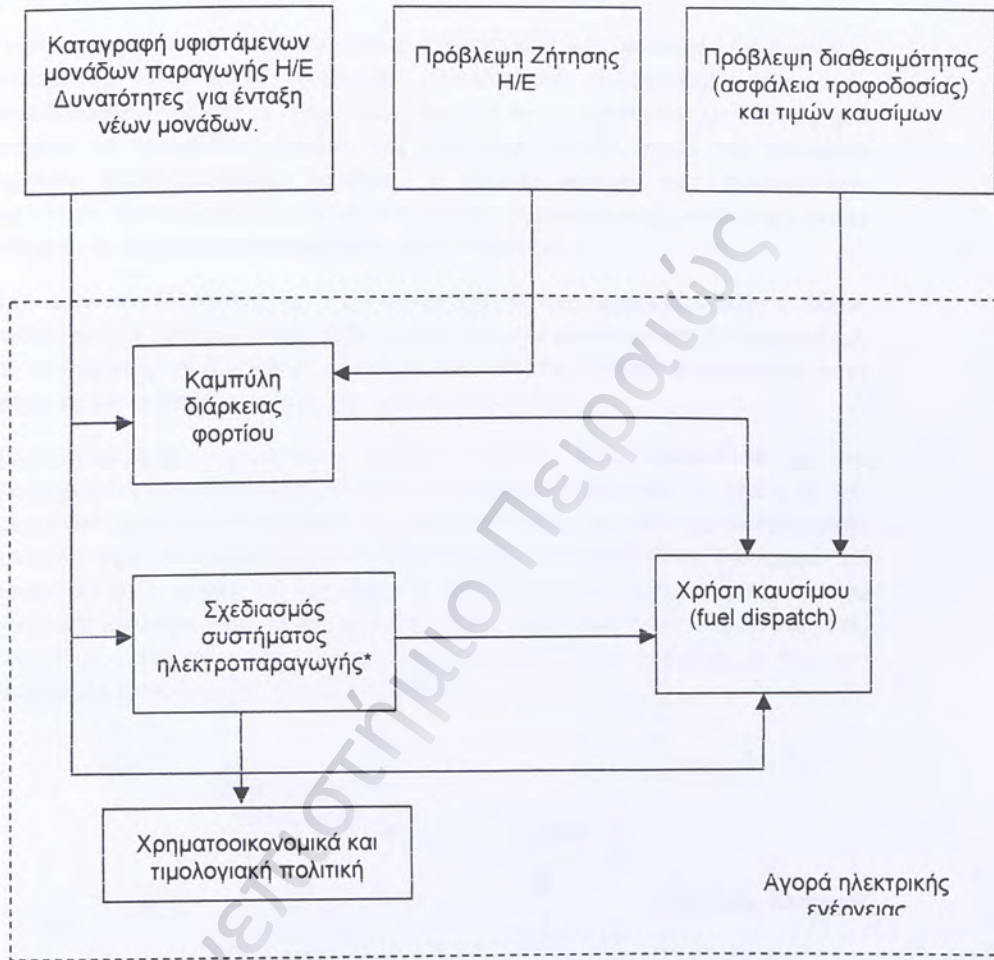
- Υπάρχουν πολλές δυνατές στρατηγικές (π.χ ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου)
- Εμφανίζονται πολλοί συγκρούμενοι αντικειμενικοί στόχοι (π.χ ελαχιστοποίηση του κόστους, ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μεγιστοποίηση της αξιοποίησης των πρωτογενών πηγών, ελαχιστοποίηση εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας ,ασφάλεια τροφοδοσίας)
- Ο χρονικός ορίζοντας των επενδύσεων είναι μεγάλος
- Παρατηρούνται αβεβαιότητες ως προς τη ζήτηση.
- Εμπλέκονται διάφορες ομάδες ενδιαφερομένων με τελείως διαφορετικές επιδιώξεις(π.χ ρυθμιστικές αρχές, τοπική αυτοδιοίκηση, περιβαλλοντικές οργανώσεις)

Στο σχήμα 5.2 δίνεται ένα γενικό μοντέλο σχεδιασμού για την επέκταση ενός συστήματος ηλεκτροπαραγωγής

Έως τις αρχές της δεκαετίας του '80 η ελαχιστοποίηση του κόστους αποτελούσε το μοναδικό κριτήριο λήψης αποφάσεων για το σχεδιασμό ενεργειακών συστημάτων. Η μονοκριτηριακή αυτή προσέγγιση υποκαθίσταται από τη μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης (multicriteria analysis) που επιτρέπει την ενσωμάτωση πολλών κριτηρίων στη διαδικασία της λήψης αποφάσεων σε ενεργειακά προβλήματα. Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί μία συστημική προσέγγιση στην επιστήμη της λήψης των αποφάσεων , με την οποία αναγνωρίζεται η συνθετότητα των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόφαση και κατά συνέπεια και η πολλαπλότητα των λύσεων που μπορούν να δοθούν στο πρόβλημα.

Τα κριτήρια που τίθενται και οι επιδόσεις των λύσεων σε αυτά πρέπει να καλύπτουν όλα τα στάδια του κύκλου ζωής της διεργασίας .Για τον λόγο αυτόν εφαρμόζεται αρχικά η μεθοδολογία της ανάλυσης κύκλου ζωής , για την ενσωμάτωση όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόφαση, που επιτρέπει την ολοκληρωμένη προσέγγιση στο πρόβλημα εύρεσης της βέλτιστης επιλογής.

Παρόλο που η χρήση της ανάλυσης κύκλου ζωής έχει παραδοσιακά προσανατολιστεί στη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης των προϊόντων, όλο και συχνότερα αναφέρονται τελευταία οι ανεξερεύνητες δυνατότητές της ως ένα βοηθητικό εργαλείο



* Βέλτιστη Δυναμικότητα Ελέκτασης
(μίγμα τεχνολογιών)

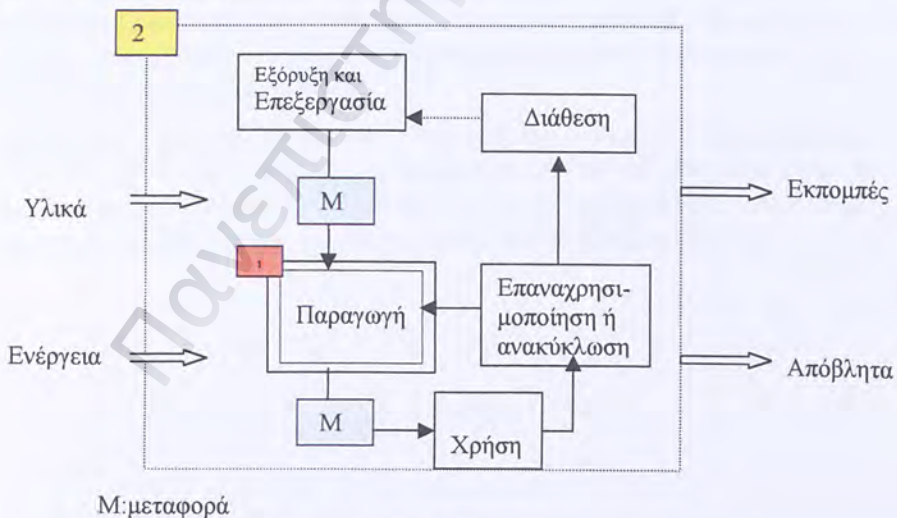
Σχήμα 5.2 Διαγραμματική απεικόνιση γενικού υποδείγματος για το σχεδιασμό ενός συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (Πηγή : Kydes,1999) .

για τη επιλογή μιας διεργασίας και για την αναγνώριση της βέλτιστης εφαρμόσιμης επιλογής (Best Practicable Option).

Για να περιγραφεί και να προβλεφθεί η συμπεριφορά ενός σύνθετου βιομηχανικού συστήματος, είναι συχνά απαραίτητη η εφαρμογή πολύπλοκης μαθηματικής μοντελοποίησης. Επίσης, η αναγνώριση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας που μπορούν να εγγυηθούν βελτίωση στη διεργασία, απαιτεί συχνά την εφαρμογή τεχνικών βελτιστοποίησης. Ιστορικά, η βελτιστοποίηση των βιομηχανικών εφαρμογών έχει επικεντρωθεί στη μεγιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης η οποία υπόκειται σε δεδομένους περιορισμούς του συστήματος.

Την τελευταία δεκαετία όμως, η βελτιστοποίηση των περιβαλλοντικών ή άλλων επιδόσεων (π.χ. τεχνολογικών) έχει αρχίσει να ενσωματώνεται στη βελτιστοποίηση του συστήματος, παράλληλα με τα οικονομικά κριτήρια. Ωστόσο η προσέγγιση αυτή πρέπει να επεκτείνεται σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ανάλυση κύκλου ζωής, εφαρμόζεται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα, παρά σε μια συγκεκριμένη διεργασία. Σε σχέση με τον ορισμό των ορίων του συστήματος, αντιπροσωπεύει μία επέκταση της παραδοσιακής ανάλυσης όπου τα όρια αναφέρονταν σε συγκεκριμένες διεργασίες. Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο η ανάλυση κύκλου ζωής συμπληρώνει τη συμβατική ανάλυση. Ενώ οι βιομηχανικές διεργασίες επικεντρώνονται κυρίως στις λειτουργίες εντός των ορίων 1, η ανάλυση κύκλου ζωής αναφέρεται σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα (όρια του συστήματος 2).



Σχ. 5.3.Στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος

Όρια συστήματος : 1, ανάλυση διεργασίας 2, ανάλυση κύκλου ζωής

(Πηγή : A.Azapagic , R. Clift, 1999)

Η μεθοδολογία εφαρμογής της ανάλυσης κύκλου ζωής στη βελτιστοποίηση του συστήματος περιλαμβάνει τα παρακάτω τέσσερα γενικά βήματα :

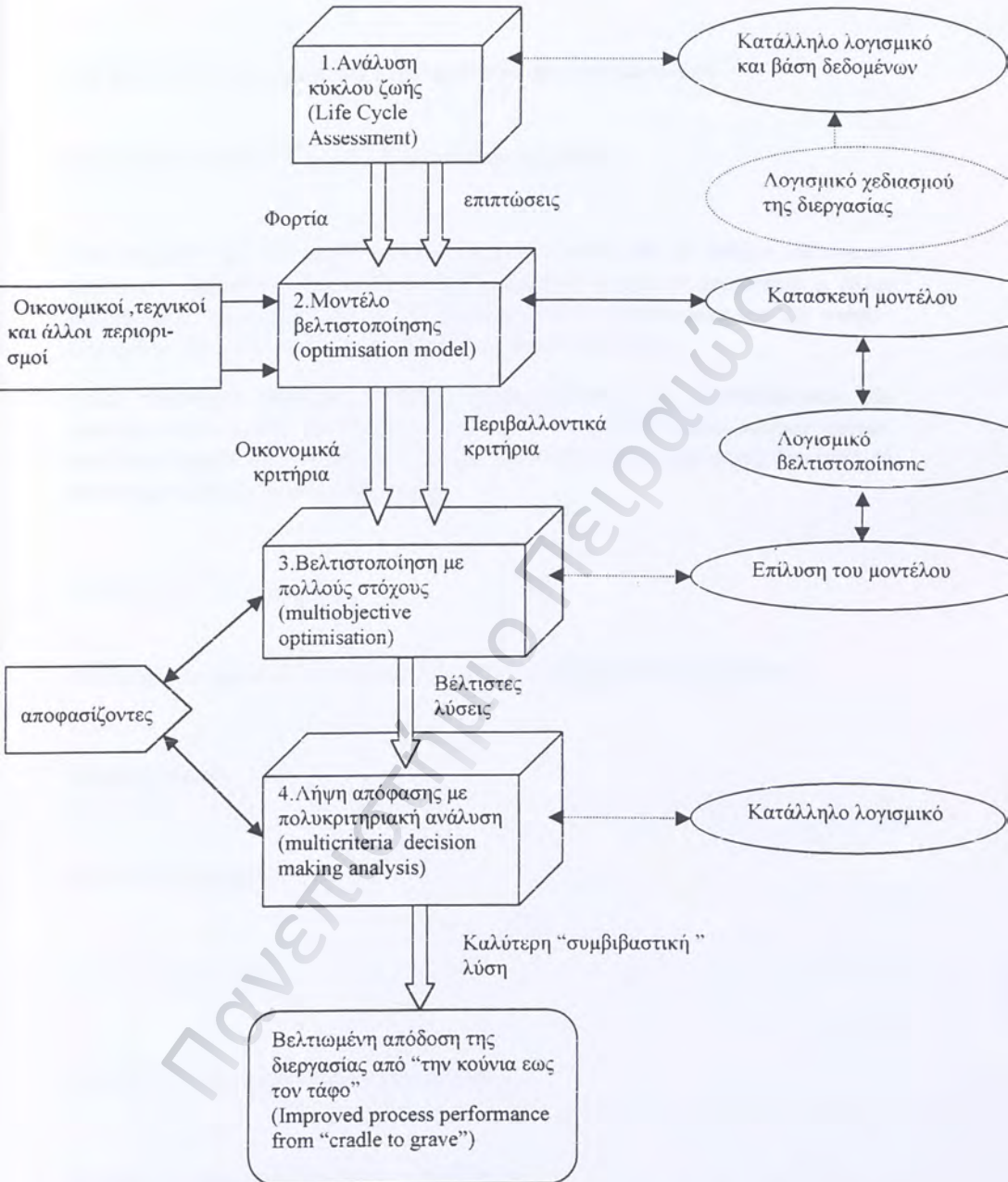
- (1) Ολοκλήρωση της ανάλυσης κύκλου ζωής
- (2) Διαμόρφωση του προβλήματος βελτιστοποίησης σε συνδυασμό με την προηγούμενη ανάλυση
- (3) Βελτιστοποίηση με πολλούς στόχους όπου θα περιλαμβάνονται περιβαλλοντικά , οικονομικά , τεχνολογικά ή άλλα κριτήρια
- (4) Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων και επιλογή της βέλτιστης λύσης.

Τα παραπάνω βήματα παρουσιάζονται διαγραμματικά στο σχήμα 5.4

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην επίλυση προβλημάτων με πολλά κριτήρια διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες (Διακουλάκη,1999). Η πρώτη περιλαμβάνει τις μεθόδους **πολυκριτηριακού μαθηματικού προγραμματισμού** (multiobjective mathematical programming) γραμμικού, ακέραιου κ.λ.π. και αναφέρεται σε μη δεδομένο εκ των πρότερον σύνολο επιλογών οι οποίες ορίζονται από ένα σύνολο περιορισμών και αντικειμενικών συναρτήσεων, ενώ μία λύση προσδιορίζεται από ένα σύνολο μεταβλητών απόφασης.

Η δεύτερη περίπτωση αφορά διακριτό σύνολο λύσεων το οποίο είναι εξαρχής δεδομένο. Περιλαμβάνει τις **μεθόδους σύνθεσης κριτηρίων (aggregation approaches) που στηρίζονται στη θεωρία χρησιμότητας (utility theory)** και τις **μεθόδους ιεράρχησης των λύσεων (outranking approaches)** που βασίζονται σε ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο προτιμήσεων.

Στην Ελλάδα , η εφαρμογή μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης στον ενεργειακό σχεδιασμό και τη λήψη ενεργειακών αποφάσεων έχει αναπτυχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια (Mirasgedis & Diakoulaki , 1997 , Georgopoulou et al ,1998, Mavrotas et al ,1999, Goumas & Lygerou ,2000 , Batzias & Roumpos 2000).



Σχ. 5.4 .Μεθοδολογικό πλαίσιο για τη βελτιστοποίηση το συστήματος μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής

(Πηγή : Τροποποίηση αντίστοιχου από Α.Αzaragic , R. Clift, 1999)

5.3 Μέθοδοι πολυκριτηριακού μαθηματικού προγραμματισμού

5.3.1 Διαμόρφωση του προβλήματος βελτιστοποίησης

Από τη φύση της ανάλυσης κύκλου ζωής, όταν εκτός από τα καθαρά οικονομικά κριτήρια, υπάρχουν διακεκριμένα περιβαλλοντικά φορτία ή επιπτώσεις ή άλλοι περιορισμοί, τα προβλήματα βελτιστοποίησης είναι αναπόφευκτα πολλών στόχων (multiobjective), δηλαδή με πολλές αντικειμενικές συναρτήσεις.

Έτσι, συμβατικά προβλήματα απλής βελτιστοποίησης που περιλαμβάνουν μία (συνήθως οικονομική) συνάρτηση, μετατρέπονται σε προβλήματα πολλών στόχων όπου περιλαμβάνονται και περιβαλλοντικές αντικειμενικές συναρτήσεις. Συνεπώς, το πρόβλημα παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\min f(x,y)=[f_1, f_2, \dots, f_p] \quad (5.1)$$

:διάνυσμα οικονομικών και περιβαλλοντικών αντικειμενικών συναρτήσεων,

με περιορισμούς

$$\left. \begin{array}{l} h(x,y)=0 \text{ (ισότητες)} \\ g(x,y)\leq 0 \text{ (ανισότητες)} \end{array} \right\} \quad (5.2)$$

$x \in X \subseteq \mathbb{R}^n$ (x: διάνυσμα συνεχών μεταβλητών)

$y \in Y \subseteq \mathbb{Z}^q$ (y: διάνυσμα διακριτών μεταβλητών)

Οι περιορισμοί που περιγράφουν οι ισότητες, συνήθως αναφέρονται σε ισοζύγια μάζας και ενέργειας, ενώ οι περιορισμοί ανισοτήτων μπορεί να περιγράφουν διαθεσιμότητα υλικών, απαιτήσεις θερμοκρασίας, χωρητικότητας κ.λ.π.

Ένα διάνυσμα n συνεχών μεταβλητών μπορεί να περιλαμβάνει ροή ενέργειας ή μάζας, πιέσεις, συστάσεις, μεγέθη κ.λ.π., ενώ ένα διάνυσμα q διακριτών μεταβλητών

μπορεί να αντιπροσωπεύει εναλλακτικά υλικά ή διεργασίες στο σύστημα. Αν το διακριτό σύνολο Z είναι κενό και οι περιορισμοί καθώς και οι αντικειμενικές συναρτήσεις γραμμικές, τότε οι παραπάνω εξισώσεις αντιπροσωπεύουν πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού (**linear programming problem**). Αν όμως το σύνολο των διακριτών μεταβλητών δεν είναι κενό και υπάρχουν μη γραμμικοί όροι στις αντικειμενικές συναρτήσεις και στους περιορισμούς, τότε οι παραπάνω εξισώσεις αναφέρονται σε ένα μεικτό πρόβλημα ακέραιου και μη γραμμικού προγραμματισμού (**mixed – integer nonlinear programming problem**).

Ένας τυπικός αντικειμενικός στόχος περιλαμβάνει συνάρτηση κόστους ή οφέλους όπως ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\min F = \mathbf{c}^T \mathbf{y} + f(\mathbf{x}) \quad (5.3)$$

Όπου \mathbf{c} είναι ένα διάνυσμα συντελεστών κόστους ή οφέλους για διακριτές μεταβλητές και $f(\mathbf{x})$ είναι μια γραμμική ή μη γραμμική συνάρτηση που περιγράφεται από συνεχείς μεταβλητές.

Οι περιβαλλοντικοί αντικειμενικοί στόχοι αντιπροσωπεύουν τα φορτία \mathbf{B}_j ή τις επιπτώσεις \mathbf{E}_k ως εξής :

$$\min \mathbf{B}_j = \sum_{n=1}^N b_{j,n} x_n \quad (5.4)$$

$$\min \mathbf{E}_k = \sum_{j=1}^J e_{k,j} B_j \quad (5.5)$$

Όπου οι όροι $b_{j,n}$ αντιπροσωπεύουν συντελεστές εκπομπών που συνδέονται με συνεχείς μεταβλητές x_n . Στην εξίσωση (5.5) ο όρος $e_{k,j}$ αντιπροσωπεύει τη σχετική συνεισφορά του φορτίου \mathbf{B}_j στην επίπτωση \mathbf{E}_k .

Για παράδειγμα, αναφερόμενοι σε παράγοντες που ευνοούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (GWP), οι συντελεστές $e_{k,j}$, για διαφορετικά αέρια του θερμοκηπίου εκφράζονται σε σχέση με τον συντελεστή εκπομπών CO_2 ο οποίος εξ ορισμού λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα.

Έχουν αναπτυχθεί πολλά προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών για την επίλυση παρόμοιων προβλημάτων.

Βελτιστοποίηση με πολλούς στόχους (multi objective optimization).

Το σύστημα βελτιστοποιείται ταυτόχρονα για έναν αριθμό περιβαλλοντικών, οικονομικών ή άλλων αντικειμενικών συναρτήσεων, με βάση την πολυδιάστατη επιφάνεια Pareto που απεικονίζει τις βέλτιστες λύσεις (non inferior surface). Εξ ορισμού, η βελτιστοποίηση έχει επιτευχθεί όταν δεν βελτιώνονται πλέον αντικειμενικοί στόχοι, χωρίς να χειροτερεύει η αξία των υπολοίπων.

Επιλογή της βέλτιστης συμβιβαστική λύσης.

Οι τεχνικές λήψης απόφασης με πολυκριτηριακή ανάλυση επιτρέπουν την επιλογή της βέλτιστης λύσης. Στο στάδιο αυτό όμως πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στους συντελεστές βαρύτητας που θα χρησιμοποιηθούν.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

5.3.2 Περιγραφή υποδείγματος (μοντέλου) δυναμικού προγραμματισμού

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης ανάπτυξης ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται διεθνώς από τις επιχειρήσεις ηλεκτροπαραγωγής το πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή WASP (Wien Automatic System Planning Package)

Το υπόδειγμα συνδυάζει τη στοχαστική προσομοίωση με τη μέθοδο του δυναμικού προγραμματισμού για τη σύγκριση του κόστους εναλλακτικών σεναρίων για την ανάπτυξη του συστήματος παραγωγής. Με τη συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέγεται η βέλτιστη λύση ως προς το μέγεθος, τον τύπο και τον χρόνο ένταξης των μονάδων παραγωγής κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία, η οικονομική λειτουργία τους συστήματος παραγωγής και η ικανοποίηση συγκεκριμένων περιορισμών (Βλάχου και Βάσσοι 1996, Μοιρασγεντής & Διακουλάκη 1999).

Για τη σωστή προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι

- Χρονολογική ακολουθία του φορτίου
- Ετήσια συντήρηση των μονάδων παραγωγής
- Ιδιαίτερα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των μονάδων (ειδική κατανάλωση, τεχνικά ελάχιστα κλπ)
- Οικονομική σειρά ένταξης λειτουργίας των μονάδων
- Αναλυτική λειτουργία υδροηλεκτρικών μονάδων ανά εποχή και μήνα, συμβατικών και αντλητικών

Η βέλτιστη ανάπτυξη του συστήματος υπολογίζεται με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της παρακάτω αντικειμενικής συνάρτησης κόστους:

$$B_j = \sum_{t=1}^T [I_{j,t} - S_{j,t} + F_{j,t} + M_{j,t} + O]$$

Όπου:

I το κόστος επένδυσης

S η υπολειμματική αξία νέας εγκατάστασης

F το κόστος καυσίμου

M το κόστος λειτουργίας και συντήρησης(χωρίς το κόστος καυσίμου)

O το κόστος αναμενόμενου ελλείμματος ενέργειας

T ο χρονικός ορίζοντας

t έτος (1,2,...,T)

j σενάριο ανάπτυξης

Όλες οι τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης εκφράζουν το συνολικό κόστος σε παρούσα αξία για το έτος αναφοράς της μελέτης με δεδομένο το επιτόκιο αναγωγής i . Έλλειμμα ενέργειας παρατηρείται όταν η παραγόμενη ενέργεια G_t είναι μικρότερη από τη ζήτηση E_t για το έτος t . Το κόστος αυτό είναι συνάρτηση του αναμενόμενου ελλείμματος ενέργειας :

$$N_t = E_t - G_t$$

Το βέλτιστο σενάριο ανάπτυξης θα πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$[K_t] = [K_{t-1}] + [A_t] - [R_t] + [U_t]$$

όπου :

$[K_t]$ Διάνυσμα που αντιπροσωπεύει τις μονάδες παραγωγής κατά το έτος t .

$[A_t]$ Διάνυσμα που αντιπροσωπεύει τις υποχρεωτικές εντάξεις κατά το έτος t .

$[R_t]$ Διάνυσμα που αντιπροσωπεύει τις υποχρεωτικές αποζηλώσεις μονάδων παραγωγής από το σύστημα το έτος t .

$[U_t]$ Διάνυσμα των υποψήφιων μονάδων παραγωγής έτσι ώστε $[U_t] \geq 0$

Τα διανύσματα $[A_t]$ και $[R_t]$ είναι τα δεδομένα ενώ το $[U_t]$ είναι το άγνωστο διάνυσμα που εκπροσωπεί την μελλοντική εξέλιξη του συστήματος παραγωγής.

Το υπόδειγμα επεκτείνεται ώστε να αντιμετωπίζονται οι εποχιακές μεταβολές στα φορτία, η υδραυλικότητα, η ετήσια συντήρηση των μονάδων και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί. Η αξιοπιστία του συστήματος παραγωγής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο υπολογίζεται με βάση την εφεδρεία ισχύος και την πιθανότητα απόρριψης φορτίου. Η πιθανότητα απόρριψης φορτίου LOLP (Loss Of Load Probability)

ορίζεται ως το κλάσμα του συνολικού χρόνου (ημέρες) κατά το οποίο το ισοδύναμο φορτίο ισούται ή είναι μεγαλύτερο από την εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος.

(α) Περιορισμοί στην εφεδρεία ισχύος.

Αν ορίσουμε με p την κρίσιμη περίοδο κατά τη διάρκεια του έτους (δηλαδή την περίοδο με την χαμηλότερη εφεδρεία) και με IC την εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος κατά την κρίσιμη περίοδο, πρέπει να ισχύει ο παρακάτω περιορισμός για το αποδεκτό σενάριο ανάπτυξης:

$$(1+a_i)D_{i,p} \geq IC \geq (1+b_i)D_{i,p}$$

Δηλαδή, κατά την κρίσιμη περίοδο, η εγκατεστημένη ισχύς θα πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένα όρια εφεδρείας ισχύος που ορίζονται από τους δείκτες a_i και b_i πάνω από την αιχμή φορτίου της περιόδου $D_{i,p}$.

Η αξιοπιστία του συστήματος σε σχέση με το δείκτη LOLP θα πρέπει να ικανοποιεί τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$LOLP(K_{a,t}) \leq C_{t,a}$$

$$LOLP(K_{i,p}) \leq C_{i,p} \text{ (για όλες τις περιόδους)}$$

Όπου $LOLP(K_{a,t})$ και $LOLP(K_{i,p})$ είναι οι πιθανότητες απόρριψης φορτίου του έτους και κάθε περιόδου (υποδιαίρεσης του έτους), αντίστοιχα. Οι δείκτες αξιοπιστίας $C_{t,a}$ και $C_{i,p}$ ορίζονται από τον αναλυτή.

(β) Περιορισμοί στις εκπομπές.

Αν ορίσουμε ως $G_{i,f}$ την αναμενόμενη ετήσια παραγωγή (MWh) μιας μονάδας τύπου καυσίμου f το έτος t , ως CO_2EC_f το συντελεστή των εκπομπών CO_2 (kg/ MWh) ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον τύπο καυσίμου f και ως $CO_{2,i,max}$ το ανώτατο όριο των εκπομπών CO_2 το χρόνο t , θα πρέπει να ισχύει ο παρακάτω περιορισμός εκπομπών :

$$\sum_{f=1}^n (CO_2EC_f)G_{i,f} \leq CO_{2,i,max}$$

Το όριο $CO_{2,i,max}$ ορίζεται από τον αναλυτή.

Για την εμπειρική εκτίμηση του υποδείγματος απαιτείται ο προσδιορισμός των παρακάτω στοιχείων

1. Η πρόβλεψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (αιχμή φορτίου και ενέργειας)
2. Η αρχική κατάσταση (υφιστάμενο σύστημα παραγωγής)
3. Το κόστος επένδυσης των υποψήφιων νέων μονάδων
4. Το λειτουργικό κόστος των υφιστάμενων και των υποψήφιων μονάδων
5. Το κόστος καυσίμου
6. Το κόστος ελλείμματος ενέργειας
7. Το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία
8. Δεδομένα και παραδοχές για τους συντελεστές εκπομπών και τους αντίστοιχους περιορισμούς.

Η μέθοδος παρουσιάζει το πλεονέκτημα να λαμβάνει υπόψη τη στοχαστική λειτουργία των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση του δείκτη F.O.R (Forced Outage Rate) ο οποίος ορίζεται ως εξής :

$$F.O.R = \frac{F.O.H}{F.O.H + SH} \times 100\%$$

F.O.H=ώρες μη προγραμματισμένων διακοπών(βλαβών)

SH=ώρες πραγματικής λειτουργίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ PROMETHEE

Οι έμμεσες τακτικές, που εφαρμόζονται με ικανότητα, είναι ανεξάντλητες, όπως ο Ουρανός και η Γη, χωρίς τέλος, όπως η ροή των ποταμών και των ρυακιών όπως ο ήλιος και το φεγγάρι: τελειώνουν αλλά ξαναρχίζουν όπως οι τέσσερις εποχές: περνάνε αλλά ξαναγυρίζουν πάλι και πάλι.

Sun Zu, Η τέχνη του πολέμου.

6.1. Θεωρητικό υπόβαθρο

Θεωρούμε $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών επιλογών ενός μεμονωμένου ατόμου ή φορέα, οι οποίες αξιολογούνται ως προς m κριτήρια f_i $i = 1, \dots, m$. Συμβολίζουμε με $f_i(a_j) = X_{ij}$ την αξιολόγηση (βαθμολόγηση) της j επιλογής ως προς το κριτήριο f_i . Δεχόμαστε, χωρίς βλάβη της γενικότητας, ότι πρόκειται για πρόβλημα μεγιστοποίησης δηλ. όσο μεγαλύτερη η βαθμολογία, τόσο καλύτερη είναι η αντίστοιχη λύση. Κάθε κριτήριο αποτελεί μία απεικόνιση του συνόλου A στο σύνολο των πραγματικών αριθμών R (δηλ. για κάθε επιλογή a_j που ανήκει στο A η τιμή $f_i(a_j) = X_{ij}$, που αποτελεί την αξιολόγηση της ως προς το κριτήριο f_i , είναι πραγματικός αριθμός) ή σε οποιοδήποτε άλλο διατεταγμένο σύνολο (Πίνακας 6.1).

Κάθε επιλογή a_j περιγράφεται πλήρως από ένα διάνυσμα F_j του m -διάστατου χώρου:

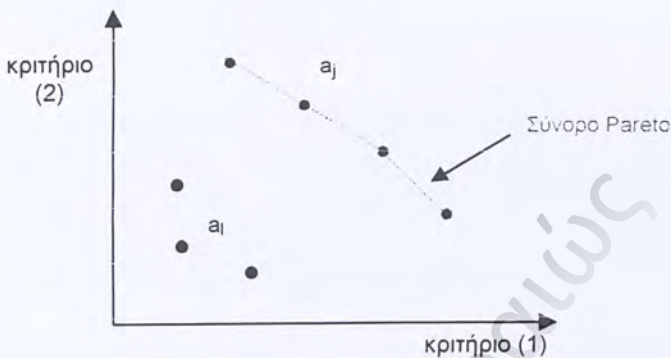
$$F_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj}),$$

με στοιχεία τις επιδόσεις (βαθμολογίες) της επιλογής a_j ως προς τα κριτήρια f_1, f_2, \dots, f_m .

Πίνακας 6.1 Η πολυκριτηριακή μέτρα

Κριτήρια \ Εναλλακτικές λύσεις						
	a_1	a_2	a_j	a_n
f_1						
f_2						
f_i				X_{ij}		
⋮						
f_m						

Προφανώς, αν $f_i(a_j) \geq f_i(a_i)$ για κάθε $i = 1, \dots, m$, τότε η επιλογή a_j προτιμάται από την a_i (συμβολίζουμε $a_j \succcurlyeq a_i$), δηλ. η a_i κυριαρχείται από την a_j .



Σχ.6.1 Σύνορο Pareto (μη κυριαρχούμενες επιλογές για δύο κριτήρια)

Το σύνολο των μη κυριαρχούμενων επιλογών ή σύνορο Pareto ορίζεται ως εξής:

$$\Pi = \{a \mid \text{δεν υπάρχει } a' \in A \text{ έτσι ώστε } a' \succ a\}$$

Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η μορφή του συνόρου Pareto (τεθλασμένη γραμμή) για δύο κριτήρια αξιολόγησης. Για m κριτήρια, το σύνορο θα έχει τη μορφή επιφάνειας του m -διάστατου χώρου.

Ο υπεύθυνος της απόφασης θα αναζητήσει τη λύση μεταξύ των επιλογών του συνόλου Π . Οι επιλογές αυτές, συγκρινόμενες μεταξύ τους, παρουσιάζουν καλύτερες επιδόσεις σε κάποια κριτήρια και χειρότερες σε κάποια άλλα. Οι παραπάνω επιλογές ονομάζονται αποτελεσματικές (efficient) ή μη κυριαρχούμενες (non dominated) ή άριστες κατά Pareto (Pareto optimal)

Οι υπόλοιπες επιλογές, εκτός του συνόρου, δεν μπορούν να αποτελούν ικανοποιητική επιλογή για έναν ορθολογικό αποφασίζοντα, αφού παρουσιάζουν χειρότερες επιδόσεις σε όλα τα κριτήρια από τις επιλογές του συνόλου Π .

Το αιτιοκρατικό (deterministic) πρόβλημα πολυκριτηριακής απόφασης (μεγιστοποίησης) διαμορφώνεται ως εξής (Brans et al, 1986):

$$\text{Max } \{(f_1(a), \dots, f_m(a)) \mid a \in A\} \quad (6.1)$$

Η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation) ανήκει στη οικογένεια των μεθόδων ιεράρχησης των λύσεων και περιλαμβάνει δύο φάσεις :

- Την κατασκευή μιας ιεραρχικής σχέσης στο A και
- Την αξιοποίηση της σχέσης αυτής για να δοθεί η απάντηση στο παραπάνω πρόβλημα (1)

Αρχικά οι βαθμολογίες (επιδόσεις) X_{ij} κάθε εναλλακτικής επιλογής a_j ως προς τα κριτήρια f_i κανονικοποιούνται στο διάστημα $[1,5]$ θεωρώντας τη μέγιστη επίδοση βέλτιστη.

Στην πρώτη φάση δομείται μια ιεραρχική σχέση βασισμένη σε μια γενικευμένη έννοια του κριτηρίου. Οι εναλλακτικές επιλογές συγκρίνονται ανά δύο και για κάθε ένα κριτήριο ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση προτίμησης $P(a_j, a_k)$:

$$P: A \times A \rightarrow [0, 1],$$

η οποία αντιπροσωπεύει το βαθμό προτίμησης (intensity of preference) της επιλογής a_j σε σχέση με την επιλογή a_k , $k \in \{1, 2, \dots, n\}$, δηλαδή το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι ένας αριθμός (δείκτης προτίμησης) που ανήκει στο διάστημα $[0, 1]$ ο οποίος εκφράζει το μέτρο της προτίμησης της πρώτης επιλογής ως προς τη δεύτερη για το δεδομένο κάθε φορά κριτήριο.

Οι παρακάτω ακραίες τιμές της συνάρτησης P απεικονίζουν το σχετικό βαθμό προτίμησης:

Όταν $P(a_j, a_k) = 0$, τότε υπάρχει αδιαφορία κατά τη σύγκριση των επιλογών a_j και a_k ή όχι προτίμηση της a_j έναντι της a_k .

Όταν $P(a_j, a_k) \sim 0$, τότε υπάρχει ασθενής προτίμηση της a_j έναντι της a_k .

Όταν $P(a_j, a_k) \sim 1$, τότε η προτίμηση της a_j έναντι της a_k είναι ισχυρή

Όταν $P(a_j, a_k) = 1$, υπάρχει αυστηρή ή απόλυτη (strict preference) της a_j έναντι της a_k .

Στην πράξη, η συνάρτηση προτίμησης $P(a_j, a_k)$ είναι συχνά μία συνάρτηση $H(d_{jk})$ γενικευμένου κριτηρίου (generalized criterion function), όπου $d_{jk} = X_{ij} - X_{ik}$ η διαφορά d_{jk} μεταξύ των δύο αξιολογήσεων $f_i(a_j)$ και $f_i(a_k)$:

$$P(a_j, a_k) = H(f_i(a_j) - f_i(a_k)) \quad (6.2)$$

Η συνάρτηση αυτή πρέπει να είναι μη φθίνουσα και να μηδενίζεται για αρνητικές τιμές της διαφοράς

$$d_{jk} = X_{ij} - X_{ik}$$

Δηλαδή αν $X_{ij} - X_{ik} \leq 0$ τότε ισχύει $H(d_{jk}) = 0$

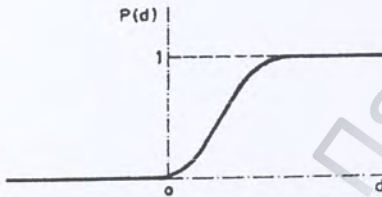
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο κανονικής κατανομής (Gaussian criterion) το οποίο βασίζεται στην κανονική κατανομή.

Η συνάρτηση δίνεται στην παρακάτω σχέση :

$$H(d_{jk}) = 1 - \exp\left\{\frac{-d_{jk}^2}{2\sigma_i^2}\right\} \quad (6.3)$$

όπου $\sigma_i = \max X_{ij} - \min X_{ij}$

Η γραφική παράσταση μιας τέτοιας συνάρτησης δίνεται στο σχήμα 6.2.



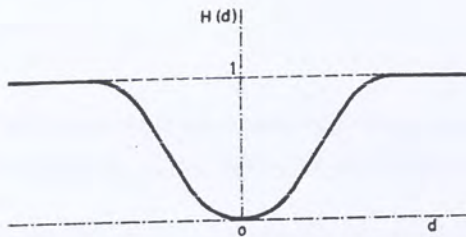
Σχήμα 6.2 . Η γραφική παράσταση του γενικευμένου κριτηρίου κανονικής κατανομής.

Προτιμήθηκε αυτή η συνάρτηση διότι δεν παρουσιάζει ασυνέχειες και εξασφαλίζει τη σταθερότητα των αποτελεσμάτων. Απαιτεί μόνο τον προσδιορισμό του σ , ο οποίος είναι ευκολότερος σε σχέση με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τη χρήση της κανονικής κατανομής στη στατιστική.

Για να δοθεί μία καλύτερη άποψη της περιοχής αδιαφορίας, η συνάρτηση $H(d)$ η οποία συνδέεται άμεσα με τη συνάρτηση προτίμησης P ορίζεται ως εξής:

$$H(d) = \begin{cases} P(a_i, a_k), & d \geq 0 \\ P(a_k, a_j), & d \leq 0 \end{cases} \quad (6.4)$$

Η γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτής παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3



Σχήμα 6.3 . Η γραφική παράσταση του γενικευμένου κριτηρίου κανονικής κατανομής για θετικές και αρνητικές τιμές της διαφοράς d.

Για κάθε κριτήριο f θεωρούμε ένα γενικευμένο κριτήριο (Generalized criterion) οριζόμενο από το f και από μία αντίστοιχη συνάρτηση προτίμησης P.

Αρχικά , οι εναλλακτικές επιλογές συγκρίνονται ανά δύο. Οι παραπάνω δείκτες $P(a_j, a_k)$ συντίθενται σε μια συνολική δυαδική σχέση, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη όλα τα κριτήρια και τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας .

Ορίζεται έτσι ένας πολυκριτηριακός δείκτης προτίμησης (Multicriteria Preference Index) $I(A_j, A_k)$ με τιμές στο διάστημα $[0,1]$, που εκφράζει το μέτρο προτίμησης της πρώτης επιλογής έναντι της δεύτερης, ως ο μεσοσταθμικός των συναρτήσεων προτίμησης P_i ως εξής :

$$I(a_j, a_k) = \sum_{i=1}^m W_i P_i(a_j, a_k), \quad (\forall i \text{ για το οποίο ισχύει } d_{jk} > 0) \quad (6.5)$$

αντίστοιχα,

$$I(a_k, a_j) = \sum_{i=1}^m W_i P_i(a_k, a_j), \quad (\forall i \text{ για το οποίο ισχύει } d_{jk} < 0) \quad (6.6)$$

όπου w_i ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου f_i ($i = 1, \dots, m$)

Ο συντελεστής w_i αντιπροσωπεύει το μέτρο της σχετικής σπουδαιότητας του κριτηρίου f_i . Αν όλα τα κριτήρια έχουν την ίδια σπουδαιότητα για τον αποφασίζοντα, τότε όλοι οι συντελεστές λαμβάνονται ίσοι. Ο καθορισμός των βαρών αποτελεί συνήθως ένα δύσκολο πρόβλημα κατά την εφαρμογή της μεθόδου

$$\text{Ισχύει } \sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (6.7)$$

Η τιμή $I(a_j, a_k) \approx 0$ δηλώνει ασθενή προτίμηση της a_j έναντι της a_k για όλα τα κριτήρια, ενώ η τιμή $I(a_j, a_k) \approx 1$ δηλώνει ισχυρή προτίμηση της a_j έναντι της a_k για όλα τα κριτήρια.

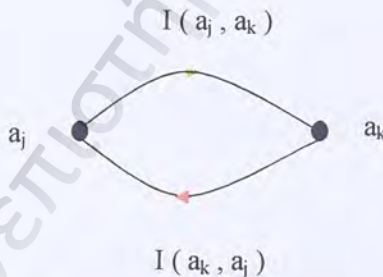
Ο πολυκριτηριακός δείκτη προτίμησης καθορίζει μία σχέση ιεραρχίας στο σύνολο A των επιλογών.

Η σχέση αυτή μπορεί να παρασταθεί (αντιπροσωπευθεί) ως ένα γράφημα ιεραρχίας όπου οι κόμβοι είναι οι επιλογές του συνόλου A .

Μεταξύ δύο κόμβων (επιλογών) a_j και a_k υπάρχουν δύο τόξα με τιμές $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$.

Δεν υπάρχει ιδιαίτερη σχέση μεταξύ $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$.

Προκύπτει έτσι ένα γράφημα (σχήμα 6.4) που απεικονίζει τις προτιμήσεις του υπευθύνου για τη λήψη της απόφασης.



Σχήμα 6.4 . Γράφημα σύγκρισης δύο επιλογών.

Στο δεύτερο στάδιο, αξιοποιείται η παραπάνω ιεραρχική σχέση μεταξύ των επιλογών συγκρινόμενων ανά δύο και κάθε μια εναλλακτική επιλογή συγκρίνεται με όλες τις υπόλοιπες. Για κάθε επιλογή υπολογίζεται μία **ροή εξόδου** η οποία εκφράζει την υπεροχή της συγκεκριμένης επιλογής έναντι των υπολοίπων, μία **ροή εισόδου** η οποία εκφράζει την υπεροχή των υπόλοιπων επιλογών ως προς την επιλογή αυτή και μια **καθαρή ροή**, η οποία είναι η διαφορά της ροής εισόδου από τη ροή εξόδου και αποτελεί το μέτρο προτίμησης της

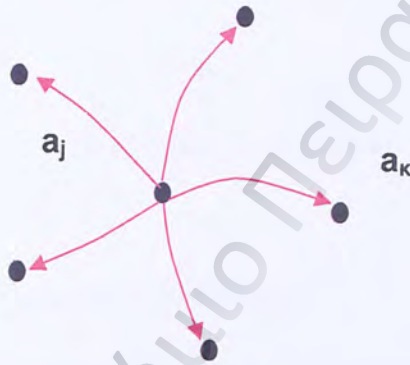
επιλογής ως προς τις υπόλοιπες. Η καθαρή ροή είναι το κριτήριο της τελικής κατάταξης των εναλλακτικών επιλογών.

Ροές στο γράφημα ιεράρχησης των επιλογών (Flows in the valued outranking graph)

Για κάθε κόμβο a στο γράφημα ιεράρχησης, ορίζεται η ροή εξόδου (leaving flow) ως εξής:

$$\Phi_j^+ = \sum_{k=1}^n I(a_j, a_k) \quad (6.8)$$

δηλαδή, η ροή εξόδου είναι το άθροισμα των τιμών των τόξων που απομακρύνονται από τον κόμβο a_j , επομένως παρέχει ένα μέτρο του χαρακτήρα κυριαρχίας (outranking character) της επιλογής a_j (σχήμα 6.5).

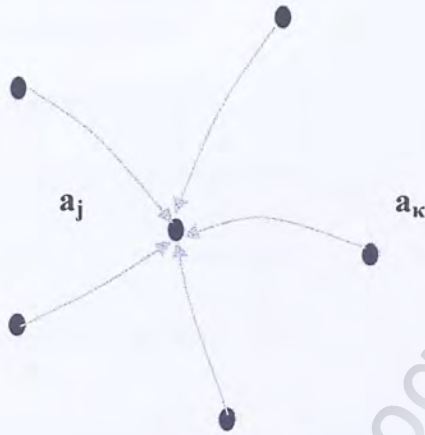


Σχήμα 6.5 Γράφημα ροών εξόδου.

Συμμετρικά, ορίζεται η Ροή εισόδου (entering flow) ως εξής:

$$\Phi_j^- = \sum_{k=1}^n I(a_k, a_j) \quad (6.9)$$

Η ροή εισόδου μετρά τον κυριαρχούμενο χαρακτήρα (outranked character) της επιλογής a_j (σχήμα 6.6).



Σχήμα 6.6 Γράφημα ροών εισόδου.

Η καθαρή ροή (net flow) η οποία ορίζεται ως η διαφορά
 $\Phi(a_j) = \Phi_j^+ - \Phi_j^-$

χρησιμοποιείται για την απόλυτη (πλήρη) ιεράρχηση (Complete preorder) επιλογών στο σύνολο A σύμφωνα με την μεθοδολογία PROMETHEE II

$a_j P_{II} a_k$ (η a_j κυριαρχεί έναντι της a_k) αν $\Phi(a_j) > \Phi(a_k)$
 $a_j I_{II} a_k$ (η a_j αδιάφορη έναντι της a_k) αν $\Phi(a_j) = \Phi(a_k)$

Επιπρόσθετα, η συνδυασμένη σχετική ιεράρχηση κάθε εναλλακτικής επιλογής a_j με βάση τα υποσύνολα τιμών Φ_j^+ και Φ_j^- , $j=1,2,\dots,n$

δίνει μια μερική ιεράρχηση (Partial preorder) στο σύνολο των εναλλακτικών επιλογών, σύμφωνα με την μεθοδολογία PROMETHEE I:

Όσο μεγαλύτερη είναι η ροή εξόδου Φ_j^+ και μικρότερη η ροή εισόδου Φ_j^- τόσο καλύτερη η επιλογή.

Οι ροές εισόδου και εξόδου, εισάγουν αντίστοιχα τις ακόλουθες ταξινομήσεις:

aP^+b αν $\Phi^+(a_j) > \Phi^+(a_k)$ δηλαδή προτιμάται η a_j έναντι της a_k

$aI^+(b)$ αν $\Phi^+(a_j) = \Phi^+(a_k)$ δηλαδή υπάρχει αδιαφορία μεταξύ της a_j και a_k

$aP^{\sim}b$ αν $\Phi^{\sim}(a_j) < \Phi^{\sim}(a_k)$

$aI^{\sim}(b)$ αν $\Phi^{\sim}(a_j) = \Phi^{\sim}(a_k)$

PROMETHEE I Partial Preorder (P_1, I_1, R)

$a_j P_1 a_k$ (a_j κυριαρχεί της a_k) $a_j P^+ a_k$ και $a_j P^- a_k$
 $a_j P^+ a_k$ και $a_j I^+ a_k$
 $a_j I^+ a_k$ και $a_j P^- a_k$

$a_j I_1 a_k$ (a_j αδιάφορη έναντι της a_k) $a_j I^+ a_k$ και $a_j I^- a_k$

$a_j R a_k$ (Οι a_j και a_k είναι ασύμβατες) σε κάθε άλλη περίπτωση.

Με τη χρήση της μεθόδου PROMETHEE I κάποιες επιλογές παραμένουν ασύμβατες (δεν υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης).

Μολονότι είναι εύκολο για τον αποφασίζοντα να καταλήξει (achieve) στη λύση του προβλήματος χρησιμοποιώντας P_{II} (complete preorder), η μερική ταξινόμηση παρέχει περισσότερο ρεαλιστικές πληροφορίες. Αυτές οι πληροφορίες, ειδικά στις περιπτώσεις ασυμβατότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη λήψη της απόφασης.

Επισημαίνεται ότι για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται η χρήση κριτηρίων τέτοιων, ώστε να είναι εύκολη η εκτίμηση των επιδόσεων των επιλογών ως προς αυτά.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου PROMETHEE είναι τα ακόλουθα:

- Ο περιορισμένος αριθμός των δεδομένων που απαιτούνται για την εφαρμογή της και επομένως είναι εύκολο να μελετηθεί η επίδραση των μεταβολών των δεδομένων εισόδου στα αποτελέσματα της μεθόδου.
- Η δυνατότητα που παρέχει η μέθοδος για την πιστότερη, κατά το δυνατόν, έκφραση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα.
- Η μέθοδος είναι κατανοητή από τον αποφασίζοντα σε όλα τα στάδια της εφαρμογής της. Το στοιχείο αυτό είναι σημαντικό για τη κατανόηση της σημασίας των υπολογιζόμενων

μεγεθών από τον αποφασίζοντα έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή αποτελεσμάτων συνεπών με την “φιλοσοφία” του αποφασίζοντα.

Άλλα γενικευμένα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές

Στη συνέχεια αναπτύσσονται πέντε άλλοι τύποι γενικευμένων κριτηρίων που προτείνονται για τις εφαρμογές. Προφανώς δεν εξαντλούν όλες τις περιπτώσεις αλλά επαρκούν για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές.

(1) Σύνηθες (usual) κριτήριο

Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται αδιαφορία μεταξύ των λύσεων a και b αν και μόνο αν $f(a)=f(b)$. Όταν όμως οι δύο τιμές είναι διαφορετικές, τότε ο υπεύθυνος της απόφασης παρουσιάζει ισχυρή προτίμηση στην επιλογή με την μεγαλύτερη τιμή αξιολόγησης. Η συνάρτηση είναι

$$H(d) = \begin{cases} 0, & d = 0 \\ 1, & d \neq 0 \end{cases} \quad (6.10)$$

και η γραφική παράσταση δίνεται στο σχήμα 6.7. Το γενικευμένο αυτό κριτήριο ανταποκρίνεται στη συνήθη έννοια των κριτηρίων.



Σχήμα 6.7 Γραφική παράσταση του συνήθους κριτηρίου

(2) Ψευδοκριτήριο (Quasi – criterion)

$$H(d) = \begin{cases} 0, & -q \leq d \leq q \\ 1, & d < -q \quad \text{ή} \quad d > q \end{cases} \quad (6.11)$$

Οι δύο πράξεις είναι αδιάφορες για τον αποφασίζοντα όταν η διαφορά d δεν υπερβαίνει το κατώφλι αδιαφορίας q , διαφορετικά παρατηρείται αυστηρή προτίμηση(σχήμα 6.8).



Σχήμα 6.8 Γραφική παράσταση του ψευδοκριτηρίου

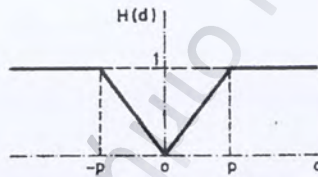
Αν ο αποφασίζων επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το κριτήριο αυτό, πρέπει να προσδιορίσει την τιμή του q . Αυτή είναι η μεγαλύτερη τιμή της διαφοράς μεταξύ των δύο τιμών αξιολογήσεων, κάτω από την οποία οι δύο επιλογές είναι αδιάφορες για τον λήπτη της απόφασης.

(2) Κριτήριο με γραμμική προτίμηση

$$H(d) = \begin{cases} \frac{1}{p} \cdot |d|, & -p \leq d \leq p \\ 1, & d < -p \text{ ή } d > p \end{cases} \quad (6.12)$$

Καθώς η τιμή της διαφοράς d είναι μικρότερη από την τιμή p , η προτίμηση του αποφασίζοντα αυξάνεται γραμμικά με το d .

Αν $d > p$ τότε υπάρχει κατάσταση αυστηρής προτίμησης. Η γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτής δίνεται στο σχήμα 69.



Σχήμα 6.9 Γραφική παράσταση του κριτηρίου με γραμμική προτίμηση

Όταν ο υπεύθυνος της απόφασης ορίζει κριτήριο τέτοιου είδους, πρέπει να προσδιορίσει το κατώφλι προτίμησης p που είναι η κατώτερη τιμή του d πάνω από την οποία υπάρχει αυστηρή προτίμηση σε μία από τις επιλογές.

Στα παραπάνω έχουν δοθεί δύο είδη κατώφλιων:

- ένα κατώφλι αδιαφορίας q : η μεγαλύτερη τιμή του d κάτω από την οποία υπάρχει αδιαφορία και
- ένα κατώφλι προτίμησης p : η μικρότερη τιμή του d πάνω από την οποία υπάρχει προτίμηση.

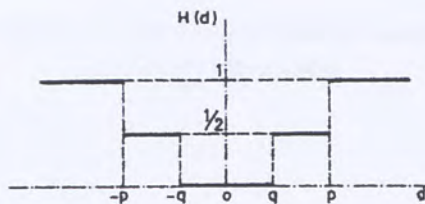
Στην πράξη τα δύο κατώφλια δεν είναι απαραίτητως ίσα, επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε τα επόμενα δύο είδη κριτηρίων.

(4) Κριτήριο στάθμης (Level criterion)

$$H(d) = \begin{cases} 0, & |d| \leq q \\ 1/2, & q < |d| \leq p \\ 1, & p < |d| \end{cases} \quad (6.13)$$

Στην περίπτωση αυτή ορίζονται ταυτόχρονα το κατώφλι προτίμησης p και το κατώφλι αδιαφορίας q .

Όταν η διαφορά d βρίσκεται μεταξύ των p και q , τότε υπάρχει κατάσταση ασθενούς προτίμησης (σχήμα 6.10)

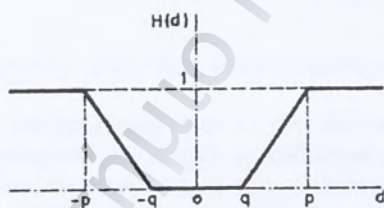


Σχήμα 6.10 Γραφική παράσταση του κριτηρίου στάθμης

(5) Κριτήριο με γραμμική προτίμηση και περιοχή αδιαφορίας

$$H(d) = \begin{cases} 0, & |d| \leq q \\ \frac{|d| - q}{p - q}, & q < |d| \leq p \\ 1, & p < |d| \end{cases} \quad (6.14)$$

Στην περίπτωση αυτή, ο υπεύθυνος της απόφασης θεωρεί ότι η προτίμηση αυξάνει γραμμικά από την αδιαφορία μέχρι την αυστηρή προτίμηση στην περιοχή μεταξύ των κατωφλίων p και q , όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα 6.11.



Σχήμα 6.11 Γραφική παράσταση του κριτηρίου με γραμμική προτίμηση και περιοχή αδιαφορίας

Προβλήματα με στοχαστικά χαρακτηριστικά

Οι περισσότερες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης δεν λαμβάνουν υπόψη την αβεβαιότητα των δεδομένων που αναλύουν. Από τον B. Mareschal (1986), προτείνεται μία γενίκευση για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και μια γενικότερη προσέγγιση στοχαστικής αξιολόγησης. Δίνεται έμφαση στην ειδική περίπτωση της αξιολόγησης εναλλακτικών λύσεων από εμπειρογνώμονες καθώς και στα προβλήματα στοχαστικής ανεξαρτησίας μεταξύ των αξιολογήσεων

Όταν τα δεδομένα του προβλήματος είναι ποιοτικά ή / και ενέχουν αβεβαιότητα, (experts case) χρησιμοποιείται η έννοια της αναμενόμενης προτίμησης (expected preference function). Η μοντελοποίηση της αβεβαιότητας σε προβλήματα με στοχαστικό χαρακτήρα περιγράφεται από τον B. Mareschal (1986). Στο πρόβλημα προς επίλυση – βλ. εξίσωση (6.1) – της αξιολόγησης δηλαδή, n διακεκριμένων εναλλακτικών λύσεων a_i ($i = 1, \dots, n$), ως προς m κριτήρια – θεωρούμε ότι οι βαθμολογήσεις $e_{ij} = f_j(a_i)$ είναι τυχαίες μεταβλητές: $f_j: K \rightarrow T$, όπου T ένα σύνολο πραγματικών τυχαίων μεταβλητών, ενώ η συνάρτηση κατανομής των e_{ij} είναι η F_{ij} .

Η πολυκριτηριακή μήτρα E είναι, στην περίπτωση αυτή, μία στοχαστική μήτρα, της οποίας η κοινή συνάρτηση κατανομής συμβολίζεται με F :

$$F(E_0) = P(E \leq E_0), E_0 \in R^{n \times k} \quad (6.15)$$

Η σχέση (6.15) δίνει τον στοχαστικό χαρακτήρα του πολυκριτηριακού προβλήματος.

Ο συνήθης τρόπος να λυθεί ένα πρόβλημα είναι να αντικατασταθούν οι βαθμολογήσεις e_{ij} από τις αναμενόμενες τιμές τους και να επιλυθεί το πρόβλημα με τον κλασικό τρόπο. Με τον τρόπο αυτό όμως, χάνεται πολύτιμη πληροφορία, εφόσον δεν λαμβάνουμε υπόψη τον στοχαστικό χαρακτήρα του προβλήματος. Στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις, η κοινή συνάρτηση κατανομής F των βαθμολογιών δεν είναι γνωστή, και γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι βαθμολογήσεις e_{ij} είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η γενική μέθοδος επίλυσης ενός τέτοιου αναφέρεται στον υπολογισμό της κατανομής των διαφορών:

$$e_{i1j} - e_{i2j}, \quad \forall i_1, i_2j \quad (6.16)$$

και στη συνέχεια, υπολογίζεται η αναμενόμενη συνάρτηση προτίμησης $E(P_j(d))$ (expected preference function, EPF).

Στη σχέση (6.16) προϋποτίθεται ανεξαρτησία μεταξύ των βαθμολογιών δύο μεμονωμένων κριτηρίων, υπόθεση που είναι πιο ρεαλιστική από ότι η υπόθεση της ανεξαρτησίας των κριτηρίων μεταξύ τους, κυρίως όταν η αβεβαιότητα ενδέχεται να οφείλεται στην αξιολόγηση και στην απόδοση της βαθμολογίας.

6.2 Συναρτήσεις Χρησιμότητας των κριτηρίων

Προετοιμασία των δεδομένων του προβλήματος

Η επόμενη ενέργεια του λήπτη της απόφασης μετά τον προσδιορισμό των κριτηρίων f_1, f_2, \dots, f_m είναι να ορίσει τις αντίστοιχες μεταβλητές X_1, X_2, \dots, X_m που θα παίρνουν τιμές για κάθε στοιχείο του συνόλου A . Για τις μεταβλητές που αντιστοιχούν σε ποσοτικά κριτήρια, δεν παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα, ο υπολογισμός όμως της αντίστοιχης τιμής απαιτεί λεπτομερή πολλές φορές μελέτη. Όσον αφορά τις μεταβλητές που αντιστοιχούν σε ποιοτικά κριτήρια ενεργούμε με τον ακόλουθο τρόπο: Ζητάμε από τον λήπτη της απόφασης να δώσει για κάθε στοιχείο a_j του συνόλου A στη μεταβλητή X_i που αντιστοιχεί στο ποιοτικό κριτήριο f_i μια τιμή X_{ij}^1 που κυμαίνεται μεταξύ 0 και 10 και που εκφράζει τον βαθμό ικανοποίησης που παρέχει το στοιχείο a_j στο λήπτη απόφασης ως προς το κριτήριο f_i .

Αφού περατωθεί αυτή η εργασία, συντάσσουμε έναν πίνακα (Πίνακας 1) που δείχνει για κάθε μεταβλητή X_i δύο τιμές: Την καλύτερη, που συμβολίζεται X_i^* και τη χειρότερη που συμβολίζεται X_i^0 . Η ποσότητα X_i^* (αντίστοιχα X_i^0) παριστάνει την τιμή που παίρνει η μεταβλητή X_i για το καλύτερο (αντίστοιχα χειρότερο) στοιχείο του συνόλου A ως προς το κριτήριο f_i .

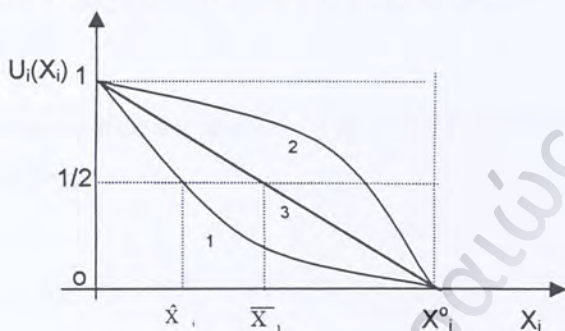
Στο εξής, κάθε στοιχείο a_j του συνόλου A θα αντιστοιχεί το διάνυσμα $(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{6j})$ των τιμών που παίρνουν οι μεταβλητές X_1, X_2, \dots, X_m για το στοιχείο a_j .

Συνάρτηση χρησιμότητας ενός κριτηρίου

Για το σύνολο των προτεινόμενων εναλλακτικών επιλογών, η μεταβλητή X_i παίρνει τιμές από την καλύτερη X_i^* έως τη χειρότερη X_i^0 . Αυτό σημαίνει ότι ο λήπτης της απόφασης προτιμάει την επιλογή για την οποία η μεταβλητή X_i ισούται με X_i^* από οποιοδήποτε άλλη επιλογή, υπό την προϋπόθεση ότι επιλέγει μόνο με το κριτήριο f_i . Με την ίδια προϋπόθεση, επιλογή όπου η μεταβλητή X_i παίρνει την τιμή X_i^0 έρχεται τελευταία στη σειρά προτίμησής του.

Αυτή η μεταβολή στις προτιμήσεις του λήπτη της απόφασης για ένα κριτήριο f_i παριστάνεται με τη βοήθεια μίας συνάρτησης $U_i(X_i)$ η οποία λέγεται **συνάρτηση χρησιμότητας** του κριτηρίου f_i και έχει τα εξής χαρακτηριστικά (Yun, 1999):

1. $U_i(X_i^*) = 1$
2. $U_i(X_i^0) = 0$
3. Είναι αυστηρά μονότονη (αύξουσα ή φθίνουσα)
4. Είναι κοίλη ή κυρτή ή γραμμική όπως φαίνεται στο σχήμα 6.12



Σχήμα 6.12 Μορφές συναρτήσεων προτίμησης

Εάν ισχύει $X_i^* > X_i^0$, τότε η συνάρτηση χρησιμότητας $U_i(X_i)$ είναι αύξουσα, εάν όχι τότε είναι φθίνουσα. Στο εξής θα αναφερόμαστε, χωρίς βλάβη της γενικότητας σε φθίνουσες συναρτήσεις χρησιμότητας.

Το σημείο \hat{X}_i του άξονα X_i για το οποίο έχουμε $U_i(X_i) = 1/2$ λέγεται **σημείο αδιαφορίας** της συνάρτησης και ο προσδιορισμός του οδηγεί – όπως θα δούμε – στην εύρεση της εξίσωσης της καμπύλης της συνάρτησης χρησιμότητας. Ο προσδιορισμός του σημείου αδιαφορίας \hat{X}_i γίνεται με τη μέθοδο που ακολουθεί:

Θεωρούμε τον λαχνό στον οποίο εμφανίζονται δύο ενδεχόμενα: την επιλογή για την οποία η μεταβλητή X_i παίρνει την καλύτερη τιμή X_i^* και την επιλογή για την οποία η μεταβλητή X_i παίρνει τη χειρότερη τιμή X_i^0 . Τα δύο ενδεχόμενα εμφανίζονται με ίσες πιθανότητες.

Ο λαχνός συμβολίζεται με $\lambda_i \equiv (X_i^*, 1/2; X_i^0, 1/2)$

Η **αναμενόμενη χρησιμότητα** (expected utility) ενός λαχνού

$\lambda_i \equiv (X_i, p; X_i^0, 1-p)$ είναι ίση με

$$U(\lambda_i) = pU_i(X_i) + (1-p)U_i(X_i^0).$$

- II. Θεωρούμε την επιλογή για την οποία η μεταβλητή X_i παίρνει την τιμή \bar{X}_i ίση με $\frac{1}{2} (X_i^\circ + X_i^*)$, δηλαδή το σημείο \bar{X}_i είναι το μέσον του διαστήματος (X_i^*, X_i°) .
- III. Προτείνουμε στο λήπτη της απόφασης να επιλέξει ανάμεσα στο λαχνό της παραγράφου α και στη επιλογή της παραγράφου β. Η απάντηση του δεν μπορεί παρά να είναι από τις τρεις που ακολουθούν.

1. Ο λήπτης της απόφασης προτιμάει το λαχνό. Αυτό συνεπάγεται τη σχέση

$$U(\lambda_i) > U_i(\bar{X}_i)$$

δηλαδή

$$\frac{1}{2} U(X_i^*) + \frac{1}{2} U_i(X_i^\circ) > U_i(\bar{X}_i)$$

$$\text{άρα } U_i(\bar{X}_i) < \frac{1}{2}$$

που σημαίνει ότι το σημείο αδιαφορίας \hat{X}_i βρίσκεται μεταξύ των σημείων X_i^* και \bar{X}_i (βλέπε καμπύλη 1 του σχήματος 6.10)

2. Ο λήπτης της απόφασης προτιμάει την επιλογή. Αυτό συνεπάγεται τη σχέση

$$U(\lambda_i) < U_i(\bar{X}_i)$$

που οδηγεί στην ανισότητα

$$U_i(\bar{X}_i) > \frac{1}{2}$$

που σημαίνει ότι το σημείο αδιαφορίας \bar{X}_i βρίσκεται μεταξύ των σημείων \bar{X}_i και X_i° (βλέπε καμπύλη 2 του σχήματος 6.10).

3. Ο λήπτης της απόφασης μένει αδιάφορος μπροστά στην επιλογή. Ισχύει λοιπόν

$$U(\lambda_i) = U_i(\bar{X}_i)$$

άρα

$$U_i(\bar{X}_i) = \frac{1}{2}$$

δηλαδή το σημείο της αδιαφορίας \hat{X}_i είναι το μέσον του διαστήματος $[X_i^*, X_i^\circ]$ (βλέπε καμπύλη 3 του σχήματος 6.10).

Είναι ενδιαφέρον να δούμε το σκεπτικό που ακολουθεί ο λήπτης της απόφασης προκειμένου να επιλέξει το λαχνό ή την επιλογή. Όταν επιλέγει το λαχνό, το κάνει γιατί αποστρέφεται τόσο πολύ τη λύση που του προσφέρεται ώστε προτιμάει να διακινδυνεύσει στο απρόοπτο μιας καλύτερης ή χειρότερης λύσης με ίσες πιθανότητες εμφάνισης. Στην περίπτωση αυτή, λέμε ότι ο λήπτης της απόφασης είναι **ρισκοκίνδυνος** (risk-prone). Όταν προτιμά την επιλογή, το κάνει γιατί η χειρότερη λύση που θα του προσέφερε ενδεχομένως ο λαχνός του είναι τόσο αποκρουστική ώστε προτιμάει τη λύση που του προσφέρεται δίχως τον κίνδυνο του τυχαίου. Στην περίπτωση αυτή ο λήπτης της απόφασης λέγεται **συντηρηητικός** (risk-averse). Στην τρίτη, τέλος, περίπτωση στην οποία ο λήπτης της απόφασης δεν έχει λόγους να προτιμήσει τη μία από την άλλη λύση, λέγεται **αδιάφορος** (risk-neutral).

Αφού πάρουμε την απάντηση του λήπτη της απόφασης, εάν είναι αδιάφορος έχουμε εντοπίσει το σημείο αδιαφορίας του για το κριτήριο F_1 , εάν όχι, τότε περιορίζουμε το διάστημα έρευνας του σημείου αυτού στο διάστημα $[X_1^*, \bar{X}_1]$ ή $[\bar{X}_1^*, X_1^0]$ ανάλογα με το

αν ο λήπτης της απόφασης είναι ρισκοκίνδυνος ή συντηρηητικός αντίστοιχα. Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία μέχρις ότου εντοπίσουμε το σημείο αδιαφορίας \hat{X}_1 . Η μέθοδος αυτή ονομάζεται **διχοτομική αναζήτηση**.

Αποφεύγοντας τις τεχνικές λεπτομέρειες, αναφέρουμε ότι για έναν λήπτη αποφάσεων συντηρηητικό, αδιάφορο και ρισκοκίνδυνο η συνάρτηση χρησιμότητας $u(x)$ μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$u(x) = a - be^{-cx} \quad (6.17\alpha)$$

$$u(x) = a + \beta x \quad (6.17\beta)$$

$$u(x) = a + be^{cx} \quad (6.17\gamma)$$

όπου οι σταθερές a και $b > 0$ παίρνουν τιμές τέτοιες που να περιορίζουν το πεδίο τιμών της συνάρτησης στο διάστημα $[0, 1]$ και η σταθερά c είναι θετική για αύξουσες συναρτήσεις χρησιμότητας και αρνητική για φθίνουσες.

Πιο αναλυτικά, η μορφή της συνάρτησης δίδεται στον πίνακα 6.2.

$u(x)$ φθίνουσα $\Leftrightarrow x^* < x^0$			
Θέση σημείου αδιαφορίας	Λήπτης της απόφασης	Μορφή της καμπύλης	Εξίσωσης της καμπύλης $C < 0$
$\hat{x} < 1/2(x^* + x^0)$	ρισκοκίνδυνος	κοίλη	$u(x) = a + be^{cx}$
$\hat{x} > 1/2(x^* + x^0)$	συντηρηητικός	κυρτή	$u(x) = a - be^{cx}$
$\hat{x} = 1/2(x^* + x^0)$	αδιάφορος	ευθεία	$u(x) = a + bx$

$u(x)$ αύξουσα $\Leftrightarrow x^* > x^0$			
Θέση σημείου αδιαφορίας	Λήπτης της απόφασης	Μορφή της καμπύλης	Εξίσωσης της καμπύλης $C < 0$
$\hat{x} < 1/2(x^* + x^0)$	συντηρητικός	κυρτή	$u(x) = a - be^{cx}$
$\hat{x} > 1/2(x^* + x^0)$	ρισοκίνδυνος	κοίλη	$u(x) = a + be^{cx}$
$\hat{x} = 1/2(x^* + x^0)$	αδιάφορος	ευθεία	$u(x) = a + bx$

Πίνακας 6.2: Μορφές της συνάρτησης χρησιμότητας $u(x)$

Στην περίπτωση που ο λήπτης της απόφασης είναι αδιάφορος, οι σταθερές a , β της συνάρτησης χρησιμότητας υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\alpha = \frac{x^0}{x^0 - x^*} \quad (6.18\alpha)$$

$$\beta = \frac{1}{x^* - x^0} \quad (6.18\beta)$$

Στην περίπτωση που ο λήπτης της απόφασης είναι ρισοκίνδυνος ή συντηρητικός, οι σταθερές a , b , c της συνάρτησης χρησιμότητας υπολογίζονται με την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων:

$$u(x^0) = \alpha + be^{cx^0} = 0$$

$$u(x^*) = \alpha + be^{cx^*} = 1$$

$$u(\hat{x}) = \alpha + be^{c\hat{x}} = 1/2$$

από το οποίο συνεπάγονται οι σχέσεις:

$$\alpha = \frac{e^{cx^0}}{e^{cx^*} - e^{cx^0}} \quad (6.19\alpha)$$

$$b = \frac{1}{e^{cx^*} - e^{cx^0}} \quad (6.19\beta)$$

$$c = \frac{1}{\hat{x}} \log\left(\frac{e^{cx^*} - e^{cx^0}}{2} - e^{cx^0}\right) \quad (6.19\gamma)$$

Με την εφαρμογή της μεθόδου των κυκλικών υπολογισμών (iteration method) υπολογίζουμε τη σταθερά c από τη σχέση (6.19γ). Στη συνέχεια με τη βοήθεια των σχέσεων (6.19α) και (6.19β) υπολογίζουμε τις σταθερές a και b αντίστοιχα.

ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΠΟΛΛΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Ο βαθμός χρησιμότητας μιας εναλλακτικής επιλογής (X_1, X_2, \dots, X_m) για τον λήπτη της απόφασης εκφράζεται με τη συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων $u(X_1, X_2, \dots, X_m)$ η οποία κάτω από ορισμένες συνθήκες πληροί τη σχέση:

$$fu(X_1, X_2, \dots, X_n) + 1 = \prod_{i=1}^m [f - fi \cdot Ui(Xi) + 1] \quad (6.20)$$

Η αναφορά στις συνθήκες που πρέπει να πληρούνται για να ισχύει η σχέση (6.20)

ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρουσίασης αυτής της μεθόδου. Θα αναφέρουμε μόνο – με κίνδυνο υπεραπλούστευσης – ότι αν τα κριτήρια επιλογής είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, τότε η παραπάνω σχέση αληθεύει.

Οι σταθερές F_i εκφράζουν τη σπουδαιότητα των κριτηρίων f_i για το λήπτη της απόφασης. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται θα περιγραφεί στην επόμενη παράγραφο. Η σταθερή F εξάλλου ικανοποιεί τη σχέση:

$$1 + F = \prod_{i=1}^m (F \cdot Fi + 1) \quad (6.21)$$

Επίσης αποδεικνύει ότι αν ισχύει $\sum_{i=1}^m Fi = 1$, τότε η σταθερά K ισούται με 0 και η συνάρτηση χρησιμότητας $u(X_1, X_2, \dots, X_m)$ δίδεται από τη σχέση:

$$U(X_1, X_2, \dots, X_m) = \sum_{i=1}^m Fi Ui(Xi) \quad (6.22)$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ F_i

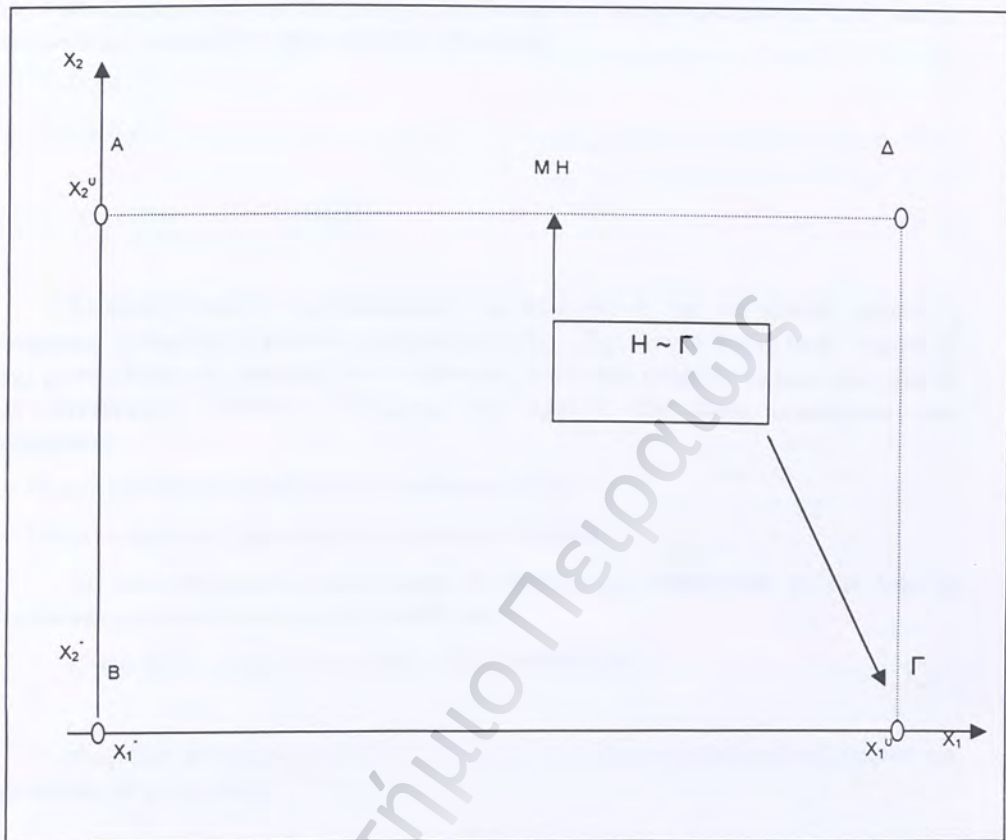
Για δύο επιλογές $a'=(X'_1, X'_2, \dots, X'_m)$ και $a''=(X''_1, X''_2, \dots, X''_m)$ ισχύει μια από τις παρακάτω σχέσεις:

1. $u(X'_1, X'_2, \dots, X'_m) > u(X''_1, X''_2, \dots, X''_m)$
2. $u(X'_1, X'_2, \dots, X'_m) < u(X''_1, X''_2, \dots, X''_m)$
3. $u(X'_1, X'_2, \dots, X'_m) = u(X''_1, X''_2, \dots, X''_m)$

Στην πρώτη περίπτωση, η επιλογή a' είναι πιο συμφέρουσα από την επιλογή a'' (συμβολικά $a' > a''$). Στη δεύτερη περίπτωση η επιλογή a' είναι λιγότερο συμφέρουσα από την επιλογή a'' (συμβολικά $a' < a''$). Στην τρίτη περίπτωση καμιά από τις δύο προηγούμενες προτάσεις δεν αληθεύει (συμβολικά $a' \sim a''$).

Για να εκτιμήσουμε τη χρησιμότητα μιας επιλογής δεν έχουμε παρά να υπολογίσουμε τις συναρτήσεις χρησιμότητας $U_i(X_i)$ κάθε κριτηρίου f_i , τις σταθερές F_i και στη συνέχεια να υπολογίσουμε τη συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων $U(X_1, X_2, \dots, X_m)$ με τη βοήθεια της σχέσης (4) ή (6).

Ας δούμε όμως πώς πραγματοποιείται ο υπολογισμός των σταθερών f_i . Κατ' αρχήν ζητάμε από το λήπτη της απόφασης να μας πει ποιο κριτήριο απ' όλα θεωρεί το πιο σημαντικό. Έστω ότι το κριτήριο αυτό είναι το f_1 (σταθερό κόστος). Σε ένα ορθοκανονικό σύστημα αξόνων $X_1 O X_2$ ο άξονας των τεταγμένων $O X_1$ περιέχει τις τιμές της μεταβλητής X_1 , ενώ ο άξονας των τεταγμένων $O X_2$ περιέχει τις τιμές της μεταβλητής X_2 (μεταβλητό κόστος). Οι τιμές των δύο μεταβλητών κυμαίνονται στα διαστήματα $[X^*_1, X_1^0]$ και $[X^*_2, X_2^0]$ όπως δείχνει το σχήμα 6.13.



Σχήμα 6.13: Διάταξη των μεταβλητών X_1, X_2

Θεωρώντας ότι όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές X_3, \dots, X_6 βρίσκονται στο χειρότερο επίπεδο X_3^0, \dots, X_6^0 , διατυπώνουμε τις παρακάτω προφανείς προτάσεις:

1. $(X_1^0, X_2^*) = \Gamma > \Delta = (X_1^0, X_2^0)$
2. $(X_1^0, X_2^*) = \Gamma < A = (X_1^*, X_2^0)$

3. Υπάρχει ένα σημείο H επάνω στο ευθύγραμμο τμήμα AD τέτοιο ώστε $\Gamma \sim H$.

Αν $(X_1^{(2)}, X_2^{(2)})$ είναι οι συντεταγμένες του σημείου H στο σύστημα αξόνων X_1OX_2 , τότε από τη σχέση $\Gamma \sim H$ συνεπάγεται:

$$u(X_1^0, X_2^*, X_3^0, \dots, X_m^0) = u(X_1^{(2)}, X_2^{(2)}, X_3^0, \dots, X_m^0) \text{ και σύμφωνα με τη σχέση (4) } F_2 = F_1 U_1(X_1^{(2)}).$$

Θα αναφέρουμε εδώ ότι ο προσδιορισμός του σημείου H γίνεται από το λήπτη της απόφασης με τη γνωστή μέθοδο της διχοτομικής αναζήτησης επάνω στο ευθύγραμμο τμήμα

ΑΔ. Επαναλαμβάνοντας την ίδια ακριβώς διαδικασία και για τα κριτήρια f_3, f_4, f_5 και f_m συγκροτούμε το παρακάτω απλό σύστημα εξισώσεων:

$$\begin{aligned} F_2 &= F_1 U_1(X_1^{(2)}) \\ F_3 &= F_1 U_1(X_1^{(3)}) \\ &\vdots \\ F_m &= F_1 U_1(X_1^{(n)}) \end{aligned} \quad (6.23)$$

Απομένει, λοιπόν, ο προσδιορισμός της σταθεράς F_1 για να οριστεί πλήρως η συνάρτηση χρησιμότητας πολλών κριτηρίων $u(X_1, X_2, \dots, X_m)$. Για το σκοπό αυτό, ενεργούμε πάλι με τη μέθοδο της επιλογής από το λήπτη της απόφασης ανάμεσα σε ένα λαχνό και σε μία συγκεκριμένη επιλογή a . Ορίζουμε ένα λαχνό λ στον οποίο εμφανίζονται δύο ενδεχόμενα:

1. Όλες οι μεταβλητές βρίσκονται στο καλύτερο επίπεδο.
2. Όλες οι μεταβλητές βρίσκονται στο χειρότερο επίπεδο.

Τα δύο ενδεχόμενα εμφανίζονται με αντίστοιχες πιθανότητες p και $1-p$. Η αναμενόμενη χρησιμότητα του λαχνού ισούται με:

$$u(\lambda) = p u(X_1^*, \dots, X_m^*) + (1-p) u(X_1^0, \dots, X_m^0) \text{ οπότε } u(\lambda) = p.$$

Θεωρούμε την επιλογή $a = (X_1^*, X_2^0, \dots, X_m^0)$. Η συνάρτηση χρησιμότητας παίρνει για την επιλογή αυτό την τιμή:

$$u(a) = F_1$$

Θέτουμε λοιπόν στον λήπτη της απόφασης το ακόλουθο ερώτημα: Για ποια τιμή της πιθανότητας p μένει αδιάφορος μπροστά στο πρόβλημα επιλογής ανάμεσα στο λαχνό λ και στη επιλογή a . Η απάντηση του δίνει την τιμή της σταθεράς F_1 αφού $F_1 = u(a) = u(\lambda) = p$. Έτσι, γνωρίζοντας την σταθερά F_1 προσδιορίζουμε τις F_2, \dots, F_m με τη βοήθεια του συστήματος εξισώσεων (6.23).

Ο προσδιορισμός της πιθανότητας p για την οποία ισχύει $\lambda \sim a$ γίνεται και πάλι με τη μέθοδο της διχοτομικής αναζήτησης στο διάστημα $[0, 1]$.

Ο αλγόριθμος υπολογισμού της συνάρτησης χρησιμότητας για κάθε στοιχείο του συνόλου Σ διακρίνεται σε 3 τμήματα.

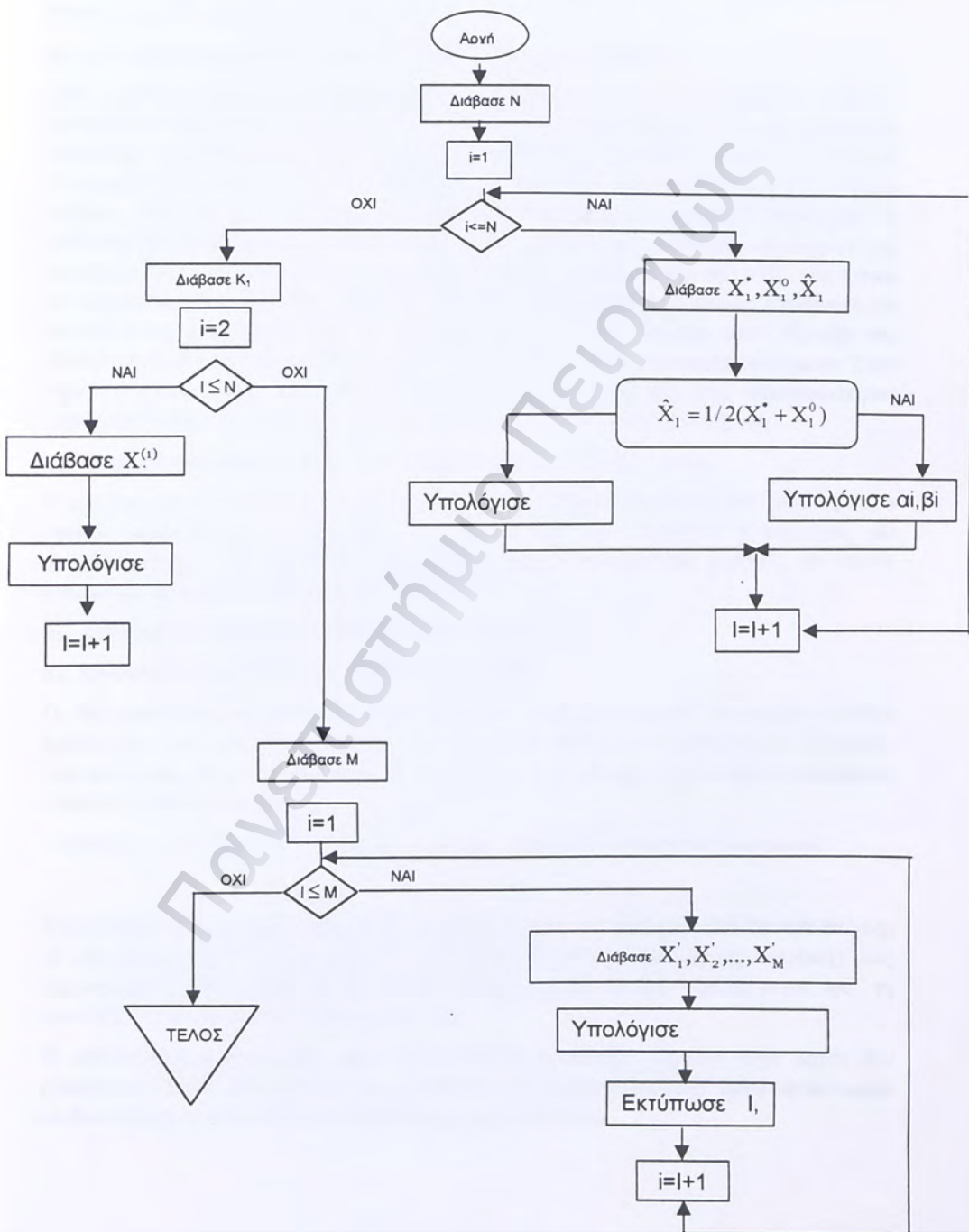
1. **Προσδιορισμός της συνάρτησης χρησιμότητας κάθε κριτηρίου.** Επιτυγχάνεται με την ανάγνωση των ποσοτήτων $X^*_1, X^*_2, \dots, X^*_n$ για κάθε κριτήριο f_i και, με τη βοήθεια αυτών, του υπολογισμού των σταθερών a, b, c αν πρόκειται για μη γραμμική συνάρτηση.
2. **Προσδιορισμός των σταθερών F_i .** Γίνεται με τον τρόπο που περιγράφεται στην αντίστοιχη παράγραφο. Εάν το άθροισμά τους είναι διάφορο της μονάδας, τότε υπολογίζουμε τη σταθερά F από τη σχέση (5) με τη μέθοδο των κυκλικών υπολογισμών.
3. **Ανάγνωση των τιμών που παίρνουν οι μεταβλητές X_1, X_2, \dots, X_n για κάθε στοιχείο a του συνόλου A .** Με τη βοήθεια των τιμών αυτών και των σταθερών που υπολογίστηκαν στα δύο προηγούμενα τμήματα, προβαίνουμε στον υπολογισμό της συνάρτησης χρησιμότητας για κάθε στοιχείο.

Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου δίνεται στο σχήμα 6.14.

Η μέθοδος της συνάρτησης χρησιμότητας, η οποία χρησιμοποιείται γενικά για τη σύγκριση εναλλακτικών σχεδίων βασίζεται στην ιδέα της χρησιμότητας, που εξαρτά την αξία μιας ωφέλειας ή ζημιάς, από το μέγεθός της και από την προσωπική συμπεριφορά του λήπτη της απόφασης απέναντι σε αυτό (Λαμπρόπουλος, 1985, Rowe & Wright, 1999). Είναι γεγονός ότι οι περισσότεροι άνθρωποι δεν αποδέχονται να συμμετάσχουν σε ένα τυχερό παιχνίδι με μηδενική μέση πληρωμή, ιδιαίτερα όταν αυτό περικλείει περίπτωση μεγάλης οικονομικής ζημιάς. Ο μέσος άνθρωπος αξιολογεί διαφορετικά ίσες χρηματικές ζημιές και κέρδη και πάντα σε σχέση με τα ποσά που αφορούν. Η μέθοδος έχει επικριθεί στα παρακάτω (Λαμπρόπουλος, 1985)

- Δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν οι αντιδράσεις ενός ατόμου όταν βρεθεί στην ανάγκη να πάρει ριψοκίνδυνες αποφάσεις που το αποτέλεσμα τους θα κρίνει το μέλλον
- Η συνάρτηση χρησιμότητας ενός ατόμου μεταβάλλεται με τον καιρό σύμφωνα με το συνολικό οικονομικό δυναμικό του.
- Δεν υπάρχει τρόπος συνδυασμού διαφόρων συναρτήσεων χρησιμότητας και συνεπώς δεν υπάρχει δυνατότητα κατασκευής υποδείγματος για τη λήψη ομαδικών αποφάσεων.

Σχήμα 6.14. Διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό της συνάρτησης χρησιμότητας πολλών κριτηρίων



6.3. Διαμόρφωση εναλλακτικών λύσεων

Οι ενδεικτικές εναλλακτικές λύσεις που, για λόγους σύγκρισης, πρέπει να αναφέρονται την ίδια δυναμικότητα (600 MW) είναι οι εξής:

α₁. Λιγνιτικός σταθμός, 2 X 300 MW, στην περιοχή της Δράμας

Από σχετική εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Batzias & Roumpos 2000) με αντικείμενο την επιλογή λιγνιτικού πεδίου για την ανάπτυξη ορυχείου που θα τροφοδοτεί αντίστοιχο ατμοηλεκτρικό σταθμό μεταξύ έξι υποψηφίων λιγνιτικών πεδίων (Ελασσόνας, Κομνηνών, Ιωαννίνων, Δράμας, Σερβίων(Κοζάνης) και Καρύταινας) με διάφορα κριτήρια επιλογής, στις δύο πρώτες θέσεις της ιεραρχικής κατάταξης των επιλογών βρίσκονταν τα πεδία της Ελασσόνας και της Δράμας. Επειδή τα αποθέματα του λιγνιτικού κοιτάσματος της Δράμας επαρκούν για την τροφοδοσία σταθμού ισχύος της τάξεως των 600 MW, επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή λιγνιτικός σταθμός στην περιοχή της Δράμας. Προφανώς, θα μπορούσε ως εναλλακτική επιλογή να θεωρηθεί λιγνιτικός σταθμός στην περιοχή της Ελασσόνας ή σε άλλη περιοχή στην οποία εντοπίζονται αξιόλογα λιγνιτικά κοιτάσματα. Στην περίπτωση όμως αυτή θα έπρεπε να ληφθεί υπόψη το κριτήριο της επεκτασιμότητας (extendibility) που θα αναφέρεται στο μέγεθος και στη διάρκεια ζωής του έργου.

α₂. Σταθμός φυσικού αερίου, 1 X 600 MW, στην περιοχή της Λαμίας

Η εναλλακτική αυτή επιλογή για το σταθμό φυσικού αερίου βασίστηκε στο γεγονός ότι ο αγωγός φυσικού αερίου διέρχεται από την περιοχή και υπάρχουν δυνατότητες για απορρόφηση της ηλεκτρικής ενέργειας από μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες βρίσκονται σε λειτουργία στην κεντρική Ελλάδα.

α₃. Ανθρακικός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι και

α₄. Πετρελαϊκός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι

Οι δύο παραπάνω εναλλακτικές επιλογές για τον ανθρακικό και τον πετρελαϊκό σταθμό βασίστηκαν στην υπάρχουσα υποδομή για κατασκευή σταθμού στην περιοχή του Αλιβερίου. Ήδη βρίσκεται σε λειτουργία πετρελαϊκός σταθμός και υπάρχει η δυνατότητα προμήθειας άνθρακα με θαλάσσια μεταφορά.

Οι θέσεις των εναλλακτικών επιλογών έχουν σημειωθεί στο σχήμα 4.5 (κεφάλαιο 4).

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή θεωρούμε ότι η αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων θα γίνει με την προοπτική ότι ο αποφασίζων ακολουθεί την γενική γραμμή της πολιτικής μιας δημόσιας υπηρεσίας ή ενός φορέα, που ακολουθεί κατά συνέπεια με τη σειρά του τη γενικότερη ενεργειακή πολιτική του κράτους.

Η μεθοδολογία εφαρμόζεται μόνο σε εναλλακτικές λύσεις. Για τον λόγο αυτόν δεν εξετάζονται συνδυασμοί μεταξύ των παραπάνω λύσεων ή συνδυασμοί των λύσεων αυτών με δυνατότητες παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τονίζεται ότι το βάρος της εργασίας δίνεται στη μεθοδολογία, υπό την έννοια ότι τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι ενδεικτικά. Η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα προβλήματα, όχι μόνο στον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα, αλλά σε ευρεία κλίμακα, όταν στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων υπαισέρχονται πολλές παράμετροι.

Διευκρινίζεται ότι (α) η παράλειψη εναλλακτικής λύσης (δηλ. τύπου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) δεν συνεπάγεται λάθος εφαρμογής της πολυκριτηριακής μεθόδου αλλά προφανώς οδηγεί σε ελλειμματική αντιμετώπιση του προβλήματος, (β) κάθε προτεινόμενη εναλλακτική λύση αναφέρεται ως βέλτιστη λύση της κατηγορίας της (γ) δεν έχουν ληφθεί υπόψη στη διαμόρφωση κάθε προτεινόμενης τυπικής εναλλακτικής λύσης οι τεχνολογικές μεταβολές ή οι καινοτομικές λύσεις που δεν έχουν έναν ελάχιστο αριθμό των μονάδων με εμπορική λειτουργία

Στο παρακάτω σχήμα 6.15 Δίνεται το διάγραμμα μεταβολής του κόστους κεφαλαίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής ανάλογα με τον αριθμό των μονάδων εμπορικής λειτουργίας.



Σχήμα 6.15 Μεταβολή κόστους κεφαλαίου με τον αριθμό των μονάδων που βρίσκονται σε εμπορική λειτουργία.

6.4. Περιγραφή των κριτηρίων αξιολόγησης

Ο καθορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στάδια στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων. Η λήψη της απόφασης βασίζεται ουσιαστικά στη πληροφορία που μεταφέρουν τα κριτήρια για τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών λύσεων

Γενικά, ένα συνεπές σύνολο κριτηρίων πρέπει να χαρακτηρίζεται από :

- Πληρότητα : πρέπει να καλύπτονται οι διαστάσεις της αξιολόγησης που τίθενται από τους υπεύθυνους
- Μη επικάλυψη
- Διαφάνεια : πρέπει να είναι κατανοητές οι διαστάσεις αξιολόγησης και ο τρόπος υπολογισμού της επίδοσης από τους αποφασίζοντες
- Περιορισμένο αριθμό στοιχείων, ώστε να είναι εφικτή η διάκριση της σχετικής της βαρύτητας

Στην παρούσα εργασία, τα κριτήρια επιλέγονται έτσι ώστε το πρόβλημα της επιλογής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής να αντιμετωπίζεται σφαιρικά.

Τα 11 κριτήρια αξιολόγησης f_i ($i = 1, 2, \dots, 11$) που επελέγησαν καταρχήν (με δυνατότητα τροποποίησης σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, όπως θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο είναι τα παρακάτω :

f_1 . Σταθερό κόστος

Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στο κόστος επένδυσης καθώς επίσης και στο σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Επίσης περιλαμβάνεται η επιβάρυνση λόγω της καταβολής μέρους του κεφαλαίου σε συνάλλαγμα.

Τα έργα, που αφορούν την κατασκευή ηλεκτρικού σταθμού είναι εντάσεως κεφαλαίου. Επομένως το κόστος επένδυσης είναι σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη λήψη της απόφασης.

Ένα σημαντικό μέρος του κόστους επένδυσης εξαρτάται από την υπάρχουσα υποδομή και από τον γενικότερο χώρο (site specific), στον οποίο θα κατασκευαστεί ο σταθμός.

Το κόστος επένδυσης μπορεί να αναχθεί σε ετήσια βάση, λαμβάνοντας υπόψη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης n και το επιτόκιο προεξόφλησης (i).

Έτσι, αν το συνολικό κόστος επένδυσης είναι K , το αναγόμενο σε ετήσια βάση κόστος επένδυσης I δίνεται από τη σχέση:

$$I = K \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \quad (6.24)$$

Στις περιπτώσεις που μέρος του κεφαλαίου καταβάλλεται σε συνάλλαγμα, πρέπει να ληφθεί υπόψη και η σχετική επιβάρυνση η οποία είναι ένα ποσοστό του παραπάνω καταβαλλόμενου ποσού (της τάξεως του 10%).

Το σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης περιλαμβάνει το κόστος εργασίας και το κόστος ασφάλισης. Συνήθως αντιπροσωπεύει μικρό ποσοστό του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής. Το κόστος αυτό (όπως και το μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης) εξαρτάται κυρίως από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού, από τους εφαρμοζόμενους κανόνες ασφαλείας και το απαραίτητο προσωπικό.

Στο παρακάτω πίνακα 6.3 δίνονται ενδεικτικά στοιχεία κόστους, που περιλαμβάνουν και το σταθερό κόστος επένδυσης καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, για τις υφιστάμενες καθώς και για τις υποψήφιες μονάδες(Μοιρασγεντής και Διακουλάκη 1999)

Πίνακας 6.3 Ενδεικτικά στοιχεία κόστους υφιστάμενων και υποψήφιων προς ένταξη μονάδων

	Κόστος καυσίμου (δρχ/Gcal)	Μεταβλητό κόστος λειτουργίας & συντήρησης (δρχ/kWh)	Σταθερό κόστος λειτουργίας & συντήρησης (δρχ/kW μήνα)	Κόστος επένδυσης (δρχ/kW)
Υφιστάμενες Μονάδες				
Λιγνιτικές	1269-1350	0,27-0,81	810-1755	
Πετρελαϊκές	3510	0,41-0,49	594-1593	
Φυσικού αερίου	3800	0,49	486	
Υδροηλεκτρικά	-	-	162	
Υποψήφιες προς ένταξη				
Λιγνιτικές	1269	0,38	459	540000
Πετρελαϊκές	1890	0,76	594	472500
Φυσικού αερίου	3800	0,49	486	229500
Υδροηλεκτρικά	-	-	162	527000
Αιολικά	-	-	162	387500

f₂. Μεταβλητό κόστος

Το μεταβλητό κόστος περιλαμβάνει βασικά το μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης και το κόστος καυσίμου. Επίσης περιλαμβάνονται οι εκάστοτε επιβαρύνσεις λόγω πληρωμών σε συνάλλαγμα (ιδιαίτερα στην περίπτωση κατά την οποία η πρώτη ύλη είναι εισαγόμενη).

Το μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης αναφέρεται στην αποθήκευση καυσίμων, στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος επισκευών και συντήρησης.

Το κόστος καυσίμου (το οποίο πολλές φορές αντιμετωπίζεται ως χωριστό κόστος) κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών και στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους ηλεκτροπαραγωγής.

Η ανταγωνιστικότητα των καυσίμων, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιλογή νέων μονάδων που θα προστεθούν στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής ή για τη συνέχιση της λειτουργίας των παλαιότερων.

Για την περίπτωση του λιγνιτικού σταθμού, το κόστος του λιγνίτη ο οποίος εξορύσσεται σε παρακείμενο ορυχείο δεν παραμένει σταθερό, αλλά μεταβάλλεται με την πρόοδο της εκμεταλλεύσεως. Είναι γνωστό ότι τα γεωμετρικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος παρουσιάζουν χωρική μεταβλητότητα. Έτσι, ανάλογα με την ποιότητα του λιγνίτη, θα απαιτείται και διαφορετική ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, το λειτουργικό κόστος της εκμεταλλεύσεως του ορυχείου συναρτάται άμεσα με τη σχέση εκμετάλλευσης, η οποία ορίζεται ως ο όγκος αγόνων υλικών (υπερκείμενα και ενδιάμεσα) που πρέπει να απομακρυνθούν για να εξορυχθεί ένας τόνος λιγνίτη. Συνήθως το λειτουργικό κόστος είναι γραμμική συνάρτηση της σχέσης εκμετάλλευσης. Δηλαδή ισχύει η παρακάτω σχέση :

$$K_L = \alpha + \beta \cdot \sigma \quad (6.25)$$

Όπου K_L : το λειτουργικό κόστος της εκμετάλλευσης του ορυχείου

σ : η σχέση εκμετάλλευσης (m^3 αγόνων/ τόνο λιγνίτη)

$$\alpha, \beta > 0$$

Επομένως με κατάλληλο σχεδιασμό της εκμεταλλεύσεως του ορυχείου δεν παρουσιάζονται σημαντικές μεταβολές στο κόστος καυσίμου με την πρόοδο της εκμετάλλευσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο παραπάνω κόστος θα πρέπει να περιληφθεί και το ποσό που θα δαπανηθεί για την αποκατάσταση του τοπίου του ορυχείου.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία των μελετών που έχουν εκπονηθεί για τα λιγνιτικά πεδία, προκύπτει ότι οι εγχώριοι λιγνίτες παρουσιάζουν μακροπρόθεσμα ελεγχόμενο και προβλέψιμο κόστος.

Όσον αφορά τα εισαγόμενα καύσιμα, οι τιμές του άνθρακα δεν αναμένονται να εμφανίσουν σημαντικές μεταβολές, ενώ το αντίθετο συμβαίνει συνήθως με τις τιμές του πετρελαίου, οι οποίες παρουσιάζουν πολλές φορές απρόβλεπτες αλλαγές.

Από τις προηγούμενες κρίσεις πετρελαίου (1973,1979) είναι φανερό ότι οι τιμές πετρελαίου μπορούν να κυμανθούν σε ευρεία επίπεδα. Το ίδιο ισχύει και για τις τιμές του φυσικού αερίου, που συνδέονται με τις τιμές των προϊόντων πετρελαίου, όπως φαίνεται από τον παρακάτω τύπο υπολογισμού της τιμής φυσικού αερίου (Θωμαδάκης, 1999).

$$P = P_0 \times \left(0,3 \frac{GO}{GO_0} + 0,2 \frac{FO}{FO_0} + 0,2 \frac{\Delta TK}{\Delta TK_0} + 0,1 \frac{H\Lambda}{H\Lambda_0} + 0,2 \frac{C}{C_0} \right) \quad (6.26)$$

Όπου :

P : η ισχύουσα τιμή του αερίου, αναπροσαρμοζόμενη ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ.ανά τρίμηνο)

P_0 : Η σταθερή τιμή βάσης (συνήθως σε \$/m³)

FO : Η τιμή του μαζούτ (Fuel Oil) κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς (π.χ. έξι μήνες πριν από την ημερομηνία εφαρμογής της τιμής)

GO : Η τιμή του μαζούτ (Fuel Oil) κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς

ΔTK : Ο Δείκτης Τιμών Καταναλωτή κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς

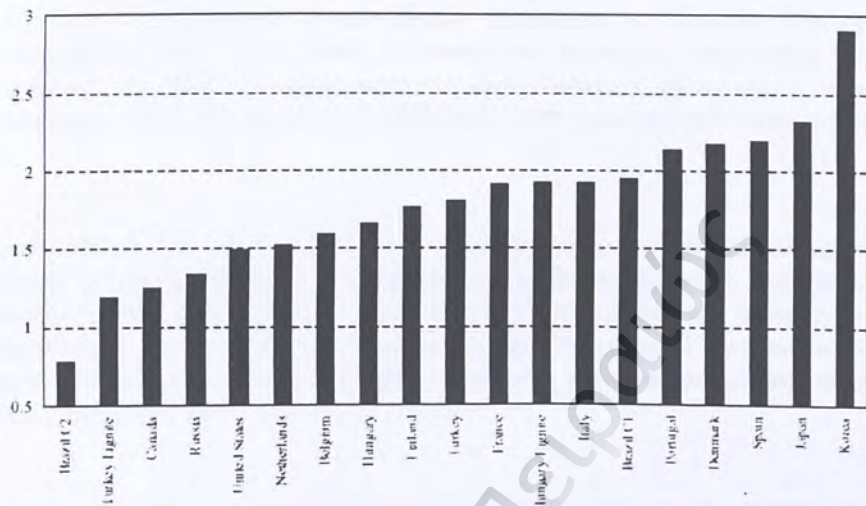
H : Η μέση (π.χ.) τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς

C : Η τιμή του άνθρακα κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς

Στον παραπάνω τύπο με τον δείκτη “ $_0$ ” παρουσιάζονται τα αντίστοιχα μεγέθη κατά την **περίοδο βάσης** (αναφοράς), π. χ. κατά το διάστημα των έξι μηνών πριν από την ημερομηνία έναρξης εφαρμογής του τύπου.

Στο παρακάτω σχήμα 6.16 παρουσιάζεται η πρόβλεψη για τη σχέση μεταξύ των τιμών φυσικού αερίου και του άνθρακα για το έτος 2005 για διάφορες χώρες (International Energy Agency,1998).

Σχήμα 6.16 Πρόβλεψη σχέσης τιμών άνθρακα προς τις τιμές φυσικού αερίου το έτος 2005



Το επίπεδο των τιμών στερεών καυσίμων και οι αναμενόμενες διαφορές τους από τις τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου αναμένεται να έχουν ισχυρή επίδραση στην οικονομική απόδοση των ενεργειακών τεχνολογιών.

f₃. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Το κριτήριο αναφέρεται στις επιπτώσεις από τη λειτουργία του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής του σταθμού. Περιλαμβάνονται οι επιπτώσεις από τις κάθε είδους εκπομπές καθώς και από την αποθήκευση ή τη διάθεση των αποβλήτων. Στις επιπτώσεις αυτές θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η ενδεχόμενη περιβαλλοντική επιβάρυνση λόγω ατυχήματος, οφειλόμενου σε ανθρώπινο παράγοντα ή σε φυσικό φαινόμενο.

Οι αστοχίες που προκαλούν ατυχήματα σε τέτοια πολύπλοκα τεχνολογικά συστήματα χαρακτηρίζονται από στοχαστικότητα στην εμφάνισή τους. Για τη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων χρησιμοποιείται συχνά η έννοια της επικινδυνότητας, η οποία ορίζεται ως το γινόμενο της (πιθανότητας να συμβεί το ατύχημα) επί (τις εκτιμώμενες ανεπιθύμητες συνέπειες, όταν τελικά αυτό συμβαίνει). Στις περιπτώσεις που τα διαθέσιμα στοιχεία δεν

είναι επαρκή για την εκτίμηση της παραπάνω πιθανότητας, λαμβάνεται υπόψη το υποκειμενικό μέτρο εμπιστοσύνης του αναλυτή (υποκειμενική πιθανότητα).

Το κόστος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αναφέρεται ως εξωτερικό κόστος της ηλεκτροπαραγωγής (Διακουλάκη 1999).. Το κόστος αυτό παρουσιάζει αβεβαιότητα ως προς την ποσοτική έκφρασή του ,χρησιμοποιείται όμως σε αρκετές μελέτες για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων (Mirasgedis & Diakoulaki , 1997 , Lawrey,1999, Mirasgedis et al, 2000).

Η λεπτομερής ανάλυση των εξωτερικών οικονομιών της ηλεκτροπαραγωγής περιλαμβάνει τις επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στη δημόσια υγεία, στις καλλιέργειες, στα δάση, στα οικοδομικά υλικά, στα ιστορικά μνημεία κ.λ.π., τις επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου, τις επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα, την επίδραση του θορύβου και την αισθητική ρύπανση καθώς και τις επιπτώσεις στην υγεία των εργαζόμενων (υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας και σε περίπτωση ατυχήματος).

Η μέθοδος της ζημιόγνου συναρτήσεως, που χρησιμοποιείται για την προσέγγιση των εξωτερικών οικονομιών, περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια :

- Προσδιορισμό των ρυπογόνων εκροών, της παραγωγικής διαδικασίας ανά μονάδα προϊόντος (π.χ. mg SO₂/KWh)
- Εκτίμηση της διασποράς των ρύπων στον περιβάλλοντα χώρο με εφαρμογή μοντέλου διάχυσης ατμοσφαιρικών ρύπων ή μοντέλων διασποράς θορύβου.
- Υπολογισμός της οριακής αύξησης της συγκέντρωσης των ρύπων σε κάθε γεωγραφική θέση
- Εκτίμηση των επιπτώσεων στους αποδέκτες με εφαρμογή συναρτήσεως έκθεσης-απόρριψης
- Αποτίμηση των επιπτώσεων σε χρηματικές μονάδες

Τα παραπάνω στάδια παρουσιάζουν πολλές αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις γεωγραφικές και κοινωνικές συνθήκες, καθώς και με την ανεπαρκή γνώση των φυσικών και βιολογικών φαινομένων.

Στον παρακάτω πίνακα 6.4 παρουσιάζονται τρία σενάρια με τα ενδεικτικά στοιχεία εξωτερικού κόστους για τις υποψήφιες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (Μοιρασγεντής και Διακουλάκη, 1999).

Πίνακας 6.4. Σενάρια ενδεικτικών στοιχείων περιβαλλοντικού κόστους(δρχ/kWh).

	Χαμηλών τιμών	Μέσων τιμών	Υψηλών τιμών
Λιγνιτικές	7,5	14	27,4
Ανθρακικές	3,4	7,2	14,6
Φυσικού αερίου	1,23	2,4	4,1
Υδροηλεκτρικά	1,14	1,48	1,2
Αιολικά	0,66	0,73	0,82

Η οικονομική αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλεί η ενεργειακή βιομηχανία και ιδιαίτερα η ηλεκτροπαραγωγική αποτελεί αντικείμενο συστηματικής διερεύνησης κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας (Διακουλάκη,1999). Εξετάζονται τα τελευταία χρόνια διάφοροι τρόποι άμεσης ή έμμεσης ενσωμάτωσης του περιβαλλοντικού εξωτερικού κόστους στη διαδικασία λήψης των ενεργειακών αποφάσεων.

Το εξωτερικό κόστος κυμαίνεται ανάλογα με την ποιότητα του καυσίμου, την εφαρμοζόμενη τεχνολογία, και σε μικρότερο βαθμό από τη γεωγραφική θέση της μονάδας. Για τις μονάδες συμβατικών καυσίμων οι σημαντικότερες συνιστώσες του εξωτερικού κόστους αφορούν τις επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στη δημόσια υγεία και τις επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολή, ενώ για τις υδροηλεκτρικές μονάδες σημαντικές μπορεί να είναι οι επιπτώσεις σε περιοχές υψηλής οικολογικής αξίας.

6.4. Απώλειες καλλιεργήσιμης ή άλλων χρήσεων γης

Απώλειες καλλιεργήσιμης γης συμβαίνουν στην περίπτωση εξόρυξης του καυσίμου πλησίον του σταθμού, αλλά και κατά την απαγόρευση / αποφυγή καλλιεργειών σε ορισμένη απόσταση από τους σταθμούς, για λόγους ασφάλειας. Στις περιπτώσεις αυτές, θίγονται περισσότερο οι περιοχές με εκτεταμένες αγροτικές καλλιέργειες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η επανεγκατάσταση των οικισμών που θίγονται από επιφανειακές λιγνιτικές εκμεταλλεύσεις προσφέρει μια ευκαιρία για τη βελτίωση του περιβάλλοντος και του επιπέδου διαβίωσης των κατοίκων της περιοχής, δεδομένου ότι οι μεταφερόμενοι οικισμοί επαναδομούνται με βάση σύγχρονα σχέδια οικιστικής ανάπτυξης.

Μετά το πέρας των εκμεταλλεύσεων ελευθερώνονται σταδιακά οι εκτάσεις γης που δεσμεύτηκαν για την ανάπτυξη των ορυχείων. Η διαδικασία αποκατάστασης και αναδιαμόρφωσης του ανάγλυφου των εσωτερικών και των εξωτερικών αποθέσεων, καθώς

και των κενών που αναλόφευκτα απομένουν, αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα των λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Οι νέες εκτάσεις που προκύπτουν αποδίδονται, είτε για γεωργικές ή κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, είτε αποτελούν τον βασικό χώρο για την ανάπτυξη δασών και λιμνών σε μεγάλη κλίμακα.

Εκτός από τις απώλειες καλλιεργήσιμης γης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλες χρήσεις γης π.χ. παραδοσιακοί οικισμοί, αρχαιολογικοί χώροι ή περιοχές φυσικού κάλλους που συμβάλλουν στην τουριστική ανάπτυξη, ή δασικές εκτάσεις στην ευρύτερη περιφέρεια.

6.5. Συμβολή στη μεταφορά τεχνολογίας και στην τοπική ανάπτυξη

Η μεταφορά τεχνολογίας, σε εθνικό επίπεδο, συντελείται σε μεγάλο βαθμό με την επιλογή σταθμού για τον οποίο δεν υπάρχει προηγούμενη εμπειρία λειτουργίας στον ελληνικό χώρο ή, σε μικρότερο βαθμό, με νέες τεχνολογίες καύσης οι οποίες θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν και για την αναβάθμιση των υφιστάμενων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Παράλληλα, η μεταφορά τεχνολογίας σε περιφερειακό επίπεδο και η συμβολή στην τοπική ανάπτυξη σχετίζονται με το επίπεδο τεχνολογικής / βιομηχανικής και κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης της περιφέρειας στην οποία θα εγκατασταθεί ο σταθμός, συγκρινόμενο με το αντίστοιχο επίπεδο των περιφερειών των υπόλοιπων εναλλακτικών λύσεων, καθώς επίσης και με το είδος του σταθμού (κάποιοι σταθμοί συμβάλλουν περισσότερο, σε σχέση με τους υπόλοιπους, στη δημιουργία θέσεων απασχόλησης και κατά συνέπεια στην περιφερειακή ανάπτυξη).

Η θετική συνεισφορά και η συμβολή στην τοπική ανάπτυξη συντελούνται με (Καβουρίδης, 1997) :

- Την προμήθεια εφοδίων από την τοπική αγορά
- Εκτέλεση έργων συντήρησης από συνεργεία της περιοχής, με παράλληλη μεταφορά τεχνολογίας.
- Την κάλυψη των αναγκών σε προσωπικό λειτουργίας από εργαζόμενους που διαμένουν στην ευρύτερη περιφέρεια.
- Απαλλοτριώση εκτάσεων, ιδιαίτερα στην περίπτωση λιγνιτικών σταθμών που απαλλοτριώνονται εκτάσεις για την ανάπτυξη των ορυχείων
- Ανάθεση εργασιών σε εργολάβους.
- Διάθεση χρημάτων για τοπική ανάπτυξη.

Οι κοινωνικοί δείκτες (social indicators) που μπορούν να χρησιμοποιούνται είναι (Afgan, et al, 2000):

1. Η δημιουργία θέσεων εργασίας η οποία εκφράζεται με τον αριθμό των ωρών εργασίας ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
2. Δημιουργία κεφαλαίου σε νομισματικές μονάδες ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο δείκτης αυτός σχετίζεται με το επίπεδο διαβίωσης.
3. Άλλα κοινωνικά οφέλη. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στην ποικιλία των κοινωνικών αγαθών που δημιουργούνται.

Αναφορικά με τη διάχυση και την αποδοχή της τεχνολογίας, ισχύει γενικά η παρακάτω σχέση (Kydes.,1999):

$$dSt/dt = \alpha(c, p, \dots) \cdot \left[\frac{St}{Ut} \right] \cdot \left[1 - \frac{St}{Ut} \right] \quad (6.27)$$

όπου:

St = ο αριθμός των χρηστών που έχουν υιοθετήσει την τεχνολογία τον χρόνο t .

Ut = ο αριθμός των δυνατών χρηστών

$\alpha(c, p, \dots)$ = παράμετρος που εξαρτάται από τις τιμές του καυσίμου p , από το κόστος εξοπλισμού c και, πιθανώς από άλλους παράγοντες. Η παράμετρος α εκφράζει το ρυθμό μετάδοσης της τεχνολογίας.

Ο βαθμός της μάθησης μέσω της πράξης (learning by doing) περιστρέφεται γύρω από 3 παραμέτρους :

- 1) Το βαθμό μείωσης του κόστους με την αύξηση της παραγωγής.
- 2) Τον ορισμό του τυποποιημένου μεγέθους μονάδας (standard unit size)
- 3) Τη «μάθηση» που πετυχαίνεται όταν ο επενδυτής κατασκευάζει πολλές μονάδες στο ίδιο έτος.

f 6. Σταθερότητα εγχώριου δικτύου

Το κριτήριο αυτό έχει δύο διαστάσεις : (α) τη χωρική και (β) τη χρονική. Αναφερόμενοι στην χωρική διάσταση, ανάλογα με την θέση του σταθμού υπάρχει μεγαλύτερη ή μικρότερη συμβολή στην εξισορρόπηση του δικτύου, όσον αφορά την κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις θέσεις παραγωγής και τις θέσεις κατανάλωσής της. Η χρονική διάσταση αναφέρεται στη σταθερότητα του δικτύου κατά την διάρκεια του χρόνου, στις απώλειες φορτίου και στην ασφάλεια κάλυψης των απαιτήσεων αιχμής.

Γενικά σε μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας το κόστος μεταφοράς είναι αυξημένο και παρατηρούνται μεγάλες απώλειες ενέργειας.

f 7. Σταθερότητα Διαβαλκανικού Δικτύου

Στο νέο περιβάλλον απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αναμένεται σημαντική αύξηση των εμπορικών ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών συστημάτων, ιδιαίτερα των γειτονικών βαλκανικών χωρών. Με την προοπτική αυτή, ορισμένες θέσεις κατασκευής σταθμών παρουσιάζουν ιδιαίτερη γεωπολιτική σπουδαιότητα, η οποία καθίσταται περισσότερο σημαντική μετά την αναμενόμενη κατάργηση του πυρηνικού σταθμού ΚΟΖΛΟΝΤΟΥΙ στη Βουλγαρία

Στο παρακάτω σχήμα 6.17 παρουσιάζεται η πρόβλεψη των ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας με τις γειτονικές χώρες για το έτος 2002 (Βάσσοις και Μόσχοβιτς, 1999)

Οι διασυνδέσεις των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας επανεξετάζονται στον Ευρωπαϊκό χώρο, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η διασυνδεδεμένη λειτουργία και οι ανταλλαγές ενέργειας.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των διασυνδέσεων είναι :

♦ Η μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μείωση αυτή είναι δυνατό να επιτευχθεί αφενός από την αποφυγή της ένταξης κάποιων μονάδων παραγωγής ή από τον ετεροχρονισμό των νέων επενδύσεων και αφετέρου από την μείωση του λειτουργικού κόστους με αύξηση της παραγωγής των μονάδων με το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας.

Οι ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών συστημάτων που λειτουργούν με διαφορετικό οριακό κόστος παραγωγής επιτρέπουν την ελαχιστοποίηση των ωρών λειτουργίας των δαπανηρών μονάδων αιχμής, ιδιαίτερα όταν παρατηρείται ετεροχρονισμός (εποχιακός, μηνιαίος ή ωριαίος) μεταξύ των αιχμών φορτίου των διασυνδεδεμένων συστημάτων.



Σχήμα 6.17 Πρόβλεψη ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας στις Βαλκανικές χώρες το έτος 2002

- ♦ Μείωση των απαιτήσεων εφεδρείας (στρεφόμενης και λειτουργικής).

Για την κάλυψη των αιχμών φορτίου τα ηλεκτρικά συστήματα είναι εφοδιασμένα με εφεδρείες ισχύος. Με τη διασυνδεδεμένη λειτουργία, οι αιχμές φορτίου μπορούν να καλυφθούν μέσω των διασυνδεδεμένων συστημάτων ιδιαίτερα όταν παρατηρείται ετεροχρονισμός μεταξύ των αιχμών φορτίου των συστημάτων αυτών.

- ♦ Αύξηση της αξιοπιστίας εξυπηρέτησης της ζήτησης

Περιοχές με έλλειμμα ενέργειας μπορούν να προμηθεύονται ηλεκτρισμό από περιοχές που διαθέτουν περίσσεια ενέργειας, με αποτέλεσμα αύξηση της πιθανότητας εξυπηρέτησης της

ζήτησης σε δεδομένο χρονικό διάστημα, δηλαδή αύξηση της αξιοπιστίας τους συστήματος και ελαχιστοποίηση της πιθανότητας διακοπής της ηλεκτροδότησης.

- ♦ Αύξηση των ορίων ευστάθειας των διασυνδεδεμένων συστημάτων σε περιπτώσεις διαταραχών.

f 8. Κοινωνική αποδοχή

Για την ομαλή κατασκευή και λειτουργία του έργου, είναι απαραίτητη η αποδοχή της τοπικής κοινωνίας. Διαφορετικά παρατηρούνται αντιδράσεις των κατοίκων, της τοπικής αυτοδιοίκησης ή και περιβαλλοντικών οργανώσεων, με πολλαπλά προβλήματα, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν ακόμη και στη ματαίωση του έργου.

Η αποδοχή ή όχι από την τοπική κοινωνία σχετίζεται με τις γενικότερες δραστηριότητες των κατοίκων και με τις αναμενόμενες ωφέλειες, επιπτώσεις και παρενέργειες της επένδυσης στο κοινωνικό σύνολο. Πολλές φορές η ελλιπής πληροφόρηση και η άγνοια των νέων τεχνολογιών αλλά και η συστηματική παραπληροφόρηση μπορεί να οδηγήσουν σε αλλαγές των ατομικών ή και των συλλογικών (μέσω αρμοδίων οργάνων) προτιμήσεων.

Η θεωρητική θεμελίωση της ανάλυσης κόστους και ωφελειών λαμβάνοντας υπόψη τις κοινωνικές παραμέτρους βασίζεται στην αξιωματική παραδοχή ότι πρέπει να διερευνώνται οι προτιμήσεις των ατόμων που απαρτίζουν το κοινωνικό σύνολο (Κοπανέζου και Λαμπρόπουλος, 1986).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές εξαρτημένης αξιολόγησης (Contigent Valuation Techniques) όπου η ίδια η κοινωνία ερωτάται πόσο είναι διατιθέμενη να πληρώσει για να αποφύγει μια περιβαλλοντική επιβάρυνση ή πόσο είναι πρόθυμη να αποζημιωθεί για να αποδεχτεί την επιβάρυνση αυτή (Διακουλάκη, 1999).

Οι ερωτήσεις μπορούν να γίνουν με συνεντεύξεις και συμπλήρωση κατάλληλου ερωτηματολογίου.

Η στατιστική ανάλυση και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει :

- την εκτίμηση της συχνότητας διαφορετικών τιμών (που είναι διατιθέμενοι να πληρώσουν ή να αποζημιωθούν).
- τη χρήση πολυπαραμετρικών στατιστικών τεχνικών (π.χ. ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης) για να συνδεθούν οι απαντήσεις με τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των ερωτώμενων.
- σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με τα αποτελέσματα άλλων ομοειδών αναλύσεων.

Αβεβαιότητες που υφεισέρονται :

- **Στρατηγικής :** Οι ερωτώμενοι σκόπιμα αναφέρουν πολύ υψηλά ποσά που ζητούν να αποζημιωθούν για τη διέλευση των οχημάτων από την περιοχή τους ή υποβαθμίζουν το ποσό που πρέπει να πληρώσουν για να αποφύγουν την επιβάρυνση.
- **Σχεδιαστικές:** Πολλές φορές τα ερωτηματολόγια οδηγούν σε λανθασμένες εκτιμήσεις.
- **Υπόθεσης :** Οι προτιμήσεις των ερωτώμενων δεν συνοδεύονται πάντα από εκτιμώμενο κόστος.
- **Λειτουργικές:** Οι συνθήκες που περιγράφονται στα ερωτηματολόγια συχνά δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες.

f 9. Ενεργειακή ανεξαρτησία

Η ενεργειακή ανεξαρτησία που προσδίδει στο σύστημα ένα σταθμός, σχετίζεται με τη μακροπρόθεσμη στρατηγική που θα ακολουθηθεί. Συναρτάται άμεσα με την αξιοποίηση εγχώριου πόρου (χωρίς να παραβλέπεται το κόστος εξαντλησιμότητας του πόρου αυτού) , με την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής εξάρτησης από χώρες του εξωτερικού και με την ασφάλεια εφοδιασμού. Το κριτήριο αυτό μπορεί να αναφέρεται και στην περίπτωση πολλαπλότητας πηγών οι οποίες προσδίδουν σχετική ανεξαρτησία στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής. Ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός έχει σχέση και με συμφωνημένες δεσμεύσεις για απορρόφηση ορισμένης ποσότητας καυσίμου π.χ. φυσικού αερίου.

Για να υπολογισθεί το κόστος εξαντλησιμότητας εγχώριου καυσίμου, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες :

1. Η ετήσια εξοικονόμηση από τη χρήση του εγχώριου καυσίμου
2. Το κόστος εναλλακτικού καυσίμου έπειτα από t έτη, αν θεωρήσουμε ότι αναβάλουμε την εκμετάλλευση εγχώριου φυσικού πόρου κατά t έτη
3. Το επιτόκιο προεξόφλησης.

Σύμφωνα με τις σημερινές εκτιμήσεις το κόστος εξαντλησιμότητας είναι αμελητέο.

Η ασφάλεια εφοδιασμού είναι από τους πρωταρχικούς στόχους που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση και που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη χάραξη της ενεργειακής πολιτικής. Συνήθως υπογράφονται μακροχρόνια – διακρατικά συμβόλαια. Με τη διεθνή συνεργασία εξασφαλίζεται γεωπολιτική και οικονομική σταθερότητα.

f 10. Δυνατότητα χρηματοδοτικών διευκολύνσεων

Η δυνατότητα χρηματοδοτικών διευκολύνσεων έχει αποφασιστική σημασία στην κατασκευή του σταθμού που είναι έργο εντάσεως κεφαλαίου. Το κόστος επένδυσης για τέτοιου είδους έργα είναι πολύ μεγάλο και δεν αναλαμβάνεται συνήθως από μία εταιρεία χωρίς χρηματοδοτικές διευκολύνσεις ή χωρίς τη συμμετοχή άλλων φορέων.

Το κριτήριο αυτό εμπεριέχει και την εκτίμηση για τη γενικότερη εξέλιξη και τη συμβατότητα της αντίστοιχης τεχνολογίας με τους γενικότερους αναπτυξιακούς στόχους και τις προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για τις τεχνολογίες που ανταποκρίνονται στα παραπάνω, συνήθως παρατηρείται ευνοϊκότερη μεταχείριση, θεσμική και χρηματοδοτική υποστήριξη

Η εκτέλεση και η χρηματοδότηση ενός ενεργειακού προγράμματος συνήθως προϋποθέτουν την ανάληψη των παρακάτω κινδύνων

1. Τεχνικό – κατασκευαστικό κίνδυνο (ώριμη τεχνολογία, καλή λειτουργία και συντήρηση, ποιότητα εξοπλισμού, διάρκεια ζωής κ.λ.π.).
2. Φυσικό κίνδυνο (τοποθεσία)
3. Κίνδυνο υπέρβασης του κόστους (π.χ. λόγω καθυστερήσεων)
4. Νομικό κίνδυνο (αλλαγή νομοθετικού πλαισίου)
5. Κίνδυνο μετεχόντων επενδυτών, εφόσον λόγω του υψηλού κόστους συμμετέχουν περισσότεροι επενδυτές.
6. Κίνδυνο που σχετίζεται με την ασφάλεια τροφοδοσίας του καυσίμου
7. Πολιτικό – εθνικό κίνδυνο
8. Περιβαλλοντικό κίνδυνο
9. Κινδύνους συναλλαγματικούς (foreign exchange risk), χρηματοδοτικής κάλυψης (syndication risk) και χρηματοοικονομικής επιβάρυνσης (funding risk).

Ο λειτουργικός κίνδυνος συναρτάται με τις οικονομικές απώλειες ή τα οφέλη που προέρχονται από τις αβεβαιότητες της βραχυπρόθεσμης ζήτησης Η/Ε ή στην κατάσταση του ηλεκτρικού συστήματος (Ray and Cashman, 1999). Οι κίνδυνοι αυτοί εμφανίζονται σε επίπεδο συστήματος αλλά επηρεάζουν συγκεκριμένους συμμετέχοντες στην αγορά. Οι αβεβαιότητες μπορούν να προκαλέσουν διάφορες μορφές έλλειψης πόρων ή συμφόρησης (όπως υπερφορτίσεις δικτύου και απώλειες ηλεκτρικής ισχύος) και δυναμικές αστάθειες.

f₁₁: Διαθεσιμότητα προσωπικού και υπάρχουσα εμπειρία

Η επιτυχής περάτωση του έργου κατασκευής ενός σταθμού ,η οποία σχετίζεται με το χρόνο εκτέλεσης του έργου, την ποιότητα κατασκευής και το κόστος , καθώς και η αποδοτική λειτουργία του , επηρεάζονται σαφώς από τη διαθεσιμότητα κατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού και από την υπάρχουσα εμπειρία κατασκευής και λειτουργίας αντίστοιχου τύπου σταθμών στον ελληνικό χώρο.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

6.5 Η Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης PROMETHEE για την ιεράρχηση των λύσεων.

Για τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων και τη βαθμολόγηση των εναλλακτικών επιλογών ως προς τα κριτήρια, χρησιμοποιήθηκε η πρωτότυπη τεχνική DELRHI στην οποία συμμετείχαν εννέα εμπειρογνώμονες διάφορων ειδικοτήτων, με σφαιρική όμως άποψη στα ενεργειακά θέματα και οπωσδήποτε βαρύνουσα γνώμη.

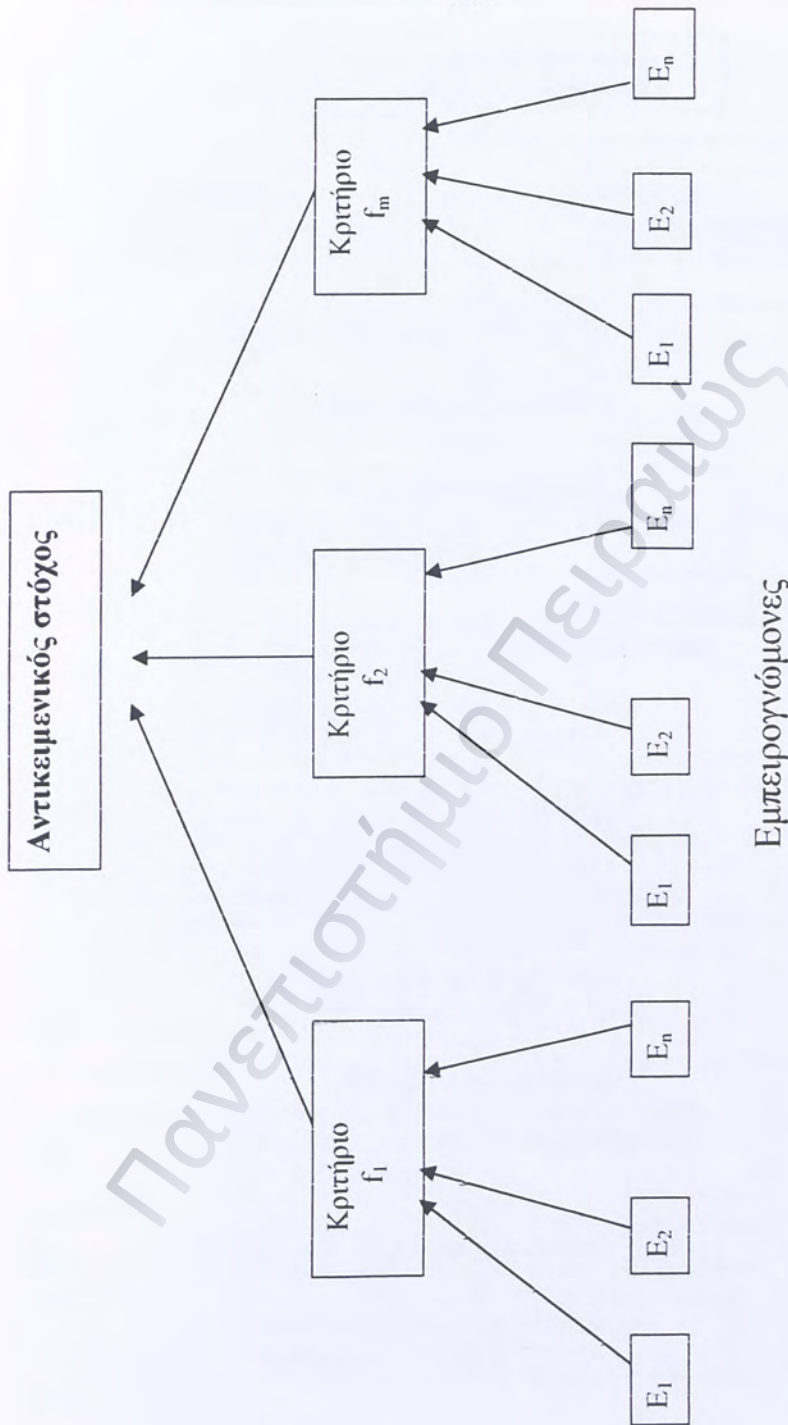
Στο σχήμα 6.18 απεικονίζεται η γενική φιλοσοφία της μεθοδολογίας.

Ζητήθηκε επίσης η γνώμη των εμπειρογνομένων σχετικά με τα κριτήρια που επελέγησαν με την προοπτική προσθήκης ή απαλοιφής κριτηρίων και η ανάλογη τεκμηρίωση.

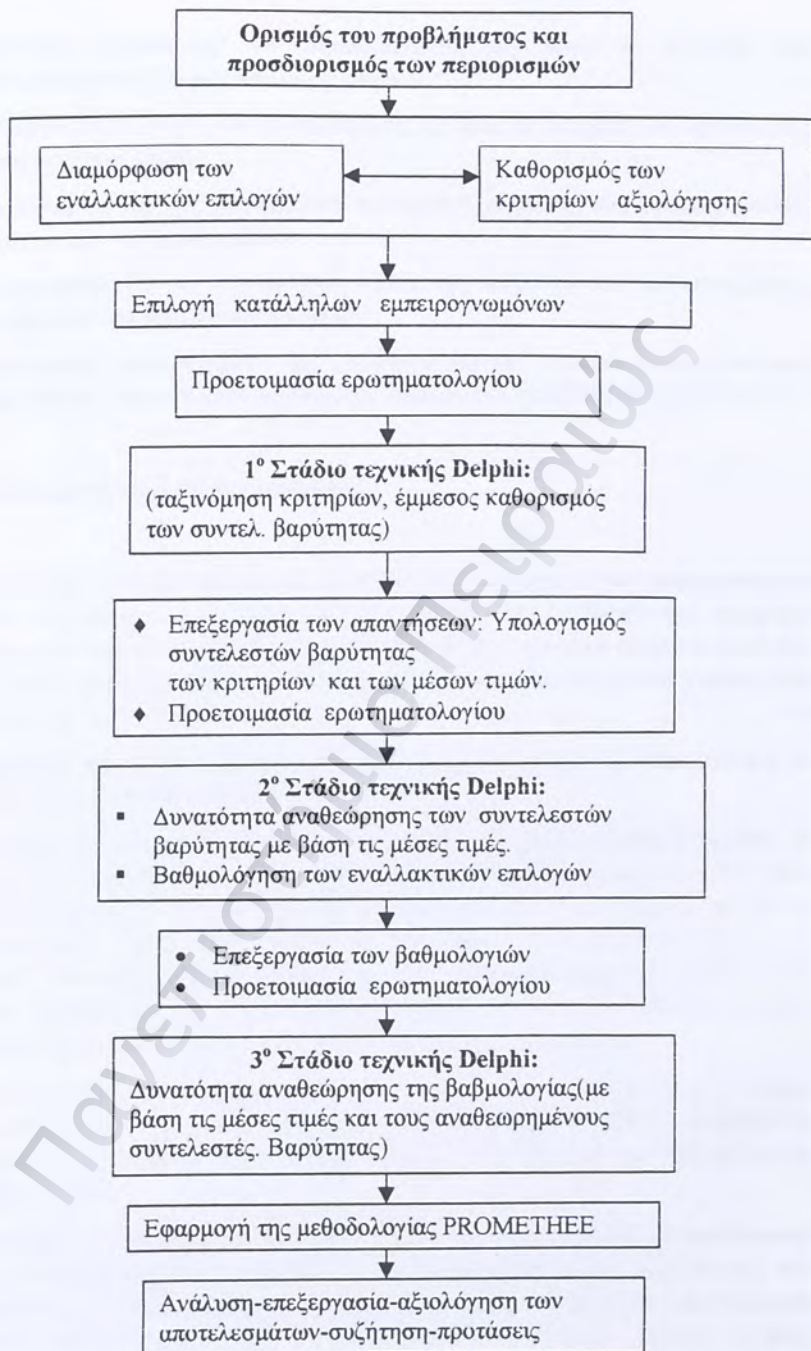
Στο σχήμα 6.19 παρουσιάζεται το γενικό διάγραμμα με όλα τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.

Το υπολογιστικό μέρος της πολυκριτηριακής ανάλυσης στηρίχθηκε σε τμήμα του προγράμματος H/Y IPES (Industrial Prognosis Expert System), το οποίο μεταξύ άλλων, περιλαμβάνει τα εξής:

1. Εισαγωγή των αριθμητικών στοιχείων της πολυκριτηριακής μήτρας και του διανύσματος των βαρών με δυνατότητα σταδιακής εισαγωγής/αναθεώρησης, σύμφωνα με μία μέθοδο DELPHI τριών σταδίων.
2. Παραμετρική και μη παραμετρική στατιστική ανάλυση των δεδομένων εισαγωγής, σύμφωνα με την ακριβή μέθοδο.
3. Παραμετρική και μη παραμετρική στατιστική ανάλυση των δεδομένων εισαγωγής, σύμφωνα με την προσεγγιστική μέθοδο.
4. Επιλογή γενικευμένων κριτηρίων για την πολυκριτηριακή ανάλυση.
5. Υπολογισμός των στοιχείων της ορθογωνικής μήτρας προτίμησης για κάθε εμπειρογνώμονα, σύμφωνα με τη μέθοδο PROMETHEE II.
6. Υπολογισμός των στοιχείων του αντίστοιχου διανύσματος συνολικής ταξινόμησης (complete preorder).
7. Κατασκευή της μήτρας που προκύπτει από τα διανύσματα του προηγούμενου σταδίου 6 για όλους τους εμπειρογνώμονες.
8. Υπολογισμός του τελικού διανύσματος της συνολικής ταξινόμησης.
9. Επανάληψη των προηγούμενων σταδίων 6, 7 και 8, με την προσεγγιστική μέθοδο.



Σχήμα 6.16. Διαγραμματική απεικόνιση του μοντέλου πολλακριτηριακής ανάλυσης με πολλούς εμπειρογνώμονες



Σχήμα 6.17. Το γενικό διάγραμμα της μεθοδολογίας

10. Ανάλυση ευαισθησίας του αποτελέσματος, ως προς τα στοιχεία της πολυκριτηριακής μήτρας εισαγωγής (input).
11. Ανάλυση ευαισθησίας του αποτελέσματος, ως προς τα στοιχεία του διανύσματος εισαγωγής των βαρών.
12. Παραμετρική και μη παραμετρική στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, σύμφωνα με την ακριβή μέθοδο.
13. Παραμετρική και μη παραμετρική στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, σύμφωνα με την προσεγγιστική μέθοδο.
14. Υπολογισμός των στοιχείων της τριγωνικής μήτρας σημείων συγκρισιμότητας (sign matrix) για κάθε εμπειρογνώμονα, σύμφωνα με τη μέθοδο PROMETHEE I.

6.5.1 Περιγραφή της μεθόδου DELPHI

Η μέθοδος DELPHI (Μέθοδος των Δελφών) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την «απόσπαση» (eliciting) και την επεξεργασία (refining) των απόψεων (συνήθως σε ποσοτική έκφραση) μιας ομάδας ειδικών εμπειρογνομιόνων (experts) όπου ο όρος «ειδικός» αναφέρεται σε πρόσωπα τα οποία έχουν ειδικές γνώσεις στο αντικείμενο που εξετάζεται.

Η διαδικασία της μεθόδου Delphi περιλαμβάνει αρκετά στάδια (rounds) (Cooper et al, 1995, Rowe & Wright 1999):

Στο αρχικό (πρώτο) στάδιο, ο ερευνητής σχεδιάζει ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με το θέμα που μελετάται, το οποίο αποστέλλεται σε κάθε μέλος από την προεπιλεγμένη ομάδα (panel) των ειδικών στο συγκεκριμένο θέμα (topic), για να το συμπληρώσουν. Αφού επιστραφούν οι απαντήσεις των ερωτηματολογίων, ο ερευνητής συνοψίζει τα αποτελέσματα των απαντήσεων και τις ενσωματώνει σε ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο το οποίο αποστέλλεται στην ίδια ομάδα ειδικών, για την περαιτέρω επεξεργασία στο επόμενο στάδιο εφαρμογής της μεθόδου.

Στο δεύτερο στάδιο, κάθε μέλος καλείται να εξετάσει τις απαντήσεις της ομάδας καθώς και τις δικές του αρχικές απαντήσεις και να επιβεβαιώσει ή να τροποποιήσει ή αναθεωρήσει τις απόψεις του. Παρέχεται επίσης η δυνατότητα σε κάθε μέλος να προσθέσει σχόλια.

Η διαδικασία περιλαμβάνει μερικά στάδια τέτοιου είδους ερωτήσεων, με συνοδευτικά σχόλια ανατροφοδότησης (συνήθως με την μορφή κατανομών συχνοτήτων) και δυνατότητες αναθεώρησης των απόψεων, μέχρις ότου επιτευχθεί μία ικανοποιητική σύγκλιση απόψεων, χωρίς όμως να αποκλείεται το ενδεχόμενο ύπαρξης τελικών διαφοροποιητικών απόψεων.

Τα μέλη της ομάδας δε συναντώνται και καταβάλλεται προσπάθεια να διατηρηθεί η ανωνυμία. Έτσι αυτοί δεν γνωρίζουν τις ιδιότητες των υπολοίπων και δεν μπορούν να συνδέσουν τις απαντήσεις με τα αντίστοιχα πρόσωπα.

Η μέθοδος Delphi χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές όπως προβλέψεις (Delphi forecasts), εφαρμογή βέλτιστης πολιτικής (policy Delphi), καθορισμός στόχων (Goal Delphi).

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στο σχεδιασμό της έρευνας, στη σύνταξη των ερωτηματολογίων και στην επεξεργασία των απαντήσεων.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, η τεχνική Delphi, η οποία υλοποιήθηκε με τη συμμετοχή εννέα 9 εμπειρογνομόνων (experts), περιλαμβάνει τρία στάδια :

Κατά το πρώτο στάδιο, κάθε εμπειρογνώμονας k ($k=1, 2, \dots, 9$) προσδιορίζει, σύμφωνα με την προσωπική εκτίμησή του, τις τιμές των στοιχείων f_{ik} του διανύσματος F των βαρών των κριτηρίων που έχουν προεπιλεγεί ($i=1, 2, 3, \dots, 11$ ο αριθμός των κριτηρίων).

Κατά το δεύτερο στάδιο, κάθε εμπειρογνώμονας προσδιορίζει σύμφωνα με την προσωπική εκτίμησή του τις τιμές των στοιχείων a_{ijk} του πίνακα (μήτρας) A της πολυκριτηριακής επιλογής ($j=1, 2, 3$ και 4 ο αριθμός των εναλλακτικών λύσεων, δηλ. των τυπικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εξετάζονται με δεδομένες τις τιμές f_i ενώ παράλληλα επαναπροσδιορίζει (αν επιθυμεί) τις τιμές των στοιχείων f_{ik} , με σκοπό τη σύγκλιση σε επίπεδο διανύσματος βαρών.

Κατά το τρίτο στάδιο, επαναπροσδιορίζει (αν επιθυμεί) τις τιμές των στοιχείων a_{ijk} , με δεδομένες τις διορθωμένες τιμές f_i , με σκοπό τη σύγκλιση σε επίπεδο πολυκριτηριακού πίνακα.

Παράλληλα, ο εμπειρογνώμονας έχει τη δυνατότητα να διατυπώσει γνώμη, υπό μορφή παρατήρησης, για τα ίδια τα δεδομένα που τίθενται a priori σε κάθε στάδιο.

6.5.2. Πρώτο στάδιο : καθορισμός των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων

Για τον προσδιορισμό από κάθε εμπειρογνώμονα k των τιμών των στοιχείων f_{ik} του διανύσματος F των βαρών των 11 κριτηρίων f_1, f_2, \dots, f_{11} , ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία τεσσάρων βημάτων.

1. Το βαρύτερο κριτήριο, δηλ. αυτό που επηρεάζει περισσότερο από όλα τα άλλα τη λήψη της απόφασης επιλογής, τοποθετείται πρώτο σε μια σειρά ταξινόμησης. Στην ίδια θέση τοποθετείται και οποιοδήποτε άλλο κριτήριο εκτιμάται ότι έχει την ίδια βαρύτητα.

2. Το ελαφρότερο κριτήριο, δηλ. αυτό που επηρεάζει λιγότερο από όλα τα άλλα τη λήψη της απόφασης επιλογής, τοποθετείται τελευταίο στην ίδια σειρά ταξινόμησης. Στην ίδια θέση τοποθετείται και οποιοδήποτε άλλο κριτήριο εκτιμάται ότι έχει την ίδια βαρύτητα.
3. Τα υπόλοιπα κριτήρια τοποθετούνται, κατά σειρά φθίνουσας βαρύτητας, μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, όταν δύο κριτήρια τοποθετούνται στην ίδια θέση, σημειώνονται σε παρένθεση.
4. Όπως έχουν γραφεί τα κριτήρια, απεικονίζουν μια σειρά ταξινόμησης με $b=11-(c-p)$ θέσεις, όπου c ο αριθμός όλων των κριτηρίων που είναι σε παρένθεση και p ο αριθμός των παρενθέσεων. Οι αποστάσεις μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων θεωρούνται ίσες μεταξύ τους. Για την απεικόνιση ενδεχόμενης ανισότητας αποστάσεων μεταξύ διαδοχικών θέσεων παρεμβάλλονται κενά, συμβολιζόμενα με (-), δηλ. παύλα, ως εξής.
 - 4.1. Επιλέγεται εκείνο το ζεύγος των διαδοχικών θέσεων που έχει τη μικρότερη διαφορά. Η διαφορά αυτή λαμβάνεται από τον εμπειρογνώμονα ως μέτρο ισοδύναμο κατά προσέγγιση με μια παύλα, η οποία δεν σημειώνεται στο συγκεκριμένο ζεύγος αφού εμφανίζεται το ισοδύναμο, δηλ. η διαφορά θέσης.
 - 4.2. Εξετάζονται όλα τα διαδοχικά ζεύγη θέσεων και τίθενται οι παύλες, στις περιπτώσεις που απαιτείται. Π.χ. αν η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων είναι τριπλάσια της στοιχειώδους ελάχιστης διαφοράς (ισοδύναμης με μια παύλα) όπως αυτή προσδιορίστηκε στο προηγούμενο στάδιο 4.1., τότε τίθενται 2 παύλες αφού η διαφορά θέσης από μόνη της ισοδυναμεί με μια παύλα.
 - 4.3. Μετράται ο αριθμός όλων των παυλών και αν είναι μικρότερος του 6 τότε επανεξετάζονται όλα τα κριτήρια που είναι σε παρένθεση και επιλέγεται εκείνο που έχει τη μεγαλύτερη διαφορά βάρους σε σχέση με τη μέση τιμή των λοιπών κριτηρίων που ευρίσκονται στην ίδια παρένθεση, προκειμένου να σχηματίσει ένα περισσότερο ευαίσθητο μέτρο σύγκρισης. Αυτό σημαίνει ότι ο εμπειρογνώμονας πρέπει να αυξήσει τη διακριτική ικανότητα των εκτιμήσεών του. Αν αυτό είναι εφικτό, τότε το επιλεγόμενο κριτήριο εξάγεται από την παρένθεση, οπότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία του βήματος 4. Αν αυτό δεν είναι εφικτό ή αν δεν υπάρχουν παρενθέσεις τότε η διαδικασία έχει περατωθεί.

Παράδειγμα προσδιορισμού των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων.

Βήμα 1: f_2

Βήμα 2: f_5

Βήμα 3: $f_2, f_1, f_3, f_9, f_6, f_{10}, (f_4, f_{11}), f_8, f_7, f_5$

Βήμα 4	Επαναληπτικό Βήμα 4
f_2	f_2
f_1	-
-	f_1
f_3	-
f_9	-
f_6	f_3
f_{10}	-
-	f_9
f_4, f_{11}	-
f_8	f_6
f_7	f_{10}
f_5	-
	-
	f_{11}
	f_4
	-
	f_8
	-
	f_7
	-
	f_5

Ζητήθηκαν επίσης παρατηρήσεις / σχόλια από τους εμπειρογνώμονες, αν το κρίνουν αναγκαίο (π.χ. απάλειψη ή αποσύνθεση σε απλούστερα μέρη υπάρχοντος κριτηρίου, προσθήκη νέου κριτηρίου), με επαρκή αιτιολόγηση.

Σημειώνεται ότι τα κριτήρια πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους (όσο αυτό είναι δυνατό) και να σχηματίζουν ένα εξαντλητικό σύνολο, δηλ. να μην αφήνουν κάποιο κριτήριο χωρίς να το περιλάβουν άμεσα ή έμμεσα στα εξεταζόμενα. Από την άλλη πλευρά, η προσθήκη πολλών κριτηρίων συνεπάγεται διασπορά / τεμαχισμό της πληροφορίας, με αποτέλεσμα το βάρος που αντιστοιχεί σε τέτοια κριτήρια να είναι μικρότερο μιας κρίσιμης τιμής, π.χ. 1,5%, και επομένως να μη λαμβάνονται υπόψη τα κριτήρια αυτά. Η κατ' αυτόν τον τρόπο απάλειψη των μικρής βαρύτητας κριτηρίων οδηγεί σε υπερεκτίμηση αυτών που απομένουν. Αν ο εμπειρογνώμονας λάβει αυτό υπόψη και δώσει την ελάχιστη απαιτούμενη βαρύτητα στα πολλά ασθενή κριτήρια, προκειμένου να περιληφθούν και αυτά στην πολυκριτηριακή μήτρα, τότε υπάρχει περίπτωση υποεκτίμησης των βαρύτερων κριτηρίων, όπως είναι το σταθερό και το μεταβλητό κόστος.

Η παραπάνω τεχνική καθορισμού των συντελεστών βαρύτητας είναι έμμεση και βασίζεται στην ιεραρχική ταξινόμηση (διαβάθμιση) των κριτηρίων.

Είναι λιγότερο αυθαίρετη και απλούστερη από άλλες έμμεσες τεχνικές.

Επιπλέον, είναι εύκολα κατανοητή από τους εμπειρογνώμονες και τους παρέχει αρκετή ελευθερία για να διατυπώσουν με ακρίβεια (σαφήνεια) τις προτιμήσεις τους.

Παράλληλα, εκτός από την ταξινόμηση των κριτηρίων, σημειώθηκαν από τους εμπειρογνώμονες κάποια σχόλια σχετικά με τα κριτήρια τα οποία θα παρατεθούν στο κεφάλαιο της συζήτησης.

Με βάση την ιεραρχική ταξινόμηση (διαβάθμιση) των κριτηρίων που περιγράφηκε παραπάνω, υπολογίζονται οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων με την αρίθμηση των θέσεων από κάτω προς τα άνω, ξεκινώντας με τον αριθμό 1 στην πρώτη θέση και αυξάνοντας κατά 1 για την αρίθμηση των επόμενων θέσεων. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα σχετικά βάρη % των κριτηρίων με βάση τη βαθμολογία της αντίστοιχης θέσης. Στους πίνακες 6.5 και 6.6 παρατίθενται ως επεξηγηματικά παραδείγματα, οι τρόποι υπολογισμού των συντελεστών βαρύτητας του πρώτου και του δεύτερου εμπειρογνώμονα αντίστοιχα.

Πίνακας 6.5 Προσδιορισμός συντελεστών βαρύτητας εμπειρογνώμονα 1

Κατάταξη	Κριτήρια	Αριθμός κριτηρίων	Βάρος	Μέσο βάρος	Σχετικό βάρος
1	f2	1	11	11	16,92%
2	f9	1	10	10	15,38%
3	f3	1	9	9	13,85%
4	f8	1	8	8	12,31%
5	f10	1	7	7	10,77%
6	f1	1	6	6	9,23%
7	f4	1	5	5	7,69%
8	f6	1	4	4	6,15%
9	f7	1	3	3	4,62%
10	f5	1	2	2	3,08%
11	-	0	0	0	0,00%
SUMS			65		100,00%

Πίνακας 6.6 Προσδιορισμός συντελεστών βαρύτητας εμπειρογνώμονα 2

Κατάταξη	Κριτήρια	Αριθμός κριτηρίων	Βάρος	Μέσο βάρος	Σχετικό βάρος
1	f1	1	18	18	18,18%
2	-		17		
3	f2	1	16	16	16,16%
4	-		15		
5	f3	1	14	14	14,14%
6	f9	1	13	13	13,13%
7	-		12		
8	-		11		
9	f10	1	10	10	10,10%
10	-		9		
11	f6	1	8	8	8,08%
12	f5	1	7	7	7,07%
13	-		6		
14	f8	1	5	5	5,05%
15	f4	1	4	4	4,04%
16	f7	1	3	3	3,03%
17	-		2		
18	f11	1	1	1	1,01%
SUMS				99	100,00%

6.5.3 Δεύτερο στάδιο : Βαθμολόγηση των εναλλακτικών επιλογών

Στο στάδιο αυτό δόθηκαν στους εμπειρογνώμονες τα αποτελέσματα του πρώτου σταδίου τα οποία περιελάμβαναν τα αντίστοιχα βάρη που είχαν θέσει σε κάθε κριτήριο και την αντίστοιχη μέση τιμή των βαρών σύμφωνα με την άποψη όλων των εμπειρογνομώνων, περιλαμβανομένης και της δικής τους.

Οι εμπειρογνώμονες ερωτήθηκαν αν υπάρχει κάποια επανεκτίμηση από μέρους τους, χωρίς να επιδιώκεται κάποια βεβαιασμένη σύγκλιση απόψεων. Σε περίπτωση ενδεχόμενης επανεκτίμησης των βαρών οσωνδήποτε κριτηρίων έκριναν σκόπιμο θα μπορούσαν να θέσουν απευθείας το συντελεστή βαρύτητας, χωρίς να είναι αναγκαίο να μεριμνήσουν έτσι ώστε το άθροισμα των βαρών να είναι 100, επειδή η κανονικοποίηση αυτή γίνεται αυτομάτως από το πρόγραμμα ελέγχου της ακολουθούμενης μεθόδου. Στην περίπτωση που παρατηρείται σημαντική απόκλιση μεταξύ των δικών τους βαρών και των αντίστοιχων μέσων τιμών και εμμένουν στην άποψή τους, ζητήθηκε για το Κεφάλαιο της Συζήτησης (Discussion Section) κάποιο δικό τους σχόλιο σε ειδικό χώρο, των παρατηρήσεων, που υπήρχε στην επιστολή.

Παράλληλα, στο στάδιο αυτό οι εμπειρογνώμονες κλήθηκαν να βαθμολογήσουν τις εναλλακτικές λύσεις, σύμφωνα με το διάγραμμα των μέσων τιμών των βαρών.

Σημειώνεται ότι μέγιστος βαθμός ήταν το 5.0 και ο ελάχιστος βαθμός είναι το 1.0 ενώ οι βαθμοί μπορούσαν να αναγραφούν με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου (π.χ 3.9). Η καλύτερη λύση παίρνει τον υψηλότερο βαθμό (όχι αναγκαία 5.0) ενώ η χειρότερη λύση παίρνει τον χαμηλότερο βαθμό (όχι αναγκαία 1.0), ανεξάρτητα από τα κριτήρια. Π.χ. ο καλύτερος βαθμός, σύμφωνα με το κριτήριο της κοινωνικής αποδοχής, μπορεί να είναι 4.2 και ο χειρότερος 2.3 ενώ ο καλύτερος βαθμός, σύμφωνα με το κριτήριο του μεταβλητού κόστους, μπορεί να είναι 4.4 και ο χειρότερος 1.9 (εννοείται ότι η καλύτερη λύση ως προς το κόστος βαθμολογείται και υψηλότερα όταν κατά την εκτίμηση του εμπειρογνώμονα είναι συμφερότερη, παρουσιάζει δηλ. μικρότερο κόστος).

Οι βαθμοί που τίθενται για κάθε εναλλακτική λύση απεικονίζουν τη σχετική θέση μεταξύ των λύσεων για κάθε συγκεκριμένο κριτήριο (του οποίου το βάρος δεν επηρεάζει αυτή τη σχετική θέση αλλά ενδεχομένως επηρεάζει την απόλυτη θέση, δηλ. το «άπλωμα» των τιμών στο διάστημα [1.0-5.0]). Για παράδειγμα, ένας εμπειρογνώμονας θέτει την εναλλακτική θέση E3 στη μέση του διαστήματος, δηλ. σημειώνει βαθμό $(5+1)/2 = 3$. Επειδή εκτιμά ότι οι λύσεις E1 και E4 ισαπέχουν από πάνω και κάτω κατά 20% περίπου, θέτει 3.6 και 2.4, αντίστοιχα. Αν όμως θεωρεί ότι το μέσο βάρος του συγκεκριμένου κριτηρίου, όπως έχει διαμορφωθεί από όλους μαζί τους εμπειρογνώμονες, είναι υποεκτιμημένο, τότε μπορεί να 'απλωθεί' στο 30% (αντί του 20%) και να θέσει τους βαθμούς 3.9 και 2.1, αντίστοιχα.

Πίνακας 6.7 βαθμολογίες της εναλλακτικής λύσης 1(λιγνιτικός σταθμός) ανά εμπειρογμάματα.

	EXPERT 1	EXPERT 2	EXPERT 3	EXPERT 4	EXPERT 5	EXPERT 6	EXPERT 7	EXPERT 8	EXPERT 9
f1	4	3	2	1	3	2	3	2	1
f2	4	5	5	5	4,5	4,5	5	5	5
f3	2	1,5	2	2	1	3	2	2	1
f4	1	2	3	1	1	1	2	2,5	1
f5	2	3	3	5	3	1,5	3	2,5	5
f6	1	2	3	4	2	5	2	2,5	5
f7	4	5	5	5	4	3	4	3,5	5
f8	2	3	2	3	4	2,8	3	2,5	4
f9	5	5	5	5	4,5	4	5	5	5
f10	4	3	2	1	2,5	4	3	4	3
f11	4	5	5	5	2,5	2	5	4,5	3

Πίνακας 6.8 βαθμολογίες της εναλλακτικής λύσης 2(σταθμός φυσικού αερίου) ανά εμπειρογμάματα.

	EXPERT 1	EXPERT 2	EXPERT 3	EXPERT 4	EXPERT 5	EXPERT 6	EXPERT 7	EXPERT 8	EXPERT 9
f1	3	4	5	5	2,7	4,5	4	4,5	5
f2	2	1	3	2	2	2,5	4	2	3
f3	4	4	5	4	4	4,4	4	4,9	5
f4	4	3	5	4	3,5	3,5	3	4	5
f5	3	3	4	3	2	1,5	3	2	2
f6	4	4	5	2	4	5	4	3	1
f7	3	2,5	1	1	2	3	3	2,5	3
f8	4	2,5	3	2	3,5	3,5	3	4,5	4
f9	1	2,5	2	2	3	3	2	1	1
f10	2	4	4	4	3,5	4	4	4,8	5
f11	2	3	3	4	3	2	2	3	4

Πίνακας 6.9 βαθμολογίες της εναλλακτικής λύσης 3(αναθρακικός σταθμός) ανά εμπειρογνώμονα

	EXPERT 1	EXPERT 2	EXPERT 3	EXPERT 4	EXPERT 5	EXPERT 6	EXPERT 7	EXPERT 8	EXPERT 9
f1	2	2,5	3	2	2	2	4	3	3
f2	1	3	3	4	3,5	4,5	4	3	2
f3	3	3	3	3	3	3	3	2,5	2
f4	2	3,5	5	3	3,5	2	3	4,6	5
f5	4	2	5	2	3,5	1,5	3	2	3
f6	3	3	4	4	3,5	5	4	4,5	3
f7	2	1,2	1	1	2	3	2	1,5	3
f8	3	4	5	4	4	2,9	4	4	5
f9	2	2	3	3	3,5	3,5	3	2	2
f10	3	2	3	3	3,5	4	2	4	4
f11	1	2,5	2	1	3	2	3	3	5

Πίνακας 6.10 βαθμολογίες της εναλλακτικής λύσης4(πετρελαιικός σταθμός) ανά εμπειρογνώμονα

	EXPERT 1	EXPERT 2	EXPERT 3	EXPERT 4	EXPERT 5	EXPERT 6	EXPERT 7	EXPERT 8	EXPERT 9
f1	1	2	4	3	3,8	1,5	4	2,5	2
f2	3	1,7	2	1	1,5	3	4	1	1
f3	1	2	4	4	2,7	3,3	3	3	3
f4	3	3,5	5	4	3,5	3	3	4,8	5
f5	1	1	2	2	3	1,5	3	2	2
f6	2	3	4	4	3,5	5	4	4,5	1
f7	1	1	1	1	2	3	2	1,5	3
f8	1	4	5	4	4	3	4	4	5
f9	4	1	2	1	3	3	2	1	1
f10	1	1	2	2	3	4	1	4	3
f11	3	3	4	5	3,5	2	3	4,5	5

Στο δεύτερο στάδιο της τεχνικής Delphi στην παρούσα εργασία μόνο ένας εμπειρογνώμονας τροποποίησε τους συντελεστές βαρύτητας σε δύο κριτήρια, ενώ τεκμηριώθηκαν κάποιες διαφορές που υπήρχαν από τις αντίστοιχες μέσες τιμές.

6.5.4. Τελικό στάδιο της μεθόδου Delphi

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο της ακολουθούμενης μεθόδου DELPHI, δόθηκε η ευκαιρία στους εμπειρογνώμονες να επανεκτιμήσουν τους βαθμούς που έδωσαν στις εναλλακτικές επιλογές, με βάση (i) τις μέσες τιμές των βαθμών όλων των εμπειρογνομώνων και (ii) τις ενδεχόμενες μικρές αλλαγές που θα έχουν τα στοιχεία του διανύσματος των βαρών των κριτηρίων.

Στο στάδιο αυτό αναθεωρήθηκαν οι βαθμοί μόνο από έναν εμπειρογνώμονα.

Στους πίνακες 6.7-6.10. παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα των βαθμολογήσεων για κάθε εναλλακτική λύση και στον πίνακα 6.11 οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων αξιολόγησης ανά εμπειρογνώμονα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μάθε να προφέρεις σωστά την πραγματικότητα

Οδυσσεύς Ελύτης, Ο μικρός ναυτίλος

Η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων επικεντρώνεται στα παρακάτω στοιχεία της έρευνας:

1. Στους συντελεστές βαρύτητας που αποδόθηκαν στα κριτήρια από τους εμπειρογνώμονες.
2. Στην βέλτιστη ιεράρχηση των εναλλακτικών επιλογών.

1. Αναφορικά με τους **συντελεστές βαρύτητας** που αποδόθηκαν από τους εμπειρογνώμονες στα κριτήρια αξιολόγησης, αυτοί παρουσιάζονται διαγραμματικά με δύο διαφορετικούς τρόπους στα σχήματα 7.1 και 7.2 σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 6.9.

Παράλληλα υπολογίστηκαν η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των συντελεστών βαρύτητας για κάθε κριτήριο καθώς και οι αποκλίσεις των συντελεστών που έδωσαν οι εμπειρογνώμονες, από τη μέση τιμή.

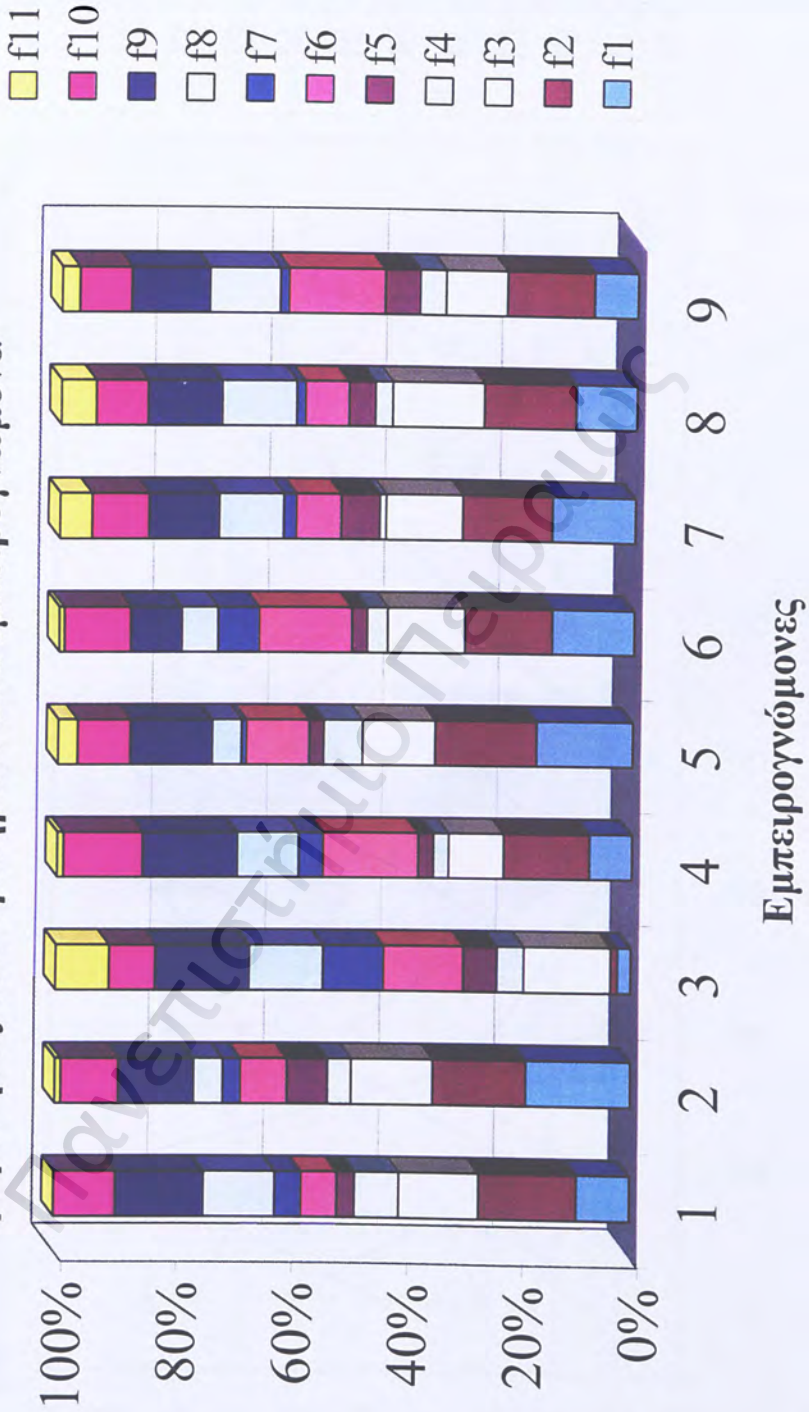
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 7.1 και 7.2 αντίστοιχα.

Η διαγραμματική απεικόνιση των μέσων συντελεστών βαρύτητας και της τυπικής απόκλισης των κριτηρίων δίνονται στα σχήματα 7.3 και 7.4 αντίστοιχα.

Ο μεγαλύτερος μέσος συντελεστής βαρύτητας (14,29%) αποδόθηκε στο κριτήριο f_2 (**μεταβλητό κόστος**) και ακολουθούν με μικρή διαφορά τα κριτήρια f_9 (**ενεργειακή ανεξαρτησία**) και f_3 (**περιβαλλοντικές επιπτώσεις**).

Διαμορφώνονται έτσι τρεις ομάδες κριτηρίων: Στην *πρώτη ομάδα* ανήκουν τρία κριτήρια (f_2 -μεταβλητό κόστος, f_9 -ενεργειακή ανεξαρτησία και f_3 -περιβαλλοντικές επιπτώσεις) με συντελεστές βαρύτητας μεταξύ 13,17% έως 14,29%, ακολουθούν στη *δεύτερη ομάδα* τέσσερα κριτήρια (f_6 -σταθερότητα εγχώριου δικτύου, f_1 -σταθερό κόστος, f_{10} - δυνατότητα χρηματοδοτικών διευκολύνσεων, f_8 -κοινωνική αποδοχή) με συντελεστές βαρύτητας που κυμαίνονται από 9,80 % έως 11,52% και στην *τρίτη ομάδα* ανήκουν τέσσερα κριτήρια (f_5 - συμβολή στη μεταφορά τεχνολογίας και στην τοπική ανάπτυξη, f_4 -απώλειες καλλιεργήσιμης ή άλλων χρήσεων γης, f_7 -σταθερότητα διαβαλκανικού δικτύου και f_{11} - διαθεσιμότητα προσωπικού και υπάρχουσα εμπειρία) στα οποία αποδόθηκαν χαμηλοί συντελεστές βαρύτητας, από 3,36% έως 4,57%.

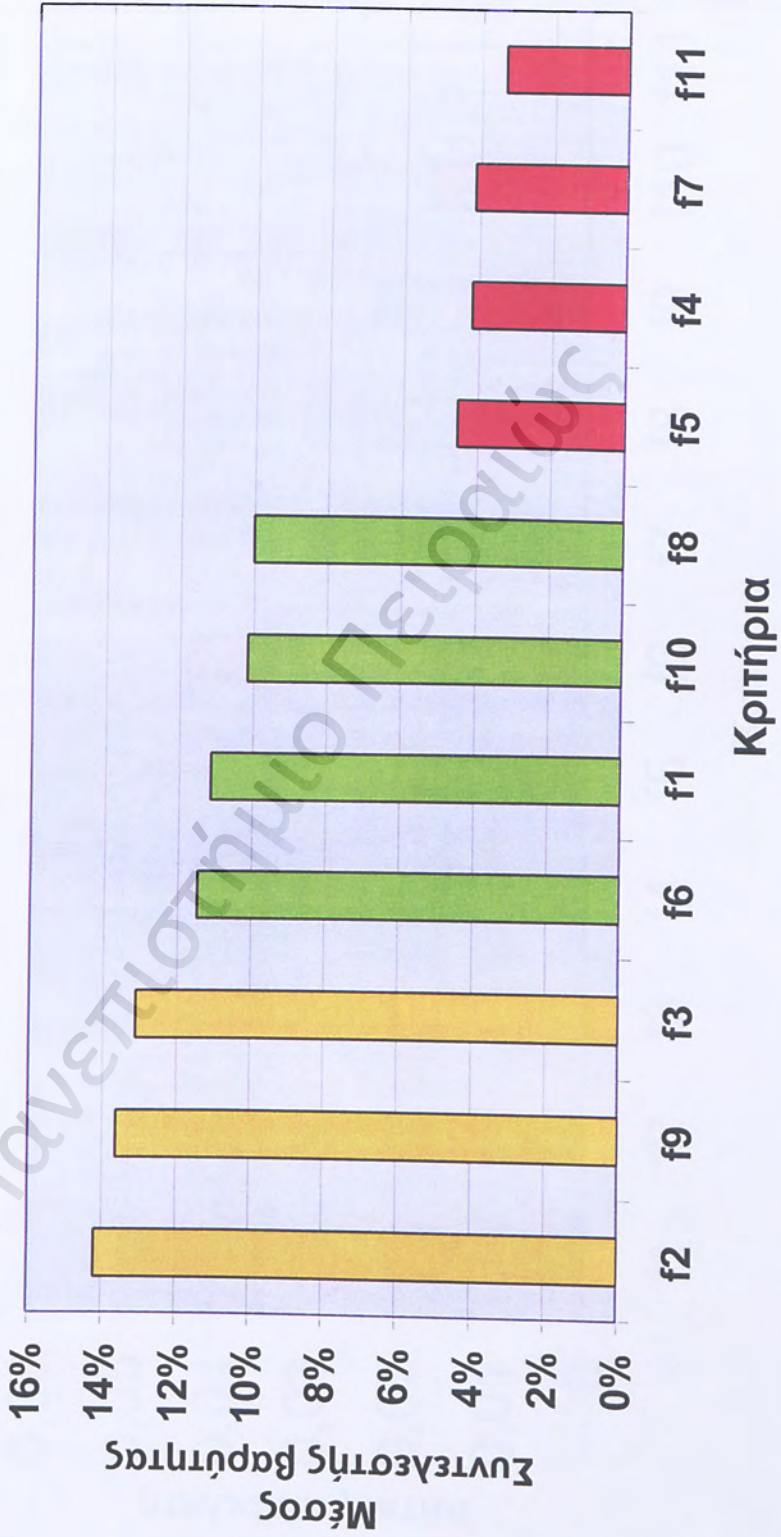
Σχήμα 7.1 . Διαγραμματική απεικόνιση των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων ανά εμπειρογνώμονα



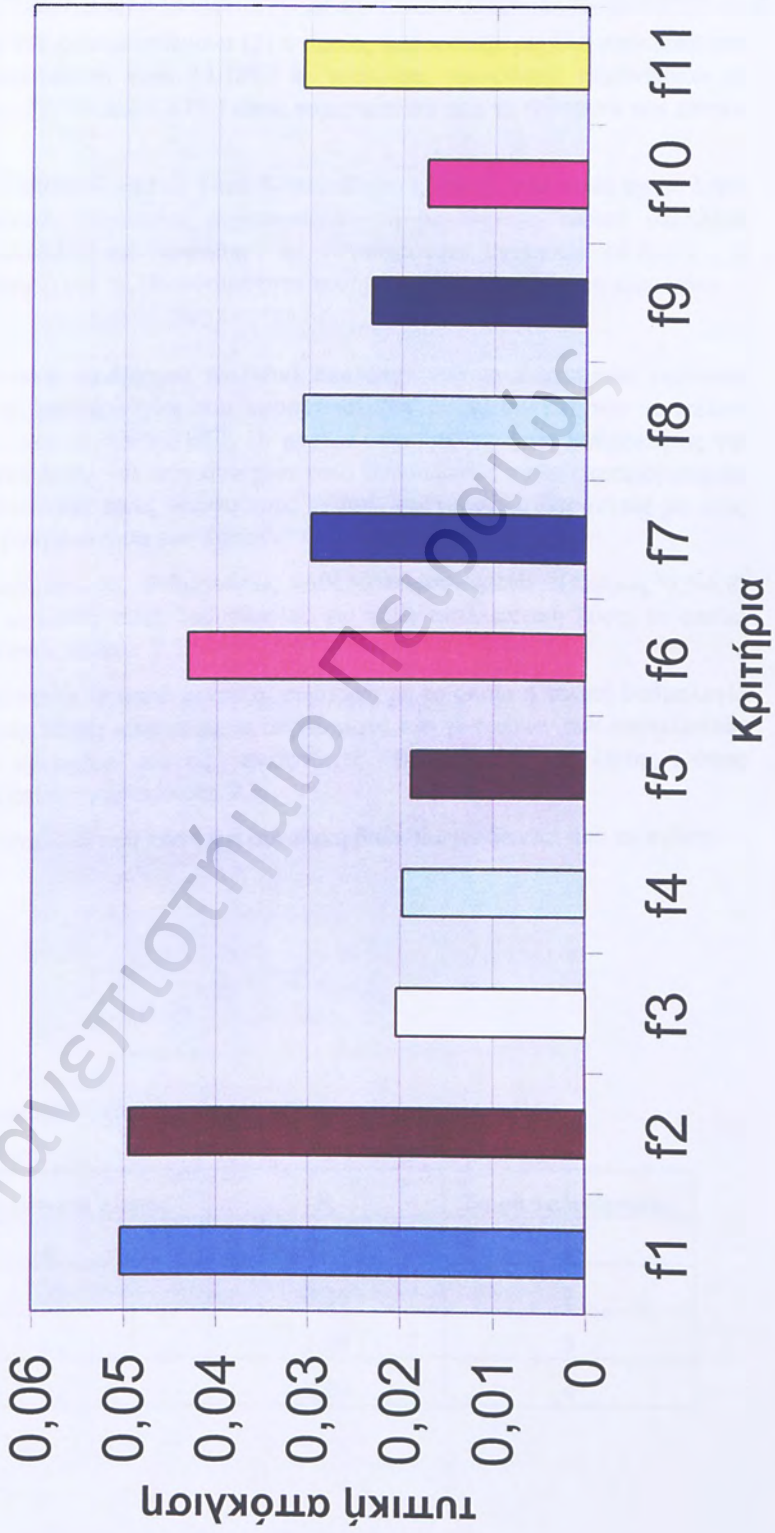
Κριτήρια	Πίνακας 7.1 Συντελεστές βαρύτητας -μέσος τιμές-τυπική απόκλιση										
	EXPERT 1	EXPERT 2	EXPERT 3	EXPERT 4	EXPERT 5	EXPERT 6	EXPERT 7	EXPERT 8	EXPERT 9	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
f1	9,23%	18,18%	2,33%	7,45%	16,16%	14,29%	14,44%	10,61%	7,58%	11,14%	0,05044
f2	16,92%	16,16%	1,16%	14,89%	16,97%	15,18%	15,56%	15,91%	15,15%	14,21%	0,04951
f3	13,85%	14,14%	15,12%	9,57%	12,13%	13,39%	13,33%	15,91%	10,61%	13,12%	0,02043
f4	7,69%	4,04%	4,65%	2,66%	6,46%	3,57%	1,11%	3,03%	4,55%	4,20%	0,01979
f5	3,08%	7,07%	5,81%	2,66%	2,42%	2,68%	6,67%	4,55%	6,06%	4,56%	0,01886
f6	6,15%	8,08%	13,95%	16,49%	10,50%	16,07%	7,78%	7,58%	16,67%	11,47%	0,04317
f7	4,62%	3,03%	10,47%	4,26%	2,50%	7,14%	2,22%	1,52%	4,14%	4,14%	0,02972
f8	12,31%	5,05%	12,79%	10,64%	7,00%	6,25%	11,11%	12,88%	12,12%	10,02%	0,03064
f9	15,38%	13,13%	16,28%	16,49%	13,74%	8,93%	12,22%	12,88%	13,64%	13,63%	0,02323
f10	10,77%	10,10%	8,14%	13,83%	8,88%	11,61%	10,00%	9,09%	9,09%	10,17%	0,01731
f11	0,00%	1,01%	9,30%	1,06%	3,23%	0,89%	5,56%	6,06%	3,03%	3,35%	0,03077
SUM	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

Κριτήρια	Πίνακας 7.2 Αποκλίσεις από τη μέση τιμή στους συντελεστές βαρύτητας										
	EXPERT 1	EXPERT 2	EXPERT 3	EXPERT 4	EXPERT 5	EXPERT 6	EXPERT 7	EXPERT 8	EXPERT 9	EXPERT 8	EXPERT 9
f1	-1,91%	7,04%	-8,81%	-3,69%	5,02%	3,15%	3,30%	-0,53%	-3,56%		
f2	2,71%	1,95%	-13,05%	0,68%	2,76%	0,97%	1,35%	1,70%	0,94%		
f3	0,73%	1,03%	2,00%	-3,55%	-0,99%	0,27%	0,21%	2,79%	-2,51%		
f4	3,49%	-0,16%	0,45%	-1,54%	2,27%	-0,63%	-3,09%	-1,17%	0,35%		
f5	-1,48%	2,52%	1,25%	-1,90%	-2,13%	-1,88%	2,11%	-0,01%	1,50%		
f6	-5,32%	-3,39%	2,48%	5,02%	-0,97%	4,60%	-3,69%	-3,90%	5,20%		
f7	0,48%	-1,11%	6,33%	0,12%	-1,64%	3,00%	-1,92%	-2,62%	-2,63%		
f8	2,29%	-4,97%	2,77%	0,62%	-3,02%	-3,77%	1,09%	2,86%	2,10%		
f9	1,75%	-0,50%	2,65%	2,86%	0,11%	-4,70%	-1,41%	-0,75%	0,00%		
f10	0,60%	-0,07%	-2,03%	3,66%	-1,28%	1,44%	-0,17%	-1,08%	-1,08%		
f11	-3,35%	-2,34%	5,95%	-2,29%	-0,12%	-2,46%	2,21%	2,71%	-0,32%		

Σχήμα 7.3 Διαγραμματική απεικόνιση των μέσων συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων



Σχήμα 7.4. Διαγραμματική απεικόνιση των τυλικών αποκλίσεων των κριτηρίων αξιολόγησης



Αν εξαιρέσουμε τον εμπειρογνώμονα (3) ο οποίος παρουσίαζε μεγάλη απόκλιση στο κριτήριο f_2 (υποεκτίμηση κατά 13,13%) οι υπόλοιπες αποκλίσεις κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα (-5,37% έως 6,97%) όπως παρατηρούμε από τα δεδομένα του πίνακα 7.1.

Τα κριτήρια f_1 (σταθερό κόστος) και f_2 (μεταβλητό κόστος) στα οποία έχουν δοθεί μεγάλοι συντελεστές βαρύτητας παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση τιμών και ακολουθούν τα κριτήρια f_6 (σταθερότητα εγχώριου δικτύου), f_8 (κοινωνική αποδοχή) και f_{11} (διαθεσιμότητα προσωπικού και υπάρχουσα εμπειρία).

2. Για τη βέλτιστη ιεράρχηση (ortimal ranking) των εναλλακτικών επιλογών εφαρμόστηκαν οι μεθοδολογίες του προσεγγιστικού μοντέλου και των μοντέλων RPOMETHEE I και PROMETHEE II, αρχικά στις μέσες τιμές βαθμολογίας για κάθε εναλλακτική λύση και στη συνέχεια στις βαθμολογίες κάθε εμπειρογνώμονα χωριστά, λαμβάνοντας όμως υπόψη τους μέσους συντελεστές βαρύτητας με τους οποίους έγινε η βαθμολόγηση των λύσεων.

Από τα αποτελέσματα της βαθμολογίας κάθε εμπειρογνώμονα (πίνακες 6.5-6.8) υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές βαθμολογίας για κάθε εναλλακτική λύση, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 7.3.

Αρχικά εφαρμόστηκε το απλό μοντέλο, σύμφωνα με το οποίο η τελική βαθμολογία κάθε εναλλακτικής λύσης ισούται με τα αθροίσματα των γινομένων των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων επί τις αντίστοιχες βαθμολογίες της λύσης, όπως παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 7.3..

Δηλαδή για την εναλλακτική λύση a_j η συνολική βαθμολογία δίνεται από τη σχέση:

$$S_j = \sum_{i=1}^{11} W_i F_i$$

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό οι τελικές βαθμολογίες έχουν ως εξής :

Εναλλακτικές λύσεις	S_j	Σειρά ταξινόμησης
a_1	3,29	1
a_2	3,26	2
a_3	3,06	3
a_4	2,69	4

Πίνακας 7.3 Επεξεργασία με το απλό μοντέλο συντ.βαρύτητας βαθμολογία

Κριτήρια	Μέσοι συντελεστές βαρύτητας	Μέσες τιμές βαθμολογίας				συντ.βαρύτε.βαθμολογία			
		ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ 1	ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ 2	ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ 3	ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ 4	ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ 1	ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ 2	ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ 3	ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ 4
f1	11,1%	2,33	4,19	2,61	2,64	0,26	0,47	0,29	0,29
f2	14,2%	4,78	2,39	3,11	2,02	0,68	0,34	0,44	0,29
f3	13,1%	1,83	4,37	2,83	2,89	0,24	0,57	0,37	0,38
f4	4,2%	1,61	3,89	3,51	3,87	0,07	0,16	0,15	0,16
f5	4,6%	3,11	2,61	2,89	1,94	0,14	0,12	0,13	0,09
f6	11,5%	2,94	3,56	3,78	3,44	0,34	0,41	0,43	0,40
f7	4,1%	4,28	2,33	1,86	1,72	0,18	0,10	0,08	0,07
f8	10,0%	2,92	3,33	3,99	3,78	0,29	0,33	0,40	0,38
f9	13,6%	4,83	1,94	2,67	2,00	0,66	0,27	0,36	0,27
f10	10,2%	2,94	3,92	3,17	2,33	0,30	0,40	0,32	0,24
f11	3,3%	4,00	2,89	2,50	3,67	0,13	0,10	0,08	0,12
άθροισμα	100,0%				άθροισμα	3,29	3,26	3,06	2,69

Επομένως η κατάταξη

a_1 (λιγνιτικός σταθμός) $> a_2$ (σταθμός φυσικού αερίου) $> a_3$ (ανθρακικός σταθμός) $> a_4$ (πετρελαϊκός σταθμός)

αποτελεί μία προκαταρκτική ιεράρχηση των εναλλακτικών επιλογών.

Για την καλύτερη διερεύνηση της ιεραρχικής κατάταξης των λύσεων, εφαρμόστηκε ένα πιο ευαίσθητο, προσεγγιστικό και αυτή τη φορά, μοντέλο κατά το οποίο η τελική βαθμολογία κάθε εναλλακτικής λύσης ισούται με τα αθροίσματα που προκύπτουν από τα γινόμενα των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων επί τις αντίστοιχες βαθμολογίες της λύσης αφού διαιρεθούν με την αντίστοιχη τυπική απόκλιση των βαθμολογιών. Σημειώνεται ότι με τον τρόπο αυτό η βαθμολογία λαμβάνεται υπόψη ως στοχαστικό μέγεθος με αποτέλεσμα η επίδραση της μέσης τιμής ενός βαθμού a_{ij} να μειώνεται όταν η διασπορά των εκτιμώμενων από τους εμπειρογνώμονες τιμών είναι μεγάλη. Η μέθοδος αυτή είναι δυνατόν να βελτιωθεί με κανονικοποίηση της τυπικής απόκλισης σε ένα προκαθορισμένο διάστημα με κάτω όριο τη μονάδα (σε αντιστοιχία με μηδενική τυπική απόκλιση) ώστε να μειωθεί η πιθανότητα υπερβολικής επίδρασης της μέσης τιμής βαθμών στο αποτέλεσμα, όταν η διασπορά των αντίστοιχων βαθμών από τους οποίους έχει προκύψει είναι εξαιρετικά μικρή.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 7.4.

Και σε αυτήν την περίπτωση, η πρώτη επιλογή (a_1 λιγνιτικός σταθμός) βρίσκεται στην πρώτη θέση της ιεραρχικής κατάταξης με μεγαλύτερη όμως διαφορά από τη δεύτερη επιλογή η οποία αυτή τη φορά είναι ο ανθρακικός σταθμός (a_3), ενώ με πολύ μικρή διαφορά ακολουθεί ο σταθμός φυσικού αερίου (a_2). Ο πετρελαϊκός σταθμός (a_4) παραμένει στην τελευταία θέση της σειράς κατάταξης.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε το αναλυτικό μοντέλο RPOMETHEE (για τις μέσες βαθμολογίες και για τους μέσους συντελεστές βαρύτητας) για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου σ , η οποία υπεισέρχεται στον τύπο υπολογισμού της συνάρτησης προτίμησης P και σχετίζεται με τις διαφορές ($X_{ij \max} - X_{ij \min}$) στις βαθμολογίες των εναλλακτικών λύσεων.

Από τα δεδομένα του πίνακα 7.1 στα οποία παρουσιάστηκαν οι μέσες βαθμολογίες για κάθε εναλλακτική λύση ως προς τα αντίστοιχα κριτήρια, προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή βαθμολογίας είναι 4,833 και η ελάχιστη 1,611. Έτσι για την εφαρμογή του μοντέλου λήφθηκε η τιμή του σ η μέση διαφορά δηλ. $(4,833 - 1,611)/2 = 1,611$ δηλαδή $\sigma = 1,611$.

Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας RPOMETHEE παρουσιάζονται στον πίνακα 7.5.

Έτσι σύμφωνα με την μεθοδολογία RPOMETHEE II προκύπτει η παρακάτω απόλυτη ιεραρχική ταξινόμηση:

a_1 (λιγνιτικός σταθμός) $> a_2$ (σταθμός φυσικού αερίου) $> a_3$ (ανθρακικός σταθμός) $> a_4$ (πετρελαϊκός σταθμός), όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (σχήμα 7.5):

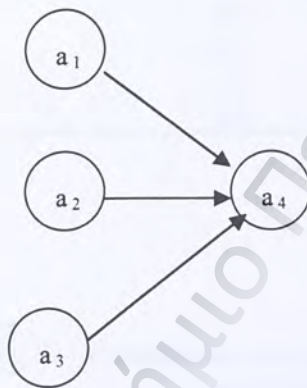
Πίνακας 7.4 Επεξεργασία με το απλό μοντέλο συντ.βαρύτηταςx βαθμολογία/τυπική απόκλιση

Κριτήρια f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9 f10 f11	μέσοι συντελ. βαρύτητας	Μέσες τιμές βαθμολογίας				Τυπικές αποκλίσεις				συντ.βαρύτ.χβαθμολογία/τυπ. απόκλιση			
		ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 1	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 2	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 3	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 4	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 1	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 2	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 3	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 4	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 1	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 2	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 3	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 4
f1	11,1%	2,33	4,19	2,61	2,64	1,00	0,86	0,70	1,12	0,26	0,54	0,42	0,26
f2	14,2%	4,78	2,39	3,11	2,02	0,36	0,86	1,08	1,08	1,87	0,40	0,41	0,27
f3	13,1%	1,83	4,37	2,83	2,89	0,61	0,47	0,35	0,94	0,39	1,22	1,05	0,40
f4	4,2%	1,61	3,89	3,51	3,87	0,78	0,74	1,16	0,86	0,09	0,22	0,13	0,19
f5	4,6%	3,11	2,61	2,89	1,94	1,19	0,78	1,14	0,73	0,12	0,15	0,12	0,12
f6	11,5%	2,94	3,56	3,78	3,44	1,42	1,33	0,71	1,26	0,24	0,31	0,61	0,31
f7	4,1%	4,28	2,33	1,86	1,72	0,75	0,83	0,77	0,83	0,23	0,12	0,10	0,09
f8	10,0%	2,92	3,33	3,99	3,78	0,73	0,79	0,73	1,20	0,40	0,42	0,55	0,31
f9	13,6%	4,83	1,94	2,67	2,00	0,35	0,81	0,66	1,12	1,86	0,33	0,55	0,24
f10	10,2%	2,94	3,92	3,17	2,33	1,01	0,85	0,79	1,22	0,30	0,47	0,41	0,19
f11	3,3%	4,00	2,89	2,50	3,67	1,20	0,78	1,22	1,03	0,11	0,12	0,07	0,12
αθροισμα	100,0%								6θροισμα	5,87	4,30	4,40	2,51



Σχήμα 7.5 Αποτελέσματα με τη μεθοδολογία RPOMETHEE II ($\sigma=1,611$)

Από τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας RPOMETHEE I προκύπτει το παρακάτω γράφημα ιεραρχικής ταξινόμησης (σχήμα 7.6) :



Σχήμα 7.6 Αποτελέσματα με τη μεθοδολογία RPOMETHEE I ($\sigma=1,611$)

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, οι λύσεις a_1 , a_2 και a_3 εμφανίζονται ασύμβατες (μη συγκρίσιμες), ενώ όλες κυριαρχούν επί της λύσεως a_4 (δηλαδή της πετρελαϊκής μονάδας).

Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν τα μοντέλα RPOMETHEE για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου σ και συγκεκριμένα για $\sigma = 1, 2, 3, 4$.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 7.6-7.9.

Για $\sigma = 1$, με την απόλυτη κατάταξη η λύση a_2 (σταθμός φυσικού αερίου) υπερισχύει της λύσης a_1 (λιγνιτικός σταθμός).

Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις δηλαδή για $\sigma = 2, 3$ και 4 διατηρείται η απόλυτη κατάταξη $a_1 > a_2 > a_3 > a_4$. Στον παρακάτω πίνακα 7.10 Εμφανίζεται ο λόγος των καθαρών ροών X_1/X_2 των εναλλακτικών λύσεων a_1 και a_2 για τις διαφορετικές τιμές του σ .

Πίνακας 7.5. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ και καθαρές ροές για $\sigma=1,611$

					Φ_{j+}
	0	0,23444804	0,18029	0,26441	0,67915
	0,20188	0	0,10469	0,13578	0,44234
	0,0807	0,03633712	0	0,06356	0,1806
	0,07218	0,0075054	0,00884	0	0,08852
Φ_{j-}	0,35476	0,27829055	0,29381	0,46375	
			$(\Phi_{j+})-(\Phi_{j-})$		
		$\alpha 1$	0,32439		
		$\alpha 2$	0,16405		
		$\alpha 3$	-0,11321		
		$\alpha 4$	-0,37523		

Πίνακας 7.6. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ και καθαρές ροές για $\sigma=1$

					Φ_{j+}
	0	0,32407809	0,2929	0,35423	0,97121
	0,32247	0	0,20504	0,26374	0,79125
	0,17048	0,08780875	0	0,14572	0,404
	0,14413	0,01837135	0,01937	0	0,18187
Φ_{j-}	0,63707	0,43025818	0,51731	0,76369	
			$(\Phi_{j+})-(\Phi_{j-})$		
		$\alpha 1$	0,33414		
		$\alpha 2$	0,361		
		$\alpha 3$	-0,11331		
		$\alpha 4$	-0,58183		

Πίνακας 7.7. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ και καθαρές ροές για $\sigma=2$

					Φ_{j+}
	0	0,18256	0,13221634	0,20878	0,52356
	0,15012	0	0,07272707	0,09447	0,31732
	0,05516	0,02396	0	0,04243	0,12155
	0,05042	0,00493	0,00596344	0	0,06132
Φ_{j-}	0,25571	0,21145	0,21090685	0,34569	
			$(\Phi_{j+})-(\Phi_{j-})$		
		α_1	0,26784729		
		α_2	0,10587329		
		α_3	-0,0893522		
		α_4	-0,2843684		

Πίνακας 7.8. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ και καθαρές ροές για $\sigma=3$

					Φ_{j+}
	0	0,09988	0,0671971	0,11617	0,28325
	0,07779	0	0,03475711	0,04522	0,15776
	0,02595	0,01082	0	0,01943	0,0562
	0,02437	0,00222	0,00276204	0	0,02936
Φ_{j-}	0,12811	0,11293	0,10471625	0,18082	
			$(\Phi_{j+})-(\Phi_{j-})$		
		α_1	0,15514226		
		α_2	0,04483338		
		α_3	-0,0485163		
		α_4	-0,1514594		

Πίνακας 7.9. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ και καθαρές ροές για $\sigma=4$

				Φ_j+	
	0	0,06074	0,03969857	0,0711	0,17155
	0,04633	0	0,02006607	0,02612	0,09252
	0,0149	0,00612	0	0,01104	0,03207
	0,01415	0,00126	0,00157656	0	0,01698
Φ_j-	0,07538	0,06813	0,0613412	0,10827	
			$(\Phi_j+)-(\Phi_j-)$		
		$\alpha 1$	0,09616616		
		$\alpha 2$	0,02438983		
		$\alpha 3$	-0,0292733		
		$\alpha 4$	-0,0912827		

Πίνακας 7.10 .Λόγος των καθαρών ροών X_1/X_2 των εναλλακτικών λύσεων a_1 και a_2 για τις διαφορετικές τιμές του σ .

σ (Gauss)	X_1/X_2
1	0,9256
1,611	1,9774
2	2,5295
3	3,4597
4	3,9429

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το σ τόσο μεγαλώνει η διαφορά της πρώτης λύσης από τη δεύτερη.

Η μεταβολή του λόγου X_1/X_2 σε συνάρτηση με τις τιμές της παραμέτρου σ παρουσιάζονται στο σχήμα 7.7.

Τα αντίστοιχα γραφήματα που προκύπτουν από τη μεθοδολογία RPOMETHEE I παρουσιάζονται στο σχήμα 7. 8

Παρατηρούμε ότι σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις με το μοντέλο RPOMETHEE I οι εναλλακτικές λύσεις a_1 και a_2 εμφανίζονται ασύμβατες. Σε τρεις περιπτώσεις δε όπου $\sigma = 1,611$, $\sigma = 2$ και $\sigma = 3$, και οι τρεις λύσεις a_1 , a_2 και a_3 παρουσιάζονται ασύμβατες. Όλες όμως υπερισχύουν της τέταρτης σε κάθε περίπτωση.

Στη συνέχεια ακολουθεί η επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν για κάθε εμπειρογνώμονα .

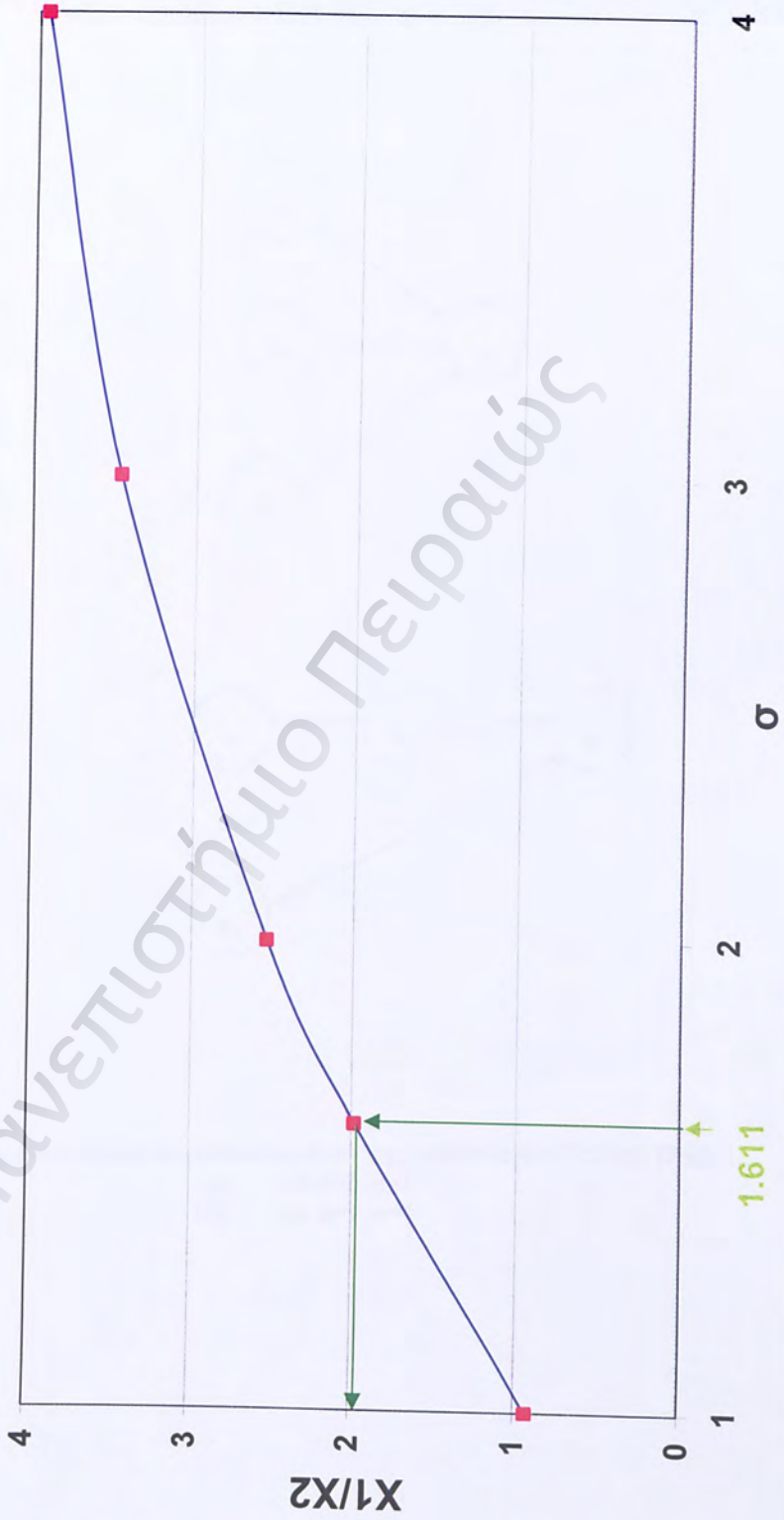
Εφαρμόζοντας το προσεγγιστικό μοντέλο για τις βαθμολογίες κάθε εμπειρογνώμονα και προσθέτοντας τα αποτελέσματα για κάθε εναλλακτική λύση , και στην περίπτωση αυτή προκύπτει η απόλυτη ιεραρχική κατάταξη $a_1 > a_2 > a_3 > a_4$.

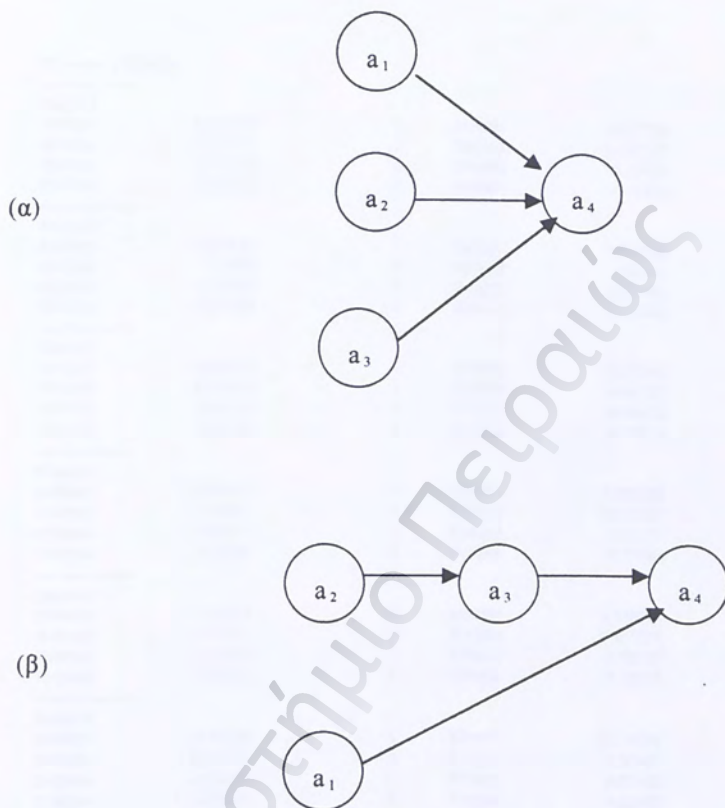
Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μεθοδολογία RPOMETHEE με τιμή για την παράμετρο $\sigma = 1,611$ για τη βαθμολογία κάθε εμπειρογνώμονα και με τους μέσους συντελεστές βαρύτητας (σύμφωνα με τους οποίους έγινε και η βαθμολόγηση των λύσεων). Τα αποτελέσματα του μοντέλου RPOMETHEE II παρουσιάζονται στον πίνακα 7.11.

Για την τελική κατάταξη των λύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα από όλους τους εμπειρογνώμονες εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις :

Η πρώτη αναφέρεται στην **σειρά κατάταξης** των λύσεων σύμφωνα με την ιεραρχική ταξινόμηση RPOMETHEE II όπως φαίνεται στον πίνακα 7.12. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή η λύση που εμφανίζει το μικρότερο μερικό άθροισμα είναι η καλύτερη. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι λύσεις a_1 και a_2 είναι ισοδύναμες και πρώτες στη σειρά κατάταξης και ακολουθούν οι λύσεις a_3 και a_4 . Η μέθοδος αυτή όμως δε λαμβάνει υπόψη το μέγεθος της διαφοράς μεταξύ των λύσεων. Ανάλογες μέθοδοι εύρεσης της βέλτιστης λύσης ή κατάταξή τους κατά σειρά προτίμησης, που βασίζονται στην ιεραρχική ταξινόμηση των λύσεων για διάφορους εμπειρογνώμονες έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές (Ray & Triantaphyllou,

Σχήμα 7.7. Μεταβολή του λόγου $X1/X2$ σε συνάρτηση με την τιμή του σ (Gauss)





Σχήμα 7.8 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας PROMETHEE I

(α) για $\sigma=2$, $\sigma=3$

(β) για $\sigma=1$, $\sigma=4$

Πίνακας 7.11: Αποτελέσματα της μεθοδολογίας PROMETHEE II ανά εμπειρογνώμονα

Promethee II Results				
Expert 1				
EV0001	0,537375	1	EV0001	0,537375
EV0002	0,287371	2	EV0002	0,287371
EV0003	-0,22543	3	EV0003	-0,22543
EV0004	-0,59932	4	EV0004	-0,59932
Expert 2				
EV0001	0,620246	1	EV0001	0,620246
EV0002	0,2374	2	EV0002	0,2374
EV0003	-0,11806	3	EV0003	-0,11806
EV0004	-0,73958	4	EV0004	-0,73958
Expert 3				
EV0001	-0,08403	3	EV0002	0,313343
EV0002	0,313343	1	EV0003	-0,05157
EV0003	-0,05157	2	EV0001	-0,08403
EV0004	-0,17774	4	EV0004	-0,17774
Expert 4				
EV0001	0,295623	1	EV0001	0,295623
EV0002	-0,07361	3	EV0003	0,096627
EV0003	0,096627	2	EV0002	-0,07361
EV0004	-0,31864	4	EV0004	-0,31864
Expert 5				
EV0001	-0,06737	3	EV0003	0,148524
EV0002	0,011271	2	EV0002	0,011271
EV0003	0,148524	1	EV0001	-0,06737
EV0004	-0,09243	4	EV0004	-0,09243
Expert 6				
EV0001	-0,00498	3	EV0002	0,234342
EV0002	0,234342	1	EV0003	-0,00497
EV0003	-0,00497	2	EV0001	-0,00498
EV0004	-0,22439	4	EV0004	-0,22439
Expert 7				
EV0001	0,125288	2	EV0002	0,132937
EV0002	0,132937	1	EV0001	0,125288
EV0003	-0,02301	3	EV0003	-0,02301
EV0004	-0,23522	4	EV0004	-0,23522
Expert 8				
EV0001	0,21563	1	EV0001	0,21563
EV0002	0,176854	2	EV0002	0,176854
EV0003	-0,04988	3	EV0003	-0,04988
EV0004	-0,3426	4	EV0004	-0,3426
Expert 9				
EV0001	0,47442	1	EV0001	0,47442
EV0002	0,319714	2	EV0002	0,319714
EV0003	-0,12226	3	EV0003	-0,12226
EV0004	-0,67188	4	EV0004	-0,67188

Πίνακας 7.12 Κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών με την μεθοδολογία PROMTHERE II

	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	Σri
a1	1	1	3	1	3	3	2	1	1	16
a2	2	2	1	3	2	1	1	2	2	16
a3	3	3	2	2	1	2	3	3	3	22
a4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36

Πίνακας 7.13 .Αθροίσματα
καθαρών ροών

a1	2,112202
a2	1,639622
a3	-0,350029
a4	-3,4018

1999), οι οποίες όμως δε λαμβάνουν υπόψη το μέγεθος της διαφοράς μεταξύ των λύσεων.

Για τον λόγο αυτόν εφαρμόστηκε η μεθοδολογία (η οποία είναι και η πιο αντιπροσωπευτική) που βασίζεται στα **αθροίσματα των καθαρών ροών** κάθε εμπειρογνώμονα για τις αντίστοιχες εναλλακτικές λύσεις.

Από τα αποτελέσματα που δίνονται στον πίνακα 7.13 η πρώτη λύση (λιγνιτικός σταθμός) υπερισχύει έναντι της δεύτερης (σταθμός φυσικού αερίου) και μάλιστα με σημαντική διαφορά. Ακολουθούν και στην περίπτωση αυτή οι λύσεις a_3 (ανθρακικός σταθμός) και a_4 (πετρελαϊκός σταθμός).

Λαμβάνοντας υπόψη τις καθарές ροές των εμπειρογνομένων για κάθε εναλλακτική λύση υπολογίζουμε και τις μέσες τιμές, τις τυπικές αποκλίσεις και τις σχετικές τυπικές αποκλίσεις οι οποίες υπολογίζονται ως το πηλίκο της τυπικής απόκλισης προς την αντίστοιχη μέση τιμή (πίνακας 7.14). Παρατηρούμε ότι η εναλλακτική λύση a_1 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη σχετική τυπική απόκλιση όπως παραστατικά φαίνεται και από το γράφημα των αποκλίσεων (σχήμα 7.9) όπου για τις τέσσερις εναλλακτικές λύσεις παρουσιάζονται οι αποκλίσεις της καθαρής ροής κάθε εμπειρογνώμονα από την αντίστοιχη μέση τιμή.

Στους πίνακες 7.15 – 7.23 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μεθόδου RPOMETHEE I για κάθε εμπειρογνώμονα και τα αντίστοιχα γραφήματα δίνονται στα σχήματα 7.10(1) για τους εμπειρογνώμονες 1-6 και 7.10(2) για τους εμπειρογνώμονες 7-9.

Σε σχέση με τις δύο πρώτες λύσεις οι οποίες κυριαρχούν παρατηρούνται ασυμβατότητες σε πέντε περιπτώσεις εμπειρογνομένων, σε τρεις περιπτώσεις κυριαρχεί η πρώτη εναλλακτική λύση και σε μία η δεύτερη.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι προηγείται η πρώτη λύση (λιγνιτικός σταθμός) και ακολουθεί η δεύτερη λύση (σταθμός φυσικού αερίου) με μικρή διαφορά.

Για να ελεγχθεί η σταθερότητα των παραπάνω αποτελεσμάτων εκτελέστηκε ανάλυση ευαισθησίας μονοπαραμετρική και διπαραμετρική. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν τα κριτήρια με μεγάλο συντελεστή βαρύτητας στα οποία οι δύο πρώτες λύσεις παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές βαθμολογίας.

Στον πίνακα 7.24 παρουσιάζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές βαθμολογίας των εναλλακτικών λύσεων για κάθε κριτήριο και στον πίνακα 7.25 έχουν υπολογισθεί οι διαφορές μεταξύ των τιμών αυτών.

Παρατηρούμε ότι για τα κριτήρια f_6 (σταθερότητα εγχώριου δικτύου) και f_{10} (δυνατότητα χρηματοδοτικών διευκολύνσεων) οι δύο πρώτες λύσεις εμφανίζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής.

Μεταβάλλοντας λοιπόν την αντίστοιχη βαθμολογία, ως προς την οποία εκτελείται η ανάλυση ευαισθησίας από 1 έως 5 και διατηρώντας τις υπόλοιπες βαθμολογίες σταθερές προκύπτουν οι αντίστοιχες διαφορές στο σύνολο των εναλλακτικών λύσεων 1 και 2 με το προσεγγιστικό μοντέλο. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα της **μονοπαραμετρικής ανάλυσης ευαισθησίας** ως προς την βαθμολογία της πρώτης

Πίνακας 7.14 Επεξεργασία των αποτελεσμάτων καθαρών ροών των εναλλακτικών λύσεων ανά εμπειρογώνιμα

	EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5	EXP6	EXP7	EXP8	EXP9	SUM	AVG	STD	STD REL
EV1	0,56869	0,63984	0,03107	0,42016	-0,05867	-0,02394	0,17127	0,22465	0,70928	2,68235	0,29804	0,29533	0,99091
EV2	0,25621	0,33364	0,11812	-0,27204	-0,00141	0,29168	0,09136	0,23229	0,08537	1,13523	0,12614	0,18588	1,4736
EV3	-0,27916	-0,12914	-0,06859	0,27481	0,13567	-0,01532	-0,03178	-0,09382	-0,06978	-0,27712	-0,03079	0,15796	-5,13019
EV4	-0,54574	-0,84434	-0,0806	-0,42293	-0,07558	-0,25242	-0,23085	-0,36313	-0,72487	-3,54046	-0,39338	0,27004	-0,68645

Xi-AVG

	EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5	EXP6	EXP7	EXP8	EXP9
EV1	0,27065	0,3418	-0,26697	0,12212	-0,35671	-0,32198	-0,12677	-0,07338	0,41124
EV2	0,13008	0,2075	-0,00802	-0,39818	-0,12755	0,16555	-0,03478	0,10616	-0,04076
EV3	-0,24837	-0,09835	-0,0378	0,3056	0,16646	0,01547	-0,00099	-0,06302	-0,03899
EV4	-0,15235	-0,45096	0,31279	-0,02955	0,3178	0,14096	0,16253	0,03025	-0,33148

Πίνακας 7.15. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 1

					Φj+
	0	0,3058	0,3567631	0,3127395	0,9753284
	0,2613	0	0,1407	0,3838735	0,7859015
	0,1340101	0,0497	0	0,2633111	0,4470094
	0,0426491	0,1430156	0,1749386	0	0,3606033
Φj-	0,4379513	0,4985296	0,6724376	0,9599241	

Πίνακας 7.16. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 2

					Φj+
	0	0,2827212	0,2819337	0,4108839	0,9755387
	0,1981547	0	0,1643852	0,3211488	0,6836886
	0,0985511	0,1135592	0	0,1177205	0,3298309
	0,0585844	0,0500075	0,0015748	0	0,1101666
Φj-	0,3552902	0,4462879	0,4478936	0,8497532	

Πίνακας 7.17. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 3

					Φj+
	0	0,246109	0,2166868	0,28263	0,7454258
	0,3640854	0	0,1741168	0,1666215	0,7048237
	0,2099246	0,0856861	0	0,1041184	0,3997291
	0,2554493	0,0596846	0,0604986	0	0,3756325
Φj-	0,8294593	0,3914797	0,4513022	0,5533699	

Πίνακας 7.18. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 4

					Φj+
	0	0,378322	0,2071249	0,3426937	0,9281406
	0,2950419	0	0,1754457	0,1712608	0,6417484
	0,1372319	0,215704	0	0,2080743	0,5610102
	0,2002423	0,1213317	0,0818122	0	0,4033862
Φj-	0,6325161	0,7153576	0,4643828	0,7220288	

Πίνακας 7.19. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 5

					Φj+
	0	0,1842932	0,0905647	0,1872177	0,4620756
	0,2184073	0	0,0384143	0,0533072	0,3101289
	0,1617337	0,0771313	0	0,0919414	0,3308065
	0,1493014	0,0374331	0,0533026	0	0,2400371
Φj-	0,5294425	0,2988575	0,1822816	0,3324664	

Πίνακας 7.20. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 6

					Φ_j^+
	0	0,1002408	0,0064099	0,0791136	0,1857644
	0,157633	0	0,1407081	0,1256889	0,42403
	0,0075452	0,0827635	0	0,0616363	0,1519449
	0,0255662	0,0066825	0,0097997	0	0,0420483
Φ_j^-	0,1907444	0,1896868	0,1569177	0,2664388	

Πίνακας 7.21. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 7

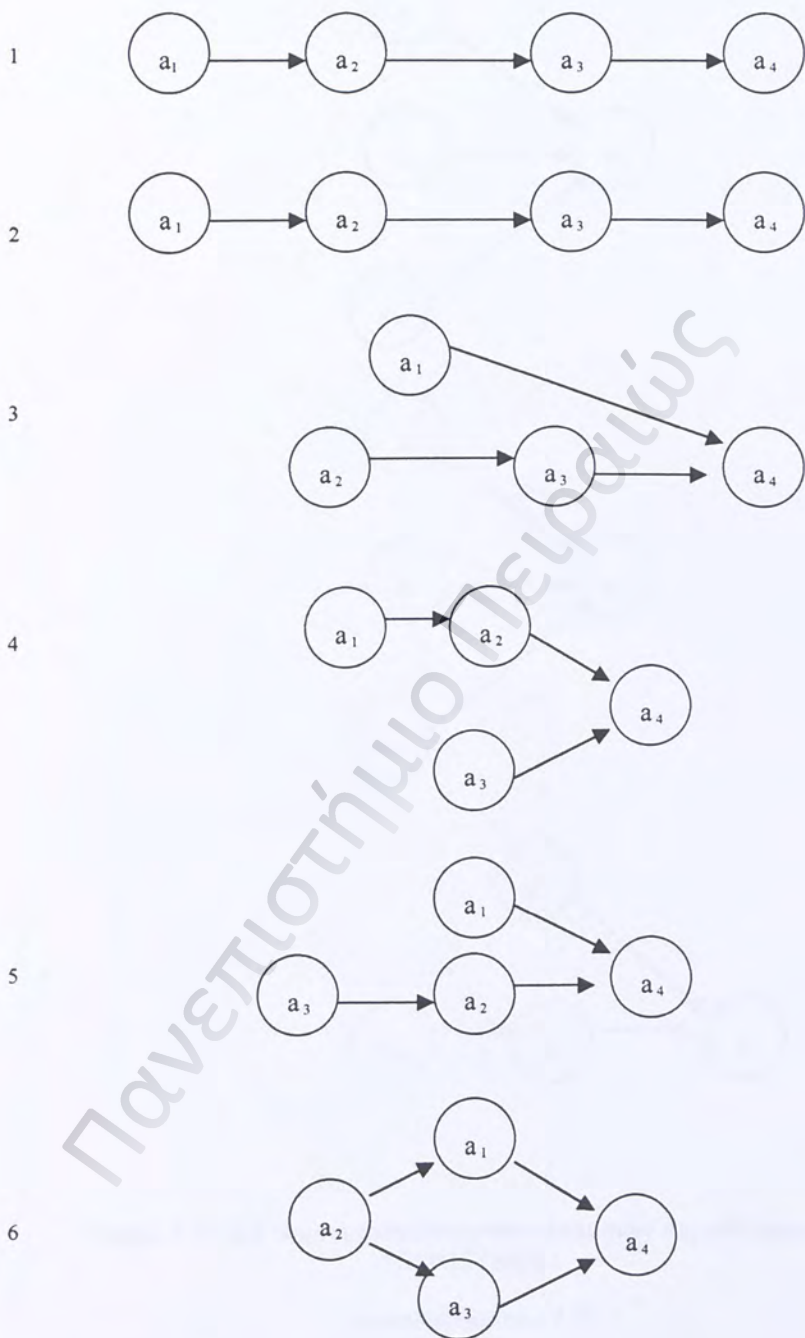
					Φ_j^+
	0	0,1719803	0,156206	0,2320239	0,5602102
	0,1768072	0	0,0848722	0,1139668	0,3756462
	0,1290571	0,0473081	0	0,0417055	0,2180707
	0,1290571	0,0234208	0	0	0,1524779
Φ_j^-	0,4349215	0,2427092	0,2410782	0,3876962	

Πίνακας 7.22. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 8

					Φ_j^+
	0	0,2682638	0,2247719	0,2900599	0,7830955
	0,2689619	0	0,15087	0,1742539	0,5940858
	0,1465867	0,0919611	0	0,1054795	0,3440273
	0,1519165	0,0570065	0,0182693	0	0,2271923
Φ_j^-	0,5674651	0,4172315	0,3939111	0,5697932	

Πίνακας 7.23. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης $I(a_j, a_k)$ και $I(a_k, a_j)$ εμπειρογνώμονα 9

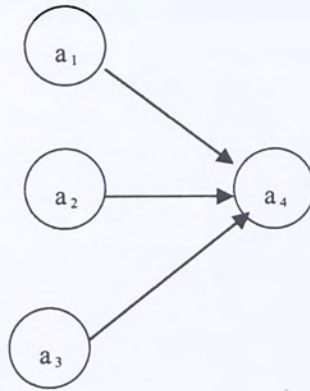
					Φ_j^+
	0	0,3756637	0,3376353	0,434908	1,1482069
	0,3319788	0	0,210573	0,293186	0,8357378
	0,1762373	0,1169378	0	0,1557605	0,4489356
	0,1655691	0,0234208	0,0229831	0	0,211973
Φ_j^-	0,6737852	0,5160223	0,5711914	0,8838545	



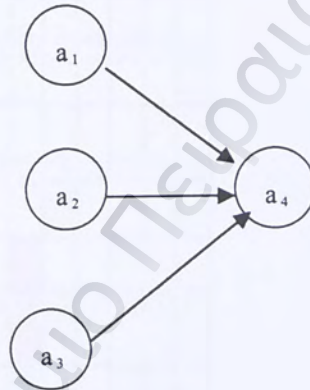
Σχήμα 7.10 (1) Γραφική αεικόνιση αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας PROMETHEE I

(εμπειρογνώμονες 1-6)

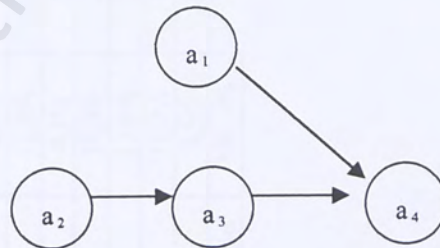
7



8



9



Σχήμα 7.10 (2) Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας PROMETHEE I

(εμπειρογνώμονες 7-9)

Πίνακας 7.25 Διαφορές μέγιστων-ελάχιστων τιμών βαθμολογίας των εναλλακτικών λύσεων

	συντ βαρυντητα	max-min				
		ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 1	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 2	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 3	ΕΝΑΛΛ ΛΥΣΗ 4	
f1	11,1%	3,0	2,3	2,0	3,0	
f2	14,2%	1,0	3,0	3,5	3,0	
f3	13,1%	2,0	1,0	1,0	3,0	
f4	4,2%	2,0	2,0	3,0	2,0	
f5	4,6%	3,5	2,5	3,5	2,0	
f6	11,5%	4,0	4,0	2,0	4,0	
f7	4,1%	2,0	2,0	2,0	2,0	
f8	10,0%	2,0	2,5	2,1	4,0	
f9	13,6%	1,0	2,0	1,5	3,0	
f10	10,2%	3,0	3,0	2,0	3,0	
f11	3,3%	3,0	2,0	4,0	3,0	
Αθροισμα	100,0%					

λύσης (λιγνιτικός σταθμός) στο κριτήριο f_6 (σταθερότητα εγχώριου δικτύου) παρουσιάζονται στον πίνακα 7.26 και παριστάνονται γραφικά στο σχήμα 7.11 Αν η βαθμολογία της πρώτης εναλλακτικής λύσης στο κριτήριο f_6 γίνει μικρότερη από 2,75 (η μέση τιμή είναι 2,94) τότε η δεύτερη λύση(σταθμός φυσικού αερίου) κατατάσσεται πρώτη στην ιεραρχική ταξινόμηση (η διαφορά στη συνολική βαθμολογία $A_1 - A_2$ είναι αρνητική). Παρατηρούμε ότι με μικρές μεταβολές των παραπάνω τιμών από τη μέση τιμή αλλάζει και η προτιμώμενη λύση, πάντα μεταξύ των δύο πρώτων επιλογών. Είναι, δηλαδή, η επιλογή ευαίσθητη ως προς την παραπάνω παράμετρο. Η κυριαρχία της πρώτης λύσης έναντι της τρίτης και της τέταρτης είναι σταθερή και δεν παρουσιάζει ευαισθησία ως προς την παραπάνω παράμετρο.

Στο σχήμα 7.12 απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα της μονοπαραμετρικής ανάλυσης ευαισθησίας που αναφέρονται στην επίδραση της βαθμολογίας της δεύτερης λύσης (σταθμός φυσικού αερίου) ως προς το ίδιο κριτήριο αξιολόγησης f_6 (σταθερότητα εγχώριου δικτύου) στη σταθερότητα της ιεραρχικής κατάταξης μεταξύ των δύο πρώτων λύσεων. Παρατηρούμε ότι ,για τιμές βαθμολογίας της δεύτερης λύσης μεγαλύτερες από 3,75 (η μέση τιμή είναι 3,55), η διαφορά A_2-A_1 γίνεται θετική , δηλαδή προηγείται ο σταθμός φυσικού αερίου έναντι του λιγνιτικού σταθμού.

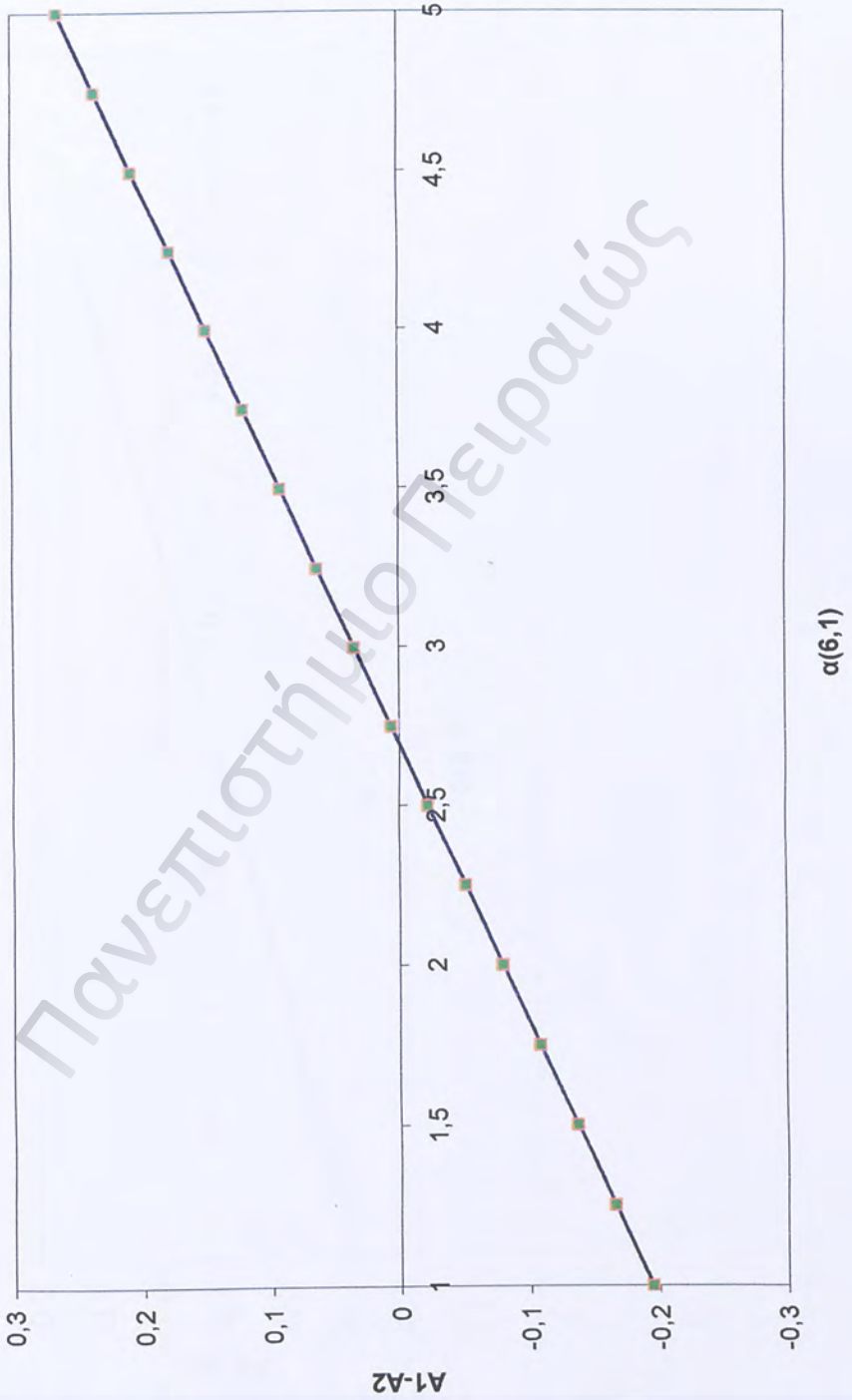
Από την **διπαραμετρική ανάλυση ευαισθησίας** ως προς τις βαθμολογίες των δύο πρώτων εναλλακτικών λύσεων στο κριτήριο f_6 , προκύπτουν ανάλογα συμπεράσματα (σχήμα 7.13).

Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και με εφαρμογή ανάλυσης ευαισθησίας στα κριτήρια f_{10} και f_2 (σχήματα 7.14 έως 7.16)

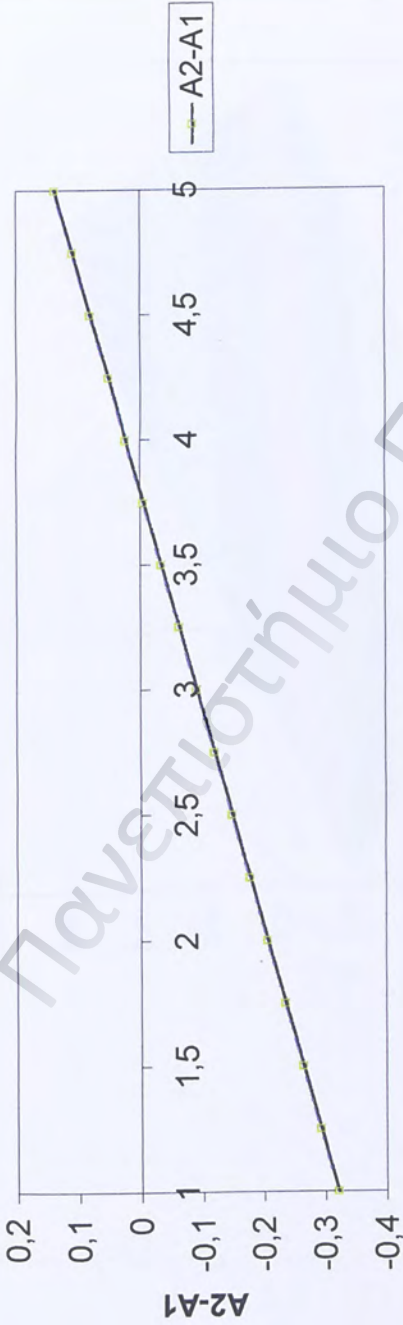
Πίνακας 7.26 Αποτελέσματα μονοπαραμετρικής ανάλυσης ευαισθησίας
ως προς τη βαθμολογία της πρώτης λύσης στο κριτήριο f6

α(6,1)	συντ.βαρύτ.χβαθμολογία							
	ΕΝΑΜΛ. ΛΥΣΗ 1	ΕΝΑΜΛ. ΛΥΣΗ 2	ΕΝΑΜΛ. ΛΥΣΗ 3	ΕΝΑΜΛ. ΛΥΣΗ 4	A1-A2	A1-A3	A1-A4	
1	3,065561	3,2601291	3,06266	2,68935	-0,1946	0,0029	0,37621	
1,25	3,094246	3,2601291	3,06266	2,68935	-0,1659	0,03159	0,4049	
1,5	3,122931	3,2601291	3,06266	2,68935	-0,1372	0,06027	0,43358	
1,75	3,151616	3,2601291	3,06266	2,68935	-0,1085	0,08896	0,46227	
2	3,180301	3,2601291	3,06266	2,68935	-0,0798	0,11764	0,49095	
2,25	3,208986	3,2601291	3,06266	2,68935	-0,0511	0,14633	0,51964	
2,5	3,237672	3,2601291	3,06266	2,68935	-0,0225	0,17501	0,54832	
2,75	3,266357	3,2601291	3,06266	2,68935	0,00623	0,2037	0,57701	
3	3,295042	3,2601291	3,06266	2,68935	0,03491	0,23238	0,60569	
3,25	3,323727	3,2601291	3,06266	2,68935	0,0636	0,26107	0,63438	
3,5	3,352412	3,2601291	3,06266	2,68935	0,09228	0,28975	0,66306	
3,75	3,381097	3,2601291	3,06266	2,68935	0,12097	0,31844	0,69175	
4	3,409783	3,2601291	3,06266	2,68935	0,14965	0,34712	0,72043	
4,25	3,438468	3,2601291	3,06266	2,68935	0,17834	0,37581	0,74912	
4,5	3,467153	3,2601291	3,06266	2,68935	0,20702	0,40449	0,7778	
4,75	3,495838	3,2601291	3,06266	2,68935	0,23571	0,43318	0,80649	
5	3,524523	3,2601291	3,06266	2,68935	0,26439	0,46186	0,83517	
2,9444	3,288662	3,2601291	3,06266	2,68935				

Σχήμα 7.11. Μεταβολές της διαφοράς A1-A2 σε συνάρτηση με τη βαθμολογία της πρώτης λύσης στο κριτήριο f6

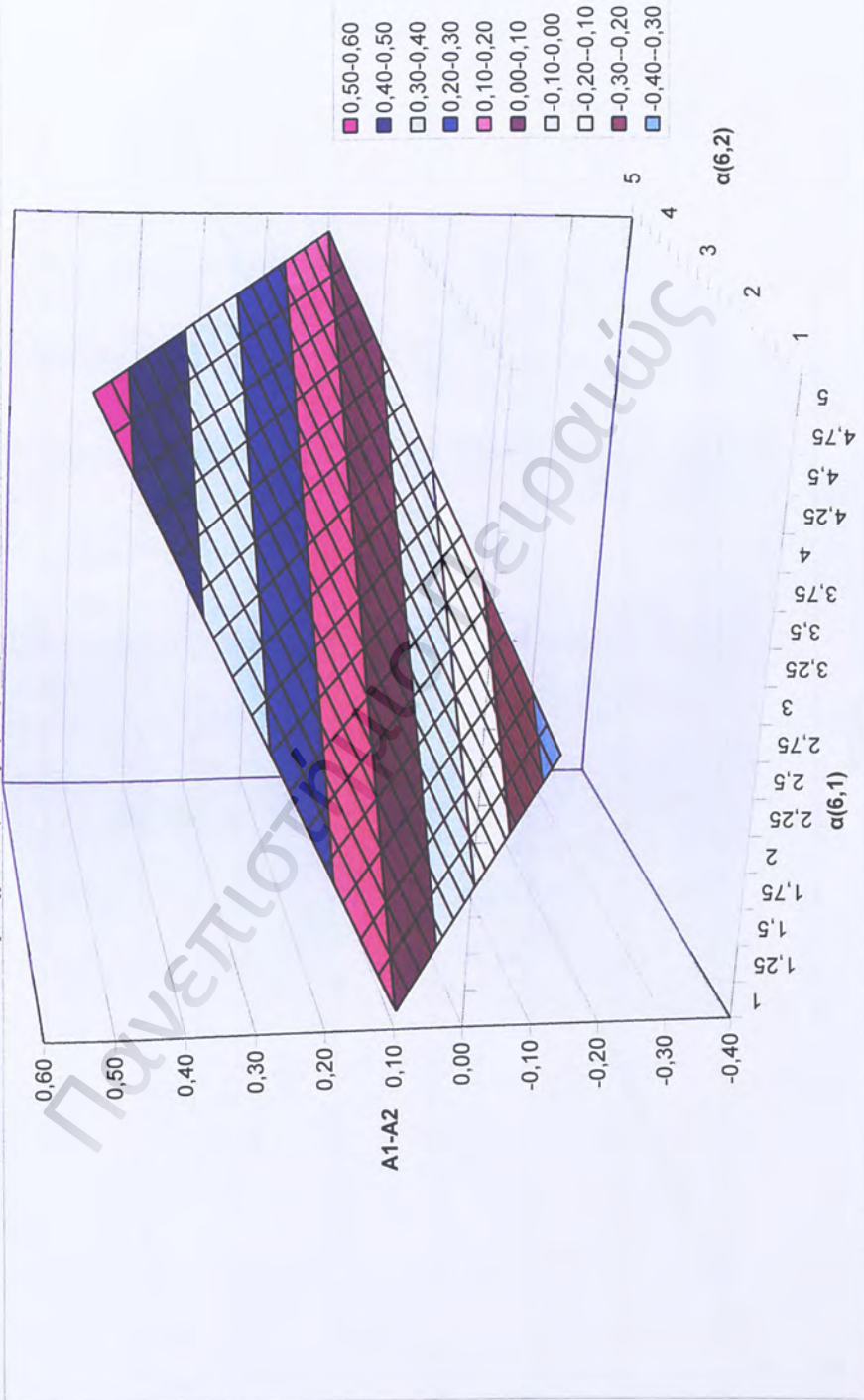


Σχήμα 7.12 Μεταβολές της διαφοράς A2-A1 σε συνάρτηση με τη βαθμολογία της δεύτερης λύσης στο κριτήριο fb

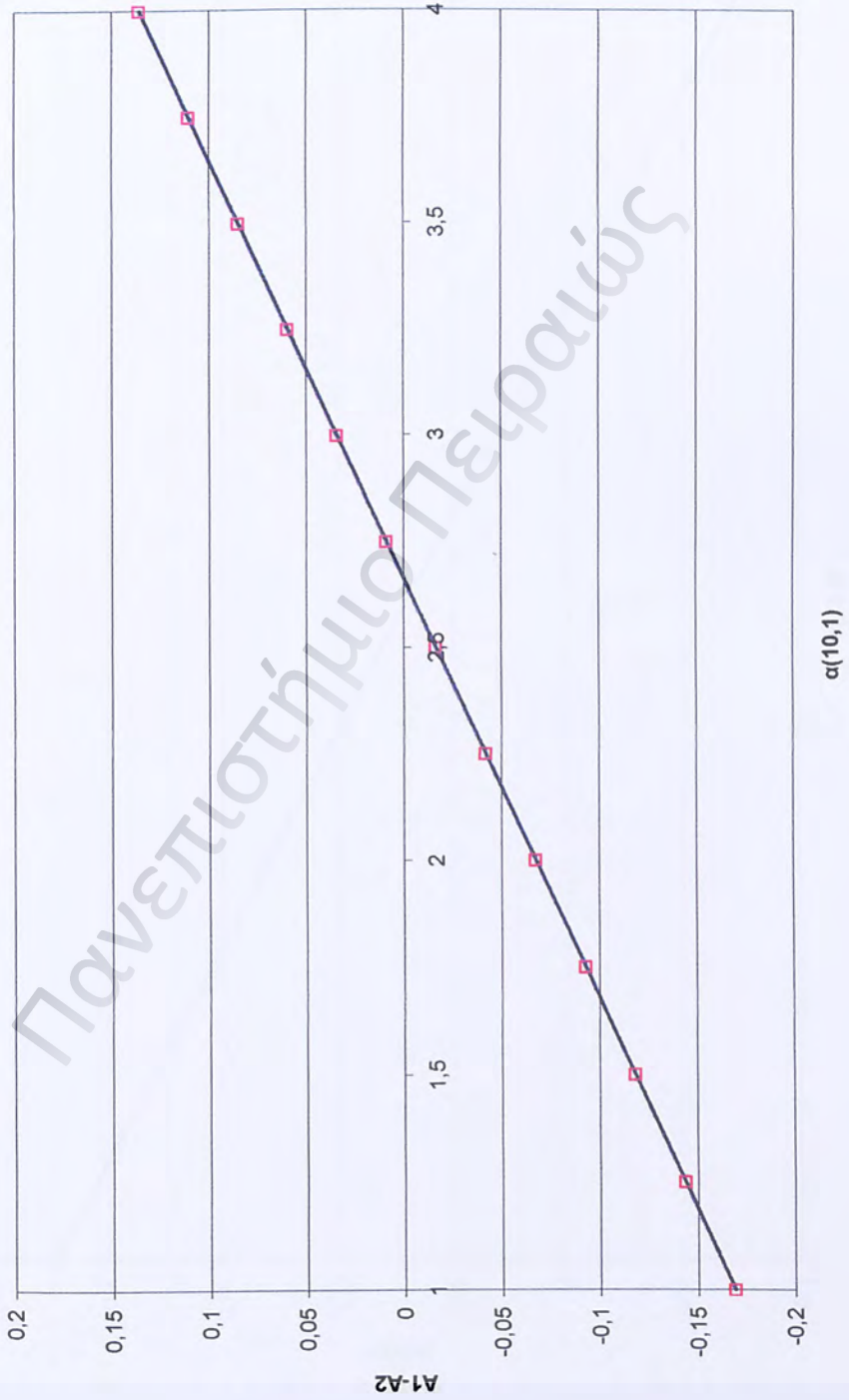


α(6,2)

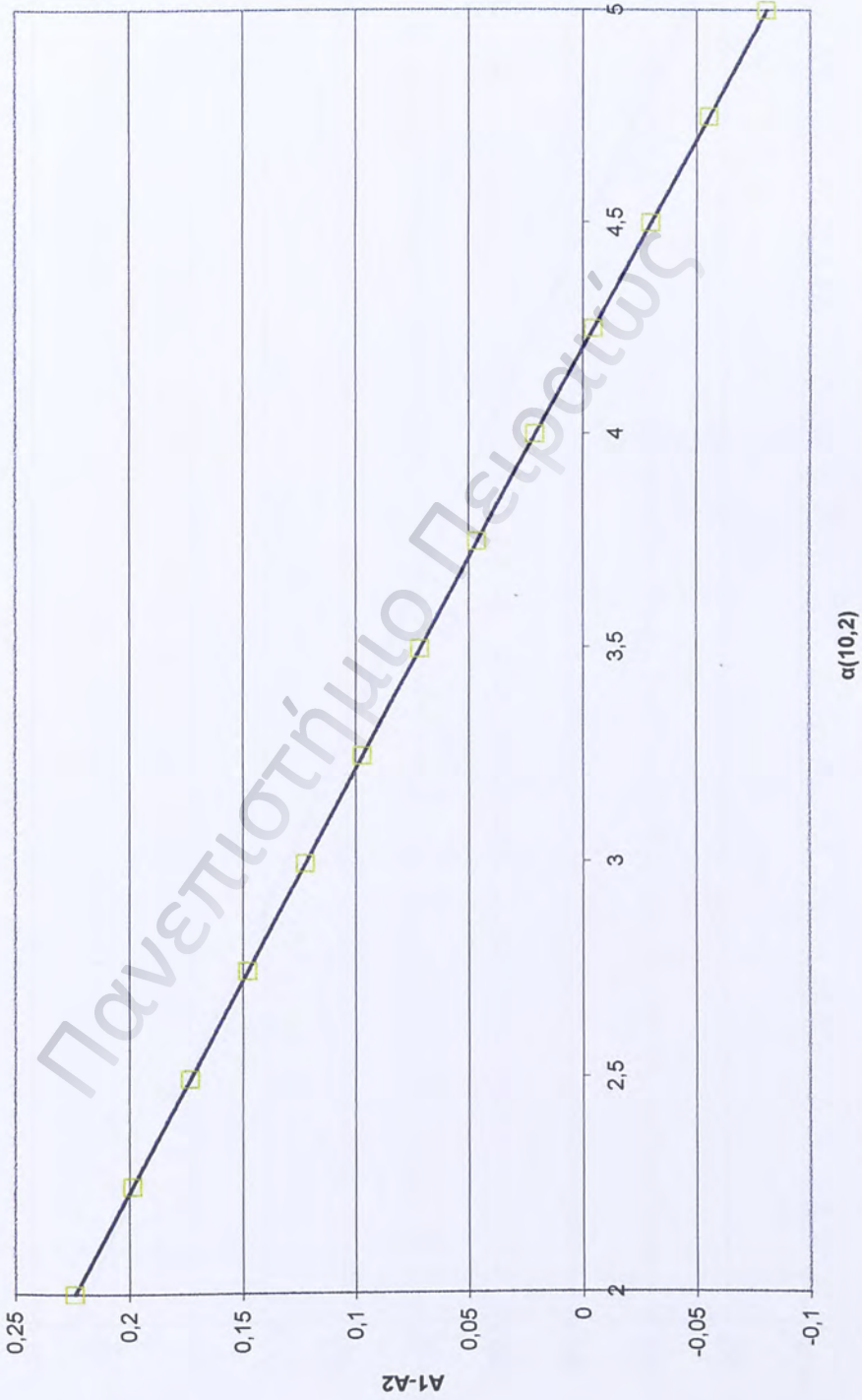
Σχήμα 7.13. Μεταβολή της διαφοράς $A1-A2$ σε συνάρτηση με τις βαθμολογίες των λύσεων 1 και 2 στο κριτήριο f_6 (διπαράμετρική ανάλυση ευαισθησίας)



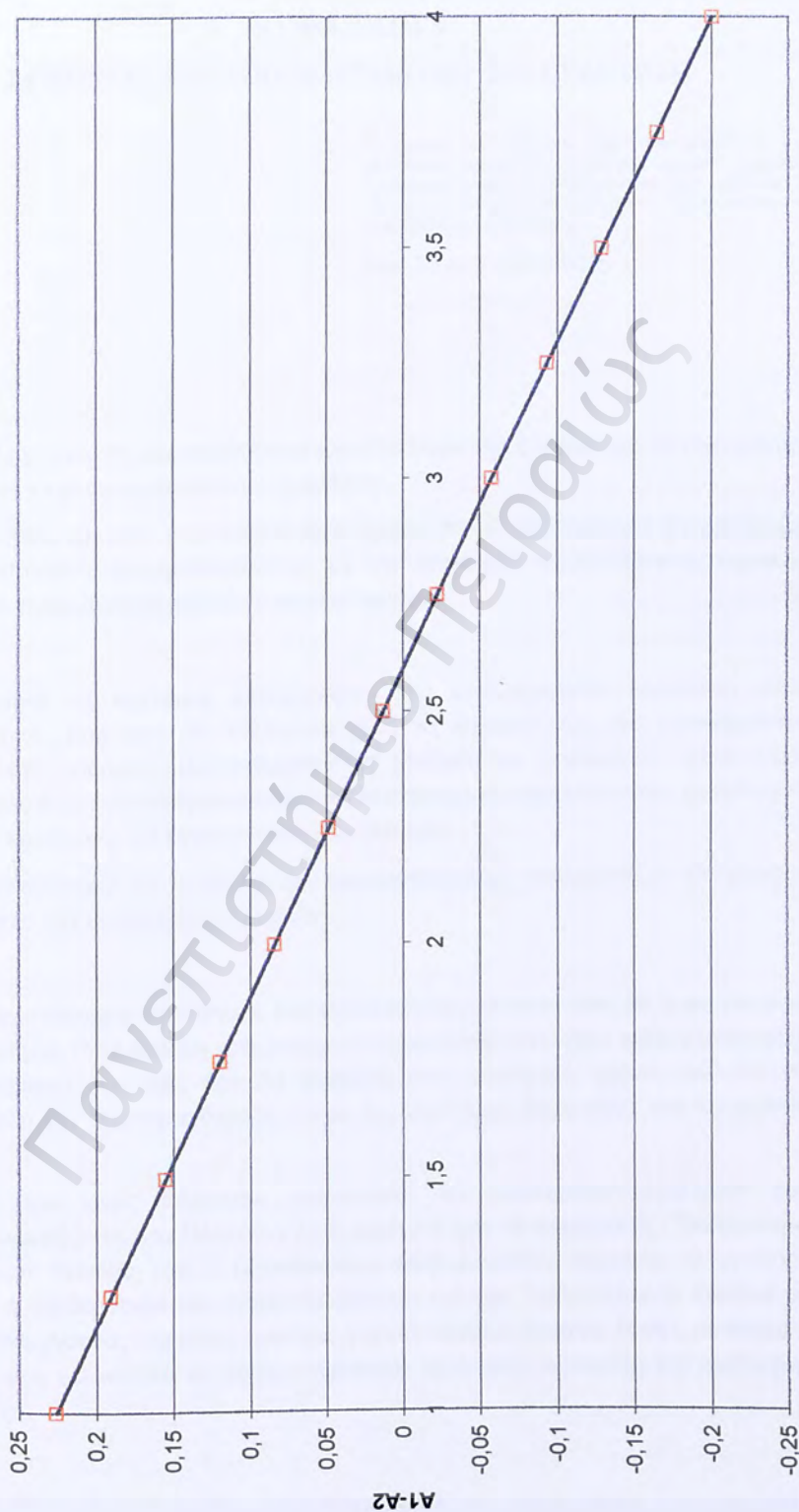
⁴ Σχήμα 7.13. Μεταβολή της διαφοράς A1-A2 σε συνάρτηση με τη βαθμολογία της πρώτης λύσης στο κριτήριο f10



Σχήμα 7.1.4.⁵ Μεταβολή της διαφοράς A1-A2 σε συνάρτηση με τη βαθμολογία της δεύτερης λύσης στο κριτήριο f10



Σχήμα 7.15 ^{GM} μεταβολή της διαφοράς A1-A2 σε συνάρτηση με τη βαθμολογία της δεύτερης λύσης στο κριτήριο f2



α(2,2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η επιστήμη δεν είναι ένα σύνολο από στερεότυπες και ανάλωτες αποφάνσεις. Είναι ένα διηνεκές γίνεσθαι. Παρατηρήσεις «άκαιρες» σπέρνουν κάποτε την αμφιβολία. Η επαναφέρουν σε συζήτηση κάτι που, ωστόσο φαινόταν να είναι ακλόνητα αποδεδειγμένο.

Hubert Reeves, Η κοσμική εξέλιξη

Στο κεφάλαιο αυτό θα σχολιασθούν τα αποτελέσματα της έρευνας και θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα ευρήματα άλλων ερευνητών.

Στην παρούσα εργασία αντιμετωπίστηκε σφαιρικά και συστηματικά το πρόβλημα επιλογής σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, με την εφαρμογή της πρωτότυπης τεχνικής Delphi και τη συμμετοχή πολλών εμπειρογνομόνων.

Όσον αφορά τα κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών επιλογών, αυτά καθορίστηκαν, έτσι ώστε να καλύπτουν όλες τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στην επιλογή σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (δηλαδή να εμφανίζουν πληρότητα). Παράλληλα, οι εμπειρογνώμονες είχαν τη δυνατότητα να προτείνουν την προσθήκη ή απαλοιφή κριτηρίων, με επαρκή όμως αιτιολόγηση.

Παρακάτω παρατίθενται τα σχόλια των εμπειρογνομόνων αναφορικά με τα κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών λύσεων :

1. Για την καλύτερη αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων ίσως θα ήταν σκόπιμο το κριτήριο f_5 (Συμβολή στη μεταφορά τεχνολογίας και στην τοπική ανάπτυξη) να χωριστεί στα εξής δύο Α) συμβολή στην μεταφορά τεχνολογίας και Β) συμβολή την τοπική ανάπτυξη, λόγω της ιδιαίτερης βαρύτητας που το καθένα έχει.
2. Λόγω των νέων πολιτικών, κοινωνικών και οικονομικών εξελίξεων που διαδραματίζονται στα Βαλκάνια θα έπρεπε πιθανόν τα κριτήρια f_6 (Σταθερότητα εγχώριου δικτύου) και f_7 (Σταθερότητα Διαβαλκανικού Δικτύου) να ενωθούν ώστε η σταθερότητα του εγχώριου δικτύου και του διαβαλκανικού δικτύου να είναι βαρύνουσας σημασίας κριτήριο για την επιλογή κάποιας λύσης, με στόχο η χώρα μας μελλοντικά να παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής.

3. Οι απώλειες καλλιεργήσιμης γης (f4) θα μπορούσαν να εμπεριέχονται στο ευρύτερο κριτήριο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (f3) ,αυξάνοντας έτσι και τη σπουδαιότητα του κριτηρίου αυτού.
4. Το βασικότερο κριτήριο στην ανάπτυξη ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ασφάλεια εφοδιασμού και η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας μη ικανοποίησης της ζητούμενης ισχύος, αυτό , σε συνάρτηση με την ενεργειακή πολιτική που ακολουθείται και λαμβάνοντας υπόψη τη γεωγραφική θέση της χώρας, καθορίζει και την πολιτική της χώρας στο θέμα των εξαγωγών / εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας για την ικανοποίηση της ζήτησης. Με βάση τα παραπάνω το κριτήριο f6 (Σταθερότητα εγχώριου δικτύου)θεωρείται το βασικότερο, εάν περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας απόρριψης φορτίου (αδυναμία κάλυψης της ζήτησης).
5. Στην απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρισμού ο σημαντικός παράγοντας είναι το μεταβλητό κόστος της μονάδας διότι βάσει του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου (Ν.2773/99) αυτό αποτελεί το κριτήριο ένταξης μιας μονάδας στο σύστημα σε καθημερινή βάση και άρα τη δυνατότητα λειτουργίας και απόκτησης προσόδων.
6. Τα κριτήρια f1 και f2 δηλαδή σταθερό και μεταβλητό κόστος είναι σωστότερο να αντιμετωπισθούν ως κριτήριο κόστους f1' και κριτήριο σταθερότητας τιμής καυσίμου f2' . Ως ξεχωριστό κριτήριο θα μπορούσε στο κριτήριο f1' να διαχωριστεί το σταθερό και το μεταβλητό κόστος για να αξιολογηθεί η δυνατότητας προσαρμογής του σταθμού σε μεταβαλλόμενη ενεργειακή ζήτηση.
7. Το κριτήριο της γης (f4) δεν αποτελεί σημαντικό κριτήριο γιατί οι απώλειες γεωργικών καλλιεργειών φαίνεται σήμερα ότι είναι σχεδόν επιθυμητές (πλεόνασμα γεωργικής παραγωγής) Αντίθετα τα περιβαλλοντικά προβλήματα αυτά καθεαυτά είναι σημαντικότερα από την απώλεια γαιών και μάλλον ανάγονται στη σφαίρα του κριτηρίου f3
8. Ένα κριτήριο που θα μπορούσε να προστεθεί είναι το κριτήριο της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του έργου. Οι επιταχυνόμενοι ρυθμοί τεχνολογικής εξέλιξης στη σημερινή εποχή έχουν ως συνέπεια να υπάρχει ο κίνδυνος απαξίωσης μιας επένδυσης προτού συμπληρωθεί η διάρκεια ζωής του έργου.
9. Το κόστος επένδυσης θεωρείται πολύ σημαντικό και θα έπρεπε να θεωρηθεί ως χωριστό κριτήριο, αυτούσιο και όχι ενσωματωμένο στο σταθερό κόστος.
10. Τα κριτήρια της κοινωνικής αποδοχής – απωλειών γης – περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε ένα κριτήριο.

Από τα παραπάνω σχόλια των εμπειρογνομόνων συμπεραίνουμε ότι με τα κριτήρια που επλέχθησαν αντιμετωπίζεται σφαιρικά και ρεαλιστικά το συγκεκριμένο πρόβλημα της επιλογής σταθμού ηλεκτροπαραγωγής . Λαμβάνοντας υπόψη και τους

συντελεστές βαρύτητας που αποδόθηκαν στα κριτήρια , παρατηρούμε ότι δίνεται βαρύνουσα σημασία στο μεταβλητό κόστος ,στο σταθερό κόστος και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα παραπάνω κριτήρια θεωρούνται πολύ βασικά σε όλες τις σχετικές μελέτες πολυκριτηριακής ανάλυσης (Mirasgedis & Diakoulaki,1997, Georgopoulou et al,1999, Goumas & Lygerou 2000,Gungor & Arıkan ,2000) .

Πράγματι, το μεταβλητό κόστος αποτελεί το κριτήριο ένταξης μιας μονάδας στο σύστημα απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (2/2001) , επομένως θα επηρεάζει και το χρόνο λειτουργίας και συνεπώς τα ετήσια έσοδα .

Το κόστος επένδυσης θεωρείται επίσης πολύ σημαντικό .Διάφοροι ερευνητές το αντιμετωπίζουν ως χωριστό κριτήριο και όχι ενσωματωμένο στο σταθερό κόστος. Στην παρούσα εργασία δεν έγινε αυτός ο διαχωρισμός για να μην αυξηθεί ο αριθμός των κριτηρίων. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 6 , η προσθήκη πολλών κριτηρίων συνεπάγεται διασπορά / τεμαχισμό της πληροφορίας, με αποτέλεσμα το βάρος που αντιστοιχεί σε ορισμένα κριτήρια να είναι μικρότερο μιας κρίσιμης τιμής και τελικά να μη συμμετέχουν ουσιαστικά στην επιλογή της βέλτιστης λύσης.

Γενικά , για τους λιγνιτικούς σταθμούς , για τους σταθμούς φυσικού αερίου και για τους ανθρακικούς σταθμούς το κόστος επένδυσης αποτελεί το 1/3 του συνολικού κόστους και το λειτουργικό κόστος τα 2/3 του συνολικού κόστους. Αντίθετα, στους πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής το κόστος επένδυσης είναι πολύ μεγάλο και αντιπροσωπεύει τα 2/3 του συνολικού κόστους του έργου(Gungor & Arıkan ,2000)

Μεγάλη επίσης σημασία αποδίδεται στο κριτήριο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων . Στην γενικότερη θεώρηση της αειφόρου ανάπτυξης ,η ικανοποίηση των περιβαλλοντικών περιορισμών αποτελεί έναν από τους κύριους στόχους της ενεργειακής πολιτικής που ακολουθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Παράλληλα , σε όλα τα μοντέλα σχεδιασμού των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής, ως βασική προϋπόθεση τίθεται η ασφάλεια κάλυψης της ζήτησης και η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας απόρριψης φορτίου.

Η προτεινόμενη συγχώνευση των κριτηρίων που αναφέρεται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και στην απώλεια γης είναι καταρχήν σωστή. Ο διαχωρισμός επιβλήθηκε για να διευκολυνθούν οι εμπειρογνώμονες στη βαθμολόγηση των λύσεων, δεδομένου ότι η απώλεια καλλιεργήσιμης γης αποτιμάται αντικειμενικά ενώ η περιβαλλοντική ζημία ενέχει έντονη υποκειμενική διάσταση.

Η συγχώνευση που προτείνεται επίσης για τα κριτήρια f_6 (Σταθερότητα εγχώριου δικτύου) και f_7 (Σταθερότητα Διαβαλκανικού Δικτύου) ,έτσι ώστε η σταθερότητα του εγχώριου δικτύου και του διαβαλκανικού δικτύου να είναι βαρύνουσας σημασίας κριτήριο για την επιλογή κάποιας λύσης ,θα δημιουργούσε πρόβλημα στη

βαθμολόγηση των λύσεων ,αφού για κάποιες επιλογές τα δύο αυτά κριτήρια είναι αντικρουόμενα.

Ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για τη λήψη της σχετικής απόφασης. Η οικονομική ζωή μιας επένδυσης είναι συνήθως βραχύτερη από τη φυσική ζωή της. Αυτό συμβαίνει διότι διάφοροι παράγοντες όπως η τεχνολογική πρόοδος καθιστούν την επένδυση απαρχαιωμένη και ασύμφορη. Το χρονικό όριο, ύστερα από το οποίο είτε δεν υπάρχουν στοιχεία κόστους και ωφελειών, είτε υπάρχουν αλλά για κάποιο λόγο αγνοούνται, είναι γνωστό ως ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης (Λαμπρόπουλος, 1985). Μια αυθαίρετη εκλογή του χρονικού ορίζοντα μπορεί να οδηγήσει την ανάλυση σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Είναι, συνεπώς, βάσιμο το παραπάνω σχόλιο 8, σχετικά με το κριτήριο της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του έργου το οποίο θα μπορούσε να περιληφθεί στα κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών επιλογών. Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε ότι όλες οι εναλλακτικές λύσεις έχουν την ίδια διάρκεια ζωής, γι' αυτό και δεν περιλήφθηκε στα κριτήρια αξιολόγησης των λύσεων. Δεν μπορεί να γίνει πρόβλεψη για διαφορετική διάρκεια ωφέλιμης ζωής αφού, λόγω του μεγάλου κόστους επένδυσης, καταβάλλονται προσπάθειες για παράταση όσο είναι δυνατό της λειτουργίας, με αναβάθμιση των μονάδων.

Όσον αφορά τη βαθμολόγηση και την ιεραρχική ταξινόμηση των εναλλακτικών επιλογών, η περίπτωση του λιγνιτικού σταθμού προτιμήθηκε και ακολουθεί με μικρή διαφορά ο σταθμός φυσικού αερίου.

Η λύση του λιγνιτικού σταθμού παρουσιάζει υψηλές τιμές βαθμολογίας ως προς τα κριτήρια του μεταβλητού κόστους (f2), της ενεργειακής ανεξαρτησίας (f9), του διαθέσιμου προσωπικού και υπάρχουσας εμπειρίας (f11) και της σταθερότητας του διαβαλκανικού δικτύου (f7) λόγω της γεωπολιτικής σπουδαιότητας που έχει η αντίστοιχη περιοχή (της Δράμας). Τα δύο πρώτα από τα κριτήρια αυτά έχουν και τους μεγαλύτερους συντελεστές βαρύτητας.

Σημαντικό ρόλο στην επιλογή του λιγνιτικού σταθμού ως καλύτερης σχετικά λύσης, έπαιξε το γεγονός ότι πρόκειται για σταθμό που αξιοποιεί εγχώριο πόρο, με μικρότερο λειτουργικό κόστος και με μεγαλύτερη συμβολή στην τοπική ανάπτυξη.

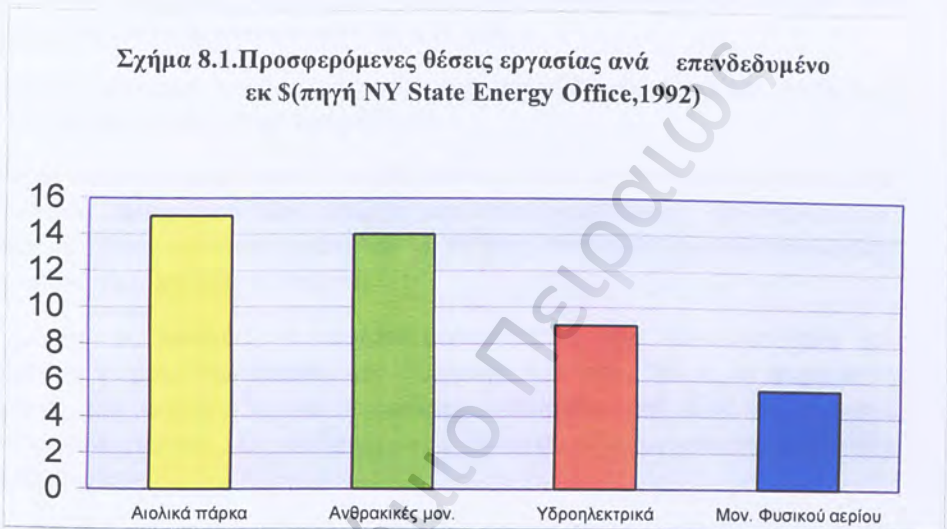
Σημειώνεται ότι το μεταβλητό κόστος για την περίπτωση του λιγνιτικού σταθμού θα μπορούσε να μειωθεί περαιτέρω με

α) Συνυπολογισμό του οφέλους που αναμένεται να προκύψει από την παραγωγή εξευγενισμένων προϊόντων του λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρισμού και άλλες χρήσεις (Καβουρίδης και Νικολαΐδης, 1997).

β) Καλύτερη εκμετάλλευση της υπάμενης τέφρας με δεδομένη την εξοικονόμηση ενέργειας που συνεπάγεται η χρήση της στη βιομηχανία τσιμέντου και της, λόγω αυτού του λόγου, δυνατότητας κρατικής επιχορήγησης (Batziias & Roumpos, 2000).

Η επιλογή του λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής συμβάλει τα μέγιστα στην περιφερειακή ανάπτυξη ,με μεταφορά σημαντικών πόρων στην ευρύτερη περιοχή όπου αναπτύσσονται τα ορυχεία με τη δημιουργία νέων και πολλών θέσεων εργασίας.

Στο παρακάτω σχήμα 8.1 παρουσιάζονται συγκριτικά οι θέσεις εργασίας ανά είδος καυσίμου:



Παράλληλα ο λιγνιτικός σταθμός παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα (Μπούσιος 1997):

- Ενισχύει την αξιοπιστία του ενεργειακού σχεδιασμού
- Προσφέρει ασφάλεια στον ενεργειακό σχεδιασμό.
- Είναι ευκολότερη η πρόβλεψη της μελλοντικής διαμόρφωσης της τιμής του καυσίμου ,ενώ υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με τις τιμές του φυσικού αερίου οι οποίες ακολουθούν συνήθως τις τιμές του πετρελαίου.

Επιπλέον, ο τοπικός αναπτυξιακός πόρος (0,4% επί των ακαθάριστων εσόδων της ΔΕΗ), ο οποίος καταβάλλεται στις νομαρχίες των νομών όπου βρίσκονται σε λειτουργία ορυχεία , ανάλογα φυσικά με την αντίστοιχη παραγωγή λιγνίτη , συμβάλει στην περιφερειακή ανάπτυξη.

Η λύση όμως του λιγνιτικού σταθμού εμφανίζει μικρότερες βαθμολογίες στα κριτήρια του σταθερού κόστους, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων , της κοινωνικής αποδοχής και της δυνατότητας χρηματοδοτικών διευκολύνσεων.

Μερικά ενδεικτικά στοιχεία αναφορικά με το σταθερό κόστος και το κόστος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δόθηκαν στο κεφάλαιο 6.4, όπου περιγράφηκαν τα κριτήρια. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά επιπρόσθετα στοιχεία σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υφιστάμενων ελληνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής (Χατζηφώτης, 1997), :

Στους ελληνικούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς οι εκπομπές CO, CxHy βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Οι τιμές CO κυμαίνονται μεταξύ 0 και 40 ppm και σε εξαιρετικές περιπτώσεις λειτουργικών προβλημάτων ανέρχονται σε 80-100 ppm, ενώ οι εκπομπές CxHy κυμαίνονται από 0 έως 30 ppm.

Η διάχυση υδρατμών και θερμότητας δεν αντιμετωπίζεται ως σημαντικό πρόβλημα. Το ίδιο ισχύει και για την ηχητική ρύπανση.

Τα υγρά απόβλητα βρίσκονται σε μικρές ποσότητες και, με τα υπάρχοντα συστήματα βιολογικού καθαρισμού, δεν υπάρχει σημαντική επιβάρυνση στο περιβάλλον. Ιδιαίτερη βέβαια περίπτωση αποτελούν οι πλύσεις των θερμαινόμενων επιφανειών στις πετρελαϊκές μονάδες παραγωγής.

Το μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην παρακολούθηση των υψόμενων στερεών σωματιδίων, των εκπομπών SO₂ και NO_x, τα οποία είναι ρυπαντές και εκπέμπονται σε υπολογίσιμες ποσότητες από όλες τις θερμικές εγκαταστάσεις καύσης. Οι ποσότητες αυτές διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του καυσίμου.

Παρακάτω εξετάζονται αναλυτικά οι εκπομπές από λιγνιτικούς σταθμούς παραγωγής, από πετρελαϊκούς σταθμούς παραγωγής, από αεροστροβιλικούς σταθμούς και από σταθμούς παραγωγής Diesel.

Λιγνιτικοί Σταθμοί Ηλεκτροπαραγωγής.

Τους λιγνιτικούς σταθμούς παραγωγής μπορούμε να τους χωρίσουμε σε δύο διακεκριμένες περιπτώσεις, τους σταθμούς της Βόρειας Ελλάδας και τους σταθμούς της Νότιας Ελλάδας.

Λιγνιτικοί Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής Βόρειας Ελλάδας

Εκπομπές στερεών σωματιδίων : Η συγκράτηση των στερεών σωματιδίων παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες λόγω των ιδιοτήτων στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της τέφρας. Το πρόβλημα αναμένεται να έχει λυθεί έως το έτος 2007. Η συγκράτηση των σωματιδίων στα επίπεδα που ορίζει η Νομοθεσία για νέες μονάδες είναι στα όρια των σήμερα υπάρχοντων τεχνικών δυνατοτήτων.

Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂): Η φυσική αποθείωση εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας των λιγνιτών σε ασβέστιο έχει ως αποτέλεσμα οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου να είναι χαμηλές και σαφώς εντός των σημερινών ορίων της Νομοθεσίας και για νέες εγκαταστάσεις.

Εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NO_x) : Η εφαρμοζόμενη τεχνική της κυκλωνικής καύσεως με ανακυκλοφορία και λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών έχει ως αποτέλεσμα οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου να είναι χαμηλές και σαφώς εντός των ημερινών ορίων της Νομοθεσίας και για νέες εγκαταστάσεις.

Εκπομπές αιθάλης (Bacharach) : Οι εκπομπές είναι εντός των ορίων της Νομοθεσίας χωρίς τη λήψη πρόσθετων μέτρων.

Λιγνιτικοί Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής Νότιας Ελλάδας

Εκπομπές στερεών σωματιδίων : Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της τέφρας δεν παρουσιάζουν τις δυσκολίες που παρουσιάζονται στους Σταθμούς του Βορείου Συστήματος. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αντικατάστασης και βελτιστοποίησης των Η/Φ των μονάδων 1&2&3 του ΑΗΣ Μεγαλόπολεως , το σύνολο των μονάδων της περιοχής είναι σε πολύ καλή κατάσταση.

Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂): Η φυσική αποθείωση στους ΑΗΣ της περιοχής είναι σε περιορισμένα επίπεδα λόγω της μικρότερης αλκαλικότητας της τέφρας των λιγνιτών της περιοχής και της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε θείο.

Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου είναι το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα των Σταθμών της περιοχής. Ήδη βρίσκεται σε λειτουργία η εγκατάσταση αποθείωσης των καυσαερίων στη μονάδα Νο 4 .

Εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NO_x) : Η εφαρμοζόμενη τεχνική της κυκλωνικής καύσεως με ανακυκλοφορία και λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών έχει ως αποτέλεσμα οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου να είναι χαμηλές και σαφώς εντός των ημερινών ορίων της Νομοθεσίας και για νέες εγκαταστάσεις.

Εκπομπές αιθάλης (Bacharach) : Οι εκπομπές είναι εντός των ορίων της Νομοθεσίας χωρίς τη λήψη πρόσθετων μέτρων.

Πετρελαϊκοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής.

Εκπομπές στερεών σωματιδίων : Η χρήση πυρολυτικού μαζούτ αντί του καυσίμου για το οποίο έχει σχεδιασθεί (straight run) , έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων προβλημάτων στην εκμετάλλευση των μονάδων. Τα προβλήματα αυτά, εκτός από την μείωση της διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας των εγκαταστάσεων, δημιουργούν και αύξηση των εκπομπών εξανθρακωμάτων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού καταβάλλεται από ετών μια μεγάλη προσπάθεια , τα αποτελέσματα της οποίας φαίνεται ότι συγκλίνουν στην αντικατάσταση των καυστήρων των μονάδων με καυστήρες ,που λειτουργούν με διασκορπισμό με χρήση ατμού, και τη χρήση βελτιωτικών καύσεως.

Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂): Οι εκπομπές είναι ανάλογες του θείου που περιέχεται στο καύσιμο.

Εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NO_x): Η εφαρμοζόμενη τεχνολογία καύσεως οδηγεί σε εκπομπές που δεν δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα, κατώτερες από την σημερινή υφιστάμενη Νομοθεσία και για νέες εγκαταστάσεις καύσεως.

Εκπομπές αιθάλης (Bacharach): Τα προβλήματα και η αντιμετώπισή τους είναι ανάλογη με την περίπτωση των υπάμενων στερεών.

Αεριοστροβιλικόι Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής

Εκπομπές στερεών σωματιδίων: Οι εκπομπές των σωματιδίων είναι μικρές.

Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂): Οι εκπομπές είναι ανάλογες του θείου που περιέχεται στο καύσιμο, επομένως πολύ μικρές λόγω της χρήσης καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NO_x): Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου εξαρτώνται από την θερμοκρασία καύσεως. Οι παλαιά εγκατεστημένοι αεριοστροβίλοι με τις χαμηλές θερμοκρασίες καθώς και οι νέες τεχνολογίας με τους μοντέρνους καυστήρες και την δυνατότητα ψεκασμού νερού, διατηρούν τις εκπομπές σε λογικά επίπεδα.

Εκπομπές αιθάλης (Bacharach): Μερικές αεριοστροβιλικές εγκαταστάσεις παρουσιάζουν δείκτη αιθάλης μεγαλύτερο του 2-3, εξαιτίας προβλημάτων στους καυστήρες.

Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο Diesel

Εκπομπές στερεών σωματιδίων: Οι εκπομπές των σωματιδίων είναι γενικά μικρές.

Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂): Οι εκπομπές είναι ανάλογες του θείου που περιέχεται στο καύσιμο.

Εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NO_x): Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου έχουν μεγάλο εύρος διακύμανσης ανάλογα με την εγκατάσταση και τον τύπο. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει Νομοθεσία για όρια εκπομπών. η λύση του προβλήματος αντιμετωπίζεται με τις κατάλληλες προδιαγραφές κατά την περίοδο προμήθειας των εγκαταστάσεων.

Εκπομπές αιθάλης (Bacharach): Δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα προβλήματα σε καλά συντηρημένες εγκαταστάσεις.

Καύσιμα και συγκριτικά στοιχεία εκπομπών CO₂

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η διαφορετική συμπεριφορά των καυσίμων στο θέμα των εκπομπών CO₂ παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα συγκριτικά στοιχεία των συντελεστών εκπομπής CO₂ (Μετκάνης, 1997):

Πίνακας 8.1 Συγκριτικά στοιχεία εκπομπών CO₂

Καύσιμο	C, (%)	AΘΔ, MJ/Kg	C, KG/GJ	CO ₂ , KG/GJ
Τύρφη	45-60	17,44- 22,32	28,9	103,8
Λιγνίτες	60 - 75	27,91 - 20,23	27,6	99,2
Λιθάνθρακες	75 - 92	29,30 - 37,21	25,8	92,7
Ανθρακίτης	92 - 95	35,81 - 37,21	26,8	96,3
Φ. Αέριο	60 - 75	42,3 - 52,5	15,3	55,8
Diesel	85,8 - 86,8	40,0 - 43,2	19,9	72,2
Μαζούτ	84,0 - 88,2	41,2 - 42,5	21,1	76,6

Όπου : C(%) ο περιεχόμενος στοιχειακός άνθρακας , C(KG/GJ) οι εκλύομενες ποσότητες στοιχειακού άνθρακα (με τη μορφή CO₂)ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας και CO₂ (KG/GJ) οι εκλύομενες ποσότητες CO₂ ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.

Τα τελευταία έτη παρατηρείται μεγάλο ενδιαφέρον στην ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ιδιαίτερα για το CO₂ .Στο προσεχές μέλλον αναμένονται να τεθούν σε εμπορική λειτουργία νέες ,βελτιωμένες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής οι οποίες θα συντελέσουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Βέβαια , σε ποιο βαθμό θα καταστεί ο στόχος εφικτός, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες , μεταξύ των οποίων και οι παρακάτω(Υbema et al,1997):

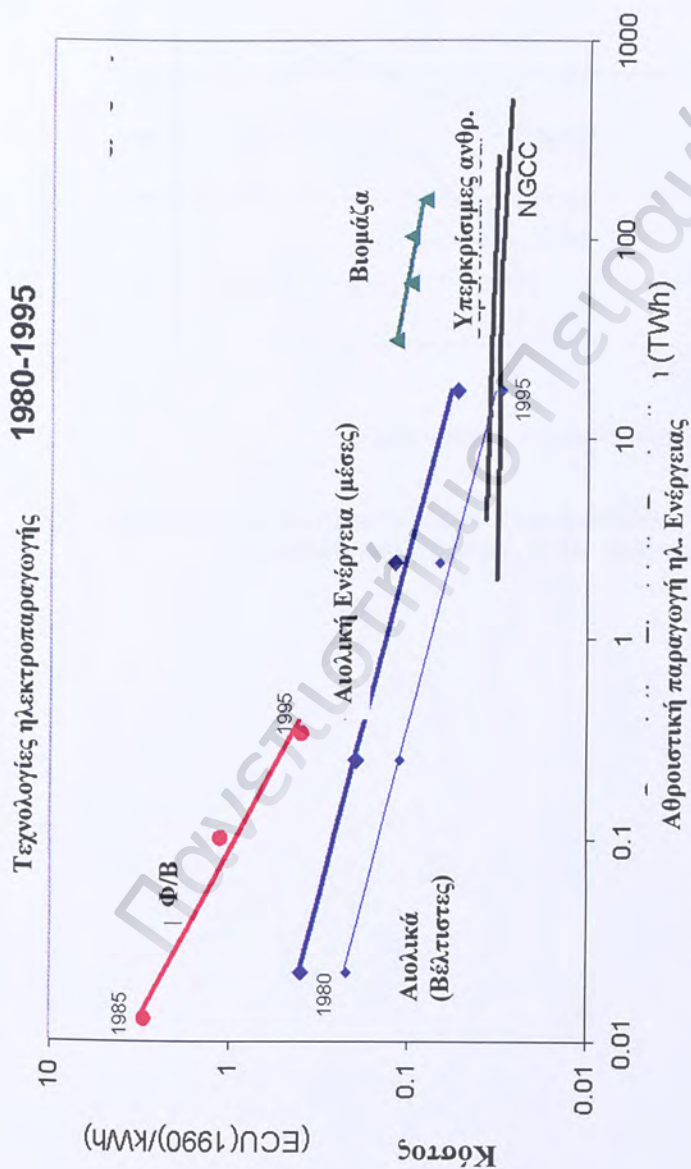
1. Η επιτυχημένη λειτουργία της τεχνολογίας σε συνάρτηση με το κόστος
2. Η δυναμικότητα αγοράς για απορρόφηση των τεχνολογιών σε διάφορες χρονικές στιγμές
3. Η εξέλιξη των τιμών των συμβατικών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου ,φυσικού αερίου).

4. Το επίπεδο της μελλοντικής ζήτησης ενέργειας.
5. Η περιβαλλοντική πολιτική που θα εφαρμοστεί.
6. Το επίπεδο ολοκλήρωσης του Ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος
7. Η υποστήριξη των ενεργειακών τεχνολογιών από τους συμμετέχοντες (actors) στο ενεργειακό σύστημα
8. Τα εμπόδια στην εισαγωγή και στην ανάπτυξη των τεχνολογιών

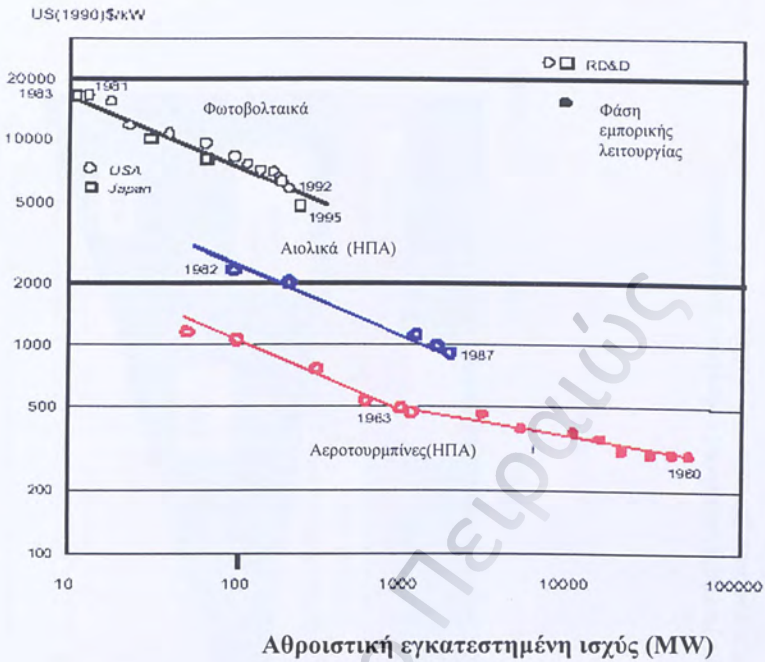
Με την ανάπτυξη της εμπορικής λειτουργίας των τεχνολογιών, και την εμπειρία που αποκτάται, παρατηρείται σημαντική μείωση του κόστους, όπως φαίνεται στα σχήματα 8.2 και 8.3 στα οποία φαίνονται οι επιδράσεις της αθροιστικής παραγωγής ενέργειας για την Ευρωπαϊκή Ένωση (περίοδος 1980-1995, πηγή : International Energy Agency, 2000) και της αθροιστικά εγκατεστημένης ισχύος για τις Η.Π.Α. και την Ιαπωνία (πηγή: Seebregts et al, 1999) αντίστοιχα , στο κόστος ηλεκτροπαραγωγής (μάθηση μέσω της πράξης). Παρατηρούμε ότι μεγάλοι ρυθμοί μάθησης έχουν επιτευχθεί για τα φωτοβολταϊκά συστήματα και για την αιολική ενέργεια. Οι προχωρημένες τεχνολογίες καύσης συμβατικών καυσίμων αντιπροσωπεύουν ουσιαστικές αλλαγές σε συγκεκριμένα εξαρτήματα ή λειτουργίες. Τα νέα εξαρτήματα αναμένεται να αναπτυχθούν με γρήγορους ρυθμούς με την εμπειρία της εμπορικής λειτουργίας αλλά αυτά όμως αντιπροσωπεύουν ένα μέρος μόνο του συνολικού κόστους της τεχνολογίας. Επομένως οι συνολικοί ρυθμοί μάθησης αυτών των τεχνολογιών είναι μικρότεροι από τους αντίστοιχους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στα σχήματα 8.4 και 8.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ενός μοντέλου για δύο διαφορετικά τεχνολογικά μονοπάτια (technology paths) για το παγκόσμιο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής ανάλογα με το αν οι επενδύσεις για ανάπτυξη περιλαμβάνουν (Breakaway path) ή όχι (Baseline path) τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τις κυψέλες καυσίμων (International Energy Agency, 2000). Με επιτόκιο προεξόφλησης 5% το κόστος σε παρούσα αξία και για τις δύο περιπτώσεις είναι το ίδιο. Ωστόσο οι εκπομπές CO₂ , στο δεύτερο σενάριο, το έτος 2045 είναι διπλάσιες σε μέγεθος σε σχέση με τις εκπομπές του έτους 2000 ενώ παραμένουν αμετάβλητες για την πρώτη περίπτωση.

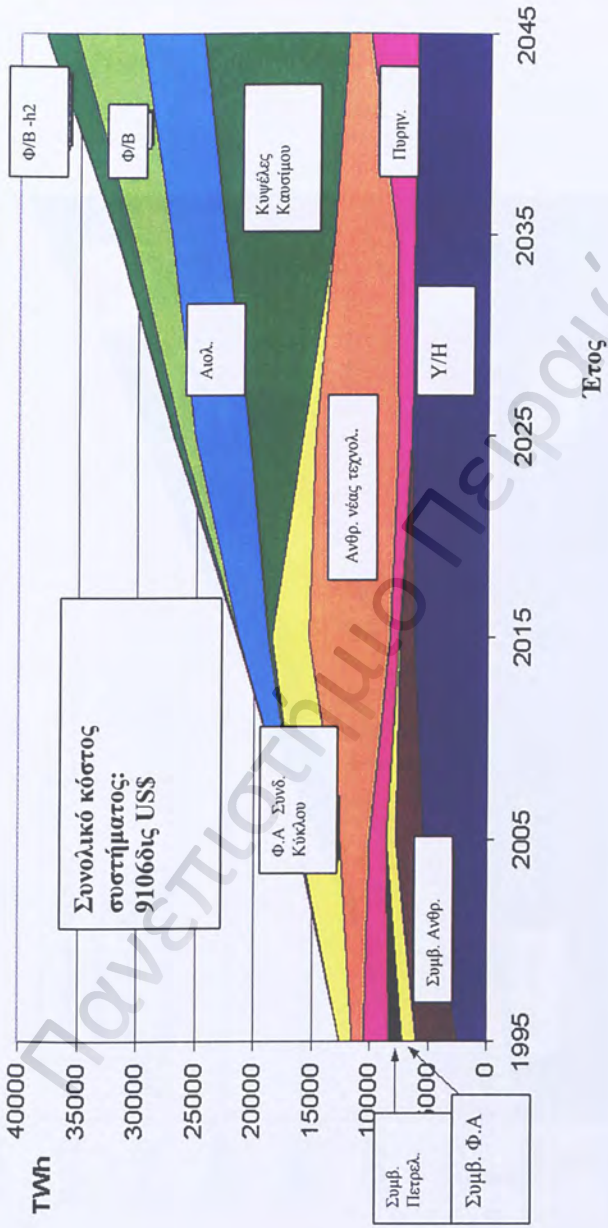
Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε επίσης ότι ο πετρελαϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής κατατάσσεται στην τελευταία θέση της ιεραρχικής ταξινόμησης των εναλλακτικών επιλογών. Η χρήση του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή έχει μειωθεί δραματικά, έπειτα από τις πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του 1970. Έτσι στις χώρες του ΟΟΣΑ το ποσοστό συμμετοχής του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή μειώθηκε από 20% το 1974 σε λιγότερο από 9% το έτος 1994 (International Energy Agency, 1997). Ωστόσο το πετρέλαιο παίζει έναν σημαντικό ρόλο στην ηλεκτροπαραγωγή πολλών χωρών. Οι πετρελαϊκοί σταθμοί χρησιμοποιούνται κυρίως για τις περιπτώσεις αιχμών και ενδιάμεσου φορτίου. Το



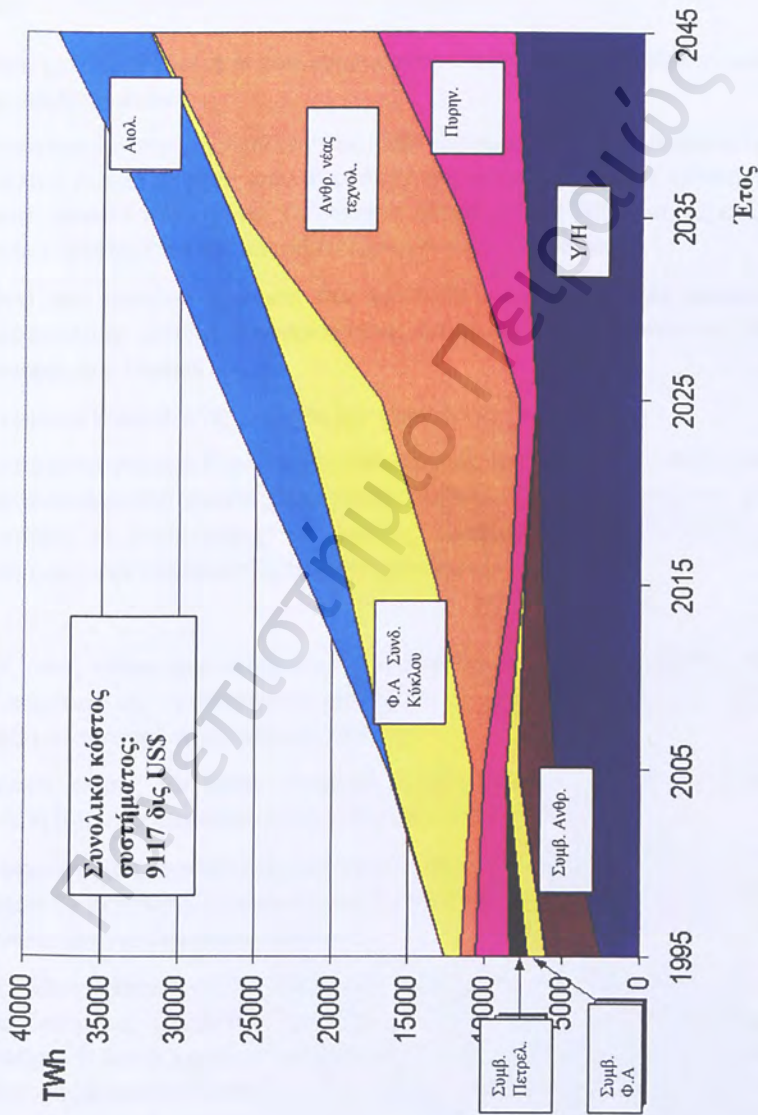
Σχήμα 8.2 Καμτώδες μάθησης τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρωπαϊκή Ένωση



Σχήμα 8.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες «μάθησης» τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στις ΗΠΑ και στην Ιαπωνία.



Σχήμα 8.4 Πρόβλεψη της εξέλιξης της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα και σε κυψέλες καυσίμου (Breakaway path).



Σχήμα 8.5 Πρόβλεψη της εξέλιξης της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα και σε κυψέλες καυσίμου (Baseline).

πετρέλαιο επίσης παρέχει ένα μέτρο της ευελιξίας στην ικανοποίηση απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, όπως φαίνεται στις περιπτώσεις ακραίων φυσικών συνθηκών, μικρής ηλεκτροπαραγωγής από υδροηλεκτρικά, διακοπή τροφοδοσίας άλλων καυσίμων ή σε συστήματα απομονωμένα από το διασυνδεδεμένο σύστημα. Μολονότι το πετρέλαιο στις περιπτώσεις φορτίου βάσεως θα συνεχίσει πιθανώς την πτωτική του πορεία στις περισσότερες χώρες του ΟΟΣΑ, τα βαριά παράγωγά του θα συνεχίσουν να παίζουν σημαντικό ρόλο στις περιπτώσεις αιχμής και ενδιάμεσων φορτίων.

Σε σχέση με τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε παρατίθενται κάποια γενικά σχόλια των εμπειρογνώμων :

- Απαιτείται λεπτομερής μελέτη για κάθε κριτήριο (π.χ. υπολογισμός σταθερού κόστους, εκτίμηση αξίας καλλιεργήσιμης γης ή για τουριστικές χρήσεις κ.λ.π.) η οποία απαιτεί πολύ χρόνο. Τα στοιχεία επομένως της βαθμολογίας εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα και αποτελούν μόνο αρχικές εκτιμήσεις.
- Λόγω του μεγάλου αριθμού των κριτηρίων, οι συντελεστές βαρύτητας δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση, επομένως δεν διακρίνονται εύκολα οι διαφορές των λύσεων.
- Η κλίμακα βαθμολογίας 1-5 ίσως δεν είναι η πιο κατάλληλη.
- Η επανεκτίμηση των βαρών ή της βαθμολογίας των λύσεων δεν πρέπει να γίνεται στα επαναληπτικά στάδια της τεχνικής Delphi. Ο εμπειρογνώμονας μπορεί να οδηγηθεί σε αναθεώρηση της αρχικής άποψής του επηρεαζόμενος από τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων εμπειρογνώμωνων.

Βέβαια, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 6, η κοινοποίηση υπό μορφή μέσων τιμών των αποτελεσμάτων της προηγούμενης φάσης στην τεχνική Delphi, δεν φαίνεται να επηρεάζει ουσιαστικά τους εμπειρογνώμονες.

Θα πρέπει επίσης να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση, όσον αφορά τη μεθοδολογία PROMETHEE, στα παρακάτω (DeKeyser and Peeters 1996) :

- Η σχετική θέση σε μια ιεραρχική ταξινόμηση μεταξύ δύο εναλλακτικών επιλογών μπορεί να μεταβληθεί προσθέτοντας ή αφαιρώντας εναλλακτικές επιλογές από το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων
- Τα βάρη, όπως αυτά ορίζονται στις μεθόδους δηλώνουν τη διαφορά σπουδαιότητας (trade-offs) μεταξύ των κριτηρίων. Αν υποθέσουμε ότι τα κριτήρια f_i και f_j έχουν αντίστοιχα συντελεστές βαρύτητας λ_i και λ_j αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι ο λήπτης της απόφασης είναι προετοιμασμένος να ανταλλάξει την μείωση κατά Δi στην τιμή της συνάρτησης προτίμησης του κριτηρίου f_i με την αύξηση κατά $(\Delta i \cdot \lambda_i) / \lambda_j$ της συνάρτησης προτίμησης του κριτηρίου f_j . Ο λήπτης της απόφασης πρέπει να συμφωνεί με το μοντέλο αυτό της δομής προτίμησης.

Επίσης , διαφορετικές μεθοδολογίες εφαρμοζόμενες στο ίδιο πρόβλημα μπορεί να δώσουν διαφορετικές βέλτιστες λύσεις [T.Al-Shemmeri et al, 1997]

Τέλος ,στο νέο ανταγωνιστικό περιβάλλον της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας , μπορεί να εφαρμοσθεί η θεωρία παιγνίων όσον αφορά (α) την ποσότητα και (β) τις τιμές , με τα δύο αντίστοιχα υποδείγματα Cournot και Bertrand (Staropoli, 1998). Από την πλευρά της ζήτησης πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα το επίπεδο αβεβαιότητας, το επίπεδο ελαστικότητας των τιμών και η χρονική μεταβλητότητα της ζήτησης. Από την άποψη της παραγωγής σημαντικό ρόλο παίζουν το είδος του ανταγωνισμού, οι ανταγωνιστές και οι υποθέσεις για τον τρόπο καθορισμού του κόστους. Η διαδικασία καθορισμού των τιμών εξαρτάται από τη δομή και τους κανόνες της αγοράς. Οι υπεραπλουστεύσεις όμως με τη χρήση των μοντέλων αυτών , μπορεί να οδηγήσουν σε λάθη όσον αφορά την στρατηγική συμπεριφορά , καθώς η πραγματικότητα είναι πολύπλοκη , ιδιαίτερα στις αγορές ηλεκτρισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Τίποτα δεν μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωμένο αν απομένει να γίνει έστω και το ελάχιστο.

C. F. Gauss.

Από την ερευνητική εργασία και την ανάλυση που παρουσιάστηκε προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα :

1. Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος ηλεκτροπαραγωγής ή κατά τη μελέτη της επέκτασής του υπεισέρχονται πολλοί αβέβαιοι παράγοντες, οι οποίοι καθιστούν το πρόβλημα επιλογής σταθμού ηλεκτροπαραγωγής στοχαστικό. Ιδιαίτερα η πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα δύσκολο και πολυσύνθετο πρόβλημα, η λύση του οποίου επηρεάζει άμεσα τη λήψη των αποφάσεων για τον προγραμματισμό των μελλοντικών επενδύσεων σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.
2. Η φυσική διαθεσιμότητα των καυσίμων δεν φαίνεται να επιβάλλει περιορισμούς έως το έτος 2020, όμως το τεχνολογικό μίγμα υφίσταται την ισχυρή επίδραση των περιβαλλοντικών, τεχνολογικών και γεωπολιτικών αβεβαιοτήτων.
3. Η πολυκριτηριακή ανάλυση συνιστά μια ενδιαφέρουσα μεθοδολογία λήψης αποφάσεων με πολλά κριτήρια και υπό συνθήκες αβεβαιότητας, η οποία λαμβάνει υπόψη τις πολλές παραμέτρους που υπεισέρχονται και προσφέρεται για διεπιστημονική προσέγγιση των αντίστοιχων προβλημάτων. Η πρωτότυπη τεχνική Delphi, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, συντελεί στο συμβιβασμό πολλών απόψεων εμπειρογνομόνων, για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης και την αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων οι οποίες είναι συνυφασμένες με το στοχαστικό χαρακτήρα του προβλήματος.
4. Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας PROMETHEE (η οποία ανήκει στις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης ιεράρχησης των λύσεων), σε τέσσερις εναλλακτικές επιλογές σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (λιγνιτικού, φυσικού αερίου, ανθρακικού και πετρελαϊκού), με τη συμμετοχή εννέα εμπειρογνομόνων και με κριτήρια αξιολόγησης που καλύπτουν σφαιρικά το θέμα, προέκυψε η παρακάτω απόλυτη ιεραρχική κατάταξη των επιλογών (PROMETHEE II) :

λιγνιτικός σταθμός > σταθμός φυσικού αερίου > ανθρακικός σταθμός > πετρελαϊκός σταθμός.

Η εφαρμογή όμως της πιο ευαίσθητης μεθοδολογίας PROMETHEE I έδειξε ασυμβατότητες, κυρίως μεταξύ των δύο πρώτων λύσεων, σε αρκετές περιπτώσεις εμπειρογνομόνων.

5. Από την μονοπαραμετρική και διπαραμετρική ανάλυση ευαισθησίας που εκτελέστηκε προκύπτει ότι τα αποτελέσματα της απόλυτης ιεραρχικής κατάταξης των λύσεων παρουσιάζουν ευαισθησία, κυρίως ως προς την αξιολόγηση των δύο πρώτων επιλογών (λιγνιτικός και σταθμός φυσικού αερίου) με τα κριτήρια της σταθερότητας του εγχώριου δικτύου και του μεταβλητού κόστους, στα οποία αποδόθηκαν μεγάλοι συντελεστές βαρύτητας και οι δύο επιλογές παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές μέγιστης και ελάχιστης βαθμολογίας. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις την τελευταία θέση στην ταξινόμηση έχει ο πετρελαϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής.
6. Ιδιαίτερο βάρος δόθηκε στην μεθοδολογία, δεδομένου ότι τα στοιχεία είναι ενδεικτικά. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται άμεσα από τις θέσεις εγκατάστασης των εναλλακτικών επιλογών, από τους υπευθύνους για τη λήψη της απόφασης και από την πλευρά που βρίσκονται (π.χ αν ανήκουν σε δημόσιο ή σε ιδιωτικό φορέα), από τα κριτήρια που τίθενται ή από τον αριθμό των εναλλακτικών επιλογών.

Η έρευνα μπορεί να επεκταθεί στα ακόλουθα πεδία:

- Εφαρμογή άλλων μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης και σύγκριση των αποτελεσμάτων.
- Διερεύνηση του προβλήματος ανταγωνισμού μεταξύ των καυσίμων στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας με τη θεωρία παιγνίων (Game Theory).
- Γενίκευση της στοχαστικής επίλυσης του προβλήματος με εφαρμογή της θεωρίας ασαφών συνόλων (Fuzzy Sets Theory).

Εισαγωγή προς τους εργαζομένους της 1^{ης} τάξης της τεχνικής Delphi

Προς τον
Σ. Καλαμωτιάδη

... Σας γράφω διότι ο κ. Κωνσταντίνος Κωνσταντίνου, ο οποίος έχει επίσημα διατελέσει Διευθυντής Διεύθυνσης, της Διεύθυνσης της Τεχνικής Delphi, από το 1969 μέχρι το 1981, και ο οποίος με τη βοήθειά του και την καθοδήγηση του, η Διεύθυνση της Τεχνικής Delphi, με τη βοήθειά της, έχει καταφέρει να πραγματοποιήσει σημαντικές επιτυχίες, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας της με τον κ. Κωνσταντίνου Κωνσταντίνου, ο οποίος είναι ο πατέρας της Τεχνικής Delphi.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ DELPHI

... Η Τεχνική Delphi, η οποία είναι η μεγαλύτερη εταιρεία στην Ελλάδα, με την βοήθειά της, η Διεύθυνση της Τεχνικής Delphi, έχει καταφέρει να πραγματοποιήσει σημαντικές επιτυχίες, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας της με τον κ. Κωνσταντίνου Κωνσταντίνου, ο οποίος είναι ο πατέρας της Τεχνικής Delphi.

... Η Τεχνική Delphi, η οποία είναι η μεγαλύτερη εταιρεία στην Ελλάδα, με την βοήθειά της, η Διεύθυνση της Τεχνικής Delphi, έχει καταφέρει να πραγματοποιήσει σημαντικές επιτυχίες, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας της με τον κ. Κωνσταντίνου Κωνσταντίνου, ο οποίος είναι ο πατέρας της Τεχνικής Delphi.

... Η Τεχνική Delphi, η οποία είναι η μεγαλύτερη εταιρεία στην Ελλάδα, με την βοήθειά της, η Διεύθυνση της Τεχνικής Delphi, έχει καταφέρει να πραγματοποιήσει σημαντικές επιτυχίες, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας της με τον κ. Κωνσταντίνου Κωνσταντίνου, ο οποίος είναι ο πατέρας της Τεχνικής Delphi.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Επιστολή προς τους εμπειρογνώμονες στο 1^ο στάδιο της τεχνικής Delphi

Προς τον
κ. Εμπειρογνώμονα *k*

Σας γνωρίζω ότι ο κ. Χρήστος Ρούμπος, μεταπτυχιακός φοιτητής στην ειδικευση Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, που διεξάγεται με τη συνεργασία των τμημάτων Τεχνολογίας και Συστημάτων Παραγωγής του Πανεπιστημίου Πειραιώς και Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, εκπονεί τη διπλωματική εργασία του με θέμα «Στοχαστική Επιλογή Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με πολλά κριτήρια και σε συνθήκες αβεβαιότητας». Στην ακολουθούμενη μεθοδολογία χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων, μια τεχνική Delphi τριών σταδίων. Για την υλοποίηση της τεχνικής αυτής είναι απαραίτητη η συνεργασία *q* εμπειρογνομώνων (experts) με σφαιρική άποψη και εμπειρία σε ενεργειακά θέματα.

Κατά το πρώτο στάδιο, κάθε εμπειρογνώμονας *k* ($k=1, 2, \dots, q$) προσδιορίζει, σύμφωνα με την προσωπική εκτίμησή του, τις τιμές των στοιχείων f_{ik} του διανύσματος F των βαρών των κριτηρίων που έχουν προεπιλεγεί ($i=1, 2, 3, \dots, n$, ο αριθμός των κριτηρίων). Κατά το δεύτερο στάδιο, κάθε εμπειρογνώμονας προσδιορίζει, σύμφωνα με την προσωπική εκτίμησή του τις τιμές των στοιχείων a_{ijk} του πίνακα (μήτρας) A της πολυκριτηριακής επιλογής ($j=1, 2, 3, \dots, m$, ο αριθμός των εναλλακτικών λύσεων, δηλ. των τυπικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εξετάζονται) με δεδομένες τις τιμές f_i ενώ παράλληλα επαναπροσδιορίζει (αν επιθυμεί) τις τιμές των στοιχείων f_{ik} , με σκοπό τη σύγκλιση σε επίπεδο διανύσματος βαρών. Κατά το τρίτο στάδιο, επαναπροσδιορίζει (αν επιθυμεί) τις τιμές των στοιχείων a_{ijk} , με δεδομένες τις διορθωμένες τιμές f_i , με σκοπό τη σύγκλιση σε επίπεδο πολυκριτηριακού πίνακα. Παράλληλα, ο εμπειρογνώμονας έχει τη δυνατότητα να διατυπώσει γνώμη, υπό μορφή παρατήρησης, για τα ίδια τα δεδομένα που τίθενται *a priori* σε κάθε στάδιο. Η γνώμη του αυτή θα παρατεθεί ανώνυμα στο Κεφάλαιο της Συζήτησης (Discussion Section).

Εκτιμώντας ότι οι γνώσεις σας στα θέματα που πραγματεύεται η συγκεκριμένη έρευνα σας καθιστούν ιδανικό εμπειρογνώμονα, σας παρακαλώ να συμμετάσχετε στη διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου Delphi με την πεποίθηση ότι συνεισφέρετε σε ένα πρωτότυπο επιστημονικό έργο, προσανατολισμένο στην ελληνική πραγματικότητα.

Ευχαριστώ θερμά για τη συμμετοχή σας και ευελπιστώ / προσβλέπω σε μια συνέχεια της συνεργασίας μας.

Με εξαιρετική εκτίμηση

Φραγκίσκος Μπατζιάς
Δρ Μηχανικός – Οικονομολόγος
Αναληρωτής Καθηγητής

Την 1.1. 2000 το διασυνδεδεμένο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα απαρτίζεται από 21 λιγνιτικές μονάδες (5.129 MW), 6 πετρελαϊκές μονάδες (830 M W), 5 μονάδες φυσικού αερίου (537 MW) και 51 μονάδες υδροηλεκτρικών σταθμών (22 ΥΗΣ, 3.092 MW).

Ήδη έχουν προγραμματιστεί και βρίσκονται υπό κατασκευή μία μονάδα συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου στην Κομοτηνή ισχύος 492,3 M W η οποία θα ενταχθεί εντός του 2001 και μία λιγνιτική μονάδα στη Φλώρινα εγκατεστημένης ισχύος 330 M W η οποία αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί περί τα τέλη του 2002. Παράλληλα, βρίσκονται υπό κατασκευή και θα ενταχθούν έως το 2003 δέκα μονάδες ΥΗΣ συνολικής ισχύος 216,6 MW. Η εκτιμώμενη ισχύς των υποψηφίων νέων μονάδων μικρών ΥΗΣ είναι 50 MW περίπου, ενώ των μεγάλων ΥΗΣ είναι περίπου 1800 MW.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια το έτος 1999 ήταν 44777 GWh.

Για τα επόμενα έτη, σύμφωνα με τις γενικότερες προβλέψεις αναμένεται αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με ετήσιο ρυθμό της τάξεως των 2,8 έως 3,5% έως το 2010 και με μειούμενο ρυθμό στη συνέχεια.

Η πρόβλεψη όμως της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας συναρτάται άμεσα με το ρυθμό οικονομικής ανάπτυξης της χώρας και με τις επιλογές των καταναλωτών. Μεσοπρόθεσμα, η εξέλιξη της ζήτησης αναμένεται να επηρεαστεί από το ρυθμό αύξησης των φορτίου κλιματισμού, από το βαθμό υποκατάστασης ηλεκτρικού φορτίου που αναμένεται με την διείσδυση του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας και από τα μέτρα εξοικονόμησης της ενέργειας.

Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος θα επηρεαστεί επιπλέον και από τους παρακάτω παράγοντες

- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί
- Εξέλιξη των τεχνολογιών που μπορούν αν χρησιμοποιηθούν για την παράταση της ζωής των παλαιών μονάδων, τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης και της αξιοπιστίας τους και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Ανάπτυξη των μονάδων συμπαραγωγής θερμότητας – ηλεκτρισμού.
- Ανάπτυξη των διεθνών διασυνδέσεων και διαφαινόμενες δυνατότητες για ανταλλαγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ της Ελλάδας και των γειτονικών χωρών.

Παράλληλα, η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τον Φεβρουάριο του 2001 και η ανάπτυξη ανταγωνισμού αναμένεται να επηρεάσουν τη βιομηχανία ηλεκτροπαραγωγής.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο ενεργειακός σχεδιασμός απαιτεί διαδικασίες λήψης αποφάσεων υπό αβεβαιότητα. Τα κριτήρια επιλογής μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων θα εξαρτηθούν και από τη θέση του αποφασίζοντα στην απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνήθως τίθενται διάφοροι στόχοι (όπως π.χ. ελαχιστοποίηση κόστους, ικανοποίηση περιβαλλοντικών περιορισμών), πολλές φορές αντικρουόμενοι.

Ένα χρήσιμο εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων στη χάραξη της ενεργειακής πολιτικής μπορεί να αποτελέσει η τεχνική της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Για την παρουσίαση της μεθοδολογίας και την εφαρμογή της στο συγκεκριμένο πεδίο, επιλέχθηκαν οι παρακάτω ενδεικτικές εναλλακτικές λύσεις κατασκευής ηλεκτρικών σταθμών, οι οποίες θα αξιολογηθούν με κριτήρια που έχουν καταρχήν επιλεγεί και περιγράφονται στη συνέχεια..

Οι ενδεικτικές εναλλακτικές λύσεις που, για λόγους σύγκρισης, πρέπει να αναφέρονται την ίδια δυναμικότητα, είναι οι εξής:

- α₁. Λιγνιτικός σταθμός, 2 X 300 MW, στην περιοχή της Δράμας**
- α₂. Σταθμός φυσικού αερίου, 1 X 600 MW, στην περιοχή της Λαμίας**
- α₃. Ανθρακικός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι**
- α₄. Πετρελαϊκός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι**

Στην υποθετική περίπτωση κατά την οποία η απόφαση επιλογής λαμβάνεται το επόμενο έτος, το έτος κατασκευής εντοπίζεται στο διάστημα 2008-2011.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή θεωρούμε ότι η αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων θα γίνει με την προοπτική ότι ο αποφασίζων ακολουθεί την γενική γραμμή της πολιτικής μιας δημόσιας υπηρεσίας ή ενός φορέα που ακολουθεί με τη σειρά του τη γενικότερη ενεργειακή πολιτική του κράτους.

Τονίζεται ότι το βάρος της εργασίας δίνεται στη μεθοδολογία, υπό την έννοια ότι τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι ενδεικτικά. Η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα προβλήματα, όχι μόνο στον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα, αλλά σε ευρεία κλίμακα, όταν στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων υπεισέρχονται πολλές παράμετροι.

Η μεθοδολογία εφαρμόζεται μόνο σε εναλλακτικές λύσεις. Για τον λόγο αυτόν δεν εξετάζονται συνδυασμοί μεταξύ των παραπάνω λύσεων ή συνδυασμοί των λύσεων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τα κριτήρια αξιολόγησης που επελέγησαν καταρχήν είναι τα παρακάτω :

f₁. Σταθερό κόστος

Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στο κόστος επένδυσης καθώς επίσης και στο σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Επίσης περιλαμβάνεται η επιβάρυνση λόγω της καταβολής μέρους του κεφαλαίου σε συνάλλαγμα.

f₂. Μεταβλητό κόστος

Το μεταβλητό κόστος περιλαμβάνει βασικά το μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης και το κόστος καυσίμου. Επίσης περιλαμβάνονται οι εκάστοτε επιβαρύνσεις λόγω πληρωμών σε συνάλλαγμα (ιδιαίτερα στην περίπτωση κατά την οποία η πρώτη ύλη είναι εισαγόμενη).

f₃. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Το κριτήριο αναφέρεται στις επιπτώσεις από τη λειτουργία του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής του σταθμού. Περιλαμβάνονται οι επιπτώσεις από τις κάθε είδους εκπομπές καθώς και από την αποθήκευση ή τη διάθεση των αποβλήτων. Στις επιπτώσεις αυτές θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η ενδεχόμενη επιβάρυνση λόγω ατυχήματος, οφειλόμενου σε ανθρώπινο παράγοντα ή σε φυσικό φαινόμενο.

Οι αστοχίες που προκαλούν ατυχήματα σε τέτοια πολύπλοκα τεχνολογικά συστήματα χαρακτηρίζονται από στοχαστικότητα στην εμφάνισή τους. Για τη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων χρησιμοποιείται συχνά η έννοια της επικινδυνότητας, η οποία ορίζεται ως το γινόμενο της (πιθανότητας να συμβεί το ατύχημα) επί (τις εκτιμώμενες ανεπιθύμητες συνέπειες, όταν τελικά αυτό συμβαίνει). Στις περιπτώσεις που τα διαθέσιμα στοιχεία δεν είναι επαρκή για την εκτίμηση της παραπάνω πιθανότητας, λαμβάνεται υπόψη το υποκειμενικό μέτρο εμπιστοσύνης του αναλυτή (υποκειμενική πιθανότητα).

f₄. Απώλειες καλλιεργήσιμης ή άλλων χρήσεων γης

Απώλειες καλλιεργήσιμης γης συμβαίνουν στην περίπτωση εξόρυξης του καυσίμου πλησίον του σταθμού, αλλά και κατά την απαγόρευση / αποφυγή καλλιεργειών σε ορισμένη απόσταση από τους σταθμούς, για λόγους ασφάλειας. Στις περιπτώσεις αυτές, θίγονται περισσότερο οι περιοχές με εκτεταμένες αγροτικές καλλιέργειες.

f₅. Συμβολή στη μεταφορά τεχνολογίας και στην τοπική ανάπτυξη

Η μεταφορά τεχνολογίας, σε εθνικό επίπεδο, συντελείται σε μεγάλο βαθμό με την επιλογή σταθμού για τον οποίο δεν υπάρχει προηγούμενη εμπειρία λειτουργίας στον ελληνικό χώρο ή, σε μικρότερο βαθμό, με νέες τεχνολογίες καύσης οι οποίες θα

μπορούσαν να εφαρμοσθούν και για την αναβάθμιση των υφιστάμενων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Παράλληλα, η μεταφορά τεχνολογίας σε περιφερειακό επίπεδο και η συμβολή στην τοπική ανάπτυξη σχετίζονται με το επίπεδο τεχνολογικής / βιομηχανικής και κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης της περιφέρειας στην οποία θα εγκατασταθεί ο σταθμός, συγκρινόμενο με το αντίστοιχο επίπεδο των περιφερειών των υπόλοιπων εναλλακτικών λύσεων, καθώς επίσης και με το είδος του σταθμού (κάποιοι σταθμοί συμβάλλουν περισσότερο, σε σχέση με τους υπόλοιπους, στη δημιουργία θέσεων απασχόλησης και κατά συνέπεια στην περιφερειακή ανάπτυξη).

f 6. Σταθερότητα εγχώριου δικτύου

Το κριτήριο αυτό έχει δύο διαστάσεις : (α) τη χωρική και (β) τη χρονική. Αναφερόμενοι στην χωρική διάσταση, ανάλογα με την θέση του σταθμού υπάρχει μεγαλύτερη ή μικρότερη συμβολή στην εξισορρόπηση του δικτύου, όσον αφορά την κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις θέσεις παραγωγής και τις θέσεις κατανάλωσής της. Η χρονική διάσταση αναφέρεται στη σταθερότητα του δικτύου κατά την διάρκεια του χρόνου, στις απώλειες φορτίου και στην ασφάλεια κάλυψης των απαιτήσεων αιχμής.

f 7. Σταθερότητα Διαβαλκανικού Δικτύου

Στο νέο περιβάλλον απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αναμένεται σημαντική αύξηση των εμπορικών ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών συστημάτων, ιδιαίτερα των γειτονικών βαλκανικών χωρών. Με την προοπτική αυτή, ορισμένες θέσεις κατασκευής σταθμών παρουσιάζουν ιδιαίτερη γεωπολιτική σπουδαιότητα, η οποία καθίσταται περισσότερο σημαντική μετά την αναμενόμενη κατάργηση του πυρηνικού σταθμού ΚΟΖΛΟΝΤΟΥΙ στη Βουλγαρία

f 8. Κοινωνική αποδοχή

Για την ομαλή κατασκευή και λειτουργία του έργου, είναι απαραίτητη η αποδοχή της τοπικής κοινωνίας. Διαφορετικά παρατηρούνται αντιδράσεις των κατοίκων, της τοπικής αυτοδιοίκησης ή και περιβαλλοντικών οργανώσεων, με πολλαπλά προβλήματα, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν ακόμη και στη ματαίωση του έργου.

f 9. Ενεργειακή ανεξαρτησία

Η ενεργειακή ανεξαρτησία που προσδίδει στο σύστημα ένα σταθμός, σχετίζεται με τη μακροπρόθεσμη στρατηγική που θα ακολουθηθεί. Συναρτάται άμεσα με την αξιοποίηση εγχώριου πόρου (χωρίς να παραβλέπεται το κόστος εξαντλησιμότητας του πόρου αυτού), με την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής εξάρτησης από χώρες του εξωτερικού και με την ασφάλεια εφοδιασμού. Το κριτήριο αυτό μπορεί να αναφέρεται και στην περίπτωση πολλαπλότητας πηγών οι οποίες προσδίδουν σχετική ανεξαρτησία στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής. Ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός έχει σχέση και με συμφωνημένες δεσμεύσεις για απορρόφηση ορισμένης ποσότητας καυσίμου π.χ. φυσικού αερίου.

f 10. Δυνατότητα χρηματοδοτικών διευκολύνσεων

Η δυνατότητα χρηματοδοτικών διευκολύνσεων έχει αποφασιστική σημασία στην κατασκευή του σταθμού που είναι έργο εντάσεως κεφαλαίου. Το κόστος επένδυσης για τέτοιου είδους έργα είναι πολύ μεγάλο και δεν αναλαμβάνεται συνήθως από μία εταιρεία χωρίς χρηματοδοτικές διευκολύνσεις ή χωρίς τη συμμετοχή άλλων φορέων.

Το κριτήριο αυτό εμπεριέχει και την εκτίμηση για τη γενικότερη εξέλιξη και τη συμβατότητα της αντίστοιχης τεχνολογίας με τους γενικότερους αναπτυξιακούς στόχους και τις προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για τις τεχνολογίες που ανταποκρίνονται στα παραπάνω, συνήθως παρατηρείται ευνοϊκότερη μεταχείριση, θεσμική και χρηματοδοτική υποστήριξη.

f 11: Διαθεσιμότητα προσωπικού και υπάρχουσα εμπειρία

Η επιτυχής περάτωση του έργου κατασκευής ενός σταθμού, η οποία σχετίζεται με το χρόνο εκτέλεσης του έργου, την ποιότητα κατασκευής και το κόστος, καθώς και η αποδοτική λειτουργία του, επηρεάζονται σαφώς από τη διαθεσιμότητα κατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού και από την υπάρχουσα εμπειρία κατασκευής και λειτουργίας αντίστοιχου τύπου σταθμών στον ελληνικό χώρο.

Για τον προσδιορισμό από κάθε εμπειρογνώμονα k των τιμών των στοιχείων f_{ik} του διανύσματος F των βαρών των 11 κριτηρίων f_1, f_2, \dots, f_{11} , ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία τεσσάρων βημάτων.

1. Το βαρύτερο κριτήριο, δηλ. αυτό που επηρεάζει περισσότερο από όλα τα άλλα τη λήψη της απόφασης επιλογής, τοποθετείται πρώτο σε μια σειρά ταξινόμησης. Στην ίδια θέση τοποθετείται και οποιοδήποτε άλλο κριτήριο εκτιμάται ότι έχει την ίδια βαρύτητα.
2. Το ελαφρότερο κριτήριο, δηλ. αυτό που επηρεάζει λιγότερο από όλα τα άλλα τη λήψη της απόφασης επιλογής, τοποθετείται τελευταίο στην ίδια σειρά ταξινόμησης. Στην ίδια θέση τοποθετείται και οποιοδήποτε άλλο κριτήριο εκτιμάται ότι έχει την ίδια βαρύτητα.
3. Τα υπόλοιπα κριτήρια τοποθετούνται, κατά σειρά φθίνουσας βαρύτητας, μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, όταν δύο κριτήρια τοποθετούνται στην ίδια θέση, σημειώνονται σε παρένθεση.
4. Όπως έχουν γραφεί τα κριτήρια, απεικονίζουν μια σειρά ταξινόμησης με $b=11-(c-p)$ θέσεις, όπου c ο αριθμός όλων των κριτηρίων που είναι σε παρένθεση και p ο αριθμός των παρενθέσεων. Οι αποστάσεις μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων θεωρούνται ίσες μεταξύ τους. Για την απεικόνιση ενδεχόμενης ανισότητας αποστάσεων μεταξύ διαδοχικών θέσεων παρεμβάλλονται κενά, συμβολιζόμενα με (-), δηλ. παύλα, ως εξής.
 - 4.1. Επιλέγεται εκείνο το ζεύγος των διαδοχικών θέσεων που έχει τη μικρότερη διαφορά. Η διαφορά αυτή λαμβάνεται από τον εμπειρογνώμονα ως μέτρο ισοδύναμο κατά προσέγγιση με μια παύλα, η οποία δεν σημειώνεται στο συγκεκριμένο ζεύγος αφού εμφανίζεται το ισοδύναμο, δηλ. η διαφορά θέσης.
 - 4.2. Εξετάζονται όλα τα διαδοχικά ζεύγη θέσεων και τίθενται οι παύλες, στις περιπτώσεις που απαιτείται. Π.χ. αν η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων είναι τριπλάσια της στοιχειώδους ελάχιστης διαφοράς (ισοδύναμης με μια παύλα) όπως αυτή προσδιορίστηκε στο προηγούμενο στάδιο 4.1., τότε τίθενται 2 παύλες αφού η διαφορά θέσης από μόνη της ισοδυναμεί με μια παύλα.
 - 4.3. Μετράται ο αριθμός όλων των παυλών και αν είναι μικρότερος του 6 τότε επανεξετάζονται όλα τα κριτήρια που είναι σε παρένθεση και επιλέγεται εκείνο που έχει τη μεγαλύτερη διαφορά βάρους σε σχέση με τη μέση τιμή των λοιπών κριτηρίων που ευρίσκονται στην ίδια παρένθεση, προκειμένου να σχηματίσει ένα περισσότερο ευαίσθητο μέτρο σύγκρισης. Αυτό σημαίνει ότι ο εμπειρογνώμονας πρέπει να αυξήσει τη διακριτική ικανότητα των εκτιμήσεών του. Αν αυτό είναι εφικτό, τότε το επιλεγόμενο κριτήριο εξάγεται από την παρένθεση, οπότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία του βήματος 4. Αν αυτό δεν είναι εφικτό ή αν δεν υπάρχουν παρενθέσεις τότε η διαδικασία έχει περατωθεί.

Παράδειγμα

Βήμα 1: f_2

Βήμα 2: f_5

Βήμα 3: $f_2, f_1, f_3, f_9, f_6, f_{10}, (f_4, f_{11}), f_8, f_7, f_5$

Βήμα 4	Επαναληπτικό Βήμα 4
f_2	f_2
f_1	-
-	f_1
f_3	-
f_9	-
f_6	f_3
f_{10}	-
-	f_9
f_4, f_{11}	-
f_8	f_6
f_7	f_{10}
f_5	-
	-
	f_{11}
	f_4
	-
	f_8
	-
	f_7
	-
	f_5

Ο παρακάτω κενός χώρος διατίθεται για παρατηρήσεις / σχόλια από τον εμπειρογνώμονα, αν κρίνεται αναγκαίο (π.χ. απάλειψη ή αποσύνθεση σε απλούστερα μέρη υπάρχοντος κριτηρίου, προσθήκη νέου κριτηρίου), με επαρκή αιτιολόγηση.

Σημειώνεται ότι τα κριτήρια πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους (όσο αυτό είναι δυνατό) και να σχηματίζουν ένα εξαντλητικό σύνολο, δηλ. να μην αφήνουν κάποιο κριτήριο χωρίς να το περιλάβουν άμεσα ή έμμεσα στα εξεταζόμενα. Από την άλλη πλευρά, η προσθήκη πολλών κριτηρίων συνεπάγεται διασπορά / τεμαχισμό της πληροφορίας, με αποτέλεσμα το βάρος που αντιστοιχεί σε τέτοια κριτήρια να είναι μικρότερο μιας κρίσιμης τιμής, π.χ. 1,5%, και επομένως να μη λαμβάνονται υπόψη τα κριτήρια αυτά. Η κατ' αυτόν τον τρόπο απάλειψη των μικρής βαρύτητας κριτηρίων οδηγεί σε υπερεκτίμηση αυτών που απομένουν. Αν ο εμπειρογνώμονας λάβει αυτό υπόψη και δώσει την ελάχιστη απαιτούμενη βαρύτητα στα πολλά ασθενή κριτήρια, προκειμένου να περιληφθούν και αυτά στην πολυκριτηριακή μήτρα, τότε υπάρχει περίπτωση υποεκτίμησης των βαρύτερων κριτηρίων, όπως είναι το σταθερό και το μεταβλητό κόστος.

Διευκρινίζεται ότι (α) η παράληψη εναλλακτικής λύσης (δηλ. τύπου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) δεν συνεπάγεται λάθος εφαρμογής της πολυκριτηριακής μεθόδου αλλά προφανώς οδηγεί σε ελλειμματική αντιμετώπιση του προβλήματος, (β) κάθε προτεινόμενη εναλλακτική λύση αναφέρεται στη βέλτιστη λύση της κατηγορίας της (γ) δεν έχουν ληφθεί υπόψη στη διαμόρφωση κάθε προτεινόμενης τυπικής εναλλακτικής λύσης οι τεχνολογικές μεταβολές ή οι καινοτομικές λύσεις που δεν έχουν έναν ελάχιστο αριθμό ετών εμπορικής εφαρμογής.

Επιστολή προς τους εμπειρογνώμονες στο 2^ο στάδιο της τεχνικής Delphi

Προς τον
Εμπειρογνώμονα κ

Ευχαριστούμε θερμά για τη συμμετοχή σας στην πρώτη εκτίμηση των στοιχείων του διανύσματος των βαρών των κριτηρίων. Στις στήλες K1 και Km του παρακάτω πίνακα 1 φαίνονται τα βάρη που έχετε θέσει σε κάθε κριτήριο και η αντίστοιχη μέση τιμή των βαρών σύμφωνα με την άποψη όλων των εμπειρογνομώνων, περιλαμβανομένης και της δικής σας.

Θα επιθυμούσαμε να γνωρίζουμε αν υπάρχει κάποια επανεκτίμηση από μέρους σας, χωρίς να επιδιώκεται από τη δική μας πλευρά κάποια βεβαιασμένη σύγκλιση απόψεων. Παρακαλούμε να σημειώσετε ενδεχόμενη επανεκτίμηση των βαρών οσωνδήποτε κριτηρίων κρίνετε σκόπιμο στη στήλη K2, χωρίς να είναι αναγκαίο να μεριμνήσετε έτσι ώστε το άθροισμα των βαρών να είναι 100, επειδή η κανονικοποίηση αυτή γίνεται αυτομάτως από το πρόγραμμα ελέγχου της ακολουθούμενης μεθόδου. Στην περίπτωση που παρατηρείται σημαντική απόκλιση μεταξύ των δικών σας βαρών και των αντίστοιχων μέσων τιμών και εμμένετε στην άποψή σας, θα ήταν χρήσιμο για το Κεφάλαιο της Συζήτησης (Discussion Section) κάποιο σχόλιό σας στον ειδικό χώρο των **παρατηρήσεων**.

Επίσης, παρακαλούμε να βαθμολογήσετε τις εναλλακτικές λύσεις στον πίνακα 2, σύμφωνα με το σημειούμενο στον πίνακα 1 διάνυσμα των μέσων τιμών των βαρών. Σημειώνεται ότι μέγιστος βαθμός είναι το 5.0 και ελάχιστος βαθμός είναι το 1.0 ενώ οι βαθμοί αναγράφονται με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου (π.χ 3.9). Η καλύτερη λύση παίρνει τον υψηλότερο βαθμό (όχι αναγκαία 5.0) ενώ η χειρότερη λύση παίρνει τον χαμηλότερο βαθμό (όχι αναγκαία 1.0), ανεξάρτητα από τα κριτήρια. Π.χ. ο καλύτερος βαθμός, σύμφωνα με το κριτήριο της κοινωνικής αποδοχής, μπορεί να είναι 4.2 και ο χειρότερος 2.3 ενώ ο καλύτερος βαθμός, σύμφωνα με το κριτήριο του μεταβλητού κόστους, μπορεί να είναι 4.4 και ο χειρότερος 1.9 (εννοείται ότι η καλύτερη λύση ως προς το κόστος βαθμολογείται και υψηλότερα όταν κατά την εκτίμηση του εμπειρογνώμονα είναι συμφερότερη, παρουσιάζει δηλ. μικρότερο κόστος).

Οι βαθμοί που τίθενται για κάθε εναλλακτική λύση απεικονίζουν τη σχετική θέση μεταξύ των λύσεων για κάθε συγκεκριμένο κριτήριο (του οποίου το βάρος δεν επηρεάζει αυτή τη σχετική θέση αλλά ενδεχομένως επηρεάζει την απόλυτη θέση, δηλ. το 'άπλωμα' των τιμών στο διάστημα 1.0-5.0). Για παράδειγμα, ένας εμπειρογνώμονας θέτει την εναλλακτική θέση E3 στη μέση του διαστήματος, δηλ. σημειώνει βαθμό $(5+1)/2 = 3$. Επειδή εκτιμά ότι οι λύσεις E1 και E4 ισπαέχουν από πάνω και κάτω κατά 20% περίπου, θέτει 3.6 και 2.4, αντίστοιχα. Αν όμως θεωρεί ότι το μέσο βάρος του συγκεκριμένου κριτηρίου, όπως έχει διαμορφωθεί από όλους μαζί τους εμπειρογνώμονες, είναι υποεκτιμημένο, τότε μπορεί να 'απλωθεί' στο 30% (αντί του 20%) και να θέσει τους βαθμούς 3.9 και 2.1, αντίστοιχα.

Στο επόμενο τρίτο και τελευταίο στάδιο της ακολουθούμενης μεθόδου DELPHI, θα σας δοθεί η ευκαιρία να επανεκτιμήσετε τους βαθμούς αυτούς, με βάση (i) τις μέσες τιμές των βαθμών όλων των εμπειρογνομώνων και (ii) τις ενδεχόμενες μικρές αλλαγές που θα έχουν τα στοιχεία του διανύσματος των βαρών των κριτηρίων.

Ευχαριστούμε για την πολύτιμη συνεισφορά σας στην παρούσα εργασία .

Με εξαιρετική εκτίμηση
Χ. Ρούμπος
Φ. Μπατζιάς

Ερωτήματα - Παρατηρήσεις

Πίνακας 1

	Ν1	Ν2	Ν3
π1	8,23%		11,23%
π2	16,46%		22,46%
π3	12,35%		16,46%
π4	7,23%		9,64%
π5	5,12%		6,83%
π6	6,15%		8,23%
π7	4,62%		6,15%
π8	13,31%		17,77%
π9	11,18%		14,90%
π10	10,77%		14,37%
π11	5,05%		6,73%
Σύνολο	100,00%		133,33%

Πίνακας 2: Στοιχεία των 4 ομάδων

	α1	α2	α3	α4
π1				
π2				
π3				
π4				
π5				
π6				
π7				
π8				
π9				
π10				
π11				

Στοιχεία των 4 ομάδων

- α1. Λιθολογία ομίχλης, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι
 α2. Στοιβάς φυσικής αέριας, 1 X 600 MW, στην περιοχή της Λαρίδας
 α3. Ανθρακικός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι
 α4. Πετρελαϊκός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι

Ερωτηματολόγιο 2ου σταδίου expert1

Πίνακας 1			
	K1	K2	Km
f1	9,23%		11,21%
f2	16,92%		14,29%
f3	13,85%		13,17%
f4	7,69%		4,22%
f5	3,08%		4,57%
f6	6,15%		11,52%
f7	4,62%		3,96%
f8	12,31%		9,80%
f9	15,38%		13,69%
f10	10,77%		10,21%
f11	0,00%		3,36%
SUM	100,00%		100,00%

Πίνακας 2: βαθμολόγηση των λύσεων

	α1	α2	α3	α4
f1				
f2				
f3				
f4				
f5				
f6				
f7				
f8				
f9				
f10				
f11				

Βαθμολογία από 1 εως 5

- α1. Λιγνιτικός σταθμός, 2 X 300 MW, στην περιοχή της Δράμας
 α2. Σταθμός φυσικού αερίου, 1 X 600 MW ,στην περιοχή της Λαμίας
 α3. Ανθρακικός σταθμός ,1 X 600 MW, στο Αλιβέρι
 α4. Πετρελαϊκός σταθμός, 1 X 600 MW, στο Αλιβέρι

Επιστολή προς τους εμπειρογνώμονες στο 3^ο στάδιο της τεχνικής Delphi

Προς τον

Εμπειρογνώμονα κ

Ευχαριστούμε θερμά για τη συμμετοχή σας και στο δεύτερο στάδιο της τεχνικής Delphi, που αποσκοπούσε στη βαθμολόγηση των εναλλακτικών λύσεων από τους εμπειρογνώμονες και στην επανεκτίμηση, εφόσον επιθυμούσαν, ορισμένων στοιχείων του διανύσματος των βαρών των κριτηρίων.

Στις στήλες K1 και Km του συνημμένου πίνακα 1 φαίνονται τα βάρη που έχετε θέσει σε κάθε κριτήριο και η αντίστοιχη μέση τιμή των βαρών σύμφωνα με την άποψη όλων των εμπειρογνώμωνων, περιλαμβανομένης και της δικής σας, έπειτα από την επανεκτίμηση ορισμένων βαρών από τους εμπειρογνώμονες.

Στις στήλες X1 και Xm του συνημμένου πίνακα 2 δίνονται, για κάθε εναλλακτική λύση, οι βαθμολογίες που έχετε θέσει ως προς τα κριτήρια f_1, f_2, \dots, f_{l1} και οι αντίστοιχες μέσες τιμές των βαθμών όλων των εμπειρογνώμωνων περιλαμβανομένων και των δικών σας.

Θα επιθυμούσαμε, σε αυτό το τρίτο και τελευταίο στάδιο της τεχνικής, να γνωρίζουμε αν υπάρχει κάποια επανεκτίμηση από μέρους σας, όσον αφορά τη βαθμολόγηση των εναλλακτικών λύσεων, χωρίς να επιδιώκεται από τη δική μας πλευρά κάποια βεβαιωμένη σύγκλιση απόψεων. Παρακαλούμε να σημειώσετε ενδεχόμενη επανεκτίμηση των βαθμών οσωνδήποτε εναλλακτικών λύσεων και για όποια κριτήρια κρίνετε σκόπιμο, στις αντίστοιχες στήλες X2 του πίνακα 2. Στην περίπτωση που παρατηρείται σημαντική απόκλιση μεταξύ των δικών σας βαθμών και των αντίστοιχων μέσων τιμών και εμμένετε στην άποψή σας, θα ήταν χρήσιμο για το Κεφάλαιο της Συζήτησης (Discussion Section) κάποιο σχόλιό σας στον ειδικό χώρο των παρατηρήσεων.

Ευχαριστούμε για την πολύτιμη συνεισφορά σας στην παρούσα εργασία .

Με εξαιρετική εκτίμηση

X. Ρούμπος

Φ. Μπατζιάς

Παρατηρήσεις

EXPERTS-Πίνακας 1

RT	LT
10,3%	11,85%
10,1%	10,47%
10,1%	10,12%
9,8%	9,3%
9,5%	9,5%
10,55%	11,47%
9,7%	9,5%
7,02%	10,42%
12,74%	14,65%
9,32%	10,17%
9,2%	9,2%

EXPERTS-Πίνακας 2		EXPERTS-Πίνακας 3		EXPERTS-Πίνακας 4		EXPERTS-Πίνακας 5		EXPERTS-Πίνακας 6	
RT	LT	RT	LT	RT	LT	RT	LT	RT	LT
11	1	25	25	25	25	25	25	25	25
12	4,5	25	25	25	25	25	25	25	25
13	1	25	25	25	25	25	25	25	25
14	1	25	25	25	25	25	25	25	25
15	1	25	25	25	25	25	25	25	25
16	1	25	25	25	25	25	25	25	25
17	4	25	25	25	25	25	25	25	25
18	4	25	25	25	25	25	25	25	25
19	4,5	25	25	25	25	25	25	25	25
110	2,5	25	25	25	25	25	25	25	25
111	2,5	25	25	25	25	25	25	25	25

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

EXPERT5-Πίνακας 1

	K1	Km
f1	16,16%	11,14%
f2	16,97%	14,21%
f3	12,13%	13,12%
f4	6,46%	4,20%
f5	2,42%	4,56%
f6	10,50%	11,47%
f7	2,50%	4,14%
f8	7,00%	10,02%
f9	13,74%	13,63%
f10	8,88%	10,17%
f11	3,23%	3,35%
SUM	100,00%	100,00%

EXPERT 5-ΠΙΝΑΚΑΣ 2

	α1			α2			α3			α4		
	X1	X2	Xm	X1	X2	Xm	X1	X2	Xm	X1	X2	Xm
f1	3		2,6	2,7		4,2	2		2,6	3,8		2,6
f2	4,5		4,8	2		2,4	3,5		3,1	1,5		2,0
f3	1		1,9	4		4,4	3		2,8	2,7		2,9
f4	1		1,6	3,5		3,9	3,5		3,5	3,5		3,9
f5	3		3,3	2		2,6	3,5		2,9	3		1,9
f6	2		3,1	4		3,6	3,5		3,9	3,5		3,6
f7	4		4,4	2		2,3	2		1,9	2		1,7
f8	4		3,1	3,5		3,3	4		4,0	4		3,8
f9	4,5		4,8	3		1,9	3,5		2,7	3		2,0
f10	2,5		3,1	3,5		3,9	3,5		3,2	3		2,3
f11	2,5		4,0	3		2,9	3		2,5	3,5		3,7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Afgan N., Carvalho M., Hovanov N., (2000), Energy system assessment with sustainability indicators, *Energy Policy* 28 , 603-612.
2. Al-Shemmeri T., Al-Kloub B. and Pearman A., (1997), "Model choice in multicriteria decision aid" *European Journal of Operational Research*, 97(3/16): 550-560
3. Azapagic A., Clift R., (1999), "The application of life cycle assessment to process optimisation", *Computers and Chemical Engineering* 23, 1999.
4. Ακύλας Ν., (1990), Οι ορυκτοί άνθρακες σαν ενεργειακή πρώτη ύλη και η σημασία τους για την ανάπτυξη της ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, *Ορυκτός Πλούτος*, 64, 57-63.
5. Bardouille P., Koubsky J., (2000), Incorporating sustainable development considerations into energy sector decision-making : Malmö Flintranen district heating facility case study, *Energy Policy* 28, 689-711.
6. Batzias F., Roumpos Ch. (2000), Multicriteria choice of a lignite field for mine development and power plant construction, *proceedings of the 9th international Symposium on mine planning and equipment selection*, Athens, 6-9 Nov 2000, p.p. 783-788
7. Batzias F., Roumpos Ch. (2000), Optimal Policy for lignite fly ash management, *5th International Conference on Environmental Pollution*, Thessaloniki, 28/8-1/9/2000.
8. Beuthe M., Eeckhoudt L., Scannella G., (2000), A practical multicriteria methodology for assessing risky public investments, *Socio-Economic Planning Sciences*, 34, 121-139.
9. Brans, J.P., Vincke Ph., & Mareschal B., (1986), How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method., *European Journal of Operational Research* 24, 228-238.
10. Βάσσος Σ., Μόσχοβιτς Μ., (1999), Ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας στο Βαλκανικό χώρο, *Σύνοδος Αθηνά*, 2-3 Δεκεμβρίου, 1999.
11. Βλάχου Α., Βάσσος Σ., (1996), Οι δυνατότητες μείωσης των εκπομπών CO₂ στην Ελλάδα για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου, *Διαχείριση Φυσικών Πόρων και Προστασία Περιβάλλοντος*, Έκδοση Ε.Μ.Π.
12. BP Statistical Review of World Energy 2000, British Petroleum Company, London, England, June 2000.
13. Choo E., Schoner B., Wedley W., (1999), Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making, *Computers & Industrial Engineering* 37, 527-541.
14. Conzelmann G., Guziel K., Buehring W., Podinovski V., (1996), Applying Decision Analysis to Integrate Environmental Aspects into Electric System Expansion Planning, *Conference on New Complex Methods of Energy-Environmental Systems Analysis*, Warsaw, Poland, 18-19 April 1996.
15. Cooper W., Gallelos A., Granof M., (1995), A Delphi Study of Goals and Evaluation Criteria of State and Privately Owned Latin American Airlines, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol 29, No. 4, pp. 273-285.
16. Γεωργούλης Λ., Κακαράς Ε., Μπεργελές Γ., (1997) : Καθαρές τεχνολογίες για την αξιοποίηση του ελληνικού λιγνίτη, *Διημερίδα του Τ.Ε.Ε «Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα της χώρας μας : Παρούσα κατάσταση και προοπτικές»*, Αθήνα 13-14 Μαΐου 1997.
17. Γκούμας Μ., Λυγερού Β., (1998), Μια επέκταση της μεθόδου PROMETHEE για την υιοθέτηση αποφάσεων με ασαφή δεδομένα. Εφαρμογή στο πρόβλημα της

ιεράρχησης γεωθερμικών πεδίων, Έκδοση ΕΜΠ, Αφιέρωμα στην ενέργεια, σελ. 173-181.

18. DeKeyser, W. and Peeters P. (1996) "A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods" *European Journal of Operational Research*, **89** (3): 457-461
19. ΔΕΠΙΑ (1997), Το φυσικό αέριο και οι χρήσεις του.
20. Διακουλάκη Δ., (1998), Συστημική ανάλυση-λήψη αποφάσεων και ενεργειακή πολιτική, Έκδοση ΕΜΠ, *Αφιέρωμα στην ενέργεια*, σελ. 161-169
21. Διακουλάκη Δ., (1999), Λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια, σημειώσεις μεταπτυχιακού.
22. ΔΕΗ (1998), Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα, ετήσια έκθεση.
23. Δρυμωνίτης Ι., Κραβαρίτης Α., Κωστόπουλος Π., Στεφανάκος Ι., Κελάλης Π., Παπαδόπουλος Σ., (1999), Η ανάπτυξη των υδροηλεκτρικών έργων στον ποταμό Νέστο, *Σύννοδος Αθηνά*, 2-3 Δεκεμβρίου, 1999.
24. European Commission (1999), *Economic Foundations for Energy Policy*, The shared analysis project.
25. European Commission (2000), *Energy in Europe*, 1999-annual energy review.
26. Georgopoulou E., Lalas D., Papagiannakis L., (1997), A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems : The case of renewable energy option, *European Journal of Operational Research* 103, 38-54.
27. Georgopoulou E., Sarafidis Y., Diakoulaki D., (1998), Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energies exploitation, *European Journal of Operational Research* 109, 483-500.
28. Goumas M., Lygerou V., (2000) An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment : Ranking of alternative energy exploitation project, *European Journal of operational Research* 123 (2000), G06-G13.
29. Goumas M., Lygerou V., Papayannakis L., (1999), Computational methods for planning and evaluating geothermal energy projects, *Energy Policy*, 27, 147-154
30. Guitouni, A. and Martel, J-M. (1998) "Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method" *European Journal of Operational Research*, **109**: 501-521
31. Gungor Z., Arikan F., (2000), A fuzzy outranking method in energy policy planning, *Fuzzy Sets and Systems* 114, 115-122.
32. Θωμαδάκης Μ., (1999), Εισαγωγή στο φυσικό αέριο (τεχνολογία, χρήσεις, προοπτικές), *Σημειώσεις μεταπτυχιακού στο μάθημα των συμβατικών μορφών ενέργειας*.
33. International Energy Agency, (1998) *Projected costs for generating electricity*.
34. International Energy Agency (2000), *Experience curves for energy technology policy*.
35. International Energy Agency, (1998), *Greece 1998 review*.
36. International Energy Agency, (1997), *Oil in power generation*.
37. Kunneke R., (1998), Electricity networks: How natural is the monopoly?, *International conference :electricity in Europe in the 21st century: what performances and what game rules?*, Paris, Nov. 13-14.
38. Kydes A., (1999), Modeling technology learning in the national energy modeling system, *Energy Information Administration issues in midterm analysis and forecasting*, DOE/EIA/0607
39. Καβουρίδης Κ., (1997), Η Αξιοποίηση του Λιγνιτικού Κοιτάσματος Πτολεμαΐδας, Σημερινή κατάσταση και προοπτικές των λιγνιτωρυχείων του ΛΚΠ-Α με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, *Διημερίδα του Τ.Ε.Ε «Λιγνίτης*

- και λοιπά στερεά καύσιμα της χώρας μας : Παρούσα κατάσταση και προοπτικές», Αθήνα 13-14 Μαΐου 1997.
40. Καβουρίδης Κ., Νικολαΐδης Ι.,(1997), Παραγωγή εξευγενισμένων προϊόντων λιγνίτη για ηλεκτρικές και εξωηλεκτρικές χρήσεις, *Διημερίδα του Τ.Ε.Ε «Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα της χώρας μας : Παρούσα κατάσταση και προοπτικές»*, Αθήνα 13-14 Μαΐου 1997.
 41. Καβουρίδης Κ., Ακύλας Ν., Λεοντίδης Μ., Ρούμπος Χ., (2000), Η κατανομή της ποιότητας λιγνίτη πολυστρωματικών κοιτασμάτων και οι τεχνολογικές δυνατότητες αναβάθμισής της, *3^ο συνέδριο ορυκτού πλούτου*, Αθήνα, 22-24/11/2000.
 42. Καλογήρου Γ., (1998), Η οργάνωση της βιομηχανίας της ηλεκτρικής ενέργειας : Διεθνείς και Ελληνικές εξελίξεις, Έκδοση ΕΜΠ. , *Αφιέρωμα στην ενέργεια* ,σελ 123-133.
 43. Κοπανέζου Ε. , Λαμπρόπουλος Σ., (1986). Οι κοινωνικές παράμετροι στην Ανάλυση Κόστους – Ωφελειών , *Τεχνικά Χρονικά- Α.*, 1986, Τόμ.6 , Τεύχ.4.
 44. Κορωναίος Χ.,(1997), “Ανάλυση Κύκλου Ζωής στη χημική βιομηχανία”, *Πρώτο Σεμινάριο ΑΚΖ, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής ΑΠΘ*, Θεσσαλονίκη 16.12.97.
 45. Lawrey R., Full Social cost pricing in the energy sector : The case of electricity generation in New South Wales and Victoria. *International Journal of Social Economics*, vol 26 No 7/8/9,1999, pp 925-944.
 46. Λαμπρόπουλος Σ., (1985), Η Μεθοδολογία της Λήψεως Αποφάσεων στην Αξιολόγηση των Επενδύσεων, *Τεχνικά Χρονικά- Α.*, 1985, Τόμ. 5 Τεύχ.1.
 47. Mareschal, B. 1986. Stochastic multicriteria decision making and uncertainty. *European Journal of Operational Research* ,26,58-64.
 48. Μανροτάς Γ., Διακουλάκη Δ., Παπαγιάννης Λ.,(1999),An energy planning approach based on mixed 0-1 multiple objective linear programming, *International transactions in operational research* ,6,231-244.
 49. Μιρασγέδης Σ., Διακουλάκη Δ., (1997), Multicriteria analysis VS. externalities assessment for the comparative evaluation of electricity generation systems, *European Journal of Operational Research* 102, 364-379.
 50. Μιρασγέδης Σ., Διακουλάκη Δ., Παπαγιάννης Λ., Ζερβός Α., (2000), Impact of social costing on the competitiveness of renewable energies : the case of Crete, *Energy Policy* 28, 65-73.
 51. Μυλωνάς Π., Joumard Ι.,(1999),Greek public enterprises: challenges for reform , *Organisation for Economic Co-operation and Development, Economics department working papers* No. 214.
 52. Μετκάνης Δ.,(1997), Λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και περιβαλλοντική νομοθεσία, *Διημερίδα του Τ.Ε.Ε «Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα της χώρας μας : Παρούσα κατάσταση και προοπτικές»*, Αθήνα 13-14 Μαΐου 1997.
 53. Μόδης Θ.,(1995),Προβλέψεις ,Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης,145-150.
 54. Μοιραγεντής Σ., Διακουλάκη Δ., (1999), Ενσωμάτωση του εξωτερικού κόστους στο μακροπρόθεσμο σχεδιασμό του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος, *πρακτικά 6^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Πυθαγόρειο Σάμου 30/8-2/9/99*, σελ. 143-152.
 55. Μπούσιος Α., (1997) : Η Ευρωπαϊκή διάσταση του λιγνίτη - προοπτικές, *Διημερίδα του Τ.Ε.Ε «Λιγνίτης και λοιπά στερεά καύσιμα της χώρας μας : Παρούσα κατάσταση και προοπτικές»*, Αθήνα 13-14 Μαΐου 1997.

56. Oostvoorn F., Boots M., (2000), Impacts of Market Liberalization on the E.U. Gas Industry ,European Commission, *Economic Foundations for Energy Policy* , Vol. No 9
57. Παπακωνσταντίνου Δ., Καραγιάννης Φ., (1998), Η Στρατηγική της ΔΕΗ για την προώθηση της Συμπααραγωγής στην Ελλάδα, *Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ.-Η*, Οκτώβριος 1998.
58. Ray D., Cashman E., (1999), Operational risks, bidding strategies and information policies in restructured power markets, *Decision Support Systems* 24, 175-182.
59. Ray T., Triantaphyllou E., (1999), Procedures for the evaluation of conflicts in rankings of alternatives, *Computers & Industrial Engineering* 36, 35-44.
60. Rheinbraun Engineering (1998), Lignite international, Rheinbraun News.
61. Rheinbraun Engineering (1999), Lignite in Europe, Rheinbraun News.
62. Rowe G, Wright G., (1999), The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis, *International Journal of forecasting* 15 :353-375.
63. Steiner F.,(2000), Regulation, industry structure and performance in the electricity supply industry, *Organisation for Economic Co-operation and Development, Economics department working papers* No. 238
64. Staropoli C., (1998), How far modeling competition emphasizes the diversity of electricity wholesale markets : The case of the E &W and Nordic Pool, *International conference :electricity in Europe in the 21st century: what performances and what game rules?*, Paris,Nov.13-14.
65. Σκιαδάς Χ., Ζοπουνίδης Κ., Χρηστάκης Δ., (1989),Πρόβλεψη της εξέλιξης της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη, *Συνέδριο για την ενεργειακή ανάπτυξη της Κρήτης* , Χανιά 12-14/5,1989.
66. Τσαρούχας Ι., (1996), Θεσμικό πλαίσιο και τιμολόγηση φυσικού αερίου στην αστική κατανάλωση – Μια κριτική προσέγγιση. *Διημερίδα ΤΕΕ με θέμα: Φυσικό αέριο και αστική κατανάλωση στην Ελλάδα*, Μάιος 1996.
67. Vale, E. (1998). Evaluation of mineral properties. *Mining magazine Aug. 1998:80-84*
68. Ybema J., Lak P., Schol E., Gielen D., Kram I., (1997),Scenarios for western Europe on long term abatement of CO₂ emissions ,ECN-C-97-051.
69. Yun,L.,(1999,Decision making processes, *Lectures in the school of computing ,National University of Singapore.*
70. Φώσκολος Α., (1998), Οι Ενεργειακοί Πόροι της Ελλάδας και η Σημασία τους στην Εθνική Ενεργειακή Ανεξαρτησία, την Οικονομία και τη Δημιουργία Νέων Θέσεων Εργασίας, *Διάλεξη στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, 12 Φεβρουαρίου 1998.
71. Χατζηφώτης Δ.,(1997), Παρακολούθηση εκπαιδόμενων ρύπων από τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσεως της ΔΕΗ, *Συνέδριο Ενέργεια και Ανάπτυξη*,Αθήνα.

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΕΛΛΗΝΟΑΓΓΛΙΚΟ

Άγωνα ή στείρα υλικά	waste
Αειφόρος ανάπτυξη	sustainable development
Αιχμή φορτίου	peak load
Ανάλυση ευαισθησίας	sensitivity analysis
Ανάλυση κύκλου ζωής	life cycle assessment
Άνθρακας	coal
Άνθρακίτης	anthracite
Αντικειμενικοί στόχοι	objectives
Αποθέματα	reserves
Απόθεση	dumping
Απόθεση ιπτάμενης τέφρας	fly ash disposal
Αποθέτες	spreaders
Αποκάλυψη	stripping
Βαθμίδα	bench
Βέβαια αποθέματα	proved reserves
Βιτουμενιούχοι ή πισσούχοι	bituminous
Γενικευμένο κριτήριο	generalized criterion
Γεωλογικός λιγνίτης	pure lignite
Διασυνδεδεμένο σύστημα	mainland grid
Δίκτυο γεωτρήσεων	boreholes grid
Δυνατά αποθέματα	possible reserves
Εγκατεστημένη ισχύς	installed capacity
Εκμετάλλευση	exploitation
Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα	exploitable reserves
Εκσκαφή	excavation
Εμπειρογνώμονες	experts
Εναλλακτικές επιλογές	alternative actions
Ενδεικτικά αποθέματα	indicated reserves
Ενδιάμεσα	intercalations
Εξωτερική απόθεση	outside dump
Εσωτερική απόθεση	inside dump
Ηλεκτροπαραγωγή	electricity production
Ημιανθρακίτης	Semi-anthracite
Θερμογόνος ικανότητα	calorific value
Θεωρία χρησιμότητας	utility theory
Καδοφόροι εκσκαφείς	bucket wheel excavators
Κριτήρια	criteria
Λήψη αποφάσεων	decision making
Λιγνίτης	lignite
Λιγνιτικό κοίτασμα	lignite deposit
Λιγνιτικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής	lignite fired power plant
Λιγνιτωρυχείο	lignite mine
Μέθοδος εκμετάλλευσης	exploitation method
Μεταφορά	transportation
Μετεγκατάσταση	relocation
Μετρηθέντα αποθέματα	measured
Μονάδες βάσεως	base load units
Παραγωγή λιγνίτη	lignite production
Περιορισμοί	constraints
Πετρέλαιο	oil
Πιθανά αποθέματα	probable reserves

Ποιότητα λιγνίτη	lignite quality
Πολυκριτηριακή ανάλυση	multicriteria analysis
Πολυκριτηριακός δείκτης προτίμησης	multicriteria preference index
Πολυστρωματικό κοίτασμα	multi seam deposit
Προδιαγραφές εξοπλισμού	equipment specifications
Στάθμη εργασιών του ορυχείου	mine position
Στοχαστική	stochastic
Συμβατικός εξοπλισμός	conventional equipment
Σχέση εκμετάλλευσης	mining ratio or exploitation ratio
Ταινιόδρομοι	belt conveyors
Τελική περίμετρος εκσκαφής	final pit perimeter
Τέφρα	ash
Τύρφη	peat
Υγρασία	water content
Υπαίθρια εκμετάλλευση	open pit mining
Υπαίθριο λιγνιτωρυχείο	open pit lignite mine
Υπερκείμενα	overburden
Υποβιτουμενιούχοι ή υποπιπασσούχοι	subbituminous
Υποτιθέμενα αποθέματα	inferred reserves
Φυσικό αέριο	natural gas
Χαρακτηριστικά	attributes

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΑΓΓΛΟΕΛΛΗΝΙΚΟ

alternative actions	Εναλλακτικές επιλογές
anthracite	Ανθρακίτης
ash	Τέφρα
attributes	Χαρακτηριστικά
base load units	Μονάδες βάσεως
belt conveyors	Ταινιόδρομοι
bench	Βαθμίδα
bituminous	Βιτουμενιούχοι ή πισσούχοι
boreholes grid	Δίκτυο γεωτρήσεων
bucket wheel excavators	Καδοφόροι εκσκαφείς
calorific value	Θερμογόνος ικανότητα
coal	Άνθρακας
constraints	Περιορισμοί
conventional equipment	Συμβατικός εξοπλισμός
criteria	Κριτήρια
decision making	Λήψη αποφάσεων
dumping	Απόθεση
electricity production	Ηλεκτροπαραγωγή
equipment specifications	Προδιαγραφές εξοπλισμού
excavation	Εκσκαφή
experts	Εμπειρογνώμονες
exploitable reserves	Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα
exploitation	Εκμετάλλευση
exploitation method	Μέθοδος εκμετάλλευσης
final pit perimeter	Τελική περίμετρος εκσκαφής
fly ash disposal	Απόθεση ιπτάμενης τέφρας
generalized criterion	Γενικευμένο κριτήριο
indicated reserves	Ενδεικτικά αποθέματα
inferred reserves	Υποτιθέμενα αποθέματα
inside dump	Εσωτερική απόθεση
installed capacity	Εγκατεστημένη ισχύς
intercalations	Ενδιάμεσα
life cycle assessment	Ανάλυση κύκλου ζωής
lignite	Λιγνίτης
lignite deposit	Λιγνιτικό κοίτασμα
lignite fired power plant	Λιγνιτικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής
lignite mine	Λιγνιτωρυχείο
lignite production	Παραγωγή λιγνίτη
lignite quality	Ποιότητα λιγνίτη
mainland grid	Διασυνδεδεμένο σύστημα
measured	Μετρηθέντα αποθέματα
mine position	Στάθμη εργασιών του ορυχείου
mining ratio or exploitation ratio	Σχέση εκμετάλλευσης
multi seam deposit	Πολυστρωματικό κοίτασμα
multicriteria analysis	Πολυκριτηριακή ανάλυση
multicriteria preference index	Πολυκριτηριακός δείκτης προτίμησης
natural gas	Φυσικό αέριο
objectives	Αντικειμενικοί στόχοι
oil	Πετρέλαιο
open pit lignite mine	Υπαίθριο λιγνιτωρυχείο
open pit mining	Υπαίθρια εκμετάλλευση

outside dump	Εξωτερική απόθεση
overburden	Υπερκείμενα
peak load	Αιχμή φορτίου
peat	Τύρφη
possible reserves	Δυνατά αποθέματα
probable reserves	Πιθανά αποθέματα
proved reserves	Βέβαια αποθέματα
pure lignite	Γεωλογικός λιγνίτης
relocation	Μετεγκατάσταση
reserves	Αποθέματα
semi-anthracite	Ημιανθρακίτης
sensitivity analysis	Ανάλυση ευαισθησίας
spreaders	Αποθέτες
stochastic	Στοχαστική
stripping	Αποκάλυψη
subbituminous	Υποβιτουμενιούχοι ή υποπιτσσούχοι
sustainable development	Αειφόρος ανάπτυξη
transportation	Μεταφορά
utility theory	Θεωρία χρησιμότητας
waste	Άγωνα ή στείρα υλικά
water content	Υγρασία

Πανεπιστήμιο Πειραιώς